

UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS DOCTORAL

CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS
GENERADOS EN UN CENTRO DE TRATAMIENTO DE
RESIDUOS URBANOS COMO CRITERIO DE CALIDAD EN EL
MATERIAL BIOESTABILIZADO FINAL

Autor:

JUAN GARCÍA LÓPEZ

Directores de Tesis:

Dr. **CARLOS RAD MORADILLO**

Dra. **MILAGROS NAVARRO GONZÁLEZ**

Burgos, Junio 2.012

.....El tiempo que tenemos no es corto; es que perdemos mucho. La vida se nos ha dado con largueza suficiente para emplearla en la realización de cosas de máxima importancia, si se hace buen uso de ella. Pero cuando se disipa entre lujos y negligencias y se gasta en cosas inútiles, cuando llega el último trance inexorable, sentimos que se nos ha ido la vida sin reparar siquiera que se va. Lo cierto es que no recibimos una vida corta, somos nosotros los que la acortamos...

**De la brevedad de la vida. Tratados morales
[Séneca]**

AGRADECIMIENTOS

Durante estos dos años he intentado, con mayor o menor acierto, la elaboración de esta Tesis Doctoral. Ello ha supuesto todo un reto en el plano profesional, y un importante esfuerzo tanto en lo personal como en lo familiar.

Quiero agradecer mucho a todas aquellas personas que, de alguna u otra manera, han colaborado conmigo, aún sin saberlo, para llevar a buen puerto este buque en tan procelosa singladura.

Quiero agradecer al equipo de trabajo del grupo UBUCOMPOST toda la colaboración prestada.

Quiero agradecer a Juan Manuel Manso, por entonces jefe de departamento de ingeniería civil y ahora Vicerrector, el ánimo, interés y apoyo que en todo momento me ha mostrado.

Finalmente quiero agradecer tanto a Carlos como a Mila, la impagable ayuda que me han prestado en todo momento ante las dudas e inquietudes que me iban apareciendo, y siempre con buen humor. Sé que para ellos no era tarea fácil, sin embargo espero no haberles defraudado y haber sabido estar a la altura de las circunstancias. Vaya para ellos mi eterna gratitud, saben que tienen en mí a un amigo.

Por último no puedo por menos que agradecer a Rosa, Pipo, Palocha, Chitín y Carmen, la paciencia que han tenido conmigo y la indulgencia que ha mostrado, especialmente Rosa, cuando abandonaba ciertas tareas domésticas.

ABSTRACT

Se compararon tres tipos de lixiviado cuya procedencia fue: a) un vertedero comarcal situado en Aranda de Duero sellado hace tres años (**P3**); b) dos lixiviados (**P1** y **P2**) generados en un centro de tratamiento de residuos (**CTR**) que sustituye a ese vertedero. El antiguo vertedero recibía residuos urbanos (**RSU**) mezclados con papel-cartón (**P/C**) y envases de plásticos, latas, Bricks, etc (**EELL**) [no estaba, por entonces, implantada la recogida separada de **P/C** y **EELL**]. Este vertedero también recibía residuos industriales (**RI**). Frente a esta situación el **CTR** sólo recibe **RSU**. Además, al estar actualmente implantada la recogida separada de **P/C** y **EELL**, el contenido en estos materiales es menor. Se tomaron muestras de lixiviado durante la primavera (mayo), verano (agosto), otoño (octubre) e invierno (diciembre). Con los datos obtenidos se realizó un ANOVA introduciendo dos factores fijos: la réplica de lixiviado con tres niveles (los diferentes tipos de lixiviados **P1**, **P2** y **P3**) y la evolución estacional de esos lixiviados con cuatro niveles (las cuatro estaciones del año). Posteriormente se analizó el grado de correlación bivariada y se obtuvo el coeficiente de Pearson.

Paralelamente, se estudió la evolución diaria de la composición del lixiviado que percola a partir de la fracción orgánica de residuo (**FORSU**) depositada en un túnel de fermentación del **CTR**. El tiempo de permanencia de la **FORSU** en el túnel de fermentación fue de quince días por réplica. Se tomaron tres réplicas (**A00062**, **A00063** y **A00064**). Con los datos obtenidos se realizó un ANOVA introduciendo dos factores fijos: la réplica de **RSU** con tres niveles (réplica **A00062**, **A00063** y **A00064**) y la evolución diaria del lixiviado con quince niveles (los quince días que dura el proceso). Posteriormente se analizó el grado de correlación bivariada y se obtuvo el coeficiente de Pearson.

También se estudiaron las características del material bioestabilizado final obtenido a partir de la **FORSU** fermentada en el túnel y después de una fase de maduración. La duración de esta fase fue de 4 semanas por réplica. El aporte de humedad se hizo mediante un riego semanal de la **FORSU** fermentada. Con cada réplica se contrastaron dos métodos de trabajo distintos: a) Riego sólo con lixiviado [lixiviado generado en el **CTR**] y b) Riego sólo con agua [obtenida a partir de un pozo de captación de agua subterránea próximo al lugar]. La experiencia se hizo

con la **FORSU** fermentada en las réplicas **A00062**, **A00063** y **A00064**. Para ver el grado de correlación existente entre los parámetros analizados se sometieron los análisis a un ANOVA introduciendo dos factores fijos: la réplica de **RSU** con tres niveles (réplica **A00062**, **A00063** y **A00064**) y el tratamiento con dos niveles (regado con agua y regado con lixiviado). Posteriormente se analizó el grado de correlación bivariada.

Los resultados obtenidos demuestran que la concentración de ciertos metales pesados (Mn, Zn y Pb) presentes en un lixiviado, generado a partir de **RSU** sometido a un proceso biooxidativo [túnel de fermentación], es mayor que la que presenta el lixiviado obtenido, a partir de un **RSU** similar, o incluso con mayor contenido de metales pesados en el material de partida, sometido a un proceso anaeróbico [vertedero sellado].

Los resultados obtenidos en el túnel de fermentación, muestran que la presencia de ciertos metales pesados como el Mn, Pb y Ni se ve afectada por algunas propiedades (N-total, N-NH₄⁺, N-orgánico, C-total, C-inorgánico, COT, CE). También la concentración de los elementos Ca, Mg, Na, K y Fe se ve afectada por ciertas propiedades (CE, COT, C-total, N-orgánico). Además, hay importantes correlaciones entre metales pesados y elementos (Mn-Ca, Ni-Na, Ni-K, Cr-Na y Cr-K) y entre algunos metales pesados (Cr-Ni y Cd-Mn).

Los resultados demuestran que hay diferencias, no muy significativas, pero importantes, en cuanto al contenido de metales pesados en el material bioestabilizado final, en función de si se riega con agua o con lixiviado. Además se realizó un ANOVA y se comprobó que se podían relacionar las propiedades del material bioestabilizado (pH, CE, mo, N-NH₄⁺, etc) con ciertos metales. Y que había una gran correlación entre ciertos metales (Cu-Mn, Cr-Mn, etc)

Por último, mediante una planta piloto, se sometió al lixiviado producido a un tratamiento consistente en un reactor biológico de membranas con ultrafiltración (**MBR**). El **MBR** iba precedido de un tratamiento físico-químico. De los resultados obtenidos se dedujo que éstos mejorarían mediante la instalación de un decantador entre el físico-químico y el **MBR**. También se observó que, dada la alta cantidad de nitrógeno amoniacal, sería bueno la instalación de una cámara anóxica en el **MBR**

para facilitar los fenómenos de nitrificación-desnitrificación. De esta manera se podrían regar el material a bioestabilizar en las dos fases (activa y pasiva) del proceso con el permeado obtenido del tratamiento del lixiviado sin incrementar, en consecuencia, la presencia de metales pesados.

AGRADECIMIENTOS

ABSTRACT

ÍNDICE TEMÁTICO.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xxii

ÍNDICE TEMÁTICO

CAPÍTULO 1.-INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

1.1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.- OBJETIVOS.....	2
1.2.1-OBJETIVOS GENERALES.....	2
1.2.2.-OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
1.3.- PLAN DE TRABAJO.....	6

CAPÍTULO 2.-DESARROLLO TEÓRICO

2.1- PROBLEMATICA DE LOS RESIDUOS.....	10
2.2.- EL PLAN NACIONAL DE RESIDUOS URBANOS (2.000- 2.006).....	12
2.3.- EL PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (2.008- 2.015).....	13
2.4.- EL TRATAMIENTO DE LOS RSU.....	20
2.5.- EL COMPOSTAJE DE LOS RSU.....	23
2.5.1.- COMPOST. DEFINICIONES.....	23
2.5.2.- HISTORIA DEL COMPOSTAJE.....	26
2.5.3.- FACTORES QUE AFECTAN AL COMPOSTAJE.....	27
2.5.4.- MICROBIOLOGIA DEL COMPOST.....	33
2.6.- LOS LIXIVIADOS.....	36
2.6.1.- DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN.....	36
2.6.2.-EFECTOS EN LA SALUD HUMANA.....	45

2.6.3.- EL TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS.....	45
2.6.3.1.-PROCESOS BIOLÓGICOS: SISTEMAS NATURALES.....	46
2.6.3.2.- PROCESOS BIOLÓGICOS: SISTEMAS CONVENCIONALES.....	48
2.6.3.3.-PROCESOS QUÍMICOS.....	49
2.6.3.3.1.-OXIDACIÓN QUÍMICA (SIN FOTÓLISIS).....	50
2.6.3.3.2.-OXIDACIÓN QUÍMICA (REALZADA CON FOTÓLISIS).....	52
2.6.3.4.- TÉCNICAS DE MEMBRANA. INTRODUCCIÓN..	56
2.6.3.5.-TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE VERTEDERO POR COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN.....	67
2.6.3.6.-PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE VERTEDERO POR TÉCNICAS DE ADSORCIÓN.....	71

CAPÍTULO 3.-MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.-DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE DE ARANDA DE DUERO.....	73
3.1.1.-DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN.....	73
3.1.2.-DESCRIPCIÓN REDES DE LIXIVIADOS. RED DE AGUA INDUSTRIAL Y BIOFILTRO.....	75
3.1.2.1.-RED DE RECOGIDA Y RECIRCULACIÓN DEL LIXIVIADO.....	75
3.1.2.2.-RED DE AGUA INDUSTRIAL PARA RIEGO DE TÚNELES DE COMPOSTAJE Y BIOFILTRO...	78
3.1.2.3.-RED DE TRATAMIENTO DE GASES.....	78
3.1.3.-DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACION.....	81
3.2.-DESCRIPCIÓN DEL VERTEDERO CLAUSURADO Y SELLADO DE ARANDA DE DUERO.....	93

3.3.-DESCRIPCIÓN DEL MBR.....	95
3.4.-DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE MUESTRAS.....	104
3.4.1.- LIXIVIADO EN Balsa DE LIXIVIADOS, PISCINA DE LIXIVIADOS Y VERTEDERO.....	104
3.4.2.- LIXIVIADO EN TÚNELES.....	106
3.4.3.- AGUA INDUSTRIAL.....	107
3.4.4.- RESIDUO EN LAS DIFERENTES FASES DEL PROCESO.....	107
3.4.5.- LIXIVIADO DE LA PISCINA DE LIXIVIADOS EN EL MBR EN SUS DIFERENTES ETAPAS. IDEM MEZCLADO CON LIXIVIADO DEL VERTEDERO.....	109
3.4.6.-LIXIVIADO DE LA Balsa DE LIXIVIADOS EN EL MBR EN SUS DIFERENTES ETAPAS. IDEM MEZCLADO CON LIXIVIADO DEL VERTEDERO.....	110
3.5.-MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MATERIALES.....	113
3.5.1.-CÁLCULO DE SÓLIDOS.....	115
3.5.1.1.- DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES.....	115
3.5.1.2.-DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN TOTALES.....	116
3.5.1.3.-DETERMINACION DE SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES.....	117
3.5.2.-DETERMINACIÓN DE METALES.....	117
3.5.2.1.-DETERMINACIÓN POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LLAMA. MÉTODO DE LLAMA DE AIRE-ACETILENO. DETERMINACIÓN DE Na, K, Cd, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Ca y Mg.....	119
3.5.3.- DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO ORGÁNICO. MÉTODO KJELDAHL.....	122
3.5.4.- DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO AMONIAICAL POR EL MÉTODO TITULOMÉTRICO O DE TITULACIÓN.....	125

3.5.5.- DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO AMONIAICAL POR EL MÉTODO AUTOMATIZADO DE LA SAL FENOL.....	130
3.5.6.- DETERMINACIÓN DEL NITRITO y NITRATO POR EL MÉTODO AUTOMATIZADO DE REDUCCIÓN DE CADMIO.....	135
3.5.7.- DETERMINACION DEL FOSFATO POR COLORIMETRÍA. MÉTODO AUTOMATIZADO.....	144
3.5.8.- DETERMINACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT). MÉTODO DE COMBUSTIÓN INFRARROJO.....	149
3.5.9.- DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) POR REFLUJO CERRADO. MÉTODO TITULOMÉTRICO.....	153
3.5.10.- DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO A LOS 5 DIAS (DBO ₅).....	156

CAPÍTULO 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.-RESULTADOS DE LAS ANALITICAS EFECTUADAS.....	161
4.1.1.- LIXIVIADOS P1, P2 y P3.....	161
4.1.2.- LIXIVIADOS EN EL TÚNEL. RÉPLICAS A00062, A00063 y A00064.....	167
4.1.3.- MATERIAL BIOESTABILIZADO FINAL.....	172
4.1.4.- LIXIVIADOS TRATADOS EN UN MBR.....	175
4.1.4.1.-TRATAMIENTO EN UN MBR SIN DECANTACIÓN.....	175
4.1.4.2.- TRATAMIENTO EN UN MBR CON DECANTACIÓN.....	186
4.2.-DISCUSIÓN.....	195
4.2.1.- LIXIVIADOS P1, P2 y P3.....	195
4.2.2- LIXIVIADOS EN EL TÚNEL. RÉPLICAS A00062, A00063 y A00064.....	208
4.2.3.-MATERIAL BIOESTABILIZADO FINAL.....	222
4.2.4.- LIXIVIADOS TRATADOS EN UN MBR.....	233

CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES

5.1.- LIXIVIADOS P1, P2 y P3.....	263
5.2.- LIXIVIADOS EN EL TÚNEL. RÉPLICAS A00062, A00063 y A00064.....	264
5.3.- MATERIAL BIOESTABILIZADO FINAL.....	265
5.4.- LIXIVIADOS TRATADOS EN UN MBR.....	266
5.5.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	267
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	268

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Cronograma en túnel y cordones. Semana 1 a semana 5.....	7
Figura 1.2. Cronograma en túnel y cordones. Semana 6 a semana 10.....	8
Figura 1.3. Cronograma en túnel y cordones. Semana 11 a semana 15.....	8
Figura 1.4. Colores de cada réplica.....	8
Figura 2.1. Distribución porcentual del destino del RU una vez recogido.....	16
Figura 2.2. Distribución porcentual de los GEI en España. Año 2.005.....	18
Figura. 2.3. Emisiones GEI del tratamiento y eliminación de RU. Datos en Gg de CO ₂ equivalente. Año 2.005.....	20
Figura 2.4. Diagrama de flujo de dos CTR: una planta de compostaje de RU y una planta de biometanización.....	21
Figura 2.5. El ciclo del nitrógeno. Inmovilización, volatilización. Nitrificación y desnitrificación.....	32
Figura 2.6. Esquema de funcionamiento de un biofiltro para tratar los gases que se producen en un túnel de fermentación.....	41
Figura 2.7. Diferencias entre los procesos de absorción y adsorción.....	41
Figura 2.8. Diagrama de funcionamiento de una planta mixta de lagunas y humedales para el tratamiento de lixiviados, compuesta de una laguna anaeróbica (1), laguna aeróbica (2), dos humedales en paralelo con macrofitas (3) y un humedal previo al vertido con una parte de macrofitas y la otra libre (4).....	47
Figura 2.9. Procesos químicos y fotoquímicos usados en el tratamiento de lixiviados.....	50
Figura 2.10. Esquema del proceso de fotocatalisis con TiO ₂	54
Figura 2.11. Esquema de tratamiento de lixiviado de vertedero con ósmosis inversa. Caso real de una planta de tratamiento en Mechernich (Alemania).....	60
Figura 2.12. Sistema híbrido de membrana para tratamiento de lixiviado con una alta recuperación del permeado.....	63
Figura. 3.1. Vista aérea del CTR de Aranda de Duero. Coloquialmente se le denomina planta de compostaje de Aranda.....	73

Figura 3.2. Edificio de 1 ^{er} triaje, tromel, recogida del pasante, 2 ^o triaje y salida del rechazo.....	74
Figura 3.3. Vista lateral del CTG y la piscina de lixiviados.....	77
Figura 3.4. Vista superior del biofiltro.....	79
Figura 3.5. Sistema de conducción de los gases extraídos desde los túneles de fermentación al CTG. Red de riego del biofiltro.....	80
Figura 3.6. Sistema de riego de túneles.....	81
Figura 3.7. Playa de descarga. Vehículo de transferencia descargando RSU.....	82
Figura 3.8. Pala cargando los RSU desde la playa al molino rompebolsas. Cinta transportadora a la cabina de triaje 1 ^o manual.....	83
Figura 3.9. Operarios realizando 1 er triaje manual.....	84
Figura 3.10. Trojes de papel/cartón, PEAD y PET bajo cabina de triaje 1 ^o	84
Figura 3.11. Balas de PEAD almacenadas para recogida por un recuperador.....	85
Figura 3.12. Balas de plástico film almacenadas para recogida por un recuperador.....	85
Figura 3.13. Balas de Brick almacenadas para recogida por un recuperador.....	86
Figura 3.14. Balas de Papel/cartón almacenadas para recogida por un recuperador.....	86
Figura 3.15. Balas de férricos almacenadas para recogida por un recuperador..	87
Figura 3.16. Balas de PET almacenadas para recogida por un recuperador.....	87
Figura 3.17. Prensa empacando balas de férricos.....	88
Figura 3.18. Cinta de descarga de la fracción pasante (<90mm).....	88
Figura 3.19. Residuo bruto constituido, en su mayor parte, por MO (<90mm) introducida en un túnel de fermentación. Sistema de riego del túnel.....	89
Figura 3.20. Formación de un cordón con RSU saliente del túnel de fermentación.....	90
Figura 3.21. Cordón en dos mitades. ½ regado con lixiviado y ½ con agua industrial.....	91
Figura 3.22. Volteadora del cordón en nave de maduración.....	91
Figura 3.23. Volteadora del cordón regando mientras voltea.....	92
Figura 3.24. Cribado y afinado del compost.....	92
Figura 3.25. Almacenamiento del compost cribado y afinado.....	93

Figura 3.26. Plano control aguas subterráneas, superficiales y gases atmósfera.....	94
Figura 3.27. Físico-químico previo al biológico.....	96
Figura 3.28. Difusores de burbuja fina en el reactor biológico.....	97
Figura 3.29. Membrana de cartucho de PVDF.....	99
Figura 3.30. Interior de la membrana de cartucho de PVDF.....	99
Figura 3.31. La ubicación de las membranas de ultrafiltración es externa al reactor.....	100
Figura 3.32. Circuito de recorrido del retenido. Color rojo.....	101
Figura 3.33. Circuito de recorrido del permeado. Color azul.....	102
Figura 3.34. Decantador troncocónico posterior al físico-químico y previo al reactor.....	103
Figura 3.35. Vertedero del decantador.....	104
Figura 3.36. Lixiviados del vertedero. Almacenamiento en depósito de hormigón enterrado.....	105
Figura 3.37. Lixiviados del vertedero. Arqueta.....	106
Figura 3.38. Diagrama de flujo de recogida de muestras del residuo.....	111
Figura 3.39. Diagrama de flujo de recogida muestras del tratamiento de lixiviados con MBR.....	112
Figura 3.40. Centrifuga KUBOTA 6900 para analíticas de los lixiviados.....	113
Figura 3.41. Molino de bolas FRITSCH, mod pulveristte para triturado de las muestras de residuo para triturado de las muestras de residuo.....	114
Figura 3.42. Molino de bolas FRITSCH, mod pulveristte en acción.....	114
Figura 3.43. Digestión de muestras en microondas Anton Paar multiwave 3000.....	118
Figura 3.44. Espectrómetro de absorción atómico de llama PERKIN ELMER mod 3100.....	122
Figura 3.45. Diagrama de flujo del SKALAR SAN ^{plus} ANALYZER para la determinación del nitrógeno amoniacal.....	134
Figura 3.46. Determinación de nitratos y nitritos con el SKALAR SAN ^{plus} ANALYZER	136
Figura 3.47. Diagrama de flujo del SKALAR SAN ^{plus} ANALYZER para la determinación del nitritos y del nitrato.....	144

Figura 3.48. Diagrama de flujo de determinación del fosfato con SKALAR SAN ^{plus} ANALYZER	148
Figura 3.49. Determinación de la DBO ₅ (I).....	158
Figura 3.50. Determinación de la DBO ₅ (II).....	159
Figura 3.51. Determinación de la DBO ₅ (III).....	160
Figura 4.1. COT, N-total y N-NH ₄ ⁺ en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.....	195
Figura 4.2. SV y SS en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.....	196
Figura 4.3. Metales pesados Cd, Cr, Cu y Mn en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.....	196
Figura 4.4. Metales pesados Ni, Pb y Zn en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.....	197
Figura 4.5. Elementos Na y K en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.....	197
Figura 4.6. Elementos Ca, Mg y Fe en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.....	198
Figura 4.7. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en lixiviados P1, P2 y P3. Valores medios en g.L ⁻¹	199
Figura 4.8. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe en lixiviados P1, P2 y P3. Valores medios en g.L ⁻¹	199
Figura 4.9. pH, CE, C-total y C-inorgánicos en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.....	208
Figura 4.10. COT, N-total, N-NH ₄ ⁺ y N-orgánico en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.....	209
Figura 4.11. Metales pesados Cd y Cr en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.....	209
Figura 4.12. Metales pesados Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.....	210

Figura 4.13. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.....	211
Figura 4.14. Metales pesados Zn, Cu, Mn y Ni acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios....	212
Figura 4.15. Metales pesados Pb, Cr y Cd acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios....	212
Figura 4.16. Elementos K y Na acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.....	213
Figura 4.17. Elementos Ca, Mg y Fe acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.....	213
Figura 4.18. C-total, C-inorgánico y COT acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.....	214
Figura 4.19. N-total, N-NH ₄ ⁺ y N-inorgánico acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.....	214
Figura 4.20. Rectas de regresión Na = f(K), Mn = f(Ca), Ni = f(K), Ni = f (Na), Cr = f(Na) y Cr=f(K).....	221
Figura 4.21. Rectas de regresión Cr = f(Ni), Ca = f(Mg) y Cd = f(Mn).....	222
Figura 4.22. Metales pesados Cd, Cu, Ni y Pb en el material bioestabilizado final CFRULi y CFRUAI. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	223
Figura 4.23. Metales pesados Zn, Mn y Cr en el material bioestabilizado final CFRULi y CFRUAI. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	224
Figura 4.24. Elementos Na y Ca en el material bioestabilizado final CFRULi y CFRUAI. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	224
Figura 4.25. Elementos Mg y Fe en el material bioestabilizado final CFRULi y CFRUAI. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	225
Figura 4.26. Rectas de regresión Cu = f(Mn), Cr = f(Mn).....	230
Figura 4.27. Rectas de regresión Pb = f(Mn), Cd = f(Fe), Cu = f(Mg), Cr = f(Pb), Cu = f(Pb), Zn = f(Na).....	231
Figura 4.28. Rectas de regresión Cd = f(Mn), Cd = f(Cu), Cd = f(Pb), Cd = f(Mg), Pb = f(Fe), Cu = f(Fe).....	232
Figura 4.29. COT y N-total en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	233

Figura 4.30. N-NH ₄ ⁺ en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	234
Figura 4.31. Metales Pesados Cd, Cu, Ni y Pb en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	234
Figura 4.32. Metales Pesados Zn, Cr y Mn en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	235
Figura 4.33. Elementos Na y K en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	235
Figura 4.34. Elementos Ca, Mg y Fe en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	236
Figura 4.35. COT, N-total y N-NH ₄ ⁺ en lixiviado entrante compuesto por un 75% P2 y un 25% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	237
Figura 4.36. Metales Pesados Cd y Cu en lixiviado entrante compuesto por un 75% P2 y un 25% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	237
Figura 4.37. Metales Pesados Ni, Pb, Zn, Cr y Mn en lixiviado entrante compuesto por un 75% P2 y un 25% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	238
Figura 4.38. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe en lixiviado entrante compuesto por un 75% P2 y un 25% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	239

Figura 4.39. COT, N-total y N-NH ₄ ⁺ en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	240
Figura 4.40. Metales Pesados Cd, Cu, Ni, Pb, Zn y Cr en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	241
Figura 4.41. Metal Pesado Mn en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	242
Figura 4.42. Elementos Na, K, Ca y Mg en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	242
Figura 4.43. Elemento Fe en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	243
Figura 4.44. Reducción de metales pesados Cd, Cu, Ni, Pb y Cr. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P2, mezcla 75% P2 y 25% P3 y 50%P2 y 50%P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios.....	243
Figura 4.45. Reducción de metales pesados Zn y Mn. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P2, mezcla 75% P2 y 25% P3 y 50%P2 y 50%P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios.....	244
Figura 4.46. Reducción de Elementos Fe, Ca y Mg. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P2, mezcla 75% P2 y 25% P3 y 50%P2 y 50%P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios.....	244

Figura 4.47. Reducción de Elemento Na y K. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P2, mezcla 75% P2 y 25% P3 y 50%P2 y 50%P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios.....	245
Figura 4.48. COT y N-total en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	247
Figura 4.49. N-NH ₄ ⁺ en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	247
Figura 4.50. Metales Pesados Cd, Cu, Ni y Pb en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	248
Figura 4.51. Metales Pesados Zn, Cr y Mn en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	249
Figura 4.52. Elemento Fe en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	249
Figura 4.53. Elemento Na, K, Ca y Mg en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	250
Figura 4.54. COT, N-total y N-NH ₄ ⁺ en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	251
Figura 4.55. Metales Pesados Cd y Cu en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	251

Figura 4.56. Metales Pesados Ni, Pb, Zn, Cr y Mn en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	252
Figura 4.57. Elemento Fe en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	253
Figura 4.58. Elemento Na, K, Ca y Mg en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.....	253
Figura 4.59. Reducción de metales pesados Cd, Cu, Ni, Pb y Cr. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P1, mezcla 50% P1 y 50% P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios.....	254
Figura 4.60. Reducción de metales pesados Zn y Mn. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P1, mezcla 50% P1 y 50% P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios.....	254
Figura 4.61. Reducción de Elementos Fe, Ca y Mg. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P1, mezcla 50% P1 y 50% P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios.....	255
Figura 4.62. Reducción de Elemento Na y K. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P1, mezcla 50% P1 y 50% P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios.....	255
Figura 4.63. Diagrama de implantación del MBR. Situación actual y futura.....	260

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Recogida en España por modalidades. Fuente: PNIR. BOE 26-feb-09.....	14
Tabla 2.2. Instalaciones de tratamiento de RU en España. Año 2.006. Fuente: PNRI. BOE 26-feb-09.....	15
Tabla 2.3. Obligaciones impuestas por RD 1481/01 relativas a los RB admisibles en vertederos, tomando como referencia la producción de RB del año 1.995. Fuente: PNRI. BOE 26-feb-09.....	15
Tabla 2.4. Producción de GEI por categorías. *Datos en Gg de CO ₂ equivalentes. [Un Gg = 10 ⁹ T].....	19
Tabla 2.5. Límites de metales pesados admisible para la clasificación de un compost, según el RD 824/2005. Unidades en mg/Kg de materia seca. Ultima columna niveles máximos de metales pesados permitidos en el compost. Decisión Comunitaria (EC) nº 64/2007.....	24
Tabla 2.6. Límite de metales pesados en el compost de los distintos países de la UE en año 2.007. Fuente Decisión Comunitaria nº 64/2007.....	25
Tabla 3.1. Tabulación del tamaño de muestra en la determinación del nitrógeno orgánico.....	124
Tabla 3.2. Tabulación del tamaño de muestra en la determinación del nitrógeno amoniacal.....	126
Tabla 3.3. Adición de reactivos para la determinación de la DQO.....	154
Tabla 3.4. Determinación de DBO. Volumen de muestra requerido en función del rango de DBO esperado.....	158
Tabla 4.1. Parámetros físicos y químicos. Resultados analíticos de lixiviados P1.1, P2.1, P3.1.....	162
Tabla 4.2. Parámetros físicos y químicos. Resultados analíticos de lixiviados P1.2, P2.2, P3.2.....	163
Tabla 4.3. Parámetros físicos y químicos. Resultados analíticos de lixiviados P1.3, P2.3, P2.3.....	163
Tabla 4.4. Parámetros físicos y químicos. Resultados analíticos de lixiviados P1.4, P2.4, P3.4.....	164

Tabla 4.5. Metales pesados. Resultados analíticos de lixiviados P1.1, P2.1, P3.1.....	164
Tabla 4.6. Metales pesados. Resultados analíticos de lixiviados P1.2, P2.2, P3.2.....	165
Tabla 4.7. Metales pesados. Resultados analíticos de lixiviados P1.3, P2.3, P3.3.....	165
Tabla 4.8. Metales pesados. Resultados analíticos de lixiviados P1.4, P2.4, P3.4.....	165
Tabla 4.9. Elementos. Resultados analíticos de lixiviados P1.1, P2.1, P3.1.....	166
Tabla 4.10. Elementos. Resultados analíticos de lixiviados P1.2, P2.2, P3.2.....	166
Tabla 4.11. Elementos. Resultados analíticos de lixiviados P1.3, P2.3, P3.3.....	166
Tabla 4.12. Elementos. Resultados analíticos de lixiviados P1.4, P2.4, P3.4.....	166
Tabla 4.13. pH y CE. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	167
Tabla 4.14. C total, C inorgánico y COT. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	168
Tabla 4.15. N-total, N-NH ₄ ⁺ , N-orgánico. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	168
Tabla 4.16. P total, P inorgánico, P orgánico. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	169
Tabla 4.17. Metales pesados: Cd, Cr, Cu. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	169
Tabla 4.18. Metales pesados: Mn, Ni, Pb. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	170
Tabla 4.19. Metales pesados: Zn. Resultados analíticos del lixiviado en el Túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	170

Tabla 4.20. Elementos: Na, K, Ca. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	171
Tabla 4.21. Elementos: Mg, Fe. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	171
Tabla 4.22. pH, CE, C-total, MO, C/N, N-total, N-NH ₄ ⁺ , N-orgánico, P-total, P-inorgánico, P-orgánico, P ₂ O ₅ , K ₂ O y K. Resultados analíticos en el material bioestabilizado final. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	173
Tabla 4.23. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn. Elementos Na, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos en el material bioestabilizado final. Réplicas A00062, A00063 y A00064.....	174
Tabla 4.24. pH, CE, SS, C-total, C-inorgánico, COT. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.....	177
Tabla 4.25. N-total, N-NH ₄ ⁺ , N-orgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.....	177
Tabla 4.26. P-total, P inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.....	178
Tabla 4.27. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni y Pb. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.....	178
Tabla 4.28. Metales pesados Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.....	179
Tabla 4.29. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.....	179
Tabla 4.30. pH, CE, SS, C-total, C-inorgánico y COT. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.....	180
Tabla 4.31. N-total, N-NH ₄ ⁺ , N-orgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.....	180

Tabla 4.32. P-total, P-inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.....	181
Tabla 4.33. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni y Pb. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.....	181
Tabla 4.34. Metales pesados Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.....	182
Tabla 4.35. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.....	182
Tabla 4.36. pH, CE, SS, C-total, C-inorgánico y COT. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.....	183
Tabla 4.37. N-total, N-NH ₄ ⁺ , N-orgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.....	183
Tabla 4.38. P total y P inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.....	184
Tabla 4.39. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni y Pb. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.....	184
Tabla 4.40. Metales pesados Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.....	185
Tabla 4.41. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.....	185
Tabla 4.42. pH, CE, SS, C-total, C-inorgánico y COT, N-total, N-NH ₄ ⁺ y N-orgánico Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%...	188

Tabla 4.43. P total y P inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.....	189
Tabla 4.44. Metales pesados Cd, Cr y Cu. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.....	189
Tabla 4.45. Metales pesados Mn, Ni, Pb y Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.....	190
Tabla 4.46. Elementos Na, K y Ca. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.....	190
Tabla 4.47. Elementos Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.....	191
Tabla 4.48. pH, CE, SS. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 50% y P3 al 50%.....	191
Tabla 4.49. C-total, C-inorgánico y COT , N-total, N-NH ₄ ⁺ , N-orgánico, P total y P inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 50% y P3 al 50%.....	192
Tabla 4.50. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 50% y P3 al 50%.....	193
Tabla 4.51. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 50% y P3 al 50%.....	194
Tabla 4.52. Porcentaje de SV/ST en los lixiviados P1, P2 y P3. Datos en mg.L ⁻¹	204
Tabla 4.53. Correlaciones globales existentes en metales pesados y elementos en lixiviados P1, P2 y P3. ** Probabilidad del 99%. * Probabilidad del 95%.....	206

Tabla 4.54. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales, coeficiente de correlación de Pearson r y valor R ² en lixiviados P1, P2 y P3.....	207
Tabla 4.55. Metales pesados y elementos acumulados en el lixiviado del túnel de fermentación durante los quince días.....	215
Tabla 4.56. Correlaciones globales existentes en metales pesados, elementos y propiedades del lixiviado del túnel de fermentación.....	217
Tabla 4.57. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales y/o elementos y diferentes propiedades. Coeficiente de correlación de Pearson r. Valor R ² en lixiviado del túnel de fermentación durante quince días. **Probabilidad del 99%.....	218
Tabla 4.58. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales pesados y/o elementos y diferentes propiedades. Coeficiente de correlación de Pearson r. Valor R ² en lixiviado del túnel de fermentación durante quince días. **Probabilidad del 95%.....	219
Tabla 4.59. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales pesados. Coeficiente de correlación de Pearson r. Valor R ² en lixiviado del túnel de fermentación durante quince días. **Probabilidad del 95%.....	219
Tabla 4.60. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales pesados, elementos o ambos. Coeficiente de correlación de Pearson r. Valor R ² en lixiviado del túnel de fermentación durante quince días. **Probabilidad del 99%.....	220
Tabla 4.61. Reducción de metales en el material bioestabilizado final aplicando riego con agua industrial, en lugar de regar con lixiviado.....	225
Tabla 4.62. Correlaciones globales existentes en metales pesados, elementos y propiedades en el material bioestabilizado final.....	228
Tabla 4.63. Coeficiente de correlación de Pearson r entre metales pesados y/o elementos y diferentes propiedades. Valor R ² en material bioestabilizado final. **Probabilidad del 99%. * Probabilidad del 95%.....	229

Tabla 4.64. Coeficiente a y b de la recta de regresión entre metales pesados y/o elementos en el material bioestabilizado final. Correlación de Pearson r. Valor R^2 . **Probabilidad del 99%. * Probabilidad del 95%.....	230
Tabla 4.65. Estudio global en la instalación, en el físico-químico, en el biológico y en la ultrafiltración, durante las tres pruebas: Lixiviado 100% P2, lixiviado 75% P2 y 25%P3; lixiviado 50% P2 y 50% P3. Rendimiento en la reducción y porcentaje de acumulación.....	246
Tabla 4.66. Estudio global en la instalación, en el físico-químico, en la decantación, en el biológico y en la ultrafiltración, durante las dos pruebas: Lixiviado 100% P1; y lixiviado 50% P1 y 50% P3. Rendimiento en la reducción y porcentaje de acumulación.....	256
Tabla 4.67. Estudio económico sobre la viabilidad de la instalación de un MBR. (I).....	261
Tabla 4.68. Estudio económico sobre la viabilidad de la instalación de un MBR. (II).....	262

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- A00062** (réplica primera en el túnel)
- A00063** (réplica 2ª en el túnel)
- A00064** (réplica 3ª en el túnel)
- AOX** (compuestos organoclorados)
- ARi** (agua industrial)
- C/N** (relación carbono-nitrógeno)
- C/P** (relación carbono-fósforo)
- **CE** (conductividad eléctrica)
- C_{FV}** (factor de concentración volumétrico)
- CFRUAj** (compost final a partir de residuo urbano, una vez afinado, y procedente del cordón regado con agua industrial)
- CFRULj** (compost final a partir de residuo urbano, una vez afinado, y procedente del cordón regado con lixiviado procedente de la balsa de lixiviados)
- CGT** (cámara de tratamiento de gases)
- CI** (carbono inorgánico)
- CIP** (*Cleaning in place*)
- COD** (carbono orgánico disuelto)
- COND** (carbono orgánico no disuelto)
- CONP** (carbono orgánico no purgable)
- COP** (carbono orgánico purgable)
- COT** (carbono orgánico total)
- COVs** (compuestos orgánicos volátiles).
- CT** (carbono total)
- **CTR** (centro de tratamiento de residuos)
- **Da** (densidad aparente)
- DBO₅** (demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días)
- DBO** (demanda bioquímica de oxígeno)
- DQO** (demanda química de oxígeno)
- **Dr** (densidad real)
- **EELL** (envases ligeros)
- ET** (evaporación del suelo/evapotranspiración de la superficie vegetal)

- FAS** (free air space)
- FORSU** (fracción orgánica del residuo sólido urbano)
- GEI** (gases efecto invernadero)
- H** (humedad)
- LP** (producción de lixiviado)
- **MBR** (reactor biológico de membranas)
- MO** (materia orgánica)
- NTK** (nitrógeno total Kjeldahl)
- P1** (lixiviado de la balsa de lixiviados)
- P2** (lixiviado de la piscina de lixiviados)
- P3** (lixiviado del vertedero)
- PCBs** (policlorobifenilos)
- **PEAD** (polietileno de alta densidad)
- **PET** (tereftalato de polietileno)
- **PNIR** (Plan Nacional Integrado de Residuos)
- **PNRU** [Plan Nacional de Residuos Urbanos (2000-2006)]
- POAs** (procesos de Oxidación Avanzados)
- Pr** (precipitación)
- PS** (porosidad)
- PVDF** (Polifluoruro de vinilideno)
- R** (agua de escorrentía)
- RB** (residuos biodegradables)
- RI** (residuos industriales en general, incluidos los peligrosos y no peligrosos)
- RINPs** (residuos industriales no peligrosos)
- RIPs** (residuos industriales peligrosos)
- **RSU** (residuo sólido urbano o residuo domiciliario, también llamado a veces RU)
- **RU** (residuo urbano)
- RUBj** (residuo urbano bruto)
- RUCAj** (residuo urbano compostado regado con agua industrial)
- RUCLj** (residuo urbano compostado regado con lixiviado)
- RUFj** (residuo urbano fermentado)
- SBR** (reactor biológico secuencial)
- SDT** (sólidos disueltos totales)
- SS** (sólidos en suspensión)
- ΔU** (cambios en la capacidad de campo de un suelo)

- **ΔU_w** (cambios en la humedad de los residuos)
- UV** (radiaciones ultravioleta)
- SAF** (Sulfato de amonio ferroso)
- TFE** (teflón)

**CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y
PLAN DE TRABAJO**

1.1.-INTRODUCCIÓN

A medida que el desarrollo de un país va avanzando, y con ello se va produciendo una mejora del nivel de vida de sus ciudadanos, casi de manera exponencial crece la generación de **RSU** (residuo sólido urbano o domiciliario, también llamado a veces **RU**). Conscientes del problema, a partir de los años 90 las políticas relativas a la gestión de los residuos empiezan a considerar que, además de reducir la generación de residuos en origen, hay que intentar recuperar la mayor parte del residuo que producimos, evitando o reduciendo el vertido de la materia orgánica en los vertederos.

Para conseguir recuperar la **FORSU** (fracción orgánica del residuo sólido urbano), el **RSU** se deposita en un **CTR** (centro de tratamiento de residuos), en lugar de su directa deposición en vertedero.

Un **CTR** es una infraestructura ambiental donde se depositan los residuos urbanos procedentes de la recogida domiciliaria y en el que se consigue recuperar parte del papel-cartón, el plástico film, el plástico de los **EELL** (envases ligeros) como el **PET** (tereftalato de polietileno), **PEAD** (polietileno de alta densidad) y brick, el aluminio, el acero y, especialmente, la **FORSU** en forma de compost.

Uno de los subproductos más relevantes que se obtienen en un **CTR** es el compost. Tanto es así, que los centros de tratamiento de residuos se suelen denominar plantas de compostaje. Esto ocurría en el marco de la Ley 10/98 del 21 de abril de residuos. Sin embargo, el pasado año se aprobó la Ley 22/11 del 28 de julio de residuos y suelos contaminados, que deroga la anterior. Esta ley define el compost como una enmienda orgánica obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio y termófilo de residuos biodegradables recogidos separadamente. Así, la ley no considera compost el material orgánico obtenido de las plantas de tratamiento mecánico biológico de residuos recogidos "todo uno". Este material orgánico se denominará material bioestabilizado.

En consecuencia, el material que se obtiene en estos **CTR** no será compost conforme a la normativa española, ni tampoco conforme a la Directiva Comunitaria

2008/98/CE del 19 de noviembre de 2.008. La norma obliga a que el "compost" objeto de nuestro estudio sea llamado MATERIAL BIOESTABILIZADO, y únicamente pueda ser llamado COMPOST, cuando se obtenga a partir de biorresiduos [aquel residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos].

En la elaboración de esta tesis, al no estar instaurado en los sistemas de recogida de residuos de la provincia de Burgos el "*cuarto contenedor*" (sólo materia orgánica), se utilizará como materia prima para su tratamiento el residuo procedente de la recogida domiciliar y depositado en el **CTR**, obteniendo, de acuerdo con lo anterior, **Material Bioestabilizado** en lugar de **compost**. No obstante, todas las experiencias y conclusiones a que se llegue serán de aplicación para cuando se instaure y generalice el uso del "*cuarto contenedor*" y, en consecuencia en los **CTR** se obtenga compost conforme a la normativa actual.

1.2.-OBJETIVOS

Entre los objetivos generales de esta tesis está el profundizar y estudiar las diferencias existentes en los lixiviados de un vertedero y los de un **CTR**. Además se pretende profundizar en el modo de migrar los metales para la obtención de un compost de calidad.

Con carácter general se fijarán unos objetivos generales y unos objetivos específicos.

1.2.1-OBJETIVOS GENERALES

Entre los objetivos generales de la tesis está el profundizar y estudiar las diferencias existentes en los lixiviados de un vertedero y los de un **CTR**.

Se considerarán tres tipos de lixiviados:

- i) El lixiviado procedente del mantenimiento posclausura de un vertedero sellado de carácter comarcal, en el que han entrado todo tipo de **RSU**, **RIPs** (residuos industriales peligrosos) y **RINPs** (residuos industriales no peligrosos). La deposición de **RSU** era aproximadamente de 19.000 T/año y la de **RI** (residuos industriales peligrosos y no peligrosos) de 2.500 T/año. No estaba implantada la recogida separada de papel-cartón ni la recogida separada de **EELL**. Ese vertedero entró en funcionamiento en 1.997 y desde entonces ha recibido unas 256.000 T de residuos. A partir del 1 de noviembre de 2.007 ha dejado de recibir **RSU**, recibiendo sólo **RI** hasta el 1 de mayo de 2.008, fecha en la que se clausuró. El 18 de junio de 2.009 se selló, y desde el 1 de diciembre de 2.009 se está realizando el mantenimiento posclausura.

- ii) El lixiviado que atraviesa la masa de residuos introducida en los túneles de compostaje [**fase activa del proceso**] de un centro de tratamiento. Dicha planta recibe los mismos **RSU** que el vertedero del apartado anterior, pero con la recogida separada de **EELL** y Papel/cartón ya implantada, y sin la entrada de **RI**. Este lixiviado, además contendrá el procedente de la condensación y lavado de los gases extraídos de esos túneles, una vez filtrados con un biofiltro. Este lixiviado se recoge y almacena en una piscina de hormigón: piscina de lixiviados.

- iii) El lixiviado procedente del riego de los cordones de compost salidos de los túneles y apilados en la nave de maduración, después de atravesar toda la masa de residuos [**fase pasiva del proceso**]. Este lixiviado se recoge y almacena en una balsa de polietileno: balsa de lixiviados. En esa balsa, también es recogido el lixiviado que rebosa por el aliviadero de la piscina de lixiviados del punto anterior.

Conocer las diferencias, caso de existir, entre estos tres tipos de lixiviados es el primer objetivo de la tesis, relacionándolas con las diferentes estaciones del año.

El segundo objetivo será el estudio de las diferentes técnicas de tratamiento de lixiviados existentes en la actualidad, en particular los procesos de membranas. El estudio se centrará en los resultados obtenidos al tratar los diferentes tipos de lixiviados con la combinación de un tratamiento biológico y uno de membranas. En particular un **MBR** (reactor biológico de membranas) externo con ultrafiltración.

El tercer objetivo es ahondar más en los mecanismos de obtención de un compost con unos niveles de metales pesados inferiores a los actuales [lo que sea de aplicación a un MATERIAL BIOESTABILIZADO, con mayor motivo lo será para un producto más "noble" como el COMPOST]. Y esto es especialmente importante ante la más que probable posibilidad de que desde Bruselas nos impongan una nueva norma, común a todos los Estados Miembros, más restrictiva que la establecida en el actual RD 824/2.005 sobre fertilizantes. Por ello se estudiará y comparará la presencia y cantidades de metales pesados en el compost una vez realizado el cribado en el tromel de la fracción pasante a la entrada de los túneles (fase activa), en la nave de maduración (fase pasiva) y en el compost final una vez realizado el cribado y afino o (fase final).

El cuarto objetivo será el estudio secuencial de la composición del lixiviado en un túnel de fermentación. Ello nos permitirá apreciar las variaciones existentes en los diferentes parámetros analizados en el lixiviado durante los 15 días que la masa de residuos está en el túnel.

Como quinto objetivo estudiaremos la variación existente en el compost final obtenido, contemplando dos hipótesis de trabajo diferentes:

- a.- La humedad en los cordones de maduración es aportada mediante el riego con el propio lixiviado [recirculación]. Situación generalizada y comúnmente aceptada en la explotación de los **CTR**.
- b.- La humedad en los cordones de maduración es aportada mediante el riego con agua procedente de un pozo de captación [agua industrial].

1.2.2.-OBJETIVOS ESPECIFICOS

Los objetivos específicos serán:

i) Se profundizará en las diferencias existentes en los tres tipos de lixiviados y, caso de existir, se intentarán correlacionar con las diferente estación del año en que se producen.

ii) Se estudiarán las características agronómicas del compost en sus diferentes fases (residuo bruto a la entrada de los túneles, residuo fermentado a la salida de los túneles, residuo compostado en cordón tratado con lixiviado y residuo compostado tratado con agua industrial, compost afinado).

iii) Durante la fase activa del proceso que se produce en los túneles, y en base al seguimiento diario del lixiviado obtenido, se estudiarán las posibles correlaciones que pudieran existir en la forma de lixiviar los metales. Estas correlaciones se extenderán al carbono y cationes.

iv) Se estudiará la influencia que tendrá, durante la fase de maduración del compost, el empleo de agua industrial como aporte de humedad, frente al aporte de humedad únicamente con lixiviado. Se sacarán conclusiones relativas a la calidad del compost final en cada uno de los casos.

v) Se estudiarán las ventajas económicas y de gestión que puede significar un sistema **MBR** para tratar el lixiviado en contraposición a la directa recirculación del lixiviado sin depurar, y la gestión separada del lixiviado del vertedero en un centro especializado fuera de las instalaciones objeto de este estudio.

vi) Se obtendrá un balance de masas lo más aproximado y ajustado a la realidad

1.3.- PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo para cada uno de los objetivos establecidos, se podría concretar en:

i) Para los tres tipos de lixiviados, se tomarán las muestras en las cuatros estaciones del año: primavera, verano, otoño e invierno. Se obtendrán las concentraciones en metales pesados, cationes, pH, CE, DBO, DQO, SS, etc..

ii) Para el compost final obtenido, en cada uno de los casos se obtendrá la concentración de metales, cationes, materia orgánica, pH, CE, etc..

iii) El estudio a realizar en el túnel de compostaje del **CTR** de Aranda de Duero se hará en el túnel nº A [la instalación cuenta con seis túneles: A, B, C, D, E y F]. La duración de las pruebas será de unas 9-10 semanas (15 días/túnel más los tiempos de llenado y vaciado del túnel. Tres réplicas). La toma de muestras será diaria y lo más representativa posible. La experiencia se repetirá tres veces, obteniendo tres réplicas diferentes, de la siguiente manera: una vez llenado el túnel con el **RSU** bruto se cerrará y permanecerá así durante 15 días con la masa de residuos. Transcurrido ese tiempo el túnel se vaciará y se comenzará a llenar nuevamente con diferentes tongadas de **RSU** hasta llenarlo y repetir el proceso. Finalmente, el proceso se repetirá una tercera vez. El riego de los túneles se realizará con agua industrial, con un caudal de 1.200 litros/día (18 m³/túnel). [Ver cronograma]

iv) El estudio a realizar en la fase de maduración, se realizará en cada cordón obtenido en cada una de las tres réplicas realizadas el punto anterior. La duración de las pruebas será de 11-12 semanas desde la obtención del primer residuo fermentado (4 semanas/cordón, más la formación del cordón y posterior afinado). Cada cordón se partirá longitudinalmente en dos partes iguales (1/2 cordón). La primera mitad del cordón se volteará semanalmente y se le aplicará un riego semanal con agua industrial. El volumen de agua suministrada será de 1.000 litros/volteo (4 m³/ ½ cordón). La segunda mitad del cordón se volteará semanalmente y se le aplicará un riego con lixiviado

procedente de la balsa de lixiviados. El volumen de riego suministrado será de 1.000 litros/volteo (4 m³/ ½ cordón). [Ver cronograma]

v) El estudio a realizar con el **MBR** y los lixiviados durará 5 semanas. Las pruebas se realizarán en dos fases diferentes:

- Se realizará con un **MBR** precedido de un tratamiento físico-químico. En un primer momento se harán pruebas únicamente con lixiviado procedente de la piscina de lixiviados. En un segundo momento se utilizará el lixiviado procedente de la piscina de lixiviados y el lixiviado del vertedero mezclados en proporciones 25%-75%. Por último, se realizará una nueva prueba con los dos lixiviados anteriores pero mezclados en la proporción 50%-50%. Las pruebas durarán 3 semanas.

- Se realizarán pruebas con el **MBR**, incluido el tratamiento físico-químico, pero con un decantador troncocónico intercalado entre el físico-químico y el reactor. Inicialmente se probarán los resultados únicamente con lixiviado procedente de la balsa de lixiviados. Se repetirán las pruebas con una mezcla de lixiviado de la balsa de lixiviados y el lixiviado del vertedero, en proporción 50%-50%. Las pruebas durarán 2 semanas.

CRONOGRAMA Túnel y cordones	Semana-1							Semana-2							Semana-3							Semana-4							Semana-5							
	Día-1	Día-2	Día-3	Día-4	Día-5	Día-6	Día-7	Día-8	Día-9	Día-10	Día-11	Día-12	Día-13	Día-14	Día-15	Día-16	Día-17	Día-18	Día-19	Día-20	Día-21	Día-22	Día-23	Día-24	Día-25	Día-26	Día-27	Día-28	Día-29	Día-30	Día-31	Día-32	Día-33	Día-34	Día-35	
Llenado túnel residuo del tromel																																				
Estancia 15 días en el túnel																																				
Vaciado túnel a los 15 días.																																				
Formación cordón con residuo saliente del túnel																																				
1er Volteo y riego cordón																																				
2º Volteo y riego cordón																																				
3er Volteo y riego cordón																																				
4º Volteo y riego cordón																																				
Afino 1/2 cordón regado con lixiviado																																				
Afino 1/2 cordón regado con agua industrial																																				

Figura 1.1. Cronograma en túnel y cordones. Semana 1 a semana 5.

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

CRONOGRAMA Túnel y cordones	Semana-6					Semana-7					Semana-8					Semana-9					Semana-10																	
Semana-6/Semana-10	Día-36	Día-37	Día-38	Día-39	Día-40	Día-41	Día-42	Día-43	Día-44	Día-45	Día-46	Día-47	Día-48	Día-49	Día-50	Día-51	Día-52	Día-53	Día-54	Día-55	Día-56	Día-57	Día-58	Día-59	Día-60	Día-61	Día-62	Día-63	Día-64	Día-65	Día-66	Día-67	Día-68	Día-69	Día-70			
Llenado túnel residuo del tromel																																						
Estancia 15 días en el túnel																																						
Vaciado túnel a los 15 días.																																						
Formación cordón con residuo saliente del túnel																																						
1er Volteo y riego cordón																																						
2º Volteo y riego cordón																																						
3er Volteo y riego cordón																																						
4º Volteo y riego cordón																																						
Afino 1/2 cordón regado con lixiviado																																						
Afino 1/2 cordón regado con agua industrial																																						

Figura 1.2. Cronograma en túnel y cordones. Semana 6 a semana 10.

CRONOGRAMA Túnel y cordones	Semana-11					Semana-12					Semana-13					Semana-14					Semana-15																		
Semana-11/Semana-15	Día-71	Día-72	Día-73	Día-74	Día-75	Día-76	Día-77	Día-78	Día-79	Día-80	Día-81	Día-82	Día-83	Día-84	Día-85	Día-86	Día-87	Día-88	Día-89	Día-90	Día-91	Día-92	Día-93	Día-94	Día-95	Día-96	Día-97	Día-98	Día-99	Día-100	Día-101	Día-102	Día-103	Día-104	Día-105				
Llenado túnel residuo del tromel																																							
Estancia 15 días en el túnel																																							
Vaciado túnel a los 15 días.																																							
Formación cordón con residuo saliente del túnel																																							
1er Volteo y riego cordón																																							
2º Volteo y riego cordón																																							
3er Volteo y riego cordón																																							
4º Volteo y riego cordón																																							
Afino 1/2 cordón regado con lixiviado																																							
Afino 1/2 cordón regado con agua industrial																																							

Figura 1.3. Cronograma en túnel y cordones. Semana 11 a semana 15.

Réplica-1. A00062	
Réplica-2. A00063	
Réplica-3. A00064	

Figura 1.4. Colores de cada réplica

Para cada una de las tres réplicas, el tiempo estimado en llenar un túnel con los **RU** es de 4 días. El tiempo estimado en el vaciado del túnel y en la extensión del compost formando un cordón de dos mitades es de 3 días.

El tiempo de estancia de la masa de residuos para las pruebas en los túneles, en cada una de las tres réplicas, es de 15 días. Igualmente, para cada réplica, el tiempo de estancia de cada cordón en la nave de maduración es de 28 días. El séptimo día desde que se extendió el cordón se dará un volteo y 1 riego. La operación se repetirá las siguientes semanas, los días 14, 21 y 28. El tiempo estimado para el afino del cordón es de 8 días (4 días cada medio cordón).

CAPÍTULO 2.- DESARROLLO TEÓRICO

2.1-PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS

El principal problema que presentaban los **RU**, además de su constante crecimiento, es que la forma de deshacernos de ellos era su directa deposición en los vertederos, en la mayor parte de las veces, y, las menos, en incineradoras.

Los vertederos, si por algo se han caracterizado especialmente durante la últimas dos décadas, y antes, era su nula o inexistente gestión. La ausencia de controles y de unas pautas de seguimiento, así como la admisión generalizada de todo tipo de residuos era una práctica habitual y extendida en la explotación de los vertederos municipales. Además éstos solían tener un marcado carácter comarcal, con lo cuál el número existente de vertederos era altísimo. Todo esto, unido a la ausencia de unos criterios constructivos comunes, hicieron proliferar las **emisiones de CH₄ y CO₂** a la atmósfera, contribuyendo a incrementar los **GEI** (gases efecto invernadero) y, además, **la fuga de lixiviados a las aguas subterráneas** con la consiguiente contaminación de éstas originando trastornos y daños a la salud y al medio ambiente. La presencia de roedores e insectos en las inmediaciones que actúan como vectores de infecciones y enfermedades no contribuía a tranquilizar la situación.

Considerando que éste no era un problema exclusivo de España, sino una norma más o menos extendida en el ámbito territorial de la UE, las autoridades comunitarias tomaron bien nota de ella y fruto de ello es la aparición de la Directiva Comunitaria 99/31/CEE de 26 de abril relativa al vertido de residuos.

La Directiva 99/31/CEE pudiera tener sus antecedentes en la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos de EEUU (Resource Conservation and Recovery Act, 1.976) que regulaba la disposición de los residuos en los vertederos debido al incremento de éstos y la modificación de sus características como consecuencia del continuo desarrollo técnico y económico, reconociendo la propia ley que el vertido de los residuos sólidos y los residuos peligrosos en el vertedero sin una planificación y sin una correcta gestión, puede presentar riesgos para la salud humana y el medio ambiente. (Murphy, 2.004)

Esta Directiva Comunitaria fue traspuesta a norma de ámbito nacional mediante el RD 1481/01, de 27 de diciembre, que regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertederos.

El objeto de este Real Decreto es el establecimiento de un marco jurídico y técnico adecuado para las actividades de eliminación de residuos mediante depósito en vertederos, además de regular las características de éstos y su correcta gestión y explotación, todo ello teniendo en cuenta el principio de jerarquía en la gestión de residuos: prevención, reducción, reutilización, valorización y eliminación.

Se establecen tres categorías de vertederos: vertederos de residuos peligrosos, de residuos no peligrosos y de residuos inertes.

Como hechos de singular relevancia en este Real Decreto se destaca:

1º.-Se establecen una serie de requisitos generales para la construcción de los vertederos, en particular: ubicación, control de aguas y gestión de lixiviados, protección del suelo y de las aguas, control de gases, molestias y riesgos, estabilidad y cerramientos.

2º.-Se regulan los criterios y procedimientos para la admisión de los residuos en un vertedero, fijando: criterios provisionales de admisión, procedimientos generales de prueba y admisión (estableciendo 3 niveles), y toma de muestras de los residuos.

3º.-Se fijan unos procedimientos de control y vigilancia en la fase de explotación y mantenimiento posterior: datos meteorológicos; control de aguas superficiales, lixiviados y gases; protección de aguas subterráneas y topografía del vaso de vertido.

En consecuencia, a raíz de la Directiva Comunitaria 99/31/CE y con el RD/1481, las autoridades españolas comienzan a poner un poco de orden en la deficiente gestión medioambiental de los vertederos existentes. Surge así, el **PNRU**

[Plan Nacional de Residuos Urbanos (2.000-2.006)] aprobado por Consejo de Ministros el 7 de enero de 2000.

2.2.-PLAN NACIONAL DE RESIDUOS URBANOS (2.000-2.006)

El **PNRU**, surge como consecuencia de la Ley 10/98 de, 21 de abril, de Residuos; la Ley 11/97 de, 24 de abril, de envases y residuos de envases; la Directiva 91/156/CEE o "Directiva Marco" de residuos que modifica la 75/442/CEE y de la Directiva 99/31/CE, del 26 de abril, relativa a vertidos.

El Plan incorpora las directrices, prioridades y criterios establecidos por la UE, y da respuesta a la obligación de establecer planes de gestión de residuos, tal y como específica la "Directiva Marco" de Residuos. Además, teniendo en cuenta la Directiva 99/31/CEE, establece la obligatoriedad de reducir las cantidades destinadas a eliminación.

El **PNRU** incorpora también otras recomendaciones y estrategias en la gestión de los residuos, como las establecidas en la conferencia de Estocolmo de 1.972, la Conferencia de Río de 1992, el 5º Programa de acción de la UE "Hacia un desarrollo sostenible", y la Resolución del Consejo, de 24 de febrero de 1997, sobre una estrategia comunitaria de residuos. El 5º programa de acción de la UE establece una estrategia de gestión jerarquizada siendo la última opción la eliminación:

- 1.-Prevención
- 2-Reutilización
- 3.-Reciclado
- 4.- Valorización energética
- 5.-Eliminación

El **PNRU** fija un marco legal y la descripción de la situación actual, además de fijar unos objetivos, el desarrollo del Plan, su programa de inversiones y la financiación.

En lo referente a los vertederos, la descripción no puede ser más elocuente, reconociendo la existencia de numerosos vertederos incontrolados y de vertederos autorizados (aquellos que aún contando con la correspondiente autorización administrativa no se adaptan a la Directiva 99/31/CE).

El Plan establece para el periodo 2000-2006, en virtud de la anterior Directiva, la clausura y restauración paisajística de los vertederos que no la cumplan; la eliminación y aprovechamiento del biogas existente en los grandes vertederos produciendo energía eléctrica y el sellado y recuperación de las zonas degradadas por los vertidos incontrolados. Para ello compromete inversiones por valor de 818 MM de euros (136.146 MM de Ptas de entonces) para el periodo 2000-2006 que se destinará a la construcción de 150 vertederos controlados, el sellado y clausura de 3700 emplazamientos incontrolados, y la restauración paisajística de más de 4.000 vertederos ya clausurados.

2.3.-EL PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (2.008-2.015)

Como continuación del **PNRU** surge el **PNIR** (Plan Nacional Integrado de Residuos), aprobado por Consejo de Ministros el 26 de diciembre de 2.008 (BOE 26-feb-09). Entre otros aspectos, al igual que el anterior Plan, describe la situación actual de los **RU** en España, integra los Planes Regionales de residuos de las CCAA, y fija objetivos y estrategias para el periodo 2.008-2.015.

Así, la producción de **RU** en el año 2.006 fue 23.648.032 T, frente a 14.914.235 T del año 1.995. Un 86% de los RU son recogidos de manera selectiva. [Ver tabla 2.1].

Modalidad de Recogida	Toneladas	Porcentaje
RECOGIDA SELECTIVA. Separados en domicilio:	2.519.340	11%
Papel/cartón	934.062	4%
Vidrio	562.000	2%
EELL	606.200	3%
F. Orgánica	417.078	2%
RECOGIDA SELECTIVA. Separados en puntos limpios	697.432	3%
FRACCION RESTO. Residuos mezclados	20.431.260	86%
TOTAL RU RECOGIDO	23.648.032	

Tabla 2.1 Recogida en España por modalidades. Fuente: PNIR.BOE 26-feb-09

Las instalaciones destinadas al tratamiento y/o eliminación de **RSU** y clasificación de envases en España eran, en el año 2.006, un total de 373. [Ver tabla 2.2]. **Aumentan las instalaciones de tratamiento disminuyendo drásticamente el número de las destinadas a eliminación.**

La distribución es la siguiente:

- Eliminación: 193
 - Vertederos: 183
 - Incineradoras: 10
- Tratamiento biológico: 90
 - Compostaje fracción biodegradable (FB) recogida selectivamente: 18
 - Triaje y compostaje: 59
 - Triaje, biometanización y compostaje: 13
- Clasificación de envases: 90

Instalaciones	Nº de centros	Entrada (T/año) 2.006
Instalaciones de clasificación de envases	90	606.200
Instalaciones de compostaje de FB recogidas selectivamente	18	160.017
Instalaciones de triaje y compostaje	59	6.991.541
Instalaciones de triaje, compostaje y biometanización	13	1.168.565
Instalaciones de incineración*	10	2.024.586
Vertederos*	183	16.007.098

Tabla 2.2. Instalaciones de tratamiento de RU en España. Año 2.006. Fuente: PNRI. BOE 26-feb-09.

*En las entradas de los vertederos y las incineradoras, están contabilizadas las toneladas de rechazo proveniente de las plantas de tratamiento.

La suma de la fracción orgánica recogida selectivamente (417.078 T) y la Fracción resto "residuos mezclados" (20.431.260 T) es 20.848.338 T. El nº de toneladas de **RU** que se someten en el año 2.006 a un tratamiento biológico que tenga como consecución la producción de compost es de 8.320.123 T. Es decir, un 36% de los residuos generados es sometido a un tratamiento biológico con formación de compost.

Año	Reducción	Cantidad RB (T)
2.006	75%	8.950.607
2.009	50%	5.967.071
2.016	35%	4.176.950

Tabla 2.3. Obligaciones impuestas por RD 1481/01 relativas a los RB admisibles en vertederos, tomando como referencia la producción de RB del año 1.995. Fuente: PNRI. BOE 26-feb-09.

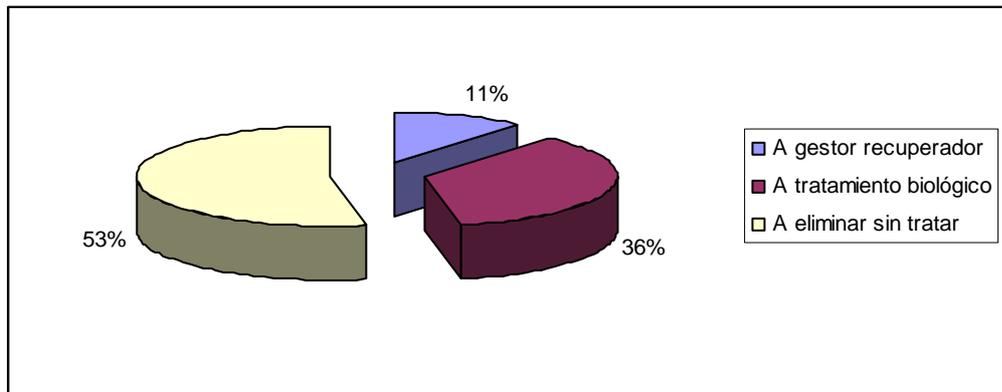


Figura. 2.1. Distribución porcentual del destino del RU una vez recogido

La tabla 2.2 recoge, en el 2.006, un total de 2.024.586 T sometidas a incineración y 16.007.098 T destinadas a vertedero. Estas cifras recogen la fracción rechazo de las plantas de tratamiento que es eliminada en incineradoras y vertederos junto a la fracción que no tiene ningún tipo de tratamiento.

De las tablas del anexo II del **PNIR** se obtiene que el rechazo obtenido en las instalaciones de compostaje de **FB** recogida selectivamente; las de triaje y compostaje; y las de triaje compostaje y biometanización es 23.725 T, 4.408.450 T y 705.960 T, respectivamente. En total suponen 5.138.135 T de rechazo (un 61,7% del **RSU** entrante). Este rechazo es llevado a incineración o vertido. Luego las 18.031.684 T destinadas a incineración incluyen las 5.138.135 T de rechazo. La diferencia sería RSU sin ningún tipo de tratamiento (12.893.549 T).

En el propio Plan, la estrategia de desvíos de **RB** (residuos biodegradables) de vertederos, encaminada a reducir, entre otros, la emisión de lixiviados, gases, inestabilidades en la masa de residuos y evitar olores y la indeseada presencia de animales y roedores en los vertederos, propone como estrategia: *“Aumento del compostaje y de la biometanización de la fracción orgánica recogida selectivamente. Incrementar la cantidad de fracción orgánica recogida selectivamente como mínimo a 2 millones de toneladas para destinarla a dichas instalaciones.”*.

La producción de compost y/o material bioestabilizado en una instalación de compostaje o biometanización de RU es sobre el 7-11% del residuo entrante. **En el año 2.006** habiéndose destinado 8.320.123 T de **RU** a un tratamiento biológico, **la producción estimada de compost se situaría en la horquilla: 582.409 T-915.214 T.** De hecho, la tablas del anexo II indican que la producción de compost fue 639.258 T (7,7%) y el rechazo 5.138.135 T (61,7%).

Por otro lado, en el año 2.005, España emitió a la atmósfera 440.649,1 Gg* de CO₂-eq, de ellos 37.268,65 Gg fueron en forma de CH₄, y de éstas 8.628,39 Gg de CO₂-eq procedían de vertederos. El Inventario Nacional de **GEI**, para el año 2.006, establecía que el 22% del CH₄ generado provenía de los vertederos. Además el metano tiene una incidencia en el calentamiento global mucho mayor que el CO₂, del orden de 23 veces más [según el IPCC's Third Assessment Report (2.001), and U.S. Energy Information Administration (EIA), Emissions of Greenhouse Gases in the United States (2.003), 1 tonelada de CH₄ equivale a 23 T de CO₂]. Esta cantidad representaba el 2% del total de **GEI**, cantidad pequeña en comparación con la agricultura o el cultivo de arroz, pero suficiente para, mediante su reducción, contribuir a cumplir con los objetivos fijados para España en el marco del Protocolo de Kioto (cantidad asignada para el quinquenio 2.008-2.102: 1.666.196 Gg [333.239 Gg anuales]).

En consecuencia, la necesidad de cumplir con el RD 1481/01, donde se establece que la cantidad de **RB** a depositar en vertedero no puede superar los valores establecidos en la tabla adjunta; la directa relación que hay entre el aporte de **RB** a los vertederos y la generación de **GEI**; y la aprobación del Plan Nacional Integrado de Residuos (2.008-2.015), nos permiten concluir, con un muy pequeño margen de error, que **en los próximos años, la cantidad de RU destinados a compostaje será cada vez mayor y el contenido de RB destinado a vertedero será cada vez menor.**

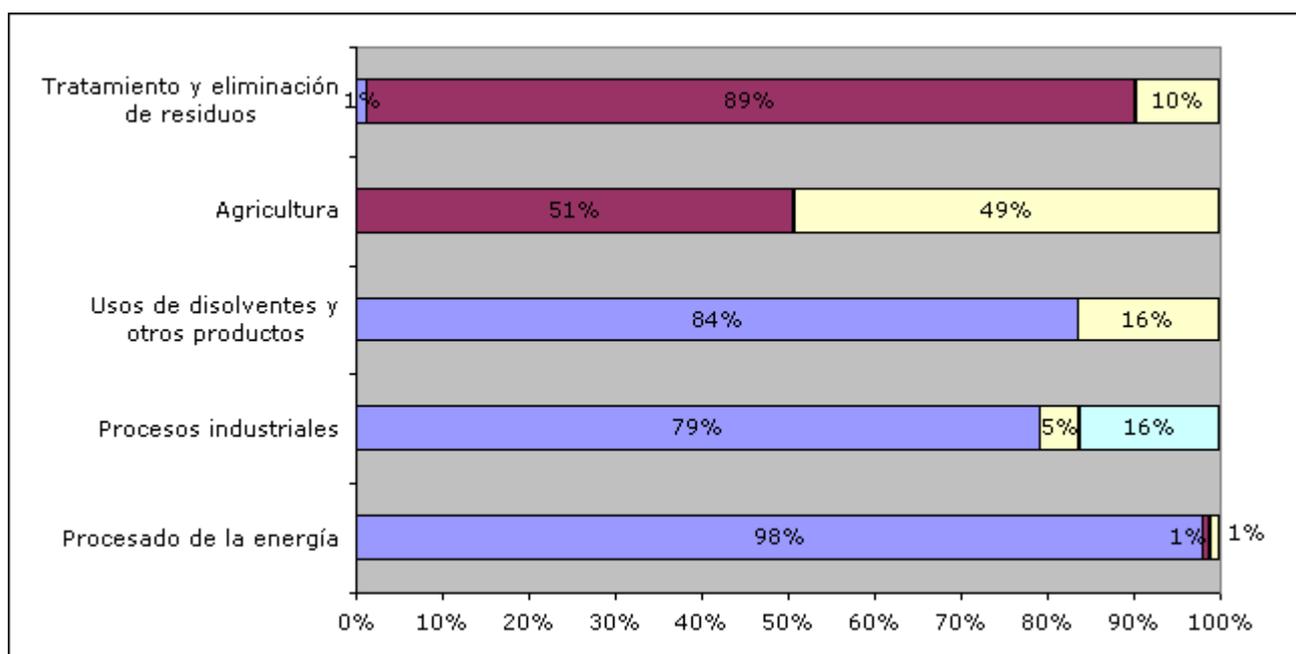
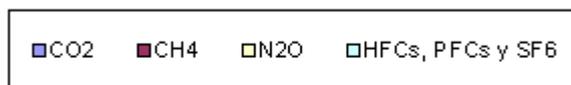


Figura 2.2. Distribución porcentual de los GEI en España. Año 2.005.

GEI. Categorías.							
*Datos en Gg (kilotoneladas) equivalentes de CO ₂	CO ₂ *	CH ₄ *	N ₂ O*	HFCs*	PFCs*	SF ₆ *	TOTAL*
Total (Emisión Bruta)	368.282,28	37.268,65	29.571,21	5.010,91	244,41	271,63	440.649,10
1.-Procesado de la energía	340.149,19	2.953,30	4.423,47				347.525,96
A. Actividades de combustión	337.908,46	1.103,74	4.423,40				343.435,59
A.1. Industrias del sector energético	125.161,07	94,05	747,9				126.003,02
A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	71.179,05	176,83	621,62				71.977,50
A.3. Transporte	102.435,77	175,92	2.711,17				105.322,87
A.4. Otros sectores	39.132,56	656,94	342,7				40.132,20
A.5. Otros							0
B. Emisiones fugitivas de los combustibles	2.240,74	1.849,56	0,07				4.090,37
B.1. Combustibles sólidos	89,91	940,81					1.030,72
B.2. Petróleo y gas natural	2.150,83	908,75	0,07				3.059,65
2.-Procesos Industriales	26.759,68	67,52	1.562,64	5.010,91	244,41	271,63	33.916,79
A. Productos minerales	22.238,82						22.238,82
B. Industria química	726,56	51,69	1.562,64				2.340,89
C. Producción metalúrgica	3.794,29	15,83			143,19		3.953,31
D. Otras industrias							0
E. Producción de halocarburos y SF ₆				680,93			680,93
F. Consumo de halocarburos y SF ₆				4.329,98	101,22	271,63	4.702,84
G. Otros							0
3.-Uso de disolventes y otros productos	1.236,61		243,35				1.479,96
4.-Agricultura	0	22.677,42	22.087,25				44.764,67
A. Fermentación entérica		13.498,08					13.498,08
B. Gestión del estiércol		8.870,62	2.927,80				11.798,42
C. Cultivo del arroz		297,89					297,89
D. Suelos agrícola			19.156,78				19.156,78
E. Quemadas planificadas de sabanas							0
F. Quema en el campo de residuos agrícolas		10,83	2,67				13,51
G. Otros							0
5.-Cambios de uso del suelo y silvicultura	0						
6.-Tratamiento y eliminación de residuos	136,8	11.570,42	1.254,50				12.961,71
A. Depósito en vertederos	11,2	8.628,39	2,98				8.642,56
B. Tratamiento de aguas residuales		2.141,70	1.196,67				3.338,37
C. Incineración de residuos	125,6	112,75	54,85				293,2
D. Otros		687,58					687,58

Tabla 2.4. Producción de GEI por categorías. *Datos en Gg de CO₂ equivalentes. [Un Gg = 10⁹ T]

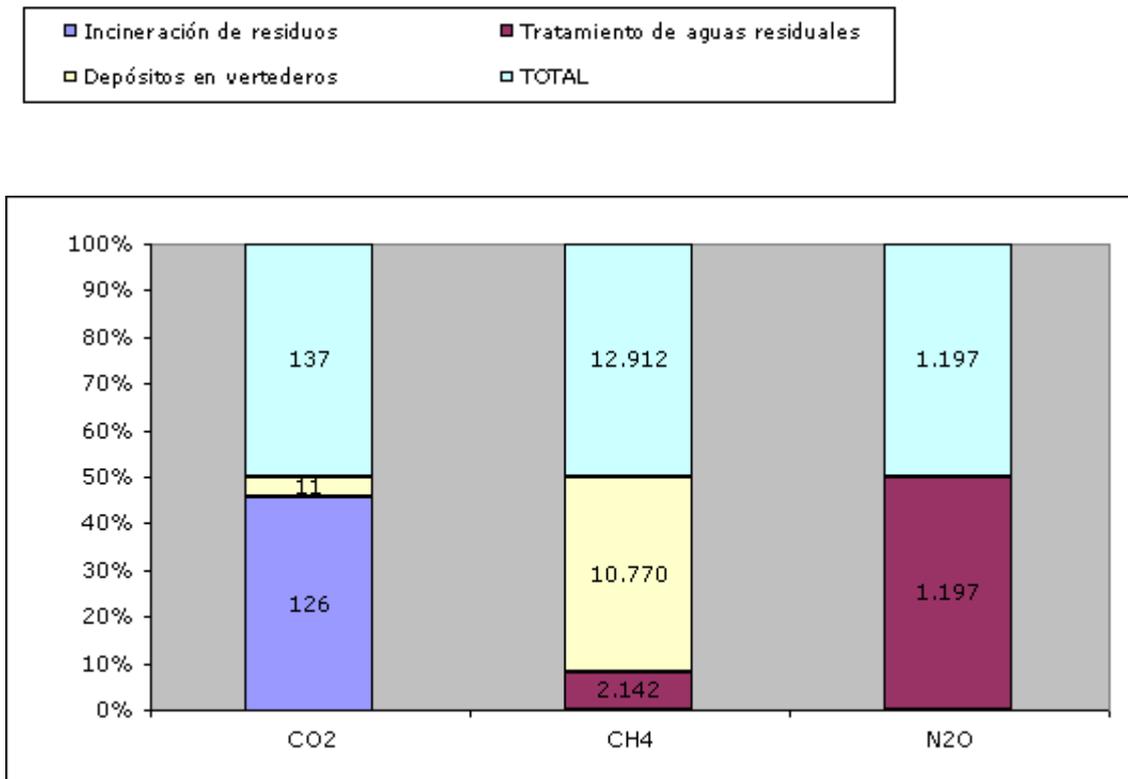


Figura. 2.3. Emisiones GEI del tratamiento y eliminación de RU. Datos en Gg de CO₂ equivalente. Año 2.005

2.4.-EL TRATAMIENTO DE LOS RSU

La obligatoriedad por Ley, de ir disminuyendo progresivamente el aporte de **FB** a los vertederos, y la necesidad de valorizar los **RSU**, bien como recuperación energética mediante la biometanización o a través de la producción de compost, hace que se modifique el ciclo de los residuos, de manera que en vez de recoger y eliminar, hay que recoger, tratar y eliminar (sólo lo no valorizable, la "fracción rechazo"). Como consecuencia de lo anterior surge el tratamiento de los **RSU**.

De manera esquemática exponemos el diagrama de flujo de una planta de compostaje y de una planta de biometanización, ambas tienen como finalidad la

valorización de los RSU. En el primer caso produciendo compost y recuperando materiales como brick, **PET**, **PEAD**, metales férricos y no férricos. En el segundo caso, además de lo anterior, producirá biogas y con él energía eléctrica.

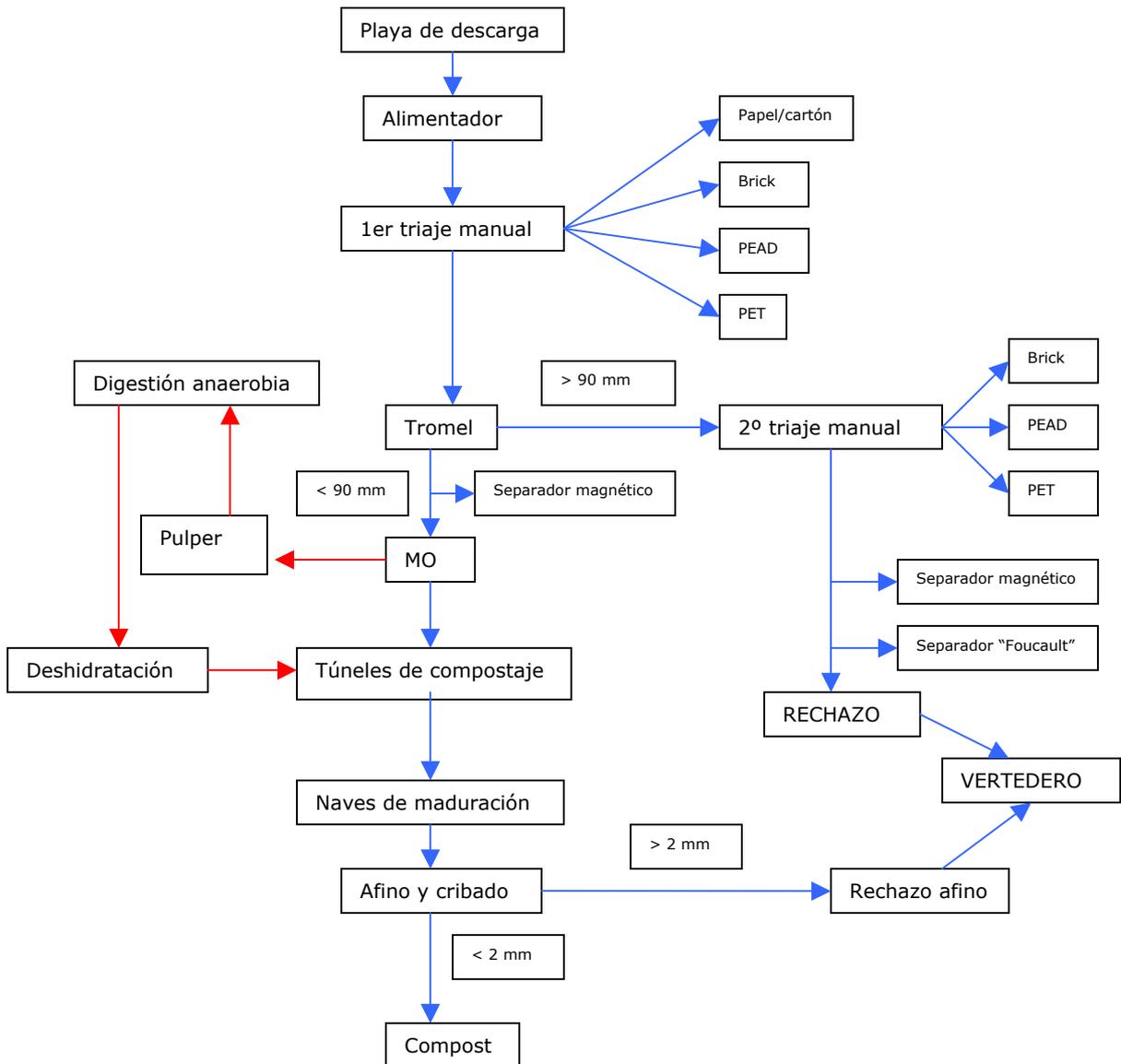


Figura 2.4. Diagrama de flujo de dos CTR: una planta de compostaje de RU y una planta de biometanización.

En el diagrama de flujo de la figura, se ve en color azul una planta de compostaje. En la planta de biometanización el flujo del residuo es idéntico a la de compostaje. La diferencia está en que la materia orgánica antes de entrar en los túneles es introducida en los digestores, previo paso por un pulper, y deshidratada.

Los **RU** entran en la playa de descarga, procedente de los vehículos de recogida municipal. De ahí, son enviados mediante cintas a un primer triaje manual donde se separan el papel-cartón y plásticos (**PEAD, PET, Bricks**) en trojes diferentes. Después de ese primer triaje pasan a un tromel donde se separa la fracción pasante (< 90 mm), constituida en su mayor parte por materia orgánica, y la fracción no pasante (> 90 mm) que es sometida a un segundo triaje manual. La fracción pasante es sometida a un separador magnético para eliminar los elementos férricos y la no pasante, una vez realizado el triaje, a un separador magnético y a otro de inducción para separar los férricos y no férricos. El producto final obtenido es considerado rechazo y es depositado directamente en el vertedero.

Por lo que respecta a la fracción orgánica, es enviada a unos túneles de fermentación, donde controlándose las condiciones de humedad y temperatura se aceleran las reacciones químicas y durante 2 semanas se desarrolla la fase activa del compostaje. De ahí el compost es enviado a una nave de maduración y es dispuesto en cordones para su estabilización, donde en 6-8 semanas será sometido a un cribado y afino para obtener finalmente un compost de granulometría < 25 mm y apto para ser usado como enmienda orgánica. En estas instalaciones la finalidad es la producción de un compost de calidad. No obstante, el compost obtenido sólo se podrá denominar como tal si el material de partida es la fracción orgánica de **RSU** recogida de manera separada. Caso de que el material de partida sea el **RSU** procedente de la recogida "todo uno", el producto final no podrá llamarse compost, se denominará material bioestabilizado.

En las plantas de biometanización el proceso es idéntico, únicamente la variación consiste en que la materia orgánica se introduce en un pulper con agua para ser "acondicionado" y facilitar la fase de hidrólisis, facilitando la permeabilidad de la membrana de las células. Además, las arenas y tierras procedentes de la

limpieza viaria son depositadas en el fondo, a la vez que una cizalla permite seguir triturando la materia orgánica. De ahí el residuo se envía a los digestores donde será sometido a un proceso de digestión anaerobia a temperatura de 30-35°C, con un tiempo de retención hidráulico de 15-20 días, cerca del 50% de los sólidos volátiles serán transformados en biogas con un 60-65% de CH₄ y será transformado en electricidad con unos motogeneradores. El digesto obtenido será deshidratado con unas centrifugas e introducido en los túneles de compostaje para continuar el proceso anteriormente descrito.

2.5.-EL COMPOSTAJE DE LOS RSU.

2.5.1.-COMPOST. DEFINICIONES

El RD 824/2005, de 8 de julio, sobre fertilizantes, define el compostaje como un "proceso controlado de transformación biológica aeróbica y termófila de materiales orgánicos biodegradables que da lugar a los tipos de enmiendas orgánicas, cuyas características se detallan en el grupo 6 del anexo I del Real Decreto.

Estas características son, entre otras, materia orgánica >35%, humedad entre 30-40% y **C/N** < 20. Las piedras y gravas eventualmente presentes de diámetro superior a 5 mm, no superarán el 5%. Las impurezas (metales, vidrios y plásticos) eventualmente presentes de diámetro superior a 2 mm no superarán el 3%. El 90% de las partículas pasarán por la malla de 25 mm. No deberán superar los siguientes niveles máximos de microorganismos: Salmonella ausente en 25 g de producto elaborado y Escherichia coli < 1.000 ufc por g de producto elaborado.

El compost es una enmienda orgánica, es decir, es una enmienda procedente de materiales carbonatados de origen vegetal, animal o de ambos, que se utiliza para mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Atendiendo a la mayor o menor presencia de metales pesados el compost se clasificará en "clase A", "clase B" o "clase C".

El uso del compost se extiende más allá de la utilización en las tierras de cultivo. Se puede utilizar como elemento para recuperar las propiedades bioquímicas de los suelos forestales quemados. Estos suelos se caracterizan por una gran disponibilidad de nutrientes como el fósforo, por su mineralización en los horizontes superficiales, y por la pérdida por lavado de los elementos más móviles, como el N-nítrico. (C. Rad *et al.*; 2.008). Puede ser usado para prevenir la erosión del suelo. De hecho, la liberación del nitrógeno del compost es importante para el crecimiento de la cobertura vegetal. Pero si el ratio de liberación es demasiado alto conducirá a un indeseable crecimiento de maleza y malas hierbas que, a su vez, pueden originar otros problemas como incremento de herbívoros, aumento del stress hídrico, mayores riesgos ante las heladas, además de incrementar los niveles de nutrientes en el agua de escorrentía. (B. Barakat Al-Bataina, 2.008)

También puede ser utilizado para la recuperación de suelos contaminados, mediante técnicas como las de biorremediación. Consiste en un proceso natural, a lo largo del cuál distintos microorganismos son capaces de eliminar los contaminantes orgánicos e inorgánicos de un determinado medio. (C. García Izquierdo, et al., 2.008).

Metal pesado	Clase A	Clase B	Clase C	Borrador UE
Cd	0,7	2	3	1,5
Cu	70	300	400	100
Ni	25	90	100	50
Pb	45	150	200	120
Zn	200	500	1.000	400
Hg	0,4	1,5	2,5	1
Cr (total)	70	250	300	100
Cr (VI)	0	0	0	

Tabla 2.5. Límites de metales pesados admisible para la clasificación de un compost, según el RD 824/2005. Unidades en mg/Kg de materia seca. Ultima columna niveles máximos de metales pesados permitidos en el compost. Decisión Comunitaria (EC) nº 64/2007.

La mayoría de los microorganismos son capaces de utilizar compuestos presentes en su entorno y transformarlos en precursores de sus constituyentes celulares, ya que obtienen de ellos la energía que necesitan para realizar los procesos biosintéticos. A causa de esta capacidad de adaptación, las bacterias del suelo y algunos hongos son capaces de metabolizar núcleos y radicales relativamente inertes y utilizarlos como fuentes de carbono y energía para su crecimiento. (D.T. Vilarreal *et al.*, 1.991), (E. Ferrer *et al.*, 1.996), (M. Martín *et al.*, 1.999)

País	Cd	Cr (total)	Cr (VI)	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Austria	1	70		150	0,7	60	120	500	
Bélgica	1,5	70		90	1	20	120	300	
Bulgaria									
Chipre									
República Checa	2	100		100	1	50	100	300	10
Alemania	1,5	100		100	1	50	150	400	
Dinamarca	0,8			1.000	0,8	30	120	4.000	25
Estonia		1.000		1.000	16	300	750	2.500	
España	2	250	0	300	1,5	90	150	500	
Finlandia	1,5	300		600	1	100	150	1.500	25
Francia	3	120		300	2	60	180	600	
Grecia	10	510	10	500	5	200	500	2.000	15
Hungría	2	100		100	1	50	100		10
Irlanda	0,7	100		100	0,5	50	100	200	
Italia	1,5		0,5	230	1,5	100	140	500	
Lituania	1,5	140		75	1	50	140	300	
Luxemburgo	1,5	100		100	1	50	150	400	
Letonia	3			600	2	100	150	1.500	50
Países Bajos	1	50		90	0,3	20	100	290	15
Polonia	3	100		400	2	30	100	1.500	
Portugal									
Suecia	1	100		600	1	50	100	800	
Eslovenia	0,7	80		100	0,5	50	80	200	
Eslovaquia	2	100		100	1	50	200	400	
Reino Unido	1	100		200	1	50	200	400	
UE	1,5	100		100	1	50	120	400	

Tabla 2.6. Límite de metales pesados en el compost de los distintos países de la UE en año 2.007. Fuente Decisión Comunitaria nº 64/2007

En el aspecto relativo a la presencia de metales pesados en el compost, no hay un consenso generalizado en el ámbito de la UE en cuanto a los niveles máximos permitidos. La Decisión nº64/2007, consciente de ello, ha intentado homogeneizar y unificar criterios, sin que hasta el momento se haya elevado Directiva alguna a este respecto. En la tabla adjunta se ven las importantes diferencias existentes en la, entonces, Europa de los 25 para cada uno de los países miembros.

2.5.2.-HISTORIA DEL COMPOSTAJE

Uno de las principales descripciones de la técnica del compostaje se atribuye a los caballeros templarios del siglo III, como así lo atestiguan documentos en la Librería Nacional de Madrid, Archivo de Historia Natural de Madrid, manuscritos de los monjes cistercienses de Fitero, Poblet, Sates Cruces, Huerta; y archivos de la Diputación de Cáceres (M. de Bertoldi, 1.999). En ellos se describe las técnicas usadas por los templarios para recuperar la fertilidad en suelos áridos y agotados mediante el uso del compost. Se puede asumir que los Templarios enseñaron diversos aspectos de la geología y biología del suelo, el arte del compostaje y los elementos básicos de la agronomía y la fertilidad de un suelo (L. Dailliez, 1.981).

Uno de los primeros documentos de la aplicación del compostaje en la gestión de los RSU data de la India en 1933 (M. de Bertoldi, 2.007). A su vez, Albert Howard describe, en colaboración con otros, un procedimiento de elaboración de compostaje conocido como "Proceso Indore" (L.P.Brunt, 1.949). Consistía en apilar los **RSU**, incluso con heces humanas y animales y airearlo dos veces, pudiendo durar el proceso más de seis meses.

Entre 1950 y 1955 Golueke investigó sobre aspectos más importantes del compostaje de la mezcla de residuos municipales, residuos de comida, y otros residuos biodegradables con y sin la adición de biosólidos (University of California, 1.953; C.G. Golueke, 1.954; C.G. Golueke and H.B. Gotass, 1.954; Golueke *et al.*, 1.954). Sus investigaciones han conducido a los actuales sistemas de compostaje.

Actualmente, los sistemas de compostaje están muy estudiados y su funcionamiento y los microorganismos responsables es sobradamente conocido.

2.5.3.-FACTORES QUE AFECTAN AL COMPOSTAJE

El proceso del compostaje, muy esquemáticamente presenta 4 fases: mesófila (10-42°C), termófila (45-70°C), enfriamiento o segunda fase mesófila y maduración. A su vez todo este conjunto de fases cronológicamente enumeradas, se podrían dividir en dos etapas: etapa activa o bio-oxidativa (1-2 meses de duración) y etapa pasiva o de maduración (2-4 meses de duración). El resultado final es un humus estable.

Este proceso, que de manera natural, colocando los residuos en pilas o mesetas, sin más operaciones importantes que volteos semanales, dura entre 3 y 6 meses puede ser acortado hasta las 6-8 semanas de duración mediante métodos más sofisticados de control de los parámetros más importantes. Es pues vital conocer cuáles son esos parámetros de control y seguimiento.

Para comprobar la bondad del proceso de compostaje es muy importante controlar una serie de variables que se clasifican en dos tipos (P. Bueno *et al.*, 2.008):

1.- Parámetros de seguimiento. Son aquellos que han de ser medidos, seguidos durante todo el proceso y adecuados, en caso de ser necesario, para que sus valores se encuentren en los intervalos considerados correctos para cada fase del proceso (J.S. Jeris *et al.*, 1.973). P. Bueno y F. Cabrera, 2.008, consideran como tales la temperatura, la humedad, el pH, la aireación y el espacio libre.

2.-Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato. Son aquellos que han de ser medidos y adecuados a sus valores correctos fundamentalmente al inicio del proceso (E. Madejón *et al.*, 2.001). P. Bueno y F. Cabrera, 2.008, consideran como tales el tamaño de la partícula, las relaciones C/N y C/P,

nutrientes, materia orgánica (**MO**) y Conductividad eléctrica (**CE**).

i) PARÁMETROS DE SEGUIMIENTO:

Temperatura: En el instante inicial la masa de residuos se encuentra a la misma temperatura. A medida que se va desarrollando la actividad microbiana, la Tª va creciendo. Es pues, el incremento de la temperatura el mayor indicador de que la actividad microbiana se está desarrollando. Pequeñas variaciones de Tª afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios en el pH, **C/N** o la humedad.

Cada microorganismo tiene un rango óptimo de Tª en el que su actividad es mayor y más efectiva: 15-40°C para los microorganismos mesófilos y 40-70°C para los microorganismos termófilos (D.J. Suler y Col, 1.977). A medida que la actividad microbiana se va desarrollando mayor será la descomposición de los residuos y, en consecuencia, mayor será el desprendimiento de calor. Por otro lado, ese calor es mitigado, en parte con los volteos de las pilas extendidas en cordones donde se esté madurando el compost, y mediante el riego, permitiendo "refrigerar" la masa de residuos.

En ocasiones, la temperatura se dispara hasta alcanzar los 70-90°C, lo que origina la muerte de microorganismos, es lo que se conoce como "suicidio microbiano" (M.S. Finstein *et al.*, 1.980).

Para conseguir unos niveles altos de biodegradación y un máximo de diversidad microbiana, la temperatura debe estar en un rango entre 30°C-45°C. (M. de Bertoldi *et al.*, 1.983; M.S. Finstein *et al.*, 1.983; E.I. Stentiford, 1.993). Esto no significa que debamos de prescindir de la fase termófila, al ser la más importante para la eliminación de los agentes patógenos.

Humedad: Precisamente por el propio proceso biológico que se produce en la descomposición de los residuos y el tránsito de sustancias solubles desde los propios residuos en descomposición a los microorganismos responsable de este proceso, sería impensable que se llevase a buen término sin la presencia del agua.

El crecimiento microbiano alcanza su óptimo entre el 50-70%, decreciendo mucho por debajo del 30%, mientras que por encima del 70% el agua desplaza al aire que ocupa los espacios libres existentes entre las partículas, facilitando la entrada en anaerobiosis del compost. (P. Bueno *et al.*, 2.008)

pH: Cualquier materia orgánica con un pH entre 3-11, puede ser compostada, si bien su óptimo sería entre 5,5-8 (M. de Bertoldi *et al.*, 1.985). Durante el proceso del compostaje, el pH sufre diferentes oscilaciones pasando de un estado inicial ligeramente ácido (pH=5,5-8) a una bajada, por la liberación de ácidos orgánicos (fase mesófila), que lo colocarían en 5 o incluso menos. Esto ocurre en los primeros días. A los 3 días, y consecuencia de la fase anterior, la Tº sube y se produce un progresivo aumento del pH en la fase termófila por la generación de amoníaco y la pérdida de los ácidos orgánicos que lo hace ligeramente básico, alcanzando hasta pH 8-8,5. A partir de ahí, el pH suavemente desciende, entrando el compost en una fase de enfriamiento que continúa con el lento descenso del pH hasta niveles de pH 7-8.

Durante la fase de maduración el pH se mantiene prácticamente constante (formación del humus). Un compost maduro presentará un pH 7-8. Un compost con pH <7 será sinónimo de un compost inmaduro y, probablemente, en anaerobiosis.

Aireación: A diferencia de la digestión anaerobia, estamos hablando de un proceso oxidativo aerobio, donde los protagonistas son organismos aerobios, con lo que la presencia de O₂ es vital.

El aire, se encuentra en los interespacios de la masa de residuos, variando su composición durante la actividad microbiana. Además, la parte externa de los residuos contiene mucho más oxígeno que la interior. De ahí la necesidad de voltear las parvas con cierta frecuencia: por un lado disminuimos la temperatura, y por otro lado oxigenamos la masa de residuos.

A las pocas horas de iniciarse el compostaje, como consecuencia de la actividad microbiana, los niveles de oxígeno caen hasta unos niveles muy bajos,

debiendo de ser suplementados por ventilación de la masa (volteando las pilas o por ventilación forzada en los túneles).

Un exceso de ventilación podría suponer un enfriamiento de la masa y una alta desecación con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos (N.W. Zhu, 2.006).

Espacio de aire libre: Es Shulze en 1.962, quien utiliza el concepto **FAS** (free air space) por primera vez aplicado al suelo, de manera que relaciona la estructura física de los residuos con la **H** (humedad), la **Da** (densidad aparente), la **Dr** (densidad real) y la **PS** (porosidad).

$$\mathbf{FAS = PS \times [1-(H/100)]}. \text{ Donde } \mathbf{PS = 100 \times [1-(Da/Dr)]}$$

FAS, PS y H en % y **Da** y **Dr** en g/cm³

El proceso de compostaje ocurre con mayor rapidez (mayor consumo de oxígeno) cuando **FAS** =30-35%. (J.S Jeris *et al.*, 1973)

ii) PARÁMETROS RELATIVOS A LA NATURALEZA DEL SUSTRATO:

Tamaño de la partícula: A mayor superficie a disposición de la actividad microbiana por unidad de masa más rápidamente se desarrollará la reacción. Los tamaños de las partículas varían según autores. Así, Kiehl en 1.985, establece el óptimo de tamaño de las partículas entre 2 y 5 cm; Haug en 1.993 establece el óptimo entre 1 y 5 cm; y Tchbanogolus en 1.994 entre 2,5 y 2,7 cm. Parece obvio que el triturado y/o desmenuzado del residuo favorece la actividad microbiana.

Relación C/N y C/P: La relación **C/N** óptima en la materia a compostar está en el intervalo 25-35 (B.S. Jhorar *et al.*, 1.991). Por eso un valor razonable lo podremos situar en 30:1.

Una relación **C/N** < 20, es lo mismo que decir un sustrato donde abunda el nitrógeno, en esas circunstancias, el amonio puede ser volatilizado en forma de amoniaco o oxidado a nitrato mediante los procesos de nitrificación. En un material

a compostar con baja relación **C/N** (<18-19) el compostaje se lleva a cabo con mayor rapidez (C.G. Golueke *et al.*, 1.987; Zhu, 2.006), pero se desprende como amoníaco el exceso de N, produciéndose una autorregulación de la relación **C/N** (Jhorar *et al.*, 1.991). Por el contrario, cuando la relación **C/N** > 30, en ese caso el nitrógeno no es disponible y suele predominar la inmovilización.

Una relación **C/N** > 40 disminuye la actividad biológica y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono ralentizándose el proceso debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos (P. Bueno *et al.*, 2008)

La relación **C/N** juega un papel importante en los fenómenos de nitrificación-desnitrificación. No nos interesa ni que el nitrógeno se transforme rápidamente en nitritos y nitratos, pues al ser usado en el suelo será fácilmente lavado. Tampoco nos interesa que se nos pierda rápidamente en forma volátil como N₂ o NH₃.

El proceso de compostaje consigue descomponer la materia orgánica gracias a los organismos aerobios heterótrofos, los aerobios autótrofos son los responsables de nitrificación y los facultativos heterótrofos de la desnitrificación (Haug 1.980).

Durante el proceso de compostaje aproximadamente el 94% del amonio presente en el sustrato original es liberado del sustrato o transformado en diferentes formas de nitrógeno (J.J. LaGorga, 1.996).

La relación **C/N** óptima para un compost ya maduro es 10, similar al del humus. En general por debajo de 20 ya es estable.

Después del C y el N, el fósforo es el tercer nutriente más importante para el desarrollo de los microorganismos responsables del compostaje. Una relación **C/P** óptima para el material a compostar es 75-150 (Bueno *et al.*, 2.008).

Nutrientes: Son elementos básicos y fundamentales para que los microorganismos responsables de llevar a cabo las reacciones químicas conducentes a la degradación de los compuestos químicos y a la formación de humus, crezcan y se desarrollen. Son "el alimento" de esos microorganismos. Se comprueba que, en general, entre el inicio y el final de la incubación se produce un aumento de las concentraciones de los distintos nutrientes, debido a la pérdida de materia orgánica de la masa a comportar (M.J. Díaz *et al.*, 2.004, F.C. Michel *et al.*, 2.004).

La utilidad agronómica de los residuos con posibilidad de ser compostados está en función de la disponibilidad de los elementos nutritivos que posean (F.J. Kiehl, 1.985). Los microorganismos sólo pueden aprovechar compuestos simples, por lo que las moléculas más complejas se rompen en otras más sencillas (por ejemplo, las proteínas en aminoácidos y éstos en amoníaco) para poder ser asimiladas (P. Castaldi *et al.*, 2.005).

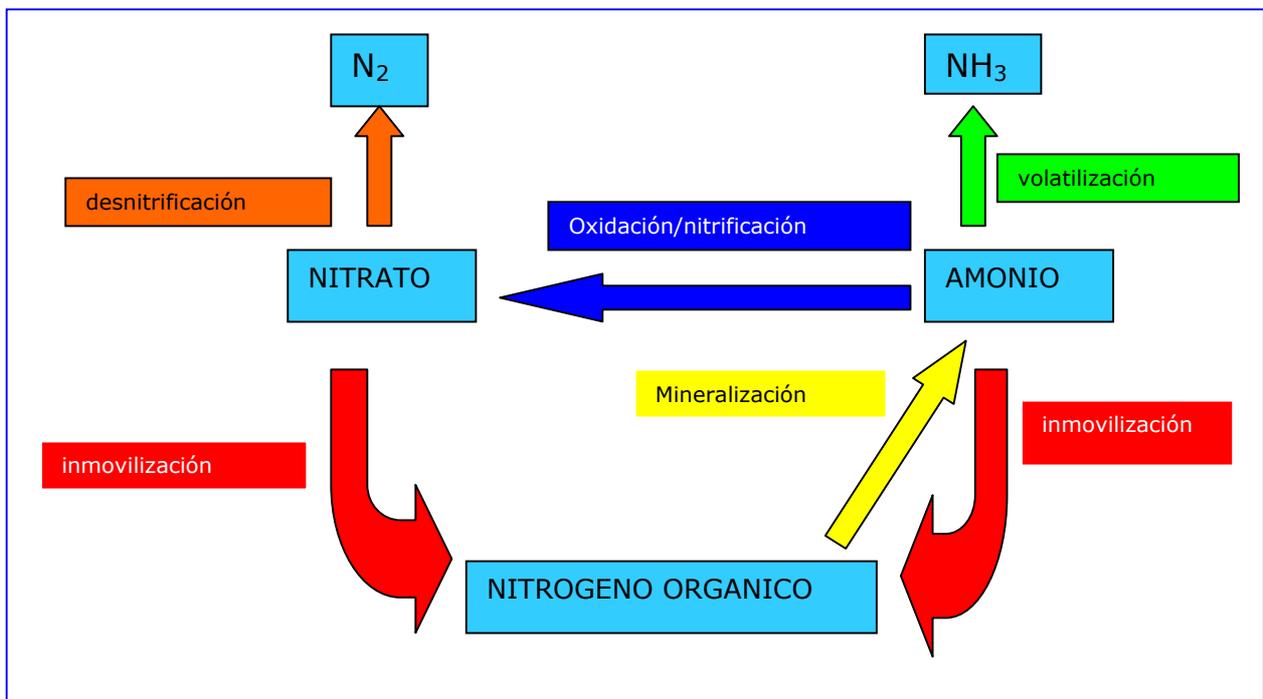


Figura 2.5. El ciclo del nitrógeno. Inmovilización, volatilización. Nitrificación y desnitrificación.

Los más importantes son C, N y P, macronutrientes fundamentales en el desarrollo microbiano. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, y la de los lípidos, grasas y carbohidratos; durante el metabolismo se oxida para producir energía y CO₂; constituye el 50% de las células de los microorganismos y el 25% del CO₂ que se desprende en la respiración. El nitrógeno es esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma. Y el fósforo forma un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía. (Bueno *et al.*, 2.008)

La MO (materia orgánica): La propia definición de compost nos condiciona y obliga a tener una mínima cantidad de carbono, por debajo de la cuál no se podría llamar como tal. Kiehl, en 1985, dice que la **MO** es el principal factor para determinar su calidad agronómica. Durante el compostaje la **MO** tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de CO₂, estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20% en peso de la masa compostada (F. Zucconi *et al.*, 1.987).

La CE (conductividad eléctrica): Nos va a condicionar la aplicación y uso que hagamos de ese compost.

La conductividad de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (M.A. Sánchez-Monedero *et al.*, 2.001). Como norma, suele aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, y aumento de la concentración de nutrientes. Ocasionalmente, puede descender por lixiviación, aumentando la conductividad del lixiviado.

2.5.4. MICROBIOLOGIA DEL COMPOST

La diversidad microbiana es un prerrequisito para el compostaje satisfactorio de cualquier sustrato. Durante el mismo, se desarrolla una gran variedad de microorganismos aeróbios mesófilos, termotolerantes y termófilos que incluyen

bacterias, actinomicetos, hongos y levaduras. Algunos estudios puntuales han determinado la presencia de arqueas. (J. Moreno *et al.*, 2.008).

Se han realizado trabajos para intentar elaborar un inventario de los microorganismos implicados en los diferentes procesos de compostaje. Se han contabilizado 155 especies distintas de bacterias, 33 de las cuales son actinomicetos, pertenecientes a 66 géneros diferentes, y 408 especies de hongos incluidos en 160 géneros distintos. (J. Ryckeboer *et al.*, 2.003). No obstante, se asume que el conocimiento de la microbiota del compostaje aun es limitado, ya que incluso los resultados obtenidos aplicando las técnicas moleculares más avanzadas no dan cuenta del total de las poblaciones microbianas asociadas al proceso (Schloss *et al.*, 2.005).

Los géneros bacterianos más frecuentemente detectados en la mayoría de los procesos de compostaje son *Bacillus*, *Pseudomonas*, y el actinomiceto *Streptomyces*. Dentro del grupo de las arqueas (similar comportamiento al de las bacterias pero separadas filogenéticamente) sólo se ha encontrado las arqueas anaerobias productoras de metano. (V.R. Cahyani *et al.*, 2.004). Los hongos más frecuentes han sido los del género *Aspergillus* y *Penicillium*, seguidos de los del género *Mucor*, *Acremonium*, *Mortierella*, *Fusarium* *Chaetomium* y *Scopulariopsis*. Las levaduras más frecuentes son las de los géneros *Cándida*, *Rhodotorula*, *Kluyveromyces*, *Pichia*, *Torulopsis* Y *Trichosporon*.

Durante la fase mesófila (10°C-40°C), la T^a se incrementa rápidamente, el pH sufre amplias variaciones, y se degradan los compuestos orgánicos más simples. Los microorganismos implicados en esta fase son los bacterias y hongos mesófilos y termotolerantes, que utilizan sustancias carbonadas solubles y de fácil degradación (azúcares y aminoácidos), originando una bajada del pH, por la aparición de ácidos orgánicos. Las bacterias con metabolismo oxidativo y fermentativo, son las que alcanzan mayores niveles en esta fase, principalmente las bacterias Gram negativas y productoras de ácido láctico. (Ryckeboer *et al.*, 2.003).

La riqueza de especies fúngicas es bajo respecto al de las bacterias, pero la

dinámica poblacional sigue un patrón muy parecido a de ésta. (A.M. Hansgate *et al.*, 2.005).

Durante la fase termófila (40°C-70°C) proliferan exclusivamente microorganismos termotolerantes y termófilos como los actinomicetos (*Thermoactinomyces* s.p), diversos *Bacillus* spp termófilos y bacterias Gram negativas como *Thermus* e *Hydrogenobacter*. En el inicio de esta fase, cuando han sido retirados los nutrientes fácilmente asimilables, comienzan a predominar los actinomicetos, en particular los estreptomicetos que, junto con algunos *Bacillus*, comienzan a metabolizar proteínas incrementando la liberación de amoníaco con la consiguiente alcalinización. En esta fase se metabolizan moléculas como la lignocelulosa (M. Tuomela *et al.*, 2.000). Las bacterias más abundantes hasta que se alcanzan los 50-60°C son las esporuladas como *Bacillus* spp., y los actinomicetos termotolerantes y termófilos. La actividad microbiana decrece notablemente a partir de los 66-70°C. (F. Miyatake *et al.*, 2.005).

Las etapas de enfriamiento y maduración se caracterizan por el crecimiento de una nueva comunidad mesófila diferente a la fase mesófila inicial. Predominan hongos y actinomicetos capaces de degradar compuestos complejos. Las bacterias mesófilas se encuentran en bajo número en esta fase, pero su diversidad es mayor que en las fases anteriores y presentan nuevas actividades importantes para la maduración del compost. Estas bacterias no sólo están implicadas en la oxidación de la materia orgánica, también participan en la oxidación del hidrógeno, amonio, nitrito y sulfuros, en la fijación del nitrógeno, reducción de sulfatos, producción de exopolisacáridos, y producción de nitrito a partir de amonio bajo condiciones heterotróficas. (M. Diaz-Raviña *et al.*, 1.989), (T. Beffa *et al.*, 1.996).

A medida que avanza la maduración la comunidad se hace más estable y compleja, con una composición que se asemeja bastante a la de ambientes oligotróficos como los suelos, apareciendo microorganismos típicos en este hábitat como *Arthrobacter*. A la actividad de los hongos y bacterias durante la maduración se suma la de otros organismos que contribuyen a la degradación y estabilización final de la materia orgánica, como los protozoos, nemátodos y miriápodos. (J.

Moreno *et al.*, 2.008).

2.6.-LOS LIXIVIADOS

Se procede a describir lo que es un lixiviado, su composición, los diferentes tipos de tratamiento que existen y los riesgos para la salud humana que implican

2.6.1.- DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN

Por el término de lixiviado nos referiremos, según el RD 1481/2001, a cualquier líquido que percole a través de los residuos depositados y que rezume desde o esté contenido en un vertedero. Es el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión (Tchobanoglous *et al.*, 1.994).

La cantidad de lixiviado se puede calcular mediante el siguiente balance

$$LP = Pr - (R + \Delta U + ET + \Delta U_w)$$

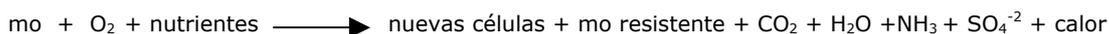
Donde **LP** = producción de lixiviado, **Pr** = precipitación, **R** = agua de escorrentía, **ΔU** = cambios en la capacidad de campo de un suelo, **ET** = evaporación del suelo/evapotranspiración de la superficie vegetal y **ΔU_w** = cambios en la humedad de los residuos.

Hemos visto que los lixiviados se pueden generar en un vertedero (condiciones anaerobias) o en un **CTR** (condiciones aerobias), y dentro de un **CTR** pueden tener distinto origen: el lixiviado que atraviesa el biofiltro, el lixiviado que atraviesa la masa de residuos en los túneles, o el lixiviado que atraviesa el residuo en la nave de maduración. Donde más se ha profundizado y estudiado es en el lixiviado de los vertederos, caso bien distinto es los generados en las plantas de tratamiento.

En el primer caso (vertedero) la descomposición de la materia orgánica responde a la siguiente ecuación:



En el segundo caso (**CTR**) a esta ecuación:



Lixiviado en un vertedero:

La composición química del lixiviado varía mucho según la edad del vertedero. Así, durante la fase ácida de la descomposición de la materia orgánica, el pH será bajo y las concentraciones de **DBO₅**, **DQO**, **COT**, nutrientes y metales pesados serán altas. Sin embargo, durante la fase de fermentación del metano el pH estará entre 6,5- 7,5, y los valores de **DBO₅**, **DQO**, **COT**, nutrientes y metales pesados serán significativamente más bajos. La mayoría de los metales son menos solubles para valores de pH neutros. Por otro lado, el pH será más bajo cuanto mayor sea la presencia de ácidos y cuanto mayor sea la presión parcial del CO₂. (Tchobanoglous *et al.*, 1.994).

Los procesos de tratamiento afectan a la distribución de los metales. Es crucial especificar las fracciones metálicas cuando evaluamos la movilidad y la ecotoxicidad de los metales. Hay una clara y directa relación entre el comportamiento de los metales presentes en el lixiviado y el pH. (Yanyu Wu, *et al.*, 2.011)

La naturaleza del lixiviado de un vertedero también está muy condicionada por los diferentes tipos de residuos que ha venido recibiendo. Se han realizado experiencias con simulaciones donde se concluye que una reducción del 40% de los plásticos depositados en vertedero reduce el tiempo de persistencia del benceno de 59 a 39 años y el del cloruro de vinilo de 47 a 29 años; una reducción del 40% del deposito de papel reduce la persistencia del cloruro de 49 a 35 años y el de los sólidos totales de 75 a 59 años; y una reducción de 30% de la materia orgánica depositada reduce la persistencia de los sólidos disueltos de 75 a 59 años. (B.

Tansel *et al.*, 2.010).

Los metales existen bajo diferentes formas químicas, como iones libres, o formando ligandos con compuestos orgánicos e inorgánicos, variando sus características físico-químicas e influyendo significativamente en su movilidad, disponibilidad y toxicidad (P. Janos *et al.*, 2.004; M. Pesavento *et al.*, 2.009; L.P. Weng *et al.*, 2.002).

De igual manera que la solubilidad de los metales y, en consecuencia su presencia en el lixiviado viene condicionada por el pH, también la biodegradabilidad del lixiviado variará con el tiempo. Al principio la relación **DBO₅/DQO** estará próxima a 0,5 (una relación **DBO₅/DQO** entre 0,4-0,6, es sinónimo de una buena biodegradabilidad de la materia orgánica). Un vertedero antiguo tendrá una relación **DBO₅/DQO** entre 0,05 y 0,2, debido a la abundancia de ácidos húmicos y fúlvicos, difícilmente biodegradables. Los lixiviados de vertederos jóvenes generalmente son más fáciles de tratar que los más antiguos, así un lixiviado con una **DBO₅/DQO** baja tiene un contenido en materia orgánica altamente persistente difícil de tratar (Y.Deng, 2.007; O. Primo *et al.*, 2.008).

Una relación **DBO/DQO** entre 0,22-0,26 indica una baja fracción biodegradable en el lixiviado. Una baja **DBO/DQO** que significa un incremento de actividad microbiana que se traduce en una reducción de la fracción biodegradable (Obuli P. Karthikeyan *et al.*, 2.006).

Es una práctica habitual para tratar el lixiviado que se genera en un vertedero en funcionamiento, el actuar recirculando el lixiviado en el propio vertedero. De hecho, hay experiencias al respecto que constatan la obtención de unos buenos resultados. Así, se consigue incrementar la degradación de la materia orgánica (**DBO** 99%, **DQO** 88% y **COT** 81%) y una clara disminución en la concentración de los nutrientes presentes en el lixiviado, especialmente el amonio (85%). (Obuli P. Karthikeyan *et al.*, 2007).

Nuevas técnicas y diseños de explotación se están desarrollando para tratar

el lixiviado del vertedero *in situ* operando con el vertedero como con un bioreactor.

El incremento de la humedad contenida en el residuo sólido al 40% o más (mediante recirculación del lixiviado o añadiendo agua) incrementa los procesos de biodegradación. Incluso hay trabajos realizados, sobre la forma física de aplicación de ese lixiviado a recircular: goteo, en cascada, en racimo, etc. (T.J. Murphy, 2.004). También hay nuevos modelos que establecen que el modo de atravesar la masa de residuos el lixiviado recirculante, viene condicionado por las características del residuo, la variación de la conductividad hidráulica, el agua contenida, saturada y drenada y explican la forma en que estos parámetros varían con la profundidad. (J.K. White, 2.010)

Lixiviado en un CTR (masa de residuos):

En este caso la variación más importante del lixiviado se producirá en la fase activa del compostaje (túneles de compostaje), no siendo importantes en la fase pasiva (nave de maduración). Y esto es así, principalmente por las variaciones del pH que se originan en la fase activa, especialmente al principio, en la fase mesófila, que suele ir acompañada en el pH, por la producción de ácidos. Reseñar que en este aspecto, a diferencia de con los lixiviados de vertedero, poco hay estudiado.

Lixiviado en CTR (biofiltro):

Aquí convendría profundizar un poco en el fundamento de los biofiltros. Es un proceso de naturaleza biológico, aunque los procesos de adsorción y absorción de los contaminantes coexisten con el proceso de biodegradación (J.S. Devinny *et al.*, 1.999). Mediante este proceso, los microorganismos existentes en un sustrato poroso adecuado se organizan formando una micropelícula que actúa degradando los compuestos volátiles contaminantes que atraviesan el lecho poroso del sustrato. (A. Roig *et al.*, 2.008)

Las características que debe presentar un buen material de soporte para

biofiltración son: contenido de nutrientes adecuado, una elevada capacidad de retención de agua, un pH cercano a la neutralidad, una elevada porosidad, fácilmente colonizable, estable económicamente y un coste moderado. (Devinny *et al.*, 1.999).

En el caso que nos ocupa, el material que forma parte del sustrato es corteza de pino, pero pudiera ser compost o cualquier otro material. El compost además de una alta disponibilidad presenta una serie de propiedades específicas como la presencia de una compleja comunidad microbiana capaz de degradar diversos contaminantes, una elevada capacidad de retención de agua y un contenido variado de nutrientes esenciales para el crecimiento celular (E. Pagans *et al.*, 2.005).

Como desventajas del compost tendríamos la tendencia a la compactación, lo que dificulta una eficaz distribución del aire y un aumento de la pérdida de carga del sistema (Y.H. Liu *et al.*, 2.005).

En la absorción, el flujo de gas contaminado se pone en contacto con una fase líquida que disuelve los contaminantes a eliminar. El contaminante no se elimina, simplemente es transferido a otra fase para ser tratado. Es un proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra incorporándose al volumen de la segunda fase.

La adsorción consiste en la ausencia de equilibrio entre las fuerzas moleculares, lo que permite la unión entre las diferentes partículas, adhiriéndose las partículas de gas a otras de adsorbente en fase sólida. Es un proceso físico o químico por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material.

Aunque la biofiltración es un proceso biológico, los fenómenos de adsorción y absorción de los contaminantes coexisten con el proceso de biodegradación (Devinny *et al.*, 1.999).

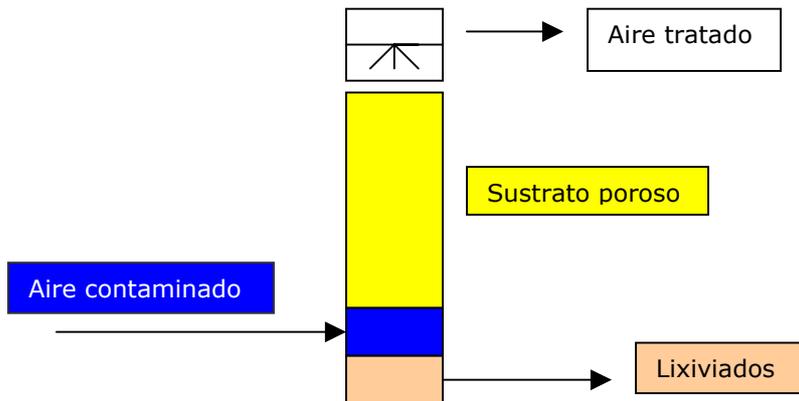


Figura 2.6. Esquema de funcionamiento de un biofiltro para tratar los gases que se producen en un túnel de fermentación

La eliminación de gases se centra principalmente en el amoníaco (NH_3) y los **COVs** (compuestos orgánicos volátiles).

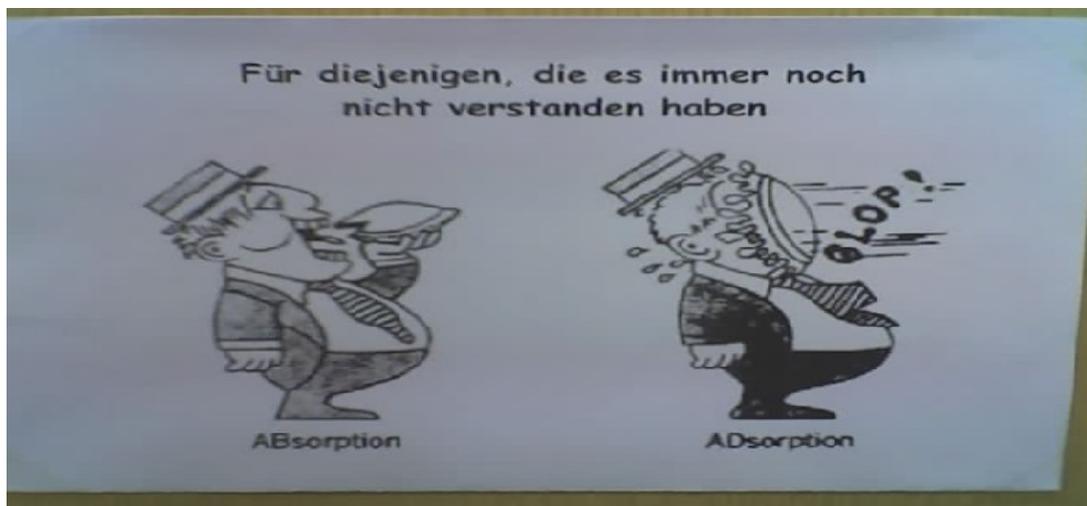


Figura 2.7. Diferencias entre los procesos de absorción y adsorción.

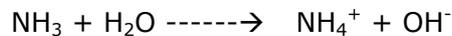
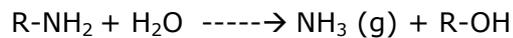
Por lo que respecta al amoníaco, diremos que la mayor parte del nitrógeno que poseen los residuos se encuentra unido a la fracción orgánica como parte de la

estructura de proteínas y péptidos, de modo que su disponibilidad es baja. (F. Amlinger *et al.*, 2003).

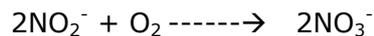
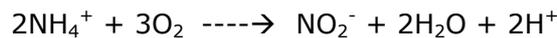
En el proceso de mineralización del nitrógeno se suceden los fenómenos de amonificación, nitrificación y desnitrificación. Ver esquema.

Las reacciones son las siguientes:

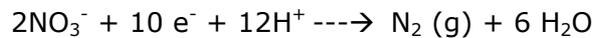
Amonificación:



Nitrificación:



Desnitrificación:



Las aminas presentes en la materia orgánica con el agua son transformados en NH_3 , el cuál se volatizará a la atmósfera con pH y T^a elevadas $\text{NH}_3 (\text{g})$. En caso de no darse estas condiciones podrá ser disuelto en forma de ión amonio NH_4^+ y ser inmovilizado por los microorganismos como fuente de nitrógeno (amonificación). El amonio, puede también ser transformado en nitritos NO_2^- y éstos en nitratos NO_3^- (nitrificación). Por último, el nitrato puede ser transformado en nitrógeno N_2 y ser volatilizado a la atmósfera (desnitrificación).

Para la eliminación del NH_3 , los biofiltros se consideran sistemas muy adecuados, con eficacias de eliminación alrededor del 95-98%, para una gran variedad de materiales soportes, ya sean orgánicos o inorgánicos (G. Busca *et al.*, 2.003).

Para la eliminación de **COVs**, el tema de los biofiltros no está tan estudiado.

Su eficacia es variable y limitada, probablemente debido a la gran variedad de compuestos químicos que pueden emitir con la fracción orgánica de los residuos municipales, lodos de depuración y residuos cárnicos, con distinto grado de solubilidad y biodegradabilidad.

COMPOSICIÓN DE UN LIXIVIADO

Más de 200 compuestos orgánicos han sido identificados en un lixiviado. Podrían ser clasificados en hidrocarburos cíclicos, compuestos bicíclicos, hidrocarburos aromáticos, bencenos, alcoholes, éteres cíclicos, ácidos y ésteres, fenoles, lantanos y furanos, compuestos que contienen nitrógeno, fósforo, sulfuro y sílice, y trazas inidentificables. Entre los compuestos mencionados están 35 sustancias reconocidas por su capacidad contaminante. Estos son: clorobenceno, diclorobenceno, tolueno, etilbenceno, xilano, estireno, naftaleno, metilnaftaleno, dimetilnaftaleno, trimetilnaftaleno, fenantrano, 9H-fluorano, fluorantano, pireno, metilfenol, triclorofenol, tetraclorofenol, pentaclorofenol, nonilfenol, felatos, dibencenofurano, cloroanilina, ácido tributilofosfórico y estertrifenil. (M.J. Bauer *et al.*, 1.998), (N. Paxéus, 2.000).

Muchos factores influyen en la producción y composición de lixiviado en un vertedero. Más aún, la composición varía significativamente con los procesos anaeróbicos que se producen en los residuos depositados y con la edad del vertedero. (D. W. Harrington *et al.*, 1.986), (H. Bretschneider *et al.*, 1.993), (F. Edeline, 1.987).

La fracción coloidal contenida en el lixiviado es muy importante por la alta afinidad de los coloides por los metales pesados. Diferentes contenidos de esta fracción en el lixiviado implicarán diferentes concentraciones de metales pesados. Más aún, los complejos que se forman entre los metales pesados y la fracción coloidal probablemente serán más resistentes al tratamiento y menos móvil que la fracción disuelta de metales pesados. (D.L. Jensen *et al.*, 1.999).

En un vertedero de 3-5 años de edad, hay muchos compuestos orgánicos resultado de la primera fase metanogénica de la descomposición anaerobia del residuo. La **DQO** y la **DBO₅** alcanza valores muy altos y el pH es bajo por la gran cantidad de ácidos grasos volátiles producidos en esta fase. La relación **DBO₅/DQO** alcanza valores más altos que 0,7, debido a la alta biodegradabilidad de los compuestos orgánicos presentes en el lixiviado. A medida que el vertedero se va haciendo más viejo, la concentración de los componentes fácilmente biodegradables y la relación **DBO₅/DQO** va bajando. Cuando los residuos depuestos se han estabilizado completamente la relación **DBO₅/DQO** alcanza el valor de 0,1. Esto ocurre debido al descenso de la cantidad de productos biodegradables en el residuo estabilizado, y el aumento de la cantidad de productos resistentes a la descomposición biológica en el residuo estabilizado. Todas las sustancias orgánicas detectadas en el lixiviado pueden ser ordenadas por su biodegradabilidad, desde los más fácilmente biodegradables como los ácidos grasos volátiles, aldehidos de bajo peso molecular, aminoácidos y carbohidratos; a los menos biodegradables como los aminoácidos hidrolizados y los ácidos húmico y fúlvico. (R. Szpadt, 1.998).

El aumento de los ácidos húmico y fúlvico en un lixiviado es el causante de una muy baja relación **DBO₅/DQO**, porque sus estructuras sufren cambios con la edad del vertedero y llegan a dificultar las reacciones de las bacterias. En un lixiviado de un vertedero joven los anillos aromáticos de las moléculas de ácidos húmico están menos condensados, y las moléculas tienen un tamaño más pequeño. Con un vertedero más viejo los anillos aromáticos está más condensados y las moléculas de ácidos húmico tienen un tamaño más grande. Esto significa que el grado de humificación de un lixiviado se incrementa con la edad del residuo depositado. La presencia de ácidos húmico y fúlvico en el lixiviado es muy importante no solo por su resistencia a la biodegradabilidad, sino también por su afinidad por los contaminantes. Son los responsables del transporte y del comportamiento de los contaminantes en el medio ambiente como los metales pesados y los contaminantes hidrofóbicos. (H.K. Kang *et al.*, 2.002).

2.6.2.-EFECTOS EN LA SALUD HUMANA

Los lixiviados pueden causar serios problemas al medioambiente y la salud humana (K. Piz, Z. Lid, L. Gao, 2.009). La toxicidad en mamíferos y especies acuáticas ha sido registrada. Los componentes tóxicos presentes en un lixiviado y sus posibles efectos aditivos y sinergias en organismos acuáticos, en particular los peces, han sido estudiados. Además, los peces se encuentran en el nivel más alto de la cadena acuática alimentaria y, en consecuencia, su ingesta puede originar la intoxicación de animales y humanos. (D. Baderna *et al*, 2.011).

Entre las sustancias especialmente peligrosas para el medio ambiente presentes en los lixiviados están los compuestos orgánicos halogenados, los **PCBs** (policlorobifenilos) y los metales pesados. Además presentan altas concentraciones de nitrógeno amoniacal, cloruros y sulfatos (M. Bodzek, J. Surmaeocz-Gorska , Yung-Tse Hung, 2.004).

2.6.3- EL TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS

Los lixiviados presentan un largo número de métodos de tratamiento, sin embargo debido a la gran variabilidad en su composición no existe un método generalizado de tratamiento. (D. Kulikowska *et al*. 2.008).

En los países industrializados se han desarrollado **POAs** (procesos de Oxidación Avanzados) capaces de producir eficaces cambios en la estructura química de los contaminantes más recalcitrantes de los lixiviados (R. J. A. L'amour, *et al*, 2.008).

En las últimas décadas, los **POAs** han sido ampliamente investigados para el tratamiento de lixiviado maduro o estabilizado biológicamente con los siguientes objetivos:

- a) Incrementar la biodegradabilidad de los componentes orgánicos con un tratamiento biológico

- b) Eliminar directamente los constituyentes orgánicos
- c) Conseguir degradar aún más los componentes orgánicos con un post-tratamiento unido a otras tecnologías. (Y. Deng, 2.009).

Con respecto al tratamiento de los lixiviados estudiemos brevemente los siguientes sistemas conocidos:

Procesos biológicos: sistemas naturales (tratamiento sobre el suelo, lagunas y humedales) y sistemas convencionales (sistemas aeróbicos y anaeróbicos)

Procesos químicos: Son los **POAs** Pueden ser de oxidación química (oxidación con ozono y pH alto; oxidación con ozono y peróxido de hidrógeno, oxidación con Fenton reactivo) y oxidación fotoquímica (oxidación con ozono combinado con luz UV; oxidación con peróxido de hidrógeno combinado con luz UV, oxidación con Fenton combinado con luz UV: Reacción Foto-Fenton; Fotocatálisis).

Técnicas de membrana (ósmosis inversa, combinación de fangos activos y ósmosis inversa).

Técnicas de coagulación-floculación

Técnicas de adsorción.

2.6.3.1.-PROCESOS BIOLÓGICOS: SISTEMAS NATURALES

Se distinguen básicamente dos tipos de tratamientos: aquello que se produce sobre el suelo y aquellos que se realizan en lagunas y/o humedales

-Tratamiento sobre el suelo:

Esta técnica está sólo recomendada con lixiviados de baja carga y consiste en rociar el lixiviado sobre la superficie vegetal de hierba, áreas forestales, vertederos clausurados, etc.. Los resultados son reducciones en los contaminantes, como **DBO** 95%, **DQO** 85%, **SS** 64%, nitrógeno amoniacal 67%. (D. W. Harrington

et al. 1.986). Sin embargo, en el caso del nitrógeno amoniacal su reducción es menor que con sistemas de tratamiento de aguas residuales. (S. F. Tyrrel *et al.*, 2.002).

-Tratamiento en lagunas y humedales:

Son sistemas que sirven para tratar los lixiviados y presentan unos bajos costes de explotación y reducidas inversión. Tampoco precisan de una gran formación (H. Robinson, 1.992). El lixiviado se suele tratar en un "pack" de lagunas y humedales, dotadas de gran flexibilidad, donde se entremezclan condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Los especies más populares son juncos o carrizos (*Phragmites australis*) y algunas especies de sauces (*Salix iminalis*, *Salix dasyclados*, *Salix cinerea* y *Salix delamere*). (P. Kowalik *et al.*, 1.995; T. Maehlum, 1.995).

Incluso hay experiencias de importantes reducciones de nitrógeno amoniacal y nitratos en lixiviados de vertederos, mediante la construcción de humedales artificiales, con cultivos en su fase de crecimiento vegetativo, usando como sub-base cenizas de incineradoras de residuos y compost de residuos de jardín, en lugar de la arena y grava. Los cultivos utilizados fueron el junco redondo (*Scirpus validus*), la Espadaña (*Typha latifolia*) y el carrizo (*Phragmites Australis*). Estos cultivos consiguieron tratar de modo natural los lixiviados eliminando más del 90% del nitrógeno amoniacal durante la fase de crecimiento y menos del 60% del nitrógeno inorgánico en la fase de no crecimiento. (Bethann Parisian, 1.996).

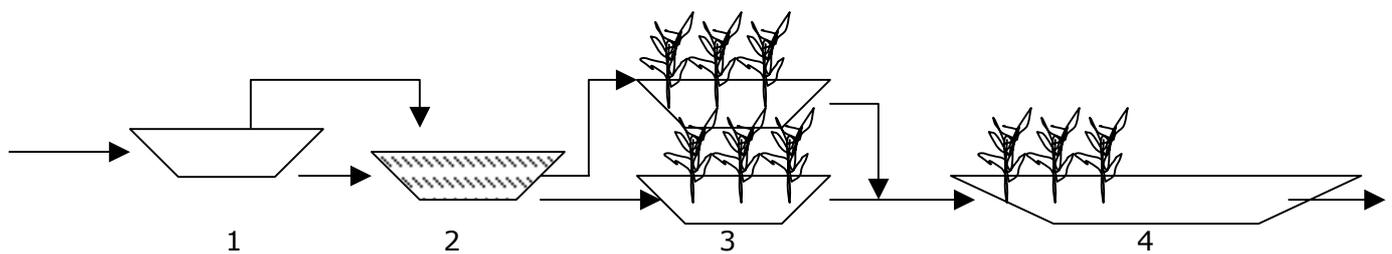


Figura 2.8. Diagrama de funcionamiento de una planta mixta de lagunas y humedales para el tratamiento de lixiviados, compuesta de una laguna anaeróbica (1), laguna aeróbica (2), dos humedales en paralelo con macrofitas (3) y un humedal previo al vertido con una parte de macrofitas y la otra libre (4)

2.6.3.2.-PROCESOS BIOLÓGICOS: SISTEMAS CONVENCIONALES

Distinguiremos entre sistemas aeróbico y sistemas anaeróbicos

-Sistemas Anaerobios:

El tratamiento anaerobio del lixiviado es similar a los procesos anaerobios que ocurren en un vertedero. En primer lugar los compuestos orgánicos como proteínas, polisacáridos, lípidos, ácidos nucleicos son hidrolizados, a compuestos más simples, dando respectivamente aminoácidos, monosacáridos, ácidos grasos, y purinas y pirimidinas. Estos productos hidrolizados son sometidos a procesos de fermentación formando ácidos orgánicos [sustratos no metanogénicos] como alcoholes, aldéhdos, ácidos propiónico, butírico, etc., los cuales son transformados por acetogénesis y deshidrogenación en sustratos metanogénicos (H_2 , CO_2 , metanol, acetatos, metilaminas, etc..) [FASE ACIDOGENESIS: gran cantidad de ácidos grasos y bajo pH]. Finalmente, estos sustratos metanogénicos son transformados en CH_4 y CO_2 [FASE METANOGENICA]. En cada fase un determinado grupo de microorganismos se activa. Un grupo de bacterias es responsable de la hidrólisis de polímeros orgánicos a monómeros. El segundo grupo de microorganismos descompone los monómeros en ácidos orgánicos. Estas bacterias se llaman acidogénicas. Las responsables de la transformación del acetato, CO_2 y H_2 en metano y CO_2 , son las bacterias metanogénicas. (Metcalf *et al.*, 1.991).

-Sistemas aerobios:

El mecanismo de descomposición aeróbica de la contaminación presente en los lixiviados de vertedero está basado en procesos de crecimiento de microorganismos en suspensión y/o adheridos formando una película, en diferentes reactores biológicos de fangos activos.

Los fangos activos es uno de los métodos básicos utilizados en el tratamiento de lixiviados de vertedero. Este proceso es usado para la oxidación bioquímica de la fracción orgánica biodegradable, pero principalmente para

eliminación biológica del nitrógeno. (J. Surmaez-Gorska, 2.001).

Las experiencias de reducción de la **DQO**, mediante fangos activos con reactores tipo **SBR** (reactor biológico secuencial) con tiempos de retención de 12 y 2 días han sido del 83% y 71% para una edad del fango de 58 y 19 días respectivamente. (E. Klimiuk, 1.999).

Respecto al tratamiento de lixiviados con biofilms, usando biofiltros de celdas de plástico que se caracterizan por una gran superficie específica, porosidad y capacidad de absorción, los resultados también son muy interesantes. Así con un lixiviado que presentaba un **DBO₅/DQO** = 0,6 se obtuvieron los siguientes resultados: **DBO₅** = 96%, **DQO** = 80%, **NTK** = 90%, Nitrógeno total (orgánico e inorgánico) = 50%. (E.C. Jowett, 1.999).

La presencia de elevadas concentraciones de nitrógeno amoniacal y de sustancias tóxicas y compuestos orgánicos refractarios hace que los sistemas de fangos activos no sean suficientes y se precisen de otros sistemas de apoyo como presencia de gránulos de carbón activo en el reactor biológico. (N.J Horan *et al.*, 1.997).

2.6.3.3.-PROCESOS QUÍMICOS

Estos procesos son los conocidos como **POAs**. Son altamente eficaces al incrementarse su ratio de oxidación por la formación de radicales OH[•]. Y estos radicales libres se generan como consecuencia de la adición de oxidantes y se caracterizan por una alta reactividad, una baja selectividad hacia los compuestos orgánicos y un alto potencial de oxidación ($E^0 = 2,80 \text{ V}$). (S. M. Kim, 1.997).

Básicamente se pueden dividir en dos grupos: oxidación química (sin fotólisis) y fotoquímica (realizada con fotólisis).

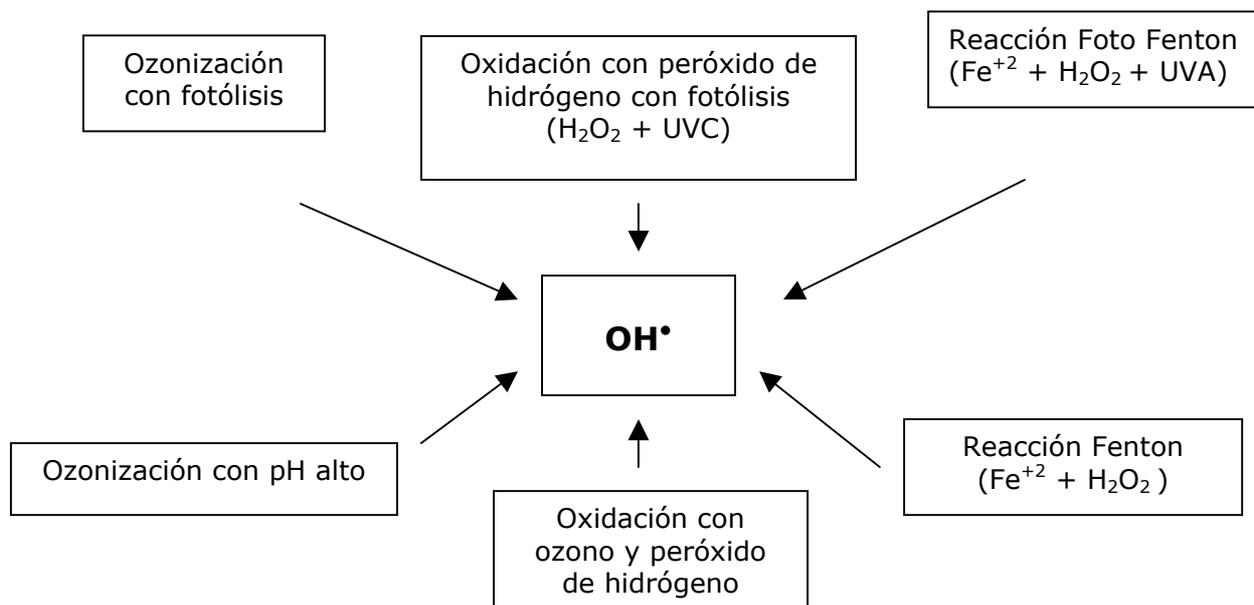


Figura 2.9. Procesos químicos y fotoquímicos usados en el tratamiento de lixiviados

2.6.3.3.1.-OXIDACIÓN QUÍMICA (SIN FOTÓLISIS)

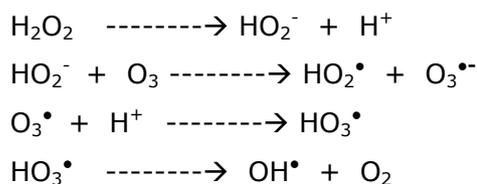
Dentro de este grupo estarían los siguientes procesos: a) oxidación con ozono a pH alto, b) ozono y H_2O_2 ; c) oxidación con reactivo Fenton.

a) Oxidación con ozono a pH alto.

Durante la oxidación de los componentes de la materia orgánica, mediante la adición de ozono a pH alto se producen una serie de reacciones que como resultado dan, entre otros, radicales hidrófilo. Estos radicales son los responsables de la oxidación de la materia orgánica, como más adelante veremos, pero el ozono solo también puede ser capaz de originar esa oxidación. (D. Weichgrebe, 1.994). Esta oxidación con ozono requiere pH altos. Además los iones carbonato enturbiarán el proceso capturando los radicales libres

b) Oxidación con ozono y H₂O₂

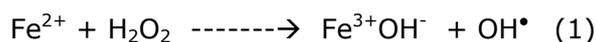
En este caso, la combinación del ozono y el H₂O₂ produce radicales hidróxilo, de acuerdo a las reacciones siguientes:



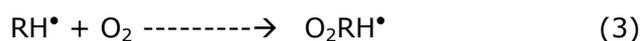
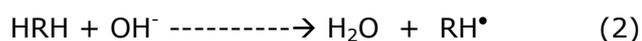
Resumidamente se puede escribir:

c) Oxidación con reactivo Fenton

La reacción Fenton es el resultado de la reacción del peróxido de hidrógeno con sulfato férrico a un pH bajo. (S.M. Kim, et al., 1.997). El resultado es la formación de radicales libre hidroxilo, caracterizados por una alta reactividad. La reacción que se produce es (1):



En las reacciones en cadena que se producen, los compuestos orgánicos (que denominamos HRH) son oxidados, resultando la producción de radicales orgánicos RH[•] (2) y (3). Posteriormente, el oxígeno es requerido. Salvo que tenga lugar la reacción (4), no podrá continuar la descomposición de la materia orgánica.



Con el método Fenton, muy diferentes compuestos orgánicos presentes en

las aguas residuales industriales (S.F. Kang, *et al.*, 1.997), (W.G. Kuo, 1.997), aguas de lluvia (S. Pfister *et al.*, 1.997), al igual que en los lixiviados de vertederos son oxidados.(J. Yoon *et al.*, 1.998), (J.H. Bae *et al.*, 1.998).

Además la reacción Fenton se completa con diferentes dosis de sulfato de hierro y peróxido de hidrógeno. La relación recíproca entre el sulfato de hierro y peróxido de hidrógeno es establecida experimentalmente. Aunque, en el método Fenton, la relación molar $[H_2O_2]:[Fe^{2+}]$ que usualmente se aplica se sitúa en el rango de 5:1 a 10:1. (I. Bachmann, 1.996).

2.6.3.3.2.-OXIDACIÓN FOTOQUÍMICA (REALZADA CON FOTÓLISIS)

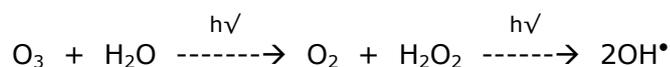
Dentro de este grupo estarían los siguientes procesos:

- a) oxidación con ozono a pH alto
- b) ozono y H_2O_2
- c) oxidación con reactivo Fenton.

a) Oxidación con ozono combinada con luz UV

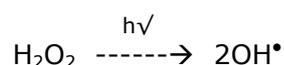
La oxidación del ozono, descrita anteriormente se ve incrementada con la fotólisis y es un método muy eficaz con resultados favorables.

La reacción sería:



b) Oxidación con H_2O_2 combinada con luz UV

Se forman radicales hidróxilo de acuerdo a la siguiente reacción:



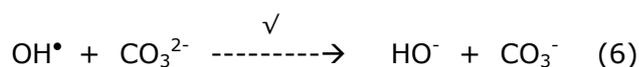
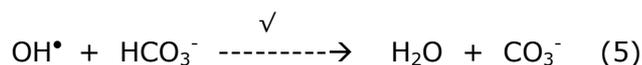
La eficacia de este tratamiento dependerá de la energía de emisión radiada. Sin embargo, la energía consumida dependerá del tipo de lámparas utilizado. Con lámparas de baja presión la energía consumida varía entre las 100-200 kWh/kg DQO_{eliminado}, y con lámparas de alta presión la energía consumida varía entre las 400-700 kWh/kg DQO_{eliminado}. Las de alta presión, sólo pueden ser utilizadas para el tratamiento de lixiviado en prototipos escala por su elevado consumo energético. (M. Steensen, 1.997).

c) Oxidación con reactivo Fenton combinada con luz UV: Reacción Foto-Fenton

La combinación de la reacción Fenton con radiación **UV** (radiaciones ultravioleta) también es conocida como Reacción Foto-Fenton. La adición de radiaciones **UV** de diferentes longitudes de onda incrementa el rendimiento de oxidación de componentes orgánicos.

La luz **UV** a longitudes de onda inferiores a 300 nm genera más radicales libre hidroxilo por la fotólisis extra del peróxido de hidrógeno; es también responsable de la fotólisis directa de compuestos orgánicos. Sin embargo radiaciones **UV** a longitudes de onda superiores a 300 nm consigue regenerar iones de hierro. (S.M. Kim, 1.997), (S.M. Kim *et al.*, 1.997).

Con la Reacción Foto-Fenton se consigue incrementar la tasa de oxidación de los compuestos orgánicos hasta 10 veces más en comparación con el método Fenton tradicional. Sin embargo sólo se alcanzan resultados favorables en el lixiviado tratado si el contenido en carbonatos es reducido. Para ello es necesario que los carbonatos reaccionen con radicales hidrófilo haciéndoles inactivos, de acuerdo a las reacciones (5) y (6).



Similar efecto es producido con una excesiva presencia de iones de hierro, los cuáles son también responsables de la turbidez del agua y, en consecuencia, dificulta la penetración del brillo de la radiación **UV** disminuyendo la eficacia del proceso de tratamiento (S.M. Kim *et al.*, 1.997).

d) Fotocatálisis:

El mecanismo de fotocatalísis consiste en la fuga de electrones desde la banda de valencia a la banda de conducción mediante un catalizador. El semiconductor óxido de titanio es el más popular de los catalizadores. La fuga de electrones a la banda de conducción y la creación de agujeros o huecos h^+ son el resultado de la catálisis originada por la irradiación de la luz **UV**.

La etapa inicial del proceso consiste en la generación de un par electrón-hueco en las partículas del semiconductor. Como resultado de la irradiación de la luz **UV** a una energía igual o mayor que la energía del salto de banda del semiconductor, se promueve un electrón, e^- , desde la banda de valencia hacia la banda de conducción, generándose un hueco, h^+ , en la banda de valencia.

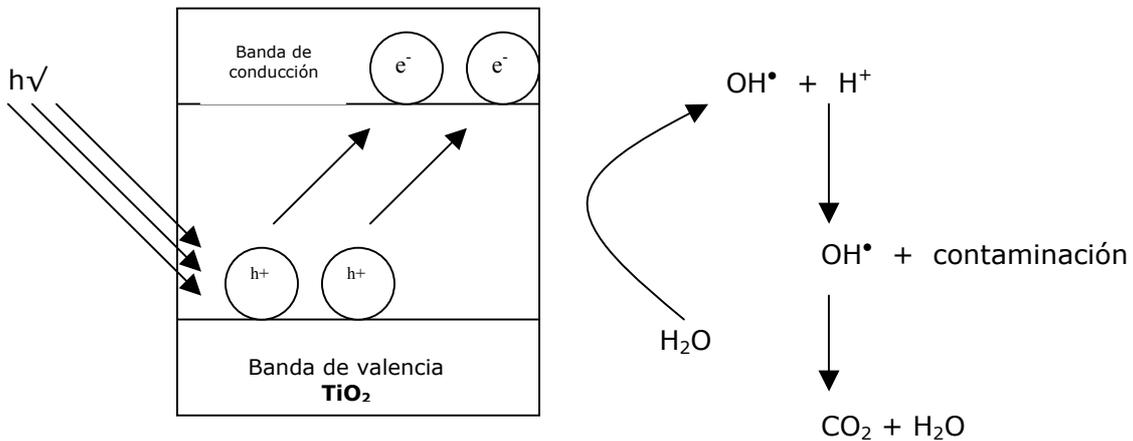
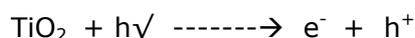


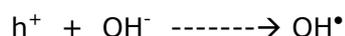
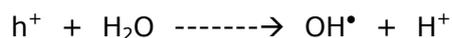
Figura 2.10. Esquema del proceso de fotocatalísis con TiO_2

La energía para el semiconductor TiO₂ es 3,2 eV y se corresponde con la energía de la luz correspondiente a una longitud de onda de 400 nm. Por lo tanto, radiaciones **UV** de longitud de onda 300 < λ < 400 nm pueden excitar los electrones de la banda de valencia. El proceso se puede esquematizar en la figura adjunta. (D. Robert *et al.*, 1.998).

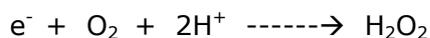
La irradiación de energía por encima de los 3,2 eV crea un par electrón-hueco así:



Como resultado, se producirán radicales libres hidróxilo en la superficie del catalizador y/o la oxidación directa de los compuestos orgánicos (R), conforme a estas reacciones:



Además, los electrones fugados reaccionan con el oxígeno disuelto creando también radicales libres así



Hay experiencias positivas utilizando como catalizador, en lugar de TiO₂, un subproducto del proceso productivo de la obtención del TiO₂, con emisión de radiación UV a una longitud de onda de 365 nm. Este subproducto se obtiene de la digestión del ácido sulfúrico concentrado de la ilmenita a 150-220°C, después de la hidrólisis, calcinación y transformación en TiO₂. (R. Pobrete *et al.*, 2.010).

2.6.3.4.-TÉCNICAS DE MEMBRANA. INTRODUCCIÓN

Los lixiviados de vertedero plantean un considerable peligro al medio ambiente porque los compuestos tóxicos y peligrosos que se pueden originar como consecuencia de los compuestos solubles presentes en los residuos líquidos y sólidos pueden lixiviar a las aguas subterráneas. El lixiviado de vertedero es un complejo residuo con variaciones considerables tanto en composición como en volumen. (K. Linde *et al.*, 1.995).

El volumen de lixiviado producido está fuertemente relacionado con el clima y otros parámetros que influyen en la producción de lixiviado; y la composición está fuertemente dependiente de la edad del vertedero, así como el grado de compactación y la composición del residuo. Los lixiviados del vertedero son una mezcla de componentes orgánicos e inorgánicos y su composición está determinada por la composición del residuo y la edad del vertedero (K. Linde *et al.*, 1.995).

El lixiviado debe de ser recogido y tratado para evitar la contaminación de las aguas. Su carga frecuentemente cambia de composición y su volumen hace su tratamiento más difícil que el tratamiento de las aguas residuales. (M. Bodzek, 1.999). Más aún, el lixiviado de vertedero es comparable a un complejo residuo industrial líquido que contiene contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos.

A partir de datos de lixiviado de más de 150 vertederos, muestran que el nivel de componentes disueltos en lixiviados de diferentes vertederos abarca entre 2-15 g/l. De ellos la fracción orgánica está entre el rango 0,1-3 g/l, mucho más pequeña que la fracción inorgánica que está en el rango de 1,6-14,3 g/l incluidos el amonio que se mueve en valores de 0,3-2 g/l. (K. Linde *et al.*, 1.995).

La efectividad de los tratamientos biológicos y otros tratamientos físico-químicos es mucho menor en invierno cuando la producción de efluentes es más alta. La variación en volumen y composición obstaculiza la eficacia de un tratamiento tradicional (métodos biológicos aeróbico o anaeróbicos, oxidación con ozono, peróxido de hidrógeno o **UV**, y adsorción con carbón activo). No

alcanzándose los niveles necesarios para reducir el impacto negativo al medioambiente. (M. Bodzek, 1.999)

La estrategia a seguir para el tratamiento de lixiviados es difícil de especificar en términos generales debido a la diferente composición, al propio vertedero y a la edad de los residuos. (K. Linde *et al.*, 1.995). Los métodos de tratamiento más eficaces son las tecnologías de membrana que ofrecen la mejor solución. (M. Bodzek, 1.999), (T. Peters, 1.996), (B. Van der Bruggen *et al.*, 2.003), (A. Peters, 1.998), (L.C. Chiang, *et al.*, 1.995).

El uso de la ósmosis inversa ya como un paso fundamental en la cadena de tratamiento del lixiviado o como un simple paso ha demostrado ser un medio exitoso para obtener una purificación completa. Los sistemas de proceso siguientes (M. Bodzek, 1.999), (B. Weber *et al.*, 1.991) son actualmente propuestos para el tratamiento de lixiviado de vertedero:

- Pretratamiento biológico incluido nitrificación y desnitrificación y tratamiento físico-químico por medio de floculantes y carbón activo. El "resto" es deshidratado y eliminado como un residuo peligroso.
- Dos estados de tratamiento con ósmosis inversa (1º módulos tubulares y 2º módulos espirales), neutralización del retenido incluido el proceso de evaporación, secado, y vertido como residuo peligroso.
- Métodos mixtos de tratamiento biológico incluido la nitrificación y desnitrificación con la ósmosis inversa (módulos tubulares), neutralización del retenido incluidos procesos de evaporación, secado y vertido como residuo peligroso.

APLICACIÓN DE LA ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es un proceso de membranas impulsado por presión. Debido a la capacidad para retener las membranas de ósmosis inversa los

contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en el agua con gran eficiencia, una amplia variedad de aguas residuales puede ser tratada. La aplicación de esta técnica para el tratamiento del lixiviado de vertederos ha sido recientemente investigada. (K. Linde *et al.*, 1.995), (M. Bodzek, 1.999) (B. Weber *et al.*, 1.991). (B. Van der Bruggen *et al.*, 2.003), (A. Peters, 1.998), (L.C. Chiang, *et al.*, 1.995), (B. Weber *et al.*, 1.991), (G. Baumgarten *et al.*, 1.996), (J.M. Harris *et al.*, 1.988), (J.M. Lema *et al.*, 1.988), (K. Linde *et al.*, 1.994), (M. Mulder, 1.994), (A. Noworyta, 1.995), (R. Rautenbach, 1.989), (C. Slater *et al.*, 1.983), (S. Friöhlich, 1.995), (A. C. Syzdek *et al.*, 1.984).

El método de ósmosis inversa no conduce a la neutralización del residuo, más frecuentemente los residuos son concentrados y regresan al vertedero, y el agua tratada y recuperada puede ser vertida a cauce público o a las redes de saneamiento. Además su fácil manejo, su alta eficiencia, la baja energía consumida y los óptimos costes de explotación las hacen atractivas a potenciales clientes que quieren usar la tecnología de membranas bajo difíciles condiciones de trabajo y de manera sencilla.

Para construir a tamaño escala una planta de ósmosis inversa hay que evaluar (M. Bodzek, 1.999), (B. Weber *et al.*, 1.991): cantidad de lixiviado; calidad del lixiviado; factor de concentración para obtener un permeado de calidad; clases de módulos, materiales de las membranas y procedimientos de limpieza; parámetros del proceso que influyen en la calidad y el flujo del permeado (presión, temperatura, velocidad de flujo); y el tratamiento del retenido.

El pretratamiento es recomendado mediante la filtración, bien en filtros de arena o de tambor para asegurar la protección de las bombas, membranas y equipos de medida frente a la destrucción.

Aparte de los requerimientos de membranas altamente resistentes, el tratamiento del lixiviado de vertedero necesita del uso de sistemas modulares de canales abiertos. En la mayoría de las aplicaciones se usan módulos tubulares y espirales.

En comparación con los procesos de desalación hay más problemas de tipo incrustaciones, suciedad y especialmente de contaminación.

La calidad del permeado se debe de ser proporcional a los requisitos de eliminación de las aguas residuales al medio ambiente. Debe de ser controlada por el C_{FV} (factor de concentración volumétrico). Si el permeado retorna al vertedero, el valor de C_{FV} es 5, lo cuál es acorde con razones de economía (B. Weber *et al.*, 1.991). Si por el contrario, el retenido ha de ser eliminado por métodos térmicos, entonen $C_{FV} > 5$. (B. Weber *et al.*, 1.991). La economía de los procesos de ósmosis inversa con el lixiviado bruto pueden ser cuestionados por altas concentraciones de compuestos de calcio o hierro, altas concentraciones de nitrógeno amoniacal, o compuestos de cloro.

El tratamiento de lixiviado diluido y de lixiviado bruto durante la fase metanogénicas, no siempre da resultados satisfactorios, especialmente con el amonio. (B. Weber *et al.*, 1.991). El proceso debe llevarse a pH 6,5 y precisa de la adición de ácido sulfúrico y la precipitación de los inhibidores del yeso. Dos estados de ósmosis inversa deben de ser aplicados durante el tratamiento del permeado. En la primera fase se deben usar membranas tubulares y en la segunda fase espirales. Para el lixiviado diluido se pueden utilizar membranas de acetato de celulosa (AC-membranes) en la primera fase y compuestas en la segunda.

EL TRATAMIENTO del RETENIDO de la ÓSMOSIS INVERSA

En el pasado, el tratamiento del retenido de la ósmosis inversa era considerado un paso en tratamiento muy caro. En la mayoría de las plantas antiguas este paso consistía en la evaporación y secado, seguido de la deposición del residuo seco en vertederos especiales. (G. Baumgarten *et al.*, 1.996).

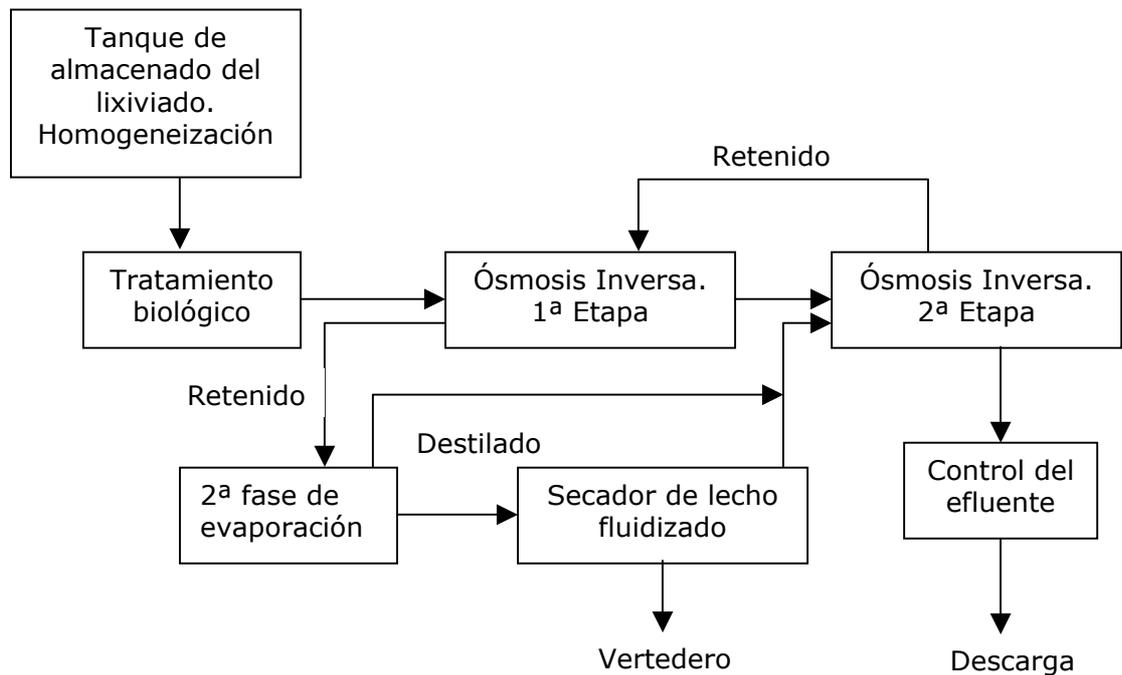


Figura 2.11. Esquema de tratamiento de lixiviado de vertedero con ósmosis inversa. Caso real de una planta de tratamiento en Mechernich (Alemania)

En la 1ª fase de ósmosis inversa se usa membranas tubulares para evitar el ensucio. En la 2ª fase de ósmosis inversa se usan módulos en espiral. El concentrado de la 2ª fase es enviado de vuelta a la 1ª. El concentrado de la 1ª fase es evaporado en dos fases en las que el residuo es secado en un lecho fluido. El material secado es depositado en el vertedero, mientras el destilado de la evaporación es enviado de vuelta a la 2ª fase de la ósmosis inversa.

Hoy otras soluciones más ecológicas y económicas que se utilizan (A. Peters. 1.998):

- Transporte del concentrado a incineradoras de residuos peligrosos
- Solidificación del concentrado con diferentes materiales como cenizas

o lodos de plantas depuradoras de aguas residuales

- Introducir el concentrado como material de cubrición y relleno de las celdas del vertedero para mejorar los procesos bioquímicos de degradación en el interior de los residuos y acelerar la estabilización de la materia orgánica

PROCESOS DE MEJORA con REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DEL RETENIDO

Se pueden alcanzar mejoras en la tecnología de membranas con el uso de la ósmosis inversa utilizando altas presiones hasta los 12 MPa frente a los 6,5MPa estándar. Esto se aprecia con la ósmosis inversa mediante el uso de módulos de discos tubulares (DT-modules). (A. Peters, 1.998), (A. Peters, 1.995). En estos casos la recuperación del permeado se alcanza por la presión osmótica, incrementándose el factor de concentración de los compuestos disueltos 10 veces hasta el 90%.

Esta técnica es frecuentemente combinada con técnicas de siembra que permite eliminar el problema de incrustaciones en las membranas y alcanzar una recuperación del permeado superior al 95%.(A. Peters, 1.998). Los cristales de CaSO_4 son separados del retenido para conseguir una mayor concentración del retenido.

Incluso una mayor concentración del permeado se puede conseguir mediante la aplicación de un sistema híbrido de membranas consistente en ósmosis inversa y técnicas de nanofiltración. La nanofiltración permite la separación de iones monovalentes y divalentes así como sustancias orgánicas cuya masa molar está entre los 300-500 Da. (A. Peters, 1.998).

Así, mediante la combinación de la nanofiltración con ósmosis inversa, con altas presiones de ósmosis inversa y cristalización de sales de calcio, se consigue alcanzar una recuperación del permeado entre el 95-97,5%. (A. Peters, 1.998).

PROCESOS DE TRATAMIENTO de COMBINACIÓN DE FANGOS ACTIVOS Y ÓSMOSIS INVERSA

Estos procesos son muy efectivos en el tratamiento de lixiviados de vertederos. Los procesos biológicos tienen por objeto la eliminación de sustancias sometidas a biodegradación, especialmente en el caso de efluentes con alta carga y sustancias orgánicas. El efluente de la instalación biológica es sometida a un mayor tratamiento con la aplicación de la ósmosis inversa. Con una ósmosis inversa de una sola fase es suficiente para alcanzar un permeado de calidad.

Hay dos procesos de pretratamiento biológico posible para el lixiviado antes de la ósmosis inversa (B. Weber *et al.*, 1.991).

El primer proceso incluye fangos activos con alta carga por encima de los 0,25 kg/kg-día. Con esta solución es posible disminuir sólo **COT** y **AOX** (compuestos organoclorados).

Las ventajas son:

- una capacidad tampón para los picos de **DQO/DBO**
- eliminación de las incrustaciones y suciedad que causan los compuestos
- mejora del flujo del permeado y del factor de concentración en los pasos de la ósmosis inversa.

El segundo proceso incluye pretratamientos biológicos avanzados con nitrificación y desnitrificación.

El uso de los filtros de tambor es para mejorar los procesos de nitrificación y proteger las membranas de ósmosis inversa. La ventaja de este sistema es que incluye la fijación de un film con bacterias nitrificantes que mejora la degradación del nitrógeno debido a un óptimo ratio de **DBO/N** < 0,1.

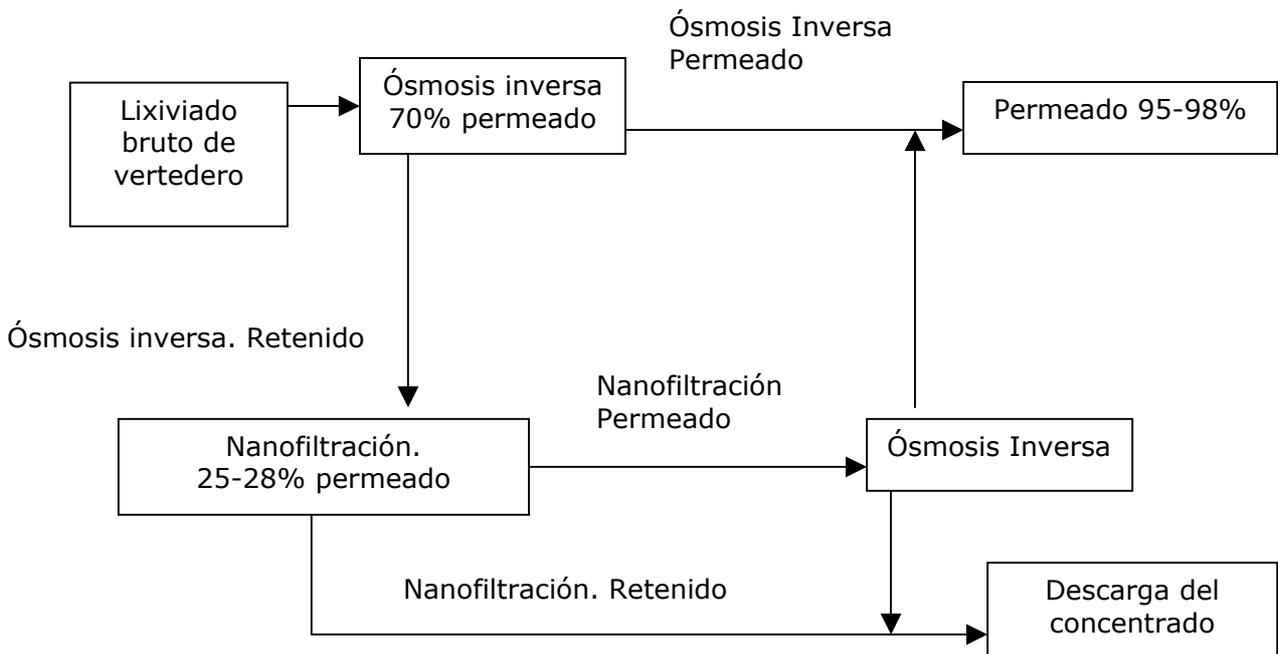


Figura 2.12. Sistema híbrido de membrana para tratamiento de lixiviado con una alta recuperación del permeado

La aplicación de un sistema de tratamiento biológico y ósmosis inversa es más económica que la ósmosis inversa sola, con un mayor flujo de permeado y/o la obtención de incremento del factor de concentración. Además, los procesos de nitrificación bajan el pH del efluente tratado y la cantidad de ácido añadido es considerablemente menor. El procedimiento de limpieza de las membranas se lleva a cabo con detergente y ácido cítrico, y con una menor frecuencia que con la ósmosis inversa sola.

Los módulos para la ósmosis inversa están equipados de membranas de acetato de celulosa (coeficiente de retención del NaCl 95%) y membranas compuestas con un coeficiente de retención aproximadamente al 99%. El procedimiento a seguir con el retenido consiste en la aplicación de una evaporación en una fase simple con circulación forzada del líquido y secado del concentrado mediante un evaporador en una secadora (R. Stegmann *et al.*, 1.980). El residuo sólido seco resultante es almacenado.

La introducción, en un sistema de tratamiento de lixiviado del vertedero con ósmosis inversa, de un pretratamiento biológico presenta, además de la posibilidad de eliminar las sustancias biodegradables, las siguientes ventajas:

- En el lixiviado sólo permanecerán las sustancias refractarias
- Un mayor flujo de permeado y una mayor capacidad volumétrica del permeado en los procesos de ósmosis inversa, al ser eliminado la biosuciedad de las membranas
- La eliminación del calcio y los compuestos del hierro por efecto de la aireación del efluente, evitando incrustaciones en las membranas
- Desaparecen los problemas que origina el nitrógeno durante la fase de evaporación del concentrado
- Menores costes de tratamiento.

MODIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN de PROCESOS DE NANOFILTRACIÓN

Similar a la ósmosis inversa es la nanofiltración con membranas, caracterizada por el hecho de tener una alta retención de sustancias orgánicas de peso molecular 200 g/mol o de un tamaño de aproximadamente 1 nm. Además, la nanofiltración con membranas es selectiva con los iones, de manera que las sales con aniones monovalentes son capaces de pasar a través de la membrana mientras que las sales con aniones polivalentes son retenidas. (R. Rautenbach, 1.989), (M. Mulder, 1.991), (R. Rautenbach *et al.*, 1.990).

Mediante el uso de membranas de nanofiltración en sustitución de la primera fase de la ósmosis inversa, los componentes orgánicos, metales pesados y sales orgánicas bivalentes son ampliamente retenidas. Los iones monovalentes como cloruros y todos los iones nitrógeno pasan a través de la membrana. En tales situaciones, el pretratamiento biológico debería ser diseñado para cumplir con los requisitos de vertido de los de los compuestos nitrogenados.

En una planta de nanofiltración, un factor de concentración volumétrica de 10 debería ser posible, y un pequeño volumen de retenido debería ser enviado a la zona de evaporación y secado. Aparte de esto, la recirculación del retenido desde la nanofiltración al pretratamiento biológico para incrementar la eliminación de la DQO (R. Rautenbach *et al.*, 1.993). debería ser posible hasta cierto grado, ya que sin la extracción de sulfatos y metales pesados se acumularían en el biológico y acabarían dando problemas con incrustaciones de sulfato y calcio.

APLICACIONES DE ULTRAFILTRACIÓN USANDO FANGOS ACTIVOS Y ÓSMOSIS INVERSA

Recientes trabajos confirman las técnicas de ultrafiltración para la neutralización del lixiviado de vertederos. La ultrafiltración puede ser usada como un filtro antes de la fase de ósmosis inversa y del tratamiento biológico (A. Noworyta, 1.995), (S. Friöhlich, 1.995) y en la 2ª fase de la ósmosis inversa (A. C. Syzdek *et al.*, 1.984). El método consiste en pretratamiento biológico y ultrafiltración, método de ósmosis inversa y evaporación del retenido.

Durante el tratamiento biológico, algunos compuestos orgánicos son biodegradados mientras que los restantes incluidos los compuestos nitrogenados son eliminados por efecto de la floculación. La primera fase del proceso tiene lugar en la desnitrificación en el reactor con fangos activos y en el sistema de ultrafiltración.

El propósito de las técnicas de ultrafiltración es eliminar los fangos activos del efluente. También sustituye los filtros tipo tambor, el reactor biológico y el tanque de sedimentación usado en los sistemas convencionales de tratamiento de efluentes por medio de métodos mixtos de tratamiento biológico y ósmosis inversa.

Los compuestos orgánicos refractarios y los compuestos inorgánicos después de la 1ª fase son eliminados usando la ósmosis inversa. La capacidad volumétrica del permeado en la ósmosis inversa es del 75-80%, pudiendo ser descargado el permeado a cauce público. El retenido es recirculado a vertedero o se procede a su

evaporación y secado.

AVANCES EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS USANDO PROCESOS INTEGRADOS DE MEMBRANAS

Una planta de tratamiento de lixiviados mejora la eficacia de su tratamiento mediante el uso de procesos integrados de membranas compuestos de un **MBR** y una ósmosis inversa (W.Y. Ahn *et al.*, 2.002).

En general el tratamiento adecuado de un lixiviado debido a es difícil por la presencia de contaminantes refractarios y por la amplia variación en volumen debido a las irregulares precipitaciones.

Además, se han desarrollado importantes avances en procesos de tratamiento fisicoquímicos. Los cuáles, principalmente están compuestos de procesos biológicos y fisicoquímicos y son muy efectivos y económicos en las primeras fases de los vertederos. Sin embargo en vertederos viejos, las características de lixiviado cambian a una menor cantidad de materia orgánica biodegradable y a una alta concentración de compuestos de nitrógeno. En estos casos la oxidación biológica de la materia orgánica y la desnitrificación de los compuestos nitrogenados apenas ocurre.

Para resolver estos problemas es necesario utilizar procesos integrados de membranas, como los **MBR**, que mejoran la eficacia de la materia orgánica biodegradable y la tasa de nitrificación, así como la ósmosis inversa con la fracción restante de iones nitrógeno inorgánica y materia no biodegradable. El resultado es un efluente de calidad que mejora los límites de los parámetros de vertido.

Un ejemplo de este proceso es una planta de Chung-Nam en la provincia de Korea (W.Y. Ahn *et al.*, 2.002). El nuevo proceso desarrollado era un sistema integrado de membranas. El sistema **MBR** estaba formado por una membrana sumergida denominada KIMAS (Kolon Immersed Membrane Activated Sludge) y con un proceso de ósmosis inversa que usa módulos de membrana en espiral. El **MBR**

tiene una parte anóxica y otra óxica y una membrana de fibra hueca sumergida. A continuación, el proceso de ósmosis inversa instalado elimina los compuestos no biodegradables y los iones nitrógeno inorgánicos (W.Y. Ahn *et al.*, 2.002).

Mediante el sistema **MBR**, la retención estable de la biomasa permite mejorar la eficacia de eliminación de la **DBO₅** y la tasa de nitrificación. La eliminación de la **DBO₅** es fácil con el sistema **MBR** y frecuentemente alcanza hasta un 97% (W.Y. Ahn *et al.*, 2.002), pero la eliminación del nitrógeno no es fácil.

La nitrificación es importante eliminando la membrana de la ósmosis inversa la carga negativa de nitratos y nitritos más eficazmente que la carga positiva del de los iones amonio o del amonio neutro (M. Elimelech, *et al.*, 1.994).

El sistema **MBR** también proporciona una eficacia en el pretratamiento para la ósmosis inversa al eliminar completamente los sólidos en suspensión, lo que evita la obstrucción de canales y permite el uso de membranas en espiral.

La subsiguiente fase de ósmosis inversa elimina muy eficazmente la materia orgánica no biodegradable y los compuestos nitrogenados con carga negativa. Una media en el influente de **DQO**=1.017 mg/l puede alcanzar los 32 mg/l en el efluente de salida con un rendimiento del 97% (W.Y. Ahn *et al.*, 2.002).

2.6.3.5.-TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE VERTEDERO POR COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN

La aplicación de procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de lixiviados de vertederos obtiene resultados en la eliminación de sustancias orgánicas e inorgánicas en forma de coloides, sólidos en suspensión, y sustancias disueltas en el agua. De esta manera, es posible alcanzar no sólo la reducción de la **DQO**, sino también el color y la turbidez (J. Surmacz-Gorska *et al.*, 2.001). Al principio, los compuestos orgánicos de masa molar superior a los 1.000 g/mol, son eliminados (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999). Son principalmente ácidos húmicos.

Este proceso es más efectivo con un lixiviado de vertedero de baja **DBO₅** (< 300-500 mgO₂/l) y con una relación **DBO₅/DQO** < 0,1, es decir, con un pretratamiento biológico (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999).

La coagulación es generalmente más efectiva con un lixiviado joven que con un lixiviado viejo (J. Surmacz-Gorska *et al.*, 2.001). El porcentaje de eliminación de **DQO** y **COT** obtenido mediante técnicas de coagulación-floculación es del 10-25% con un lixiviado joven, pero es mucho más alto (50-65%) con un lixiviado con una baja relación **DBO₅/DQO** (un lixiviado estabilizado o con un pretratamiento biológico) (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999), (J. Surmacz-Gorska *et al.*, 2.001).

Los procesos de coagulación-floculación eliminan una gran cantidad de compuestos orgánicos (59-73%) cuando su peso molecular está por encima de 500 g/mol; por el contrario en los de peso molecular inferior a 500 g/mol (sólo se eliminan en torno al 18%) (J. Yoon *et al.*, 1.998).

El sulfato de alúmina, el sulfato ferroso, el cloruro férrico, y el clorosulfato férrico son comúnmente usados como coagulantes, pero las sales ferrosas no son tan efectivas como otros coagulantes (J. Surmacz-Gorska *et al.*, 2.001), (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999), (R.J. Thorton *et al.*, 1.973), (S. Cho *et al.*, 1.974), (J.D. Keenan *et al.*, 1.983), (C.S. Slater *et al.*, 1.983). No obstante, las sales de hierro son más eficientes que las sales de aluminio. Polielectrolitos aniónicos, cationes y neutros pueden ser usados como ayuda para incrementar la tasa de formación de flóculos aunque realmente no son efectivos para reducir la turbidez (J. Yoon *et al.*, 1.998).

En estos procesos, los parámetros más importantes son el pH y la dosis de coagulante. La dosis de coagulante debería ser determinada individualmente para cada lixiviado. Por ejemplo, la dosis de Fe³⁺ en una instalación industriales de 0,25-0,50 Kg/m³ de lixiviado (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999). Si se usan sales férricas, el pH de la floculación es 4,5-4,8, mientras que con sales de aluminio es 5-5,5 (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999).

Ha habido algunos intentos (J. Surmacz-Gorska *et al.*, 2.001) (C.T. Tsai *et*

al., 1.997). de aplicar electrocoagulación al tratamiento de lixiviados de vertederos, usando un ánodo de aluminio o hierro como fuente de coagulación de iones. Con este método es posible obtener una eliminación de **DQO** entre el 30-50%. Las sustancias de alto peso molecular son eliminadas por coagulación y las de bajo peso molecular por electrolisis.

LA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN COMO PRETRATAMIENTO DE LA ÓSMOSIS INVERSA.

Para muchos vertederos de 10 años o más de antigüedad en Europa y EEUU, los lixiviados cada vez se estabilizan más. Los procesos de degradación biológica, los tratamientos físico-químicos y la adsorción con carbón activo son rara vez adecuados para tratar eficazmente estos lixiviados. Por el contrario el tratamiento con ósmosis inversa produce unos rendimientos de más del 95% en la **DQO** y en los **SDT** (sólidos disueltos totales) (A. Amokrane *et al.*, 1.997), (T. Bilstad *et al.*, 1.992).

Sin embargo, la viabilidad del tratamiento de los lixiviados de vertedero está altamente condicionada por la elección del modo elegido para el pretratamiento. El pretratamiento biológico a menudo es ineficaz como tratamiento previo en la ósmosis inversa. (A. Amokrane *et al.*, 1.997), (E.S.K. Chian *et al.*, 1.976). Por el contrario, la precipitación de cal o la coagulación-flotación podría ser adoptada (A. Amokrane *et al.*, 1.997), (C.S. Slater *et al.*, 1.983), (E.S.K. Chian *et al.*, 1.976).

De la misma manera la microfiltración y la ultrafiltración han demostrado su idoneidad, a condición de que vayan precedidos de procesos físico-químico como la coagulación-floculación o precipitación de cal (C. Slater *et al.*, 1.983), (A.C Syzdek *et al.*, 1.984). En cualquier caso la coagulación-floculación es un sistema de pretratamiento apropiado para la eliminación de partículas coloidales, las cuales son las principales responsables de las incrustaciones producidas en el tratamiento de lixiviados de vertedero con ósmosis inversa. Además, este proceso de pretratamiento es recomendado para la eliminación de la **DQO** del lixiviado estabilizado (A. Amokrane *et al.*, 1.997), (H.J. Erig. 1.984).

Es importante optimizar los parámetros del proceso de la coagulación-floculación, principalmente la dosis óptima de coagulante y el pH, así como el mejorar la floculación mediante la adición de floculantes. La dosis óptima de coagulante es similar para el sulfato de alúmina y para el cloruro férrico. Sin embargo, el cloruro férrico es más efectivo que el sulfato de alúmina para la reducción de la **DQO** (42-55%) y para la reducción de la turbidez (87-94%). (A. Amokrane *et al.*, 1.997).

Incrementando la dosis de coagulante, el porcentaje de volumen de fango (ml de fango/100 ml de lixiviado) se incrementa gradualmente, llegando a un máximo (45%) para una dosis de coagulante cercana a la dosis óptima de coagulante, y decrece a medida que ésta se incrementa. (A. Amokrane *et al.*, 1.997). El diámetro de los flóculos es menor de 0,1 mm (A. Amokrane *et al.*, 1.997) y el tiempo de sedimentación no es largo (A. Amokrane *et al.*, 1.997).

La lechada de cal (50 g/l) y la solución de hidróxido sódico (8 mol/l) son frecuentemente usadas controlando el pH durante el proceso de coagulación (A. Amokrane *et al.*, 1.997). Usando la dosis óptima de coagulante en experimentos realizados, los resultados indican que el rendimiento en la eliminación de la turbidez y la **DQO** es menor a medida que se incrementa el pH (A. Amokrane *et al.*, 1.997).

Si consideramos el pH óptimo como el pH al que se consigue la eliminación de la turbidez, parece que la dosis óptima de coagulante influye en el pH óptimo, es decir, el óptimo de pH se correspondería con el pH alcanzado a la dosis óptima de coagulante. La reducción de la turbidez es menos eficiente en medio alcalino que en medio con el pH entre 4 y 4,5 (A. Amokrane *et al.*, 1.997), (H.J. Erig. 1.984), (R. Stegman *et al.*, 1.980). Además, se observa que los coloides orgánicos floculan muy bien con un pH entre 4-4,5 con sales férricas y entre 5-6 con sales de aluminio. (A. Amokrane *et al.*, 1.997), (D.B. Badcock *et al.*, 1.979), (M.L. Semmens *et al.*, 1.980).

Si la coagulación-floculación es llevada a cabo en un medio alcalino (pH>9), el Fe(OH)₂ precipita más, y la eliminación del hierro es más eficiente que con un pH

4,5-5,5. Sin embargo la reducción de la turbidez es menos considerable; los sobrenadantes pueden obstruir la membrana de ósmosis inversa por la turbidez residual. Como consecuencia de ese pH alcalino, los sobrenadantes obstruirán la membrana por incrustaciones de CaCO_3 . En este caso, los sobrenadantes deben ser pretratados de nuevo (antes del proceso siguiente a la ósmosis inversa) para eliminar la turbidez residual y especialmente eliminar el CaCO_3 por adición de CO_2 hasta alcanzar un pH de 9 (para precipitar el CaCO_3) y posterior acidificación (por adición de HCl) hasta alcanzar un pH de 4,5-6,5 (A. Amokrane *et al.*, 1.997), (C. Slater *et al.*, 1.983).

Para alcanzar una floculación de calidad, no solo hay que utilizar una dosis óptima de coagulante sino también añadir a los procesos de sedimentación polímeros orgánicos neutros y polímeros iónicos.

2.6.3.6.- PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE VERTEDEROS POR TÉCNICAS DE ADSORCIÓN.

La adsorción no es selectiva con los compuestos orgánicos disueltos, por lo que el proceso puede ser usado para el tratamiento de lixiviados de vertedero (Surmacz-Gorska, 2.001); así, durante el proceso, sustancias biodegradables y no biodegradables como las sustancias húmicas y los compuestos orgánicos alogenados pueden ser eliminados. La concentración de **AOX** puede ser reducida incluso por debajo de 1 mg/l (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999). Después del tratamiento del lixiviado de vertedero, la cama adsorbente debe ser regenerada.

El carbón activo granular o en polvo es el adsorbente comúnmente más usado (A. Amokrane *et al.*, 1.997) (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999) (M.L. Semmens *et al.*, 1.980) (N. Iwami *et al.*, 1.992). La adsorción con carbono permite eliminar entre el 50-70% de la **DQO** y del nitrógeno amoniacal. Otros materiales testados como adsorbentes, han dado resultados similares a los obtenidos con carbón activo. Este es el caso de la zeolita, vermiculita, illita, caolinita, alumina activa y cenizas de incineradoras de residuos municipales (Surmacz-Gorska, 2.001), (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999) (A. Amokrane *et al.*, 1.997) (E.S.K. Chian *et al.*, 1.976).

Experimentos realizados en instalaciones piloto han mostrado que la adsorción con carbón activo en polvo es más eficaz que con columnas de carbono activo granular. La efectividad de la adsorción llevada a cabo en tanques con carbón en polvo se puede mejorar con aireación (Surmacz-Gorska, 2.001), (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999). Un gramo de carbón activo en polvo permite, en condiciones óptimas, la eliminación de 250-500 mg de **DQO** y 500 mg de **AOX** en un lixiviado. (Surmacz-Gorska, 2.001), (Cz. Rosik-Dulewska, 1.999).

CAPÍTULO 3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.-DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE DE ARANDA DE DUERO.

Por su importancia en esta investigación, ha de definirse de manera separada la red de lixiviados, la red de agua industrial y la red de tratamiento de gases, durante el proceso de elaboración de compost procedente de la fracción orgánica de **RSU** en la planta de compostaje. De igual manera, se describe muy brevemente el funcionamiento de la instalación.

3.1.1.-DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

La planta de compostaje de Aranda de Duero (figura 3.1) se distribuye a lo largo de 2 has de terreno, ubicado en las proximidades del antiguo vertedero comarcal.



Figura. 3.1. Vista aérea del CTR de Aranda de Duero. Coloquialmente se le denomina planta de compostaje de Aranda.

La planta está dimensionada para tratar 40.000 T/año, si bien en la actualidad trata 30.000 T/año correspondientes a Aranda de Duero y a las mancomunidades de la comarca. Tanto la recogida selectiva de papel-cartón como la de **EELL** están implantadas en la zona.

El residuo procedente de los camiones de recogida de recogida municipales, o de las plantas de transferencia próximas es depositado en la playa de descarga del edificio de cribado, triaje y recuperación, previo pesado en la báscula de entrada de los camiones que lo transportan (figura 3.2).

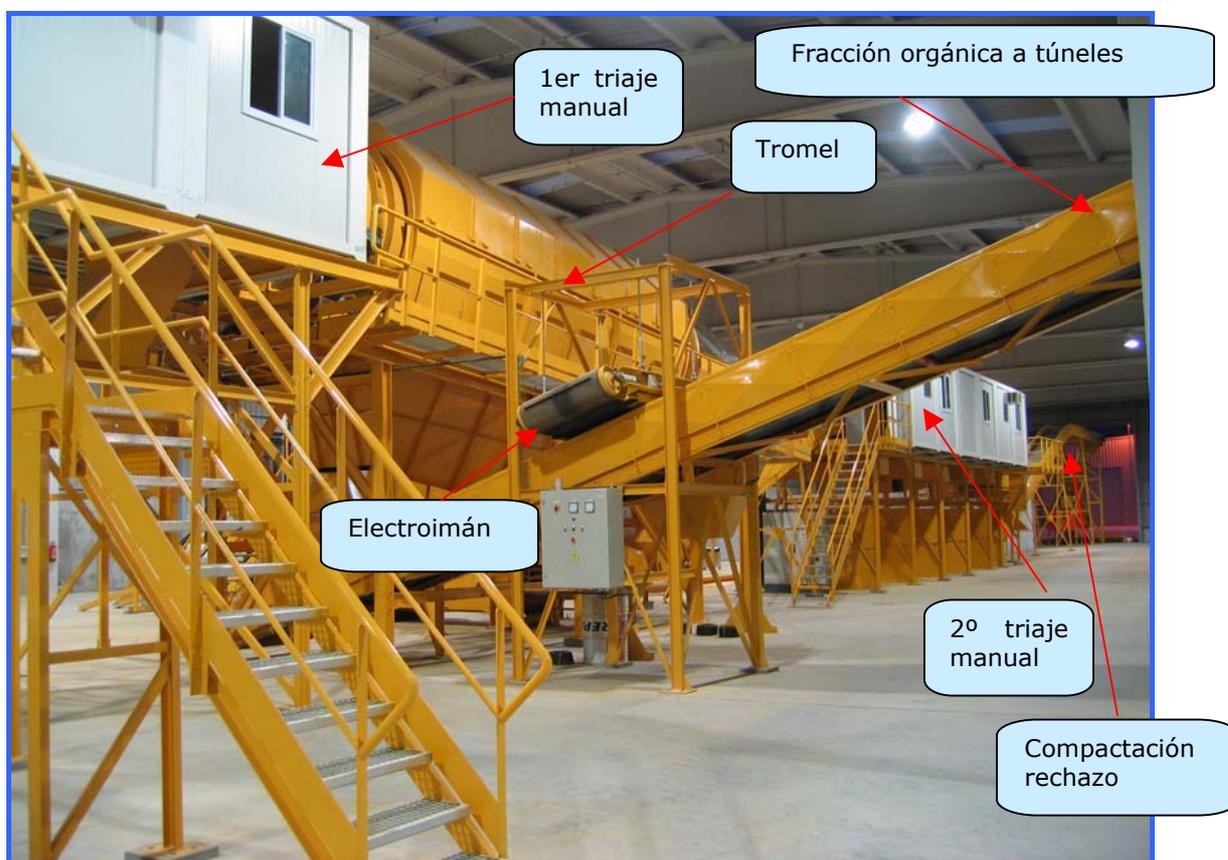


Figura 3.2. Edificio de 1^{er} triaje, tromel, recogida del pasante, 2^o triaje y salida del rechazo

Una vez allí, el residuo con una pala, y una vez separada los elementos más gruesos (monstruos o voluminosos), es dirigido a un molino rompebolsas desde donde es enviado a una cabina donde se realiza un primer triaje manual separando

papel-cartón, envases de **PET**, envases de **PEAD**, brick, y plástico film. Desde allí el residuo es enviado a un tromel.

La función del tromel es separar la fracción orgánica de la inorgánica. Para ello cuenta en el fondo con unos orificios de 90 mm de diámetro que permiten el paso de la fracción < 90 mm. Esta fracción en su mayor parte es orgánica. Se denomina fracción pasante. A su salida esta fracción pasa por un electroimán para la recuperación de férricos, permitiendo separar la fracción orgánica sin estos elementos.

La fracción no pasante, será aquella de diámetro > 90 mm y que atraviesa longitudinalmente el tromel. Esta fracción es sometida a un segundo triaje manual para separar **EELL** de brick, **PEAD** y **PET**. Finalmente, el rechazo es compactado, una vez se separa el aluminio y los férricos mediante un separador de Foucault y un electroimán respectivamente. El rechazo compactado es enviado a vertedero.

La fracción pasante es enviada a los túneles de maduración, donde permanecerá 15 días en condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación. Transcurridos estos quince días es enviado a una nave de maduración donde permanecerá 4 semanas con riegos y volteos semanales.

Una vez transcurridas estas cuatro semanas, el compost o el material bioestabilizado es sometido a un cribado y afino y almacenado para su posterior venta como enmienda orgánica.

3.1.2.-DESCRIPCIÓN REDES DE LIXIVIADOS. RED DE AGUA INDUSTRIAL Y BIOFILTRO

3.1.2.1.-RED DE RECOGIDA Y RECIRCULACIÓN DEL LIXIVIADO

En la Planta de compostaje de Aranda de Duero la red de pluviales está separada de la red que recoge los lixiviados. Así, en dos de sus principales instalaciones: nave de pretratamiento y nave de maduración, hay una doble red de canaletas de alcantarillado.

En la nave de maduración, la red más externa es la encargada de recoger todas las aguas pluviales derivándola a la "balsa de pluviales". A su vez, la red más interna es la que recoge todos los lixiviados que se generan en la nave derivándolos a una balsa de lixiviados.

En la zona de los túneles de compostaje, el lixiviado es recogido en 2 puntos (zona plenum, y zona entrada túneles). El mayor porcentaje de lixiviado generado en los túneles es recogido en los "plenum" de cada túnel, a través de losetas de hormigón perforadas, que el lixiviado atraviesa y es recogido en una solera con suficiente pendiente como para ser recogido y, por gravedad, conducido hacia un tanque abierto de hormigón ("piscina de lixiviados"). El resto de lixiviado generado en los túneles se recoge por medio de unas canaletas situadas a la salida de las puertas de acceso de los mismos (el plenum no abarca el 100 % de la superficie del túnel), y es canalizado y conducido por gravedad hacia la "piscina de lixiviados". Esta piscina dispone de un rebosadero que conduce el lixiviado generado a la balsa de lixiviados.

El riego de los túneles con lixiviado se realiza mediante un sistema de válvulas motorizadas y difusores. El lixiviado es mandado desde la "piscina de lixiviados", previo paso por un filtro de cartucho hacia los túneles. No obstante, existe la posibilidad de regar los túneles únicamente con agua no potable almacenada en un depósito de hormigón de 350 m³ procedente de un pozo de captación ubicado en las afueras de la instalación. Esta agua la denominamos "agua industrial".

Otro punto donde se genera lixiviado es en la zona del Biofiltro. El aire contaminado que se produce en el interior de los túneles como consecuencia de los procesos biológicos que se desarrollan es extraído y enviado a un biofiltro. La biofiltración de efluentes gaseosos se define como un proceso biológico utilizado para el control o tratamiento de compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos presentes en la fase gaseosa. En la biofiltración, los microorganismos son los responsables de la degradación biológica de los contaminantes volátiles contenidos

en corrientes de aire contaminado.

Los lixiviados generados en este proceso de biofiltración, que describiremos en el apartado de red de tratamiento de gases, se recogen por gravedad en la "piscina de lixiviados" (figura 3.3), situado anexo a la **CGT** (cámara de tratamiento de gases).

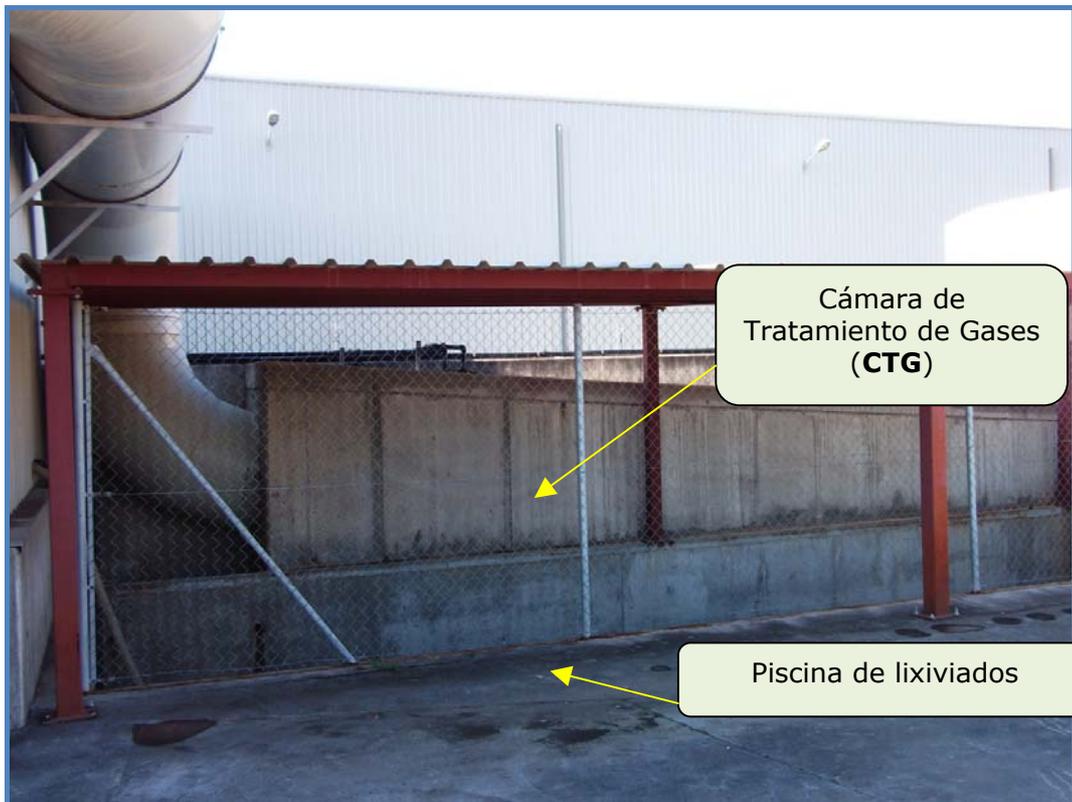


Figura 3.3. Vista lateral del CTG y la piscina de lixiviados

El lixiviado recogido en la piscina de lixiviados es utilizado para humectar la masa de residuos en los túneles de compostaje.

El lixiviado recogido en la balsa de lixiviados es utilizado para humectar los 8 cordones en los que se distribuye el compost saliente de los túneles de

fermentación. Estos cordones se extienden a lo largo de la nave de maduración.

En la actualidad, el lixiviado sobrante recogido en la balsa, es gestionado por mediación de gestor autorizado.

3.1.2.2.- RED DE AGUA INDUSTRIAL PARA RIEGO DE TÚNELES DE COMPOSTAJE y BIOFILTRO

El sistema de riego de túneles con agua de red, es similar al de lixiviado, de hecho usan la misma conducción. El agua proviene del depósito situado anexo al biofiltro y, mediante un sistema de válvulas y difusores, permite humectar el material del túnel.

Por otro lado tenemos el riego del biofiltro. Hay que tener presente que el material filtrante (en nuestro caso es corteza de pino), debe tener una buena capacidad de retención de agua, ya que los microorganismos requieren de una importante cantidad de agua para crecer, por lo que hay que mantener una humedad adecuada para que tenga lugar el desarrollo microbiano. Si aumentamos el contenido de humedad en exceso, podemos provocar una saturación, provocando zonas anaeróbicas y dificultando ese desarrollo microbiano.

El riego del biofiltro se realiza mediante el agua de red, que se distribuye por 2 líneas de riego con 3 aspersores cada una y colocadas perimetralmente rodeando el biofiltro.

Existe también riego de gases. Éstos son rociados en la **CTG**, previo a entrada del biofiltro, bien con agua de red, o mediante la recirculación de la misma al desaguar en una arqueta-depósito anexa.

3.1.2.3.-RED DE TRATAMIENTO DE GASES.

La entrada de aire a los túneles, se realiza mediante 2 aperturas situadas en la cubierta de la parte delantera del túnel, que por medio de dos codos provistos de

rejillas de sobrepresión, el aire entra en la zona de carga del túnel hacia el mismo, impidiendo la circulación en sentido contrario, con lo cual se garantiza el aire renovado necesario para el proceso de fermentación aeróbica dentro de los túneles.

El sistema de ventilación consta de un ventilador centrífugo en cada túnel, que aspira el aire y lo conduce hacia la **CTG**, situada entre el biofiltro y la piscina de lixiviados. En el momento que entran estos gases son enfriados y humedecidos mediante un rociado de agua, realizado por 3 difusores-humidificadores. La función de estos es conseguir precipitar un porcentaje elevado de compuestos orgánicos susceptibles de producir olores, a la vez que el aire entre en el biofiltro saturado de humedad y se reduce la temperatura del gas a tratar.

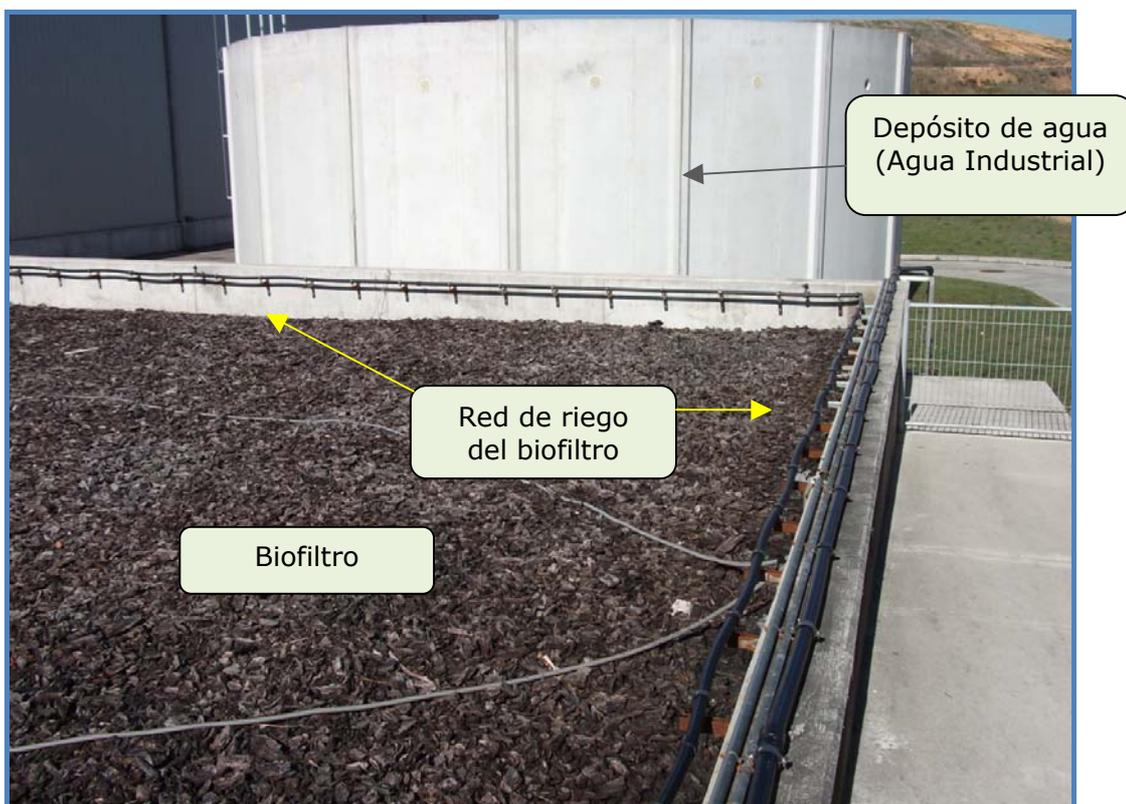


Figura 3.4. Vista superior del biofiltro

El aire que ha pasado por la **CTG** llega al biofiltro a través de su plenum, de similares características que el existente en los túneles, donde el aire es impulsado a través de su suelo poroso. Es en este punto donde comienza el proceso de biofiltración, que permite el control y tratamiento de los compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos presentes en los gases generados durante el compostaje, y donde los microorganismos existentes en el biofiltro, son los responsables de la degradación biológica de estos contaminantes volátiles. Mediante este proceso, se consigue el objetivo principal, que no es otro que eliminar la generación de malos olores (figura 3.5).



Figura 3.5. Sistema de conducción de los gases extraídos desde los túneles de fermentación al CTG. Red de riego del biofiltro

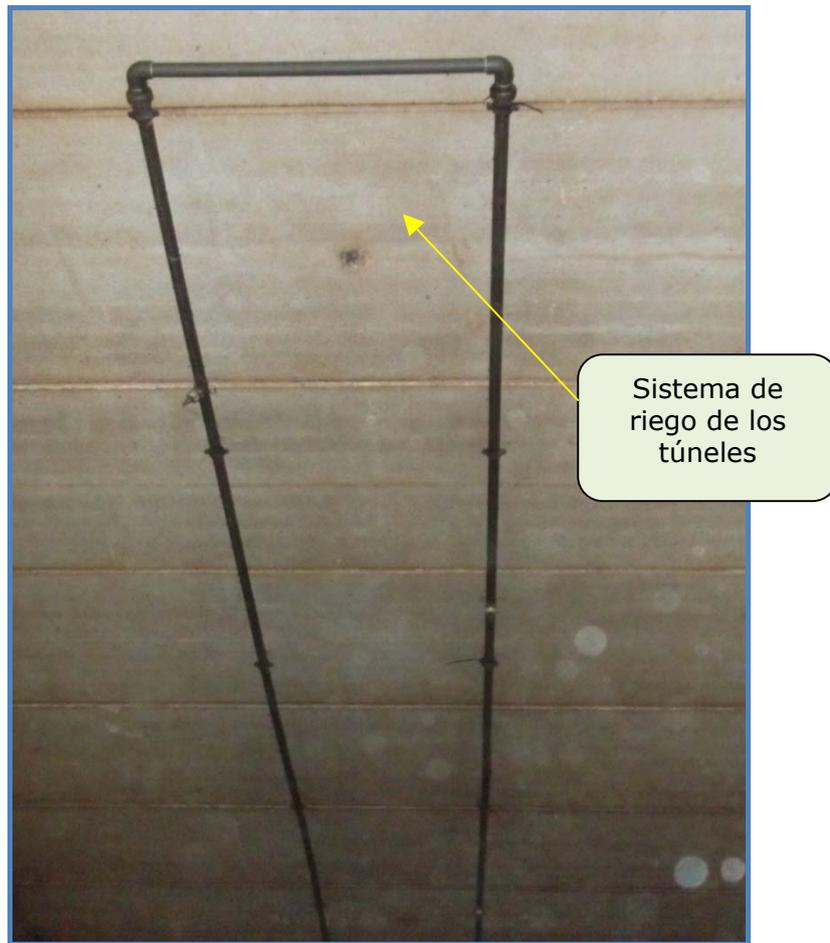


Figura 3.6. Sistema de riego de túneles

3.1.3.- DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

El funcionamiento básico de la instalación objeto de la investigación consiste en la obtención de compost o material bioestabilizado (según el material de entrada), y materiales recuperables a partir de los **RSU** recogidos en la fracción "todo uno". La cantidad de **RSU** recogidos, y correspondientes a Aranda de Duero, y las mancomunidades "La Yecla", "Ribera de Duero-Comarca de Roa", "Río Arandilla", "Valle del río Riaza", además de los **RSU** procedentes de las plantas de transferencia de Salas de Los Infantes (mancomunidades "Alfoz de Lara" y "Alta Sierra de Pinares") y Lerma (mancomunidades "Bajo Arlanza", "Comarca del Arlanzón", "Virgen de Manciles" y "Ribera del Arlanza y del Monte") se sitúa en

torno a las 30.000 T/año. En total, el **CTR** trata los **RSU** generados por 77.158 habitantes y da servicio a un total de 181 ayuntamientos.

Los **RSU** entran en la playa de descarga (figura 3.7), procedente de los vehículos de recogida municipal. Mediante una pala se trasladan a un molino rompebolsas (figura 3.8), y de ahí son enviados, mediante cintas, a un primer triaje manual donde se separan el papel-cartón y plásticos (**PEAD**, **PET**, **Bricks**) en trojes diferentes (figura 3.9).



Figura 3.7. Playa de descarga. Vehículo de transferencia descargando RSU

Después de ese primer triaje pasan a un tromel donde se separa la fracción pasante (< 90 mm), constituida en su mayor parte por materia orgánica, y la fracción no pasante (> 90 mm) que es sometida a un segundo triaje manual. La fracción pasante es sometida a un separador magnético para eliminar los elementos

férricos y la no pasante, una vez realizado el triaje, a un separador magnético y a otro de inducción para separar los férricos y no férricos. El producto final obtenido es considerado rechazo y es depositado directamente en el vertedero.



Figura 3.8. Pala cargando los RSU desde la playa al molino rompebolsas. Cinta transportadora a la cabina de triaje 1º manual



Figura 3.9. Operarios realizando 1 er triaje manual

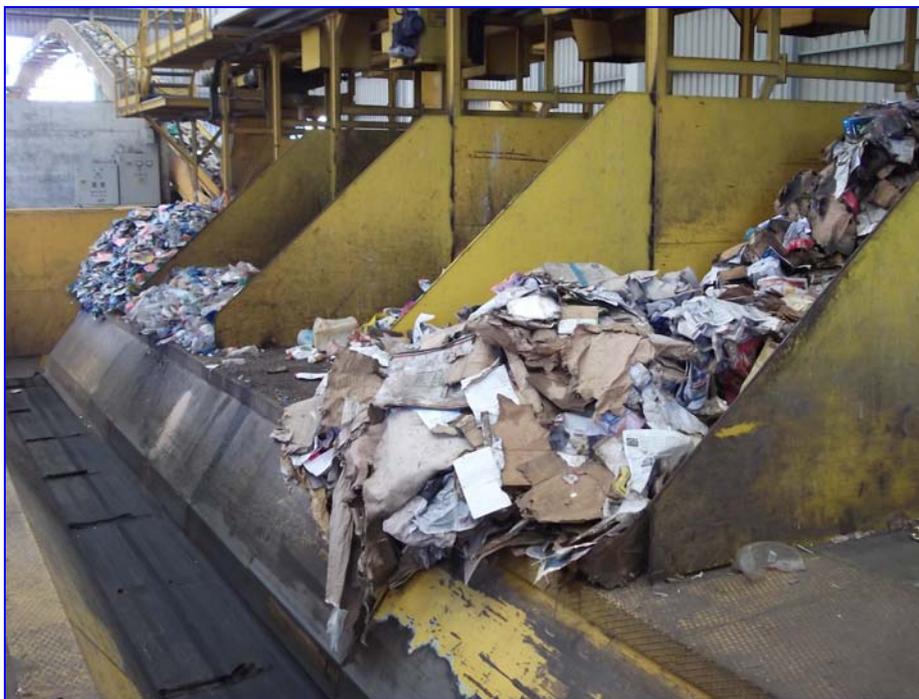


Figura 3.10. Trojes de papel/cartón, PEAD y PET bajo cabina de triaje 1º



Figura 3.11. Balas de PEAD almacenadas para recogida por un recuperador.



Figura 3.12. Balas de plástico film almacenadas para recogida por un recuperador.



Figura 3.13. Balas de Brick almacenadas para recogida por un recuperador



Figura 3.14. Balas de Papel/cartón almacenadas para recogida por un recuperador.



Figura 3.15. Balas de férricos almacenadas para recogida por un recuperador



Figura 3.16. Balas de PET almacenadas para recogida por un recuperador



Figura 3.17. Prensa empacando balas de férricos



Figura 3.18. Cinta de descarga de la fracción pasante (<90mm).Principalmente MO

Por lo que respecta a la fracción orgánica, ésta es enviada a unos túneles de fermentación, donde controlándose las condiciones de humedad y temperatura se aceleran las reacciones químicas y durante 15 días se desarrolla la fase activa del compostaje (figura 3.18 y 3.19).



Figura 3.19. Residuo bruto constituido, en su mayor parte, por MO (<90mm) introducida en un túnel de fermentación. Sistema de riego del túnel.

De ahí el compost es enviado a una nave de maduración y es dispuesto en cordones para su estabilización (figura 3.20), donde permanecerá 4 semanas. Durante estas cuatro semanas se aporta humedad mediante riegos semanales con una volteadora (figura 3.23). Transcurridas esas 4 semanas será sometido a un cribado y afino para obtener finalmente un compost de granulometría < 25 mm y apto para ser usado como enmienda orgánica (figura 3.24).



Figura 3.20. Formación de un cordón con RSU saliente del túnel de fermentación.



Figura 3.21. Cordón en dos mitades. $\frac{1}{2}$ regado con lixiviado y $\frac{1}{2}$ con agua industrial



Figura 3.22. Volteadora del cordón en nave de maduración.



Figura 3.23. Volteadora del cordón regando mientras voltea.



Figura 3.24. Cribado y afinado del compost.



Figura 3.25. Almacenamiento del compost cribado y afinado.

3.2.-DESCRIPCIÓN DEL VERTEDERO CLAUSURADO Y SELLADO DE ARANDA DE DUERO

El vertedero de residuos urbanos de Aranda de Duero se ubica en la parcela número 550 del polígono 31 del municipio de Aranda de Duero. La superficie total de la parcela es de 62.435 m². El vertedero ocupa unas 35.000 m².

Este vertedero entró en funcionamiento en el año 1.997. Desde esta fecha se han vertido aproximadamente unas 19.000 t/año de **RSU** y se estima una deposición de Residuos industriales (peligrosos y no peligrosos) de 2.500 t/año.

Mientras el vertedero estaba en funcionamiento no estaba implantada ni la recogida selectiva de papel-cartón ni la recogida selectiva de **EELL**.

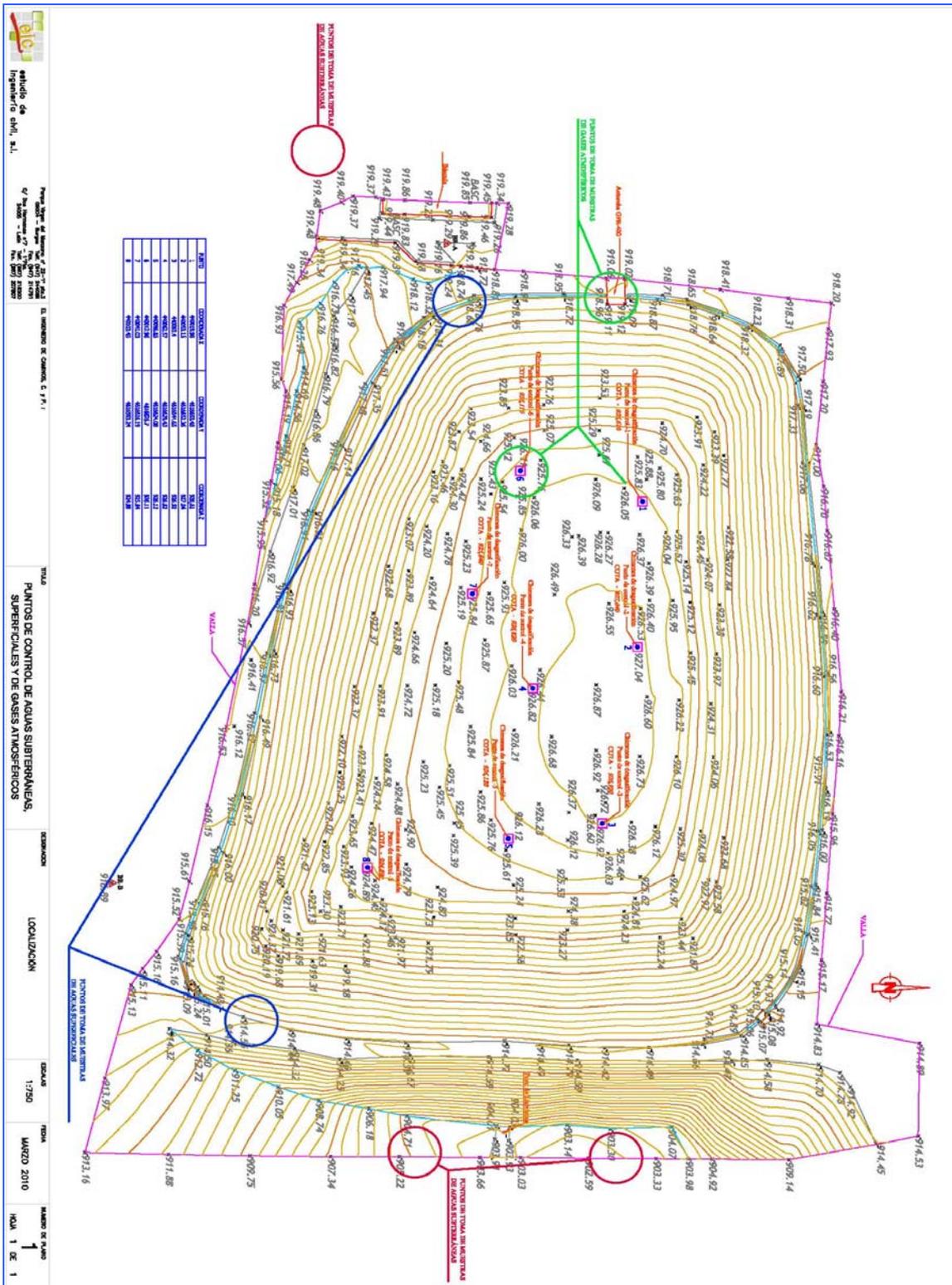


Figura 3.26. Plano control aguas subterráneas, superficiales y gases atmósfera

A partir del 1 de noviembre de 2.007 el vertedero ha dejado de recibir **RSU**, recibiendo sólo residuos industriales hasta el 1 de mayo de 2.008, fecha en la que se clausuró. El 18 de junio de 2.009 se selló, y desde el 1 de diciembre de 2.009 se está realizando el mantenimiento posclausura.

3.3.- DESCRIPCIÓN DEL MBR

Las pruebas se realizan con una planta piloto capaz de tratar 300-400 l/día. Dicha planta piloto es un **MBR**.

La instalación consta básicamente de un tratamiento físico-químico, un reactor biológico y una ultrafiltración con membranas. Más adelante se introducirá un sistema de decantación entre el físico-químico y el biológico.

- FÍSICO-QUÍMICO
- DECANTADOR
- REACTOR BIOLÓGICO
- MEMBRANAS

Las características principales de cada uno de estos elementos de la instalación son:

➤ FÍSICO QUÍMICO

Está formado por 2 tanques de 3 m³/ud. Presenta un agitador en el tanque nº1, modelo y motor de 0,75 Kw con variador de frecuencia incorporado, marca TFB (se precisa de velocidad rápida para facilitar la coagulación y lenta para facilitar la floculación). (Figura 3.27)

Como reactivos químicos se usará un floculante (polielectrolito catiónico), un coagulante (cloruro férrico al 40%) y lechada de cal.

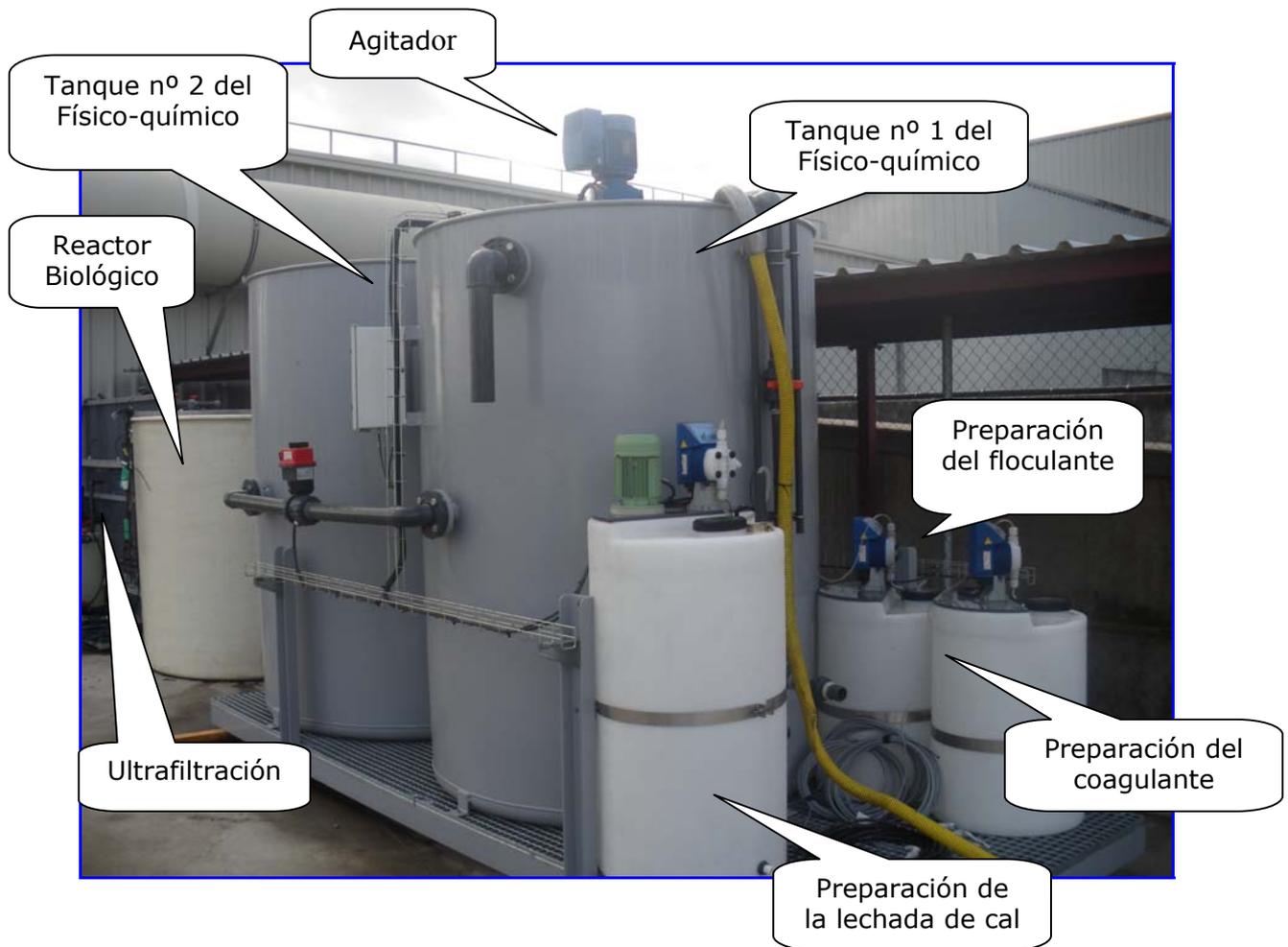


Figura 3.27. Físico-químico previo al biológico

➤ DECANTADOR

Las dimensiones del decantador son 2 m de diámetro, por 3,3 m de altura. Presenta fondo cónico a 45°, campana deflectora central, vertedero tipo Thompsom de diente de sierra (figura 3.34 y figura 3.35). Dispone de brida de vaciado, brida de entrada y brida de salida.

Se intercalará entre la bomba de alimentación al biológico y el biológico de forma que si alimentamos desde el tanque nº 2 del físico-químico y queda algún sólido no separado, éste tenderá a decantar en el propio decantador vaciando los lodos con una válvula en fondo.



Figura 3.28. Difusores de burbuja fina en el reactor biológico

➤ REACTOR BIOLÓGICO

El reactor es un depósito cilíndrico de fibra de vidrio, con un diámetro de 1,6 m y altura 1,8 m. Su volumen es 2,88 m³. La inyección de oxígeno es mediante difusores de burbuja fina marca sanitaire (4 ud) (figura 3.28), y una soplante de alimentación de 10 m³/h. El licor mezcla del reactor es previamente filtrado (paso de sólidos < 3 mm) y enviado mediante una bomba de recirculación de $q = 5 \text{ m}^3/\text{h}$ y 3 bar, a las membranas

➤ MEMBRANAS

El sistema de membranas es una ULTRAFILTRACION. Las membranas son de **PVDF** (Polifluoruro de vinilideno) y de cartucho. Son 2 módulos. La superficie de cada membrana es de 0,15 m²/módulo (0,30 m² en total). El diámetro del paso de tubo es de 8 mm. El tamaño del poro es de 0,03 micras. La presión máxima de trabajo está entre 2-4 bares. El caudal de permeado es 18-27 L/h (figura 3.29 y figura 3.30).

La forma de trabajo del sistema **MBR** es tipo *Cross-flow*. Durante la filtración, una única parte del efluente es producido como permeado, el resto es recirculado al reactor. Esto permitirá limitar el *fouling* generado en las membranas y minimizará la frecuencia de las limpiezas. La velocidad de paso a través de las membranas se regula con válvulas manuales (interesa que una velocidad de paso de 3-4 m/s. A mayor velocidad menor tendencia a formar *fouling*). El permeado se obtendrá de forma constante a la salida de la membrana. Un rotámetro permitirá controlar el caudal del permeado obtenido. El grado de ensuciamiento de la membranas se controlará mediante manómetros.

Respecto a la limpieza, cada semana se efectuará una limpieza **CIP** (*Cleaning in place*), mediante un tanque que permite calentar la disolución para hacer más efectiva la limpieza. La limpieza se hará con ácido cítrico (incrustaciones inorgánicas) y con sosa e hipoclorito (incrustaciones orgánicas).

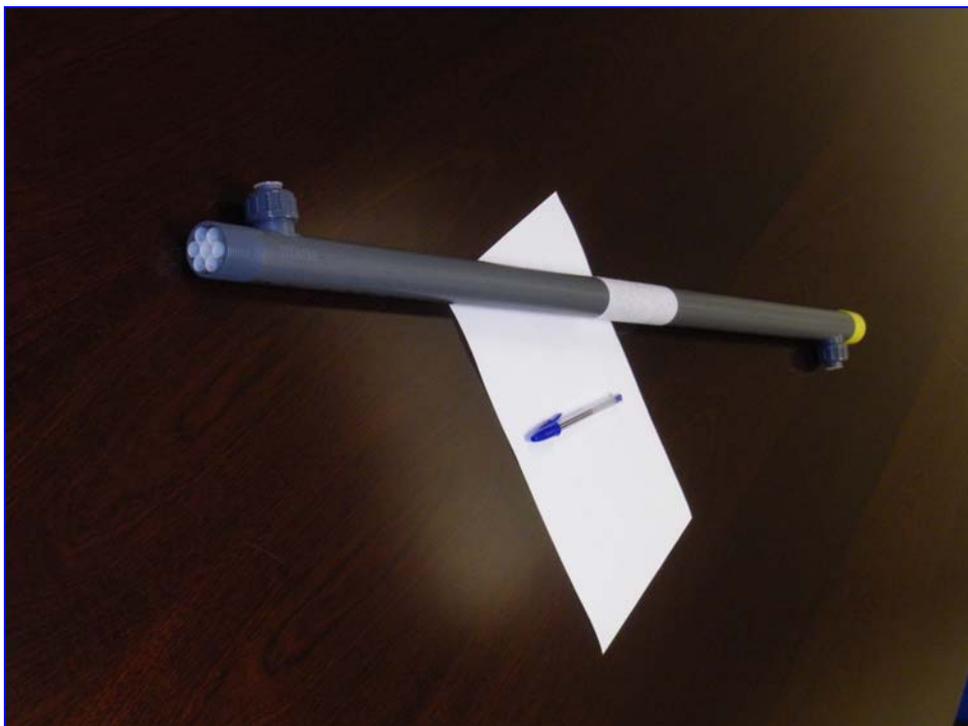


Figura 3.29. Membrana de cartucho de PVDF



Figura 3.30. Interior de la membrana de cartucho de PVDF

Mediante dos rotámetros se controlan los caudales de circulación del retenido del lixiviado (80 L min^{-1}) y del permeado del lixiviado ($0,1 \text{ L min}^{-1}$). A su vez, mediante dos manómetros se controlan las pérdidas de presión, que nos darán una idea de los niveles de ensuciamiento tanto del filtro como de los módulos de las membranas.

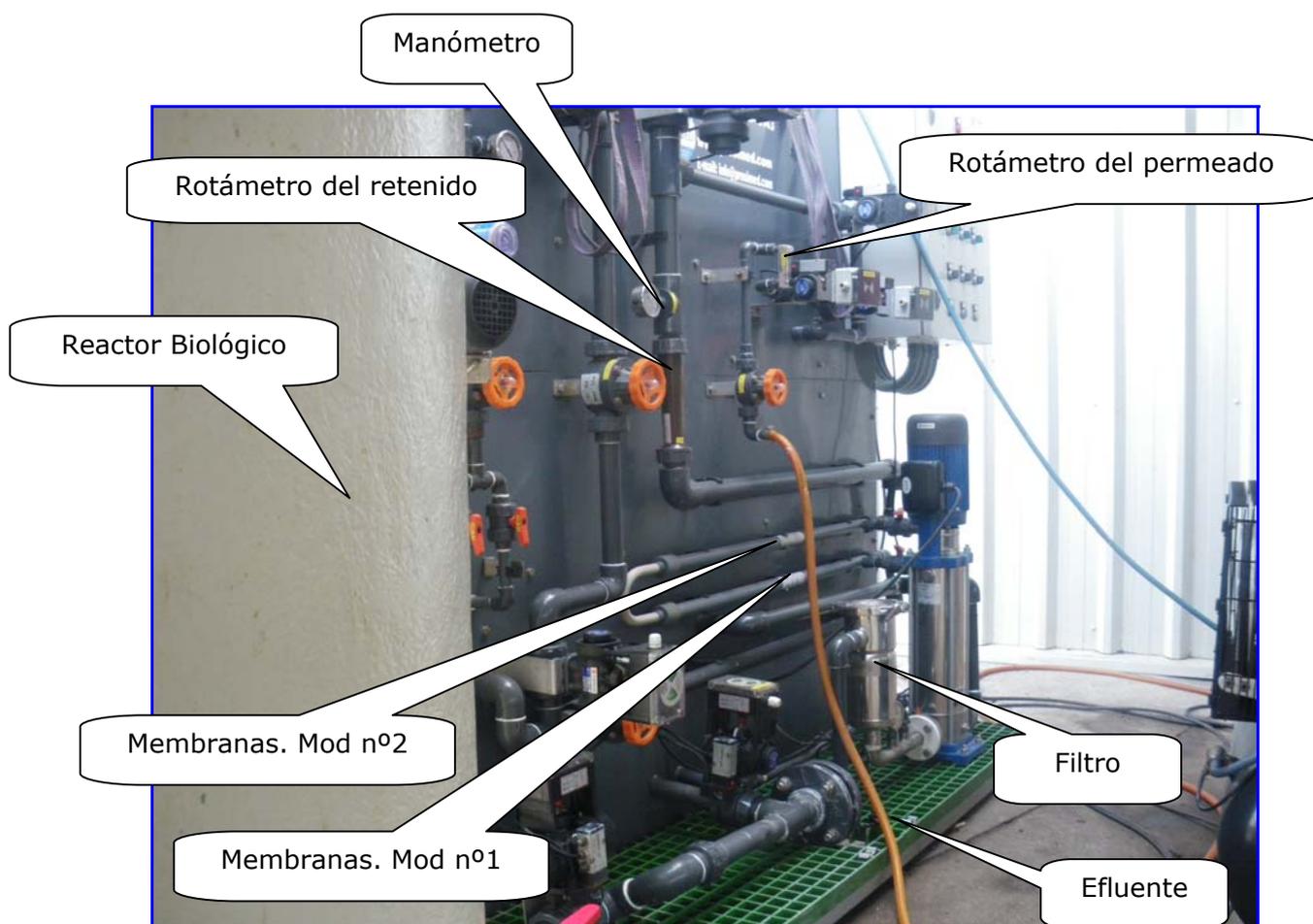


Figura 3.31. La ubicación de las membranas de ultrafiltración es externa al reactor

El flujo del retenido y del permeado a lo largo del circuito se representa en diferentes colores (rojo y azul) en las figuras 3.32 y 3.33 respectivamente.

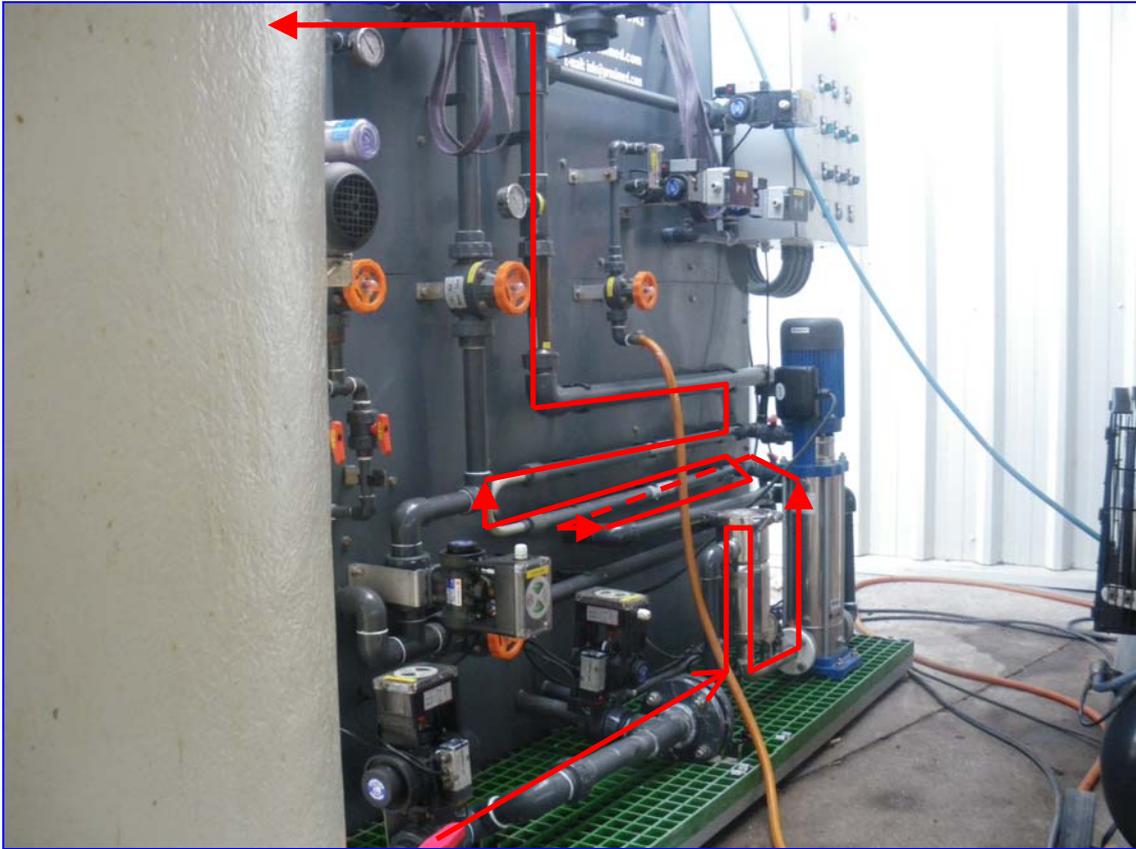


Figura 3.32. Circuito de recorrido del retenido. Color rojo.

Se representa en color rojo la recirculación del retenido (figura 3.32). Se recoge el trayecto que hace el lixiviado desde su salida del reactor, su paso por el filtro y manómetro, su entrada a través del cuerpo de la bomba y salida por la parte de atrás de la tableta (trazo discontinuo) para posteriormente volver al frontal de la tableta y atravesar el módulo nº1 y el módulo nº2 de las membranas, el retenido saliente asciende atravesando un rotámetro y un manómetro, para terminar vertiendo en el reactor biológico (recirculación). El caudal de recirculación del retenido al biológico en las pruebas a realizar es de 80 L min^{-1} , y el caudal de salida del permeado es de $0,1 \text{ L min}^{-1}$.

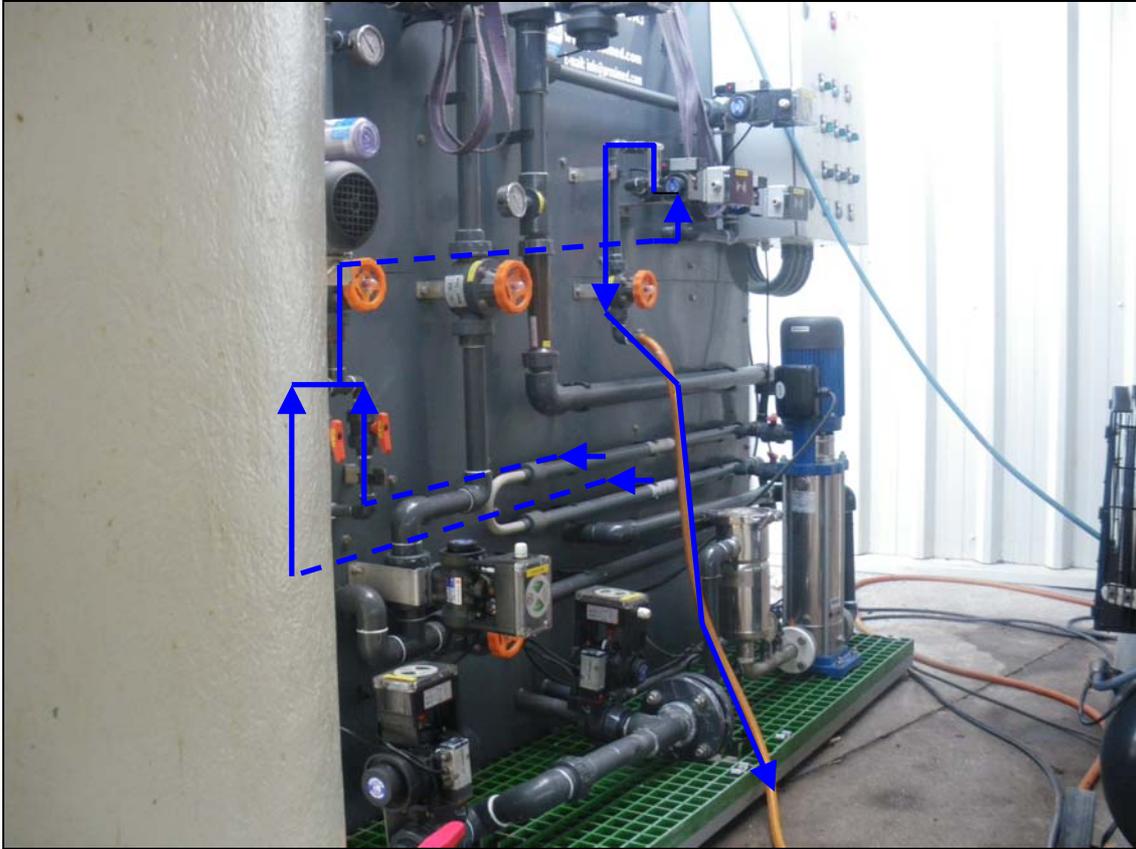


Figura 3.33. Circuito de recorrido del permeado. Color azul

Se representa en color azul (figura 3.33) el recorrido del permeado después de atravesar las membranas. Una primera tubería a la salida del módulo n°1 y una segunda a la salida del módulo n°2 continúan en la parte de atrás de la tableta (trazo discontinuo) para volver al frontal y unirse ambos caudales en una T. Al final de esa T el recorrido de la tubería vuelve a colocarse en la parte de atrás de la tableta (trazo discontinuo) para volver a aparecer, pasar por un pequeño rotámetro y conectar con una pequeña manguera donde se obtiene el efluente tratado.

Las pruebas se continuarán introduciendo un decantador entre el físico-

químico y el biológico. El decantador recibe el lixiviado procedente del segundo tanque del físico químico que es bombeado hacia el interior de la campana. En su fondo troncocónico decantarán los sólidos sedimentables. El efluente pasa al biológico a través del vertedero Thomson, con chapa deflectora.

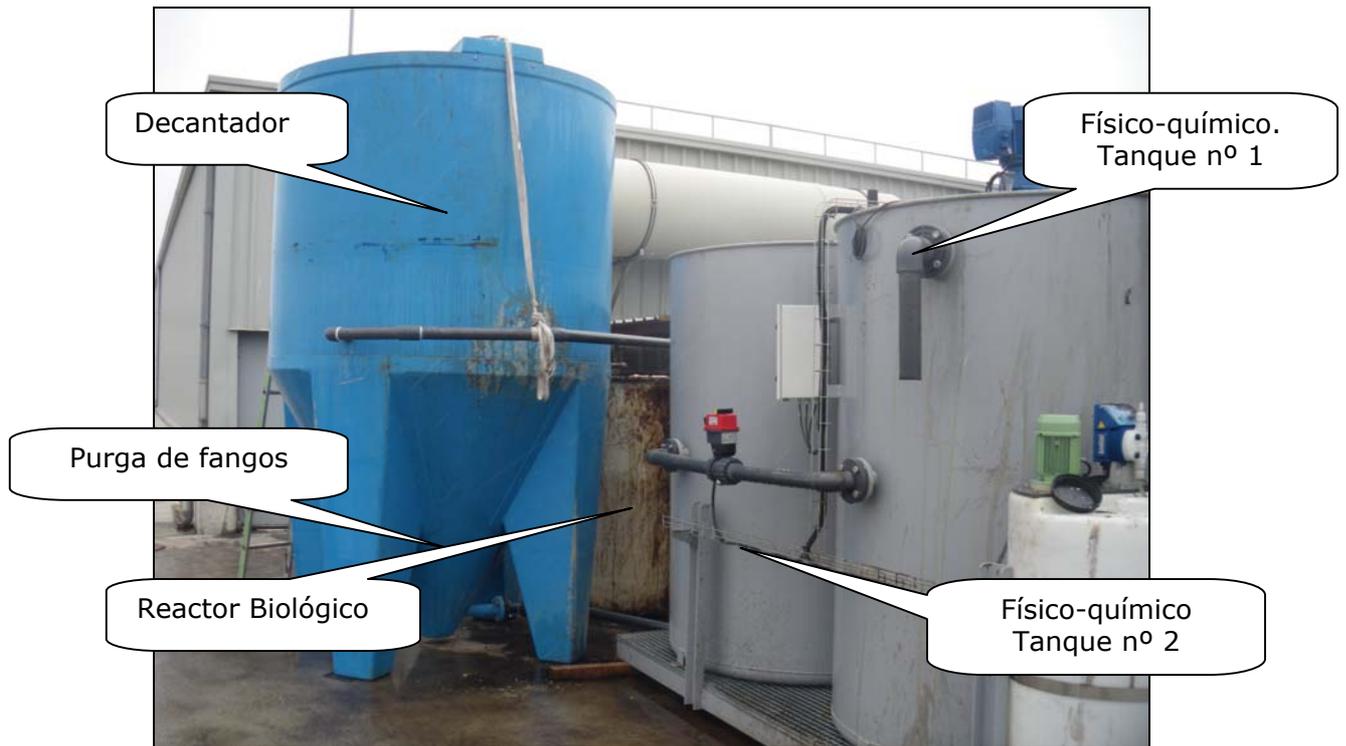


Figura 3.34. Decantador troncocónico posterior al físico-químico y previo al reactor



Figura 3.35. Vertedero del decantador

3.4.- DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras consistirá básicamente en la recogida de lixiviados de la balsa de lixiviados, lixiviados en los túneles y el agua industrial utilizada. También afectará al residuo en las diferentes fases del proceso, y al lixiviado tratado con el **MBR**.

3.4.1.- LIXIVIADO EN BALSA DE LIXIVIADOS, PISCINA DE LIXIVIADOS Y VERTEDERO

La balsa de lixiviados contiene los lixiviados procedentes del rebose de la piscina de lixiviados y el procedente de los riegos de la nave de maduración. La recogida se realizará mediante el accionamiento de una bomba de aspiración-impulsión con manguera flexible.

La piscina de lixiviados contiene el lixiviado procedente del riego de los túneles de fermentación y del biofiltro. La muestra se toma manualmente con un tomamuestras directamente en la piscina.

En el vertedero clausurado de Aranda de Duero el lixiviado es canalizado y conducido a un pequeño depósito enterrado de hormigón. Se procederá a la apertura de una tapa de registro ubicada en la parte superior del depósito y manualmente con un tomamuestras se tomará una muestra.

Con los tres tipos de lixiviados la frecuencia será representativa de las cuatro estaciones del año. Duración 9 meses. El tamaño de la muestra será de 5 litros. El recipiente será un bidón de polietileno. En cada muestra se incluirá la fecha. Las muestras se congelarán. La nomenclatura será para la muestras del lixiviado en la balsa de lixiviados **P1**, en la piscina de lixiviados **P2** y en el vertedero **P3**.



Figura 3.36. Lixiviados del vertedero. Almacenamiento en depósito de hormigón enterrado.



Figura 3.37. Lixiviados del vertedero. Arqueta

3.4.2.-LIXIVIADO EN TÚNELES

En la parte trasera de cada túnel hay un pozo de registro que recoge el lixiviado generado en el proceso de fermentación, todos ellos se comunican por gravedad. El pozo de registro nº 1 tiene la cota más alta y el nº 6 la cota más baja. De manera que el pozo de registro nº 1 recoge únicamente el lixiviado del túnel A, y vierte en el pozo de registro nº 2. El pozo nº 2 recoge el lixiviado del túnel B más el del pozo nº 1 (será A+B), y vierte en el pozo nº 3. El pozo nº 3 recoge el lixiviado del túnel C más el del pozo nº 2 (será A+B+C), y así sucesivamente. Al final el pozo nº 6 recoge el lixiviado del túnel F más el del pozo nº 5 que contiene la suma del lixiviado de todos los túneles anteriores y lo envía por gravedad a la piscina de lixiviados.

Por ello, las pruebas se realizaron en el túnel A [pozo de registro nº 1] que es el más alejado de la piscina de lixiviados y, en consecuencia, el de cota más alta. El pozo de registro nº 1 es el único de los seis que no presenta riesgo de mezclarse

el lixiviado del túnel al que pertenece con lixiviados de otros túneles. Por lo tanto, la muestra se recogerá directamente en el pozo de registro situado en la parte trasera del túnel objeto de nuestro estudio (túnel A). La frecuencia será diaria. La duración será de 15 días (tiempo de duración del proceso en los túneles de fermentación). El tamaño de la muestra será de 1 litro. El recipiente será un bote de polietileno. La experiencia se repetirá 3 veces en el túnel A, de manera que obtengamos tres réplicas. La humedad en el túnel se aportará mediante riego con agua industrial mediante difusores. El agua industrial de riego procede de un pozo ajeno a la planta de tratamiento y se almacena en un depósito de hormigón desde donde se suministra a los túneles y demás instalaciones de la planta.

La nomenclatura para las muestras correspondientes a la primera réplica será **A00062**. Para la segunda réplica **A00063** y para la tercera réplica **A00064**. En cada muestra correspondiente a cada uno de los quince días que dura cada réplica se indicará la fecha.

3.4.3.-AGUA INDUSTRIAL

La recogida de muestras de agua industrial. En previsión de variaciones en la calidad del agua industrial se tomará una muestra cuando se proceda a renovar el agua del depósito de hormigón.

La nomenclatura será para la muestra de agua industrial será **AR_i**. Donde $i=1,2, \dots, n$. Siendo n el número de veces que se llena el depósito de agua a lo largo del estudio.

3.4.4.-RESIDUO EN LAS DIFERENTES FASES DEL PROCESO

Recogida del residuo en sus diferentes fases: Salida del tromel (fracción pasante < 90 mm es la resultante del primer triaje manual y está formada en su mayor parte por materia orgánica. Es la fracción entrante en los túneles de fermentación); salida del túnel de fermentación (es el residuo que se deposita en la nave de maduración, transcurridos 15 días y finalizada la fase activa del

compostaje. Se sitúa formando un cordón partido en dos mitades. La primera mitad del cordón se regará con agua industrial y la segunda mitad del cordón se regará con lixiviado procedente de la balsa de lixiviados. La frecuencia del riego será semanal. El proceso de maduración dura 4 semanas); compost maduro sin afinar (será el compost resultante después de 4 semanas de maduración); compost afinado (será el compost ya disponible para su directa aplicación en agricultura).

La nomenclatura será:

-Muestra a la salida del tromel y entrada en túnel correspondiente al **residuo urbano bruto: RUBj**. Se toman unos 6 kg, con pala manual y en diversos puntos, de manera que sea lo más representativa posible. Se introduce en un bidón. Se secará en estufa a 70° C hasta pesada constante.

-Muestra a la salida del túnel del **residuo urbano fermentado: RUFj**. Se toman unos 10 kg, recogidos con pala, en diferentes puntos, de manera que sea lo más representativa posible y en bolsa de plástico film. Se secan 7 kg a 70° C, hasta pesada constante, en dos bandejas de polietileno. El peso final de la muestra es de 3,6 kg.

-Muestra del **residuo urbano compostado regado con agua industrial** a la entrada del afino del compost, una vez transcurridas 4 semanas en la nave de maduración, y con riegos semanales: **RUCAj**.

-Muestra del **residuo urbano compostado regado con lixiviado** procedente de la balsa de lixiviados a la entrada del afino del compost, una vez transcurridas 4 semanas en la nave de maduración, y con riegos semanales **RUCLj**

-Muestra del **compost final a partir de residuo urbano**, una vez **afinado**, **y procedente del cordón regado con agua industrial CFRUAj**

-Muestra del **compost final a partir de residuo urbano**, una vez **afinado**,

y procedente del cordón regado con lixiviado de la balsa de lixiviados **CFRULj**

Donde $j= 1,2,.. n$. Siendo n =el número de la réplica que corresponda. Para la primera réplica (A00062) $n=1$, para la segunda(A00063) $n=2$, y para la tercera (A00064) $n=3$.

3.4.5.- LIXIVIADO DE LA PISCINA DE LIXIVIADOS EN EL MBR EN SUS DIFERENTES ETAPAS. IDEM MEZCLADO CON LIXIVIADO DEL VERTEDERO

El número de pruebas a realizar serán tres. En la primera prueba, se tratará únicamente lixiviado procedente de la piscina de lixiviados. En las otras dos pruebas se tratará una mezcla de ese lixiviado con lixiviado del vertedero, mezclados en diferentes proporciones (25%-75% y 50%-50%).

ÚNICAMENTE LIXIVIADO **P2** DE LA PISCINA DE LIXIVIADOS

Se tomarán muestras en las diferentes etapas del **MBR**. Se recogerán muestras correspondientes a tres días de pruebas, obteniendo así tres réplicas. Para cada réplica, o día en el que se realizan las pruebas se tomarán dos muestras (una a las 9:00 y otra a las 14:00). El **MBR** objeto de la prueba estará básicamente constituido por un tratamiento físico-químico, un reactor biológico y una ultrafiltración con 2 membranas.

Las muestras se tomarán en 4 puntos críticos del proceso:

- Muestra del lixiviado bruto sin tratar
- Muestra de lixiviado a la salida del físico-químico
- Muestra a la salida del biológico
- Muestra a la salida de la membrana

MEZCLA LIXIVIADO **P2** PISCINA DE LIXIVIADOS Y LIXIVIADO **P3** VERTEDERO

El número de pruebas a realizar, las réplicas, horas de recogida, lugares de

recogida de las muestras, el tratamiento MBR etc., serán idénticas a lo establecido en el apartado anterior. La única diferencia está en que, en lugar de realizarse el tratamiento únicamente con lixiviado de la piscina, se hará con una mezcla de ese lixiviado y el del vertedero en las siguientes proporciones:

- Mezcla de un 25% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 75% lixiviado del vertedero
- Mezcla de un 50% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 50% lixiviado del vertedero

3.4.6.- LIXIVIADO DE LA Balsa DE LIXIVIADOS EN EL MBR EN SUS DIFERENTES ETAPAS. IDEM MEZCLADO CON LIXIVIADO DEL VERTEDERO

El número de pruebas a realizar serán dos. En la primera prueba, se tratará únicamente lixiviado procedente de la balsa de lixiviados. En la otra prueba se tratará una mezcla de ese lixiviado con lixiviado del vertedero, mezclados mitad y mitad.

Por lo tanto, el planteamiento a seguir es el mismo con dos diferencias significativas:

1º.-El **MBR** a utilizar en el desarrollo de las pruebas presenta una variante. Esta variante es la instalación de un decantador troncocónico entre el tratamiento físico-químico y el reactor biológico. En consecuencia, los puntos críticos donde se toman las muestras serán cinco en lugar de cuatro.

2º.-El lixiviado a utilizar, en la primera prueba es de la balsa de lixiviados, en lugar de la piscina de lixiviado. Además, sólo se hará una segunda prueba con la mezcla lixiviado de vertedero y lixiviado de la balsa de lixiviado (50%-50%).

La recogida de muestras se plasma en dos diagramas de flujo (figura 3.38 y 3.39).

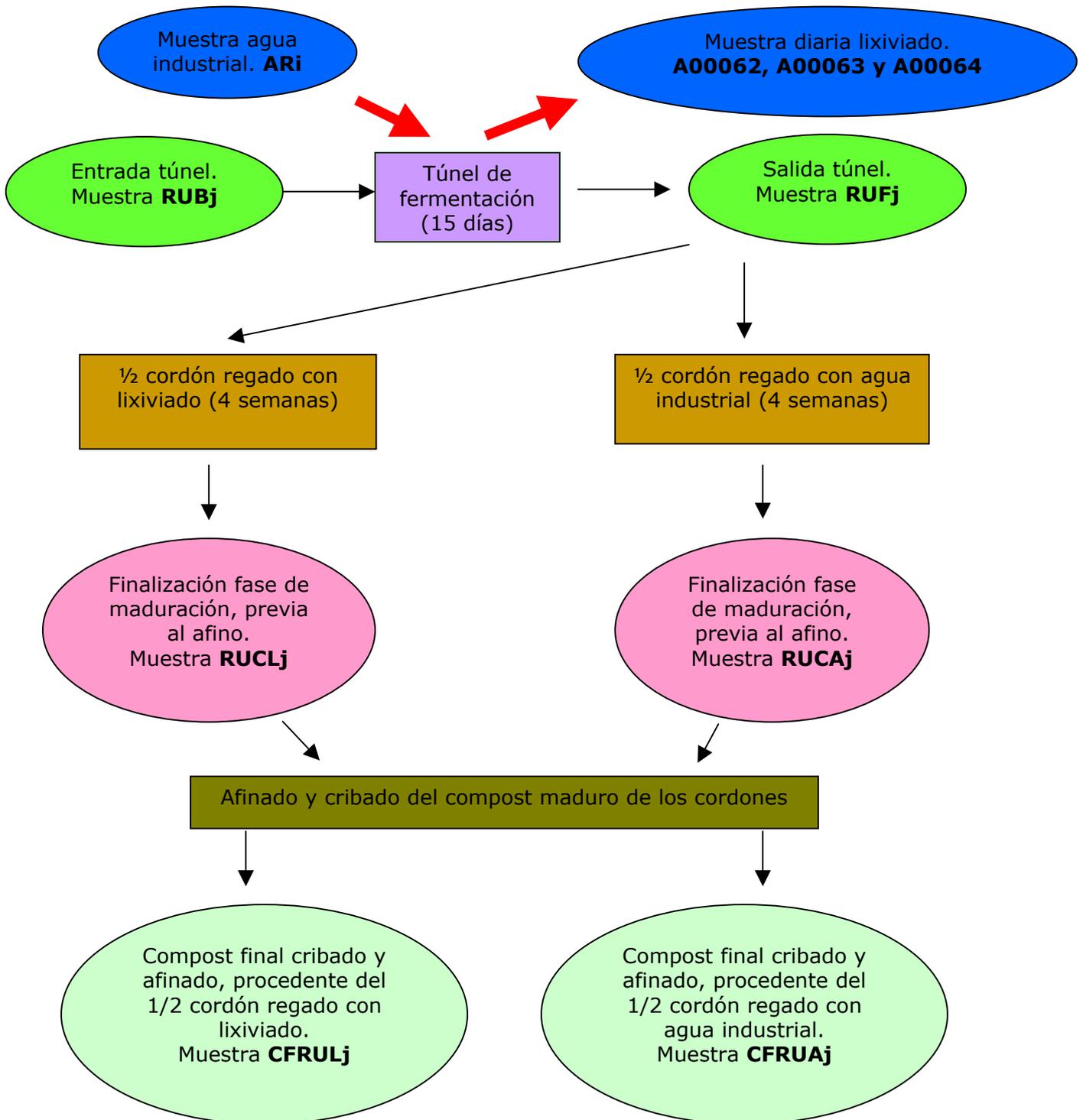


Figura 3.38. Diagrama de flujo de recogida de muestras del residuo

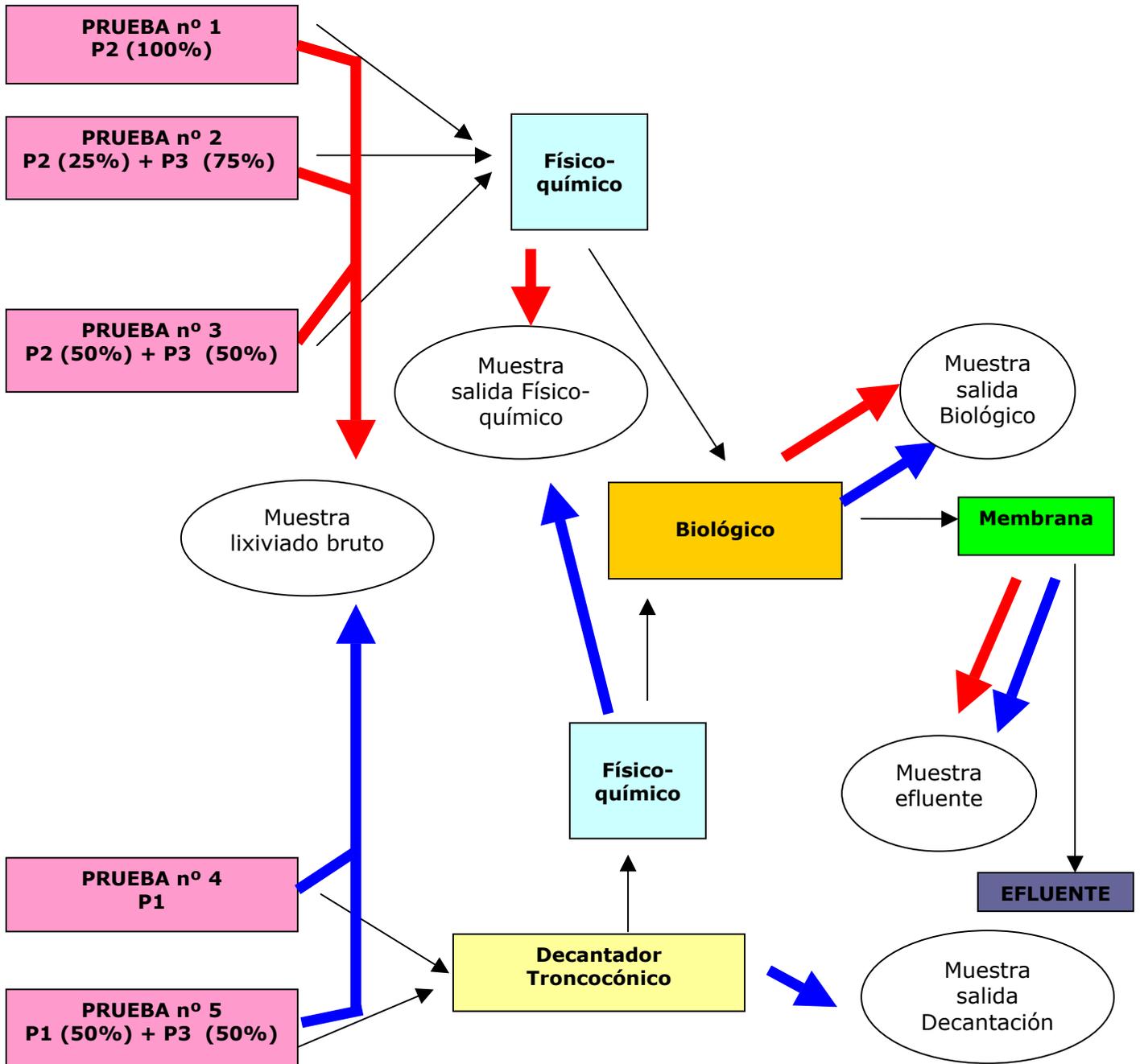


Figura 3.39. Diagrama de flujo de recogida muestras del tratamiento de lixiviados con MBR

3.5.-MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MATERIALES

Para el caso de las muestras con lixiviados, en algunas ocasiones procedimos a su centrifugado, mediante centrifuga KUBOTA 6900. Las muestras se introdujeron en botes de polipropileno de 250 ml NALGENE.



Figura 3.40. Centrifuga KUBOTA 6900 para analíticas de los lixiviados

En el caso de las muestras de residuo (**RUBj, RUFj, RUCLj, RUCAj**) se procederá a un secado en bandeja de polietileno en estufa a 60°C durante 48 horas. Posteriormente se trituraron con un molino de bolas FRITSCHE mod pulveristte. Con las muestras de compost (**CFRULj, CFRUAj**) simplemente se procedió a su tamizado con malla de 2 mm.



Figura 3.41. Molino de bolas FRITSCH, mod pulveristte para triturado de las muestras de residuo



Figura 3.42. Molino de bolas FRITSCH, mod pulveristte en acción

3.5.1.-CÁLCULO DE SÓLIDOS

Por sólidos totales entendemos la suma de los sólidos en suspensión y los sólidos disueltos.

A su vez, los sólidos totales, en suspensión o disueltos se pueden considerar cada uno de ellos constituidos por sólidos no volátiles o fijados y sólidos volátiles.

Estos últimos son muy importantes al ofrecer un cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica presente en la fracción sólida del lixiviado

3.5.1.1.-DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

Preparación de la placa de evaporación: Calentamos una placa limpia de 100 ml de capacidad a 100-105°C durante una hora en un horno de secado. La conservamos en el desecador hasta que se necesite. La pesamos antes de usar.

Análisis de la muestra: Elegimos un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg. Transferimos un volumen medido de muestra bien mezclada a la placa pesada previamente y se evapora hasta que se seque en un horno de secado. Enfriamos la placa en desecador para equilibrar la temperatura y pesamos.

Cálculo:

A = peso del residuo seco + placa (mg)

B = peso placa (mg)

$$\text{Sólidos totales (mg/l)} = \frac{(A-B) \times 1.000}{\text{Vol. Muestra (ml)}}$$

3.5.1.2.-DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN TOTALES

Preparación del disco de filtrado de fibra de vidrio: Se inserta el disco con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado. Hacemos el vacío y lavamos el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 ml de agua destilada. Continuamos succionando hasta eliminar todo vestigio de agua, y retiramos el agua de lavado.

Quitamos el filtro del aparato de filtrado y trasladamos a plancheta de aluminio o acero inoxidable. Secamos en horno a 103-105°C durante 1 hora. Conservamos en desecador hasta que se necesite. Pesamos inmediatamente antes de usar.

Selección del filtro y tamaño de la muestra: Elegiremos un volumen de muestra que proporcione entre 2,5 y 200 mg de residuo seco. Si se requiere más de 10 minutos para completar el filtrado, deberemos de aumentar el tamaño del filtro, o disminuir el tamaño de la muestra, pero en ningún caso no se puede producir menos de 2,5 mg de residuo.

Análisis de la muestra: Montamos el aparato de filtrado y el filtro e iniciamos la succión. Para ajustar el filtro lo humedecemos con una pequeña cantidad de agua destilada. Filtramos un volumen de muestra bien mezclada por el filtro de fibra de vidrio. Lavamos con tres volúmenes sucesivos de 10 ml de agua destilada, permitiendo el drenaje completo del filtro entre los lavados, y continuamos succionando durante unos tres minutos después de terminar el filtrado. Separamos cuidadosamente el filtro del aparato y trasladamos a plancheta de aluminio o acero inoxidable. Secamos en horno a 103-105°C durante una hora al menos, enfriamos para equilibrar la temperatura y pesamos.

Cálculo:

A = peso del residuo seco + filtro (mg)

B = peso filtro (mg)

$$\text{Sólidos en suspensión (mg/l)} = \frac{(A-B) \times 1.000}{\text{Vol. Muestra (ml)}}$$

3.5.1.3.-DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS VOLATILES TOTALES

El residuo seco obtenido en el cálculo de los sólidos totales se incinera en un horno de mufla a temperatura de $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$. Lo pesamos con la placa antes de incinerar. Por lo general la incineración sólo precisa de 15 a 20 minutos. El horno se debe poner a esta temperatura antes de introducir la muestra. Se conserva en el desecador para proceder a su enfriamiento. Pesamos.

Cálculo:

A = peso del residuo seco + placa antes de incineración (mg)

B = peso del residuo seco + placa después de incineración (mg)

$$\text{Sólidos volátiles totales (mg/l)} = \frac{(A-B) \times 1.000}{\text{Vol. Muestra (ml)}}$$

3.5.2.-DETERMINACIÓN DE METALES

A efectos de asegurarse una evaluación completa de los elementos traza presentes y objeto de evaluación la digestión de todo tipo de muestras se realizó en microondas Anton Paar multiwave 3000 (figura 3.43), en presencia de ácido nítrico al 70%.



Figura 3.43. Digestión de muestras en microondas Anton Paar multiwave 3000

Protocolo experimental:

i) Muestras sólidas

El residuo bruto, el residuo fermentado, el compost original y las fracciones obtenidas como resultado del proceso aplicado recibieron un tratamiento de presecado a 110°C en estufa, (mod. 204 P. Selecta). Posteriormente se homogeniza la muestra con ayuda de un molino de martillo (Fritsch Pulverisette mod. 6) incrementando así la superficie de ataque oxidante. Del polvo obtenido, se pesan 0,5 g dentro de los reactores del microondas (botes de teflón) usando una microbalanza (mod. 405M-200PA Precisa, de sensibilidad 0,0001mg), y se añaden 10 ml de HNO₃ 70 %, introduciéndose en el microondas para su digestión.

Paralelamente se realizan blancos en los que no se añadía residuo. Muestras

y blancos se digieren por triplicado (con fines estadísticos). Una vez finalizado el proceso de oxidación, el digerido se lleva a matraces aforados que se enrasan a 50 ml con agua ultrapura.

ii) Muestras líquidas

Alícuotas (45 ml) de extractos y micro y ultrafiltrados procedentes de los tratamientos de fraccionamiento, se mezclan en los reactores con 4,5 ml de HNO₃ 70 % y se digieren en el microondas. Igual que anteriormente, los ensayos se realizaron por triplicado, junto a blancos de agua. Transcurrida la etapa de oxidación, se enrasan con agua ultrapura hasta 50 ml en matraces aforados.

3.5.2.1.- DETERMINACIÓN POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LLAMA. MÉTODO DE LLAMA DE AIRE-ACETILENO. DETERMINACIÓN DE Na, K, Cd, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Ca y Mg

Fundamento:

El espectro atómico (de emisión, absorción o fluorescencia) de un elemento atomizado dado (vapor atómico) está conformado por una cantidad limitada de líneas discretas a longitudes de onda que le son características (Skoog y West, 1987). Esto proporciona un método de análisis cualitativo (al ser específicas las longitudes de onda de las líneas del espectro atómico) y un análisis cuantitativo (la intensidad de emisión o absorción varía proporcionalmente a la concentración del elemento). Técnicamente, al aspirar una solución acuosa, en la llama de un quemador, una fracción significativa de sus constituyentes metálicos se reduce al estado elemental es decir, dentro de la llama se produce una solución gaseosa o "plasma" con una concentración significativa de partículas elementales metálicas (Skoog y West, 1987; Perkin-Elmer, 1992). Esta técnica utiliza los espectros de absorción, que junto con los de emisión y fluorescencia coexisten en la llama. La ley de Lambert-Beer relaciona linealmente la absorbancia medida con la concentración de partículas metálicas de la muestra (Koirtzyhann, 1991; Kolodko y Fedoseenko,

1991).

Protocolo experimental

Las soluciones objeto de medida, (convenientemente digeridas para evitar la interferencia de la materia orgánica), o los digeridos de las fracciones sólidas, mediante las técnicas de microondas serán objeto de medida directa de los elementos Zn, Cd, Mn, Ni, Pb, Fe, y Cu, en "llama fría" aire-acetileno, con un espectrofotómetro de A.A. Perkin Elmer mod. 3100. En el caso de necesidad de diluir, derivada de una concentración que supera a la curva patrón, se realiza su dilución con agua ultrapura.

La determinación de Cr y Al se hizo también por absorción, pero con "llama caliente" de óxido nitroso-acetileno, evitando de esta forma las interferencias producidas por la presencia de Fe y Ni. Para la determinación de Na y K se empleó la técnica de emisión, en llama aire-acetileno.

Los blancos de medida se prepararon de la siguiente manera:

-Para medidas de elementos en muestras sólidas y de fracciones de ultramicrofiltrados, que deben de someterse a digestión por microondas: Los blancos de medida se establecen en base a someter al mismo proceso de tratamiento oxidativo y su dilución (si corresponde), a una mezcla de agua con el mismo volumen de ácido nítrico que precise la digestión.

-Para medida de elementos en extractos líquidos procedentes de extracción química que precisen ser sometidas a digestión por microondas: Se prepara una mezcla del extractante inorgánico empleado y ácido nítrico, la cual es sometida al mismo proceso de digestión que su correspondiente extracto.

La curva patrón se prepara a partir de disoluciones acuosas preparadas (Uvisol Merck de 1.000 ppm) de cada elemento, a partir de la cual se prepararon diluciones sucesivas de los distintos patrones de calibración.

En las digestiones se utiliza HNO₃ calidad Merck, este reactivo se emplea como estándar interno en los patrones de calibración.

Todos los patrones de calibración fueron preparados con agua ultrapura (Milli-Q⁵⁰).

A efectos estadísticos, blancos y digeridos se preparan por triplicado; de cada muestra, sometida a control, se realizan tres medidas.

Exactitud y precisión de las medidas:

La exactitud mide cuánto se acerca un resultado analítico al valor verdadero o aceptado, mientras que la precisión mide la reproductibilidad de cada resultado. Algunos factores que son fuente de deficiente precisión en el análisis son:

- La medida de absorbancias elevadas, donde el calibrado normalmente se curva (las absorbancias óptimas suelen estar entre 0,1 y 1,0 unidades de absorbancia).
- Las condiciones instrumentales variables (para contrarrestar este efecto se deben medir las soluciones patrón antes y después de cada grupo de soluciones problema).
- Un manejo inadecuado de la muestra (pesada, diluciones, etc).



Figura 3.44. Espectrómetro de absorción atómico de llama PERKIN ELMER mod 3100

3.5.3.- DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO ORGÁNICO. MÉTODO KJELDAHL.

El nitrógeno orgánico se define funcionalmente como el nitrógeno ligado orgánicamente en el estado de oxidación trinegativo. El nitrógeno orgánico y el amoniacal se pueden determinar juntos por el método Kjeldhal, conocido el amoniacal y el Kjeldhal, por diferencia obtendremos el nitrógeno orgánico. El nitrógeno orgánico incluye productos naturales, como las proteínas y péptidos, ácidos nucleicos y urea, y numerosos materiales orgánicos sintéticos.

El principio consiste en que en presencia de H_2SO_4 , sulfato potásico (K_2SO_4) y sulfato mercúrico ($HgSO_4$) catalizador, el nitrógeno amino de muchos materiales orgánicos se transforma en sulfato de amonio $[(NH_4)_2SO_4]$. El amoniaco libre y nitrógeno-amonio también se convierten $(NH_4)_2SO_4$. Durante la digestión de la

muestra, se forma un complejo de mercurio amonio que luego se descompone por el tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Tras la descomposición el amoniaco se destila desde un medio alcalino y se absorbe en ácido bórico o sulfúrico. El amoniaco se determina colorimétricamente con un ácido mineral patrón.

El instrumental necesario es un aparato de digestión, un aparato de destilación y un aparato para la determinación del amoniaco.

Reactivos:

-Solución de sulfato mercúrico: Disolver 8 g de óxido rojo mercúrico, HgO , en 100 ml de H_2SO_4 6N.

-Reactivo de digestión: Disolver 134 g de K_2SO_4 en 650 ml de agua y 200 ml de H_2SO_4 conc. Añadir con agitación, 25 ml de solución de sulfato mercúrico. Diluir la solución combinada hasta 1 l con agua. Mantener a temperatura próxima a 20°C para evitar la cristalización.

-Reactivo hidróxido sódico-tiosulfato sódico: Disolver 500 g de NaOH y 25 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en agua y diluir a 1 l.

-Solución tampón de borato

-Hidróxido de sodio, NaOH 6N

Procedimiento:

- a) Selección del volumen de muestra y preparación de la muestra: Poner un volumen medido de muestra en un matraz Kjeldhal de 800 ml. Seleccionar el tamaño de muestra a partir de la siguiente tabulación:

Nitrógeno orgánico en la muestra mg/l	Tamaño muestra ml
0-1	500
1-10	250
10-20	100
20-50	50,0
50-100	25,0

Tabla 3.1. Tabulación del tamaño de muestra en la determinación del nitrógeno orgánico

b) Eliminación del amoniaco: Añadir 25 ml de tampón borato y después NaOH 6N hasta pH 9,5. Añadir unas cuentas de vidrio o fragmentos para ebullición y hervir 300 ml. Destilar la fracción y determinar el nitrógeno amoniacal. Si queremos calcular el nitrógeno Kjeldhal, no eliminaremos el nitrógeno amoniacal (suprimiremos este paso).

c) Digestión: Enfriar y añadir con cuidado 50 ml de reactivo de digestión (o solución sustitutiva de 10 ml de H₂SO₄ conc., 6,7 g de K₂SO₄ y 1,25 ml de solución de HgSO₄) al matraz de destilación. Añadir unas cuentas de vidrio y, después de mezclar, calentar bajo vitrina o con un equipo de eyección para eliminar los vapores ácidos. Hervir enérgicamente hasta que el volumen se reduzca (a unos 20 ó 25 ml) y se observe humo blanco abundante. Continuar la digestión otros 30 minutos.

Al avanzar la digestión, las muestras turbias o coloreadas se volverán transparentes o de color paja. Tras la digestión, dejar enfriar el matraz y su contenido, diluir a 300 ml con agua y mezclar. Inclinar el matraz y añadir con cuidado 50 ml de reactivo hidróxido sódico-tiosulfato sódico para formar una capa alcalina en el fondo del matraz. Conectar al aparato de destilación que está emitiendo vapor, y agitar el matraz para asegurar una buena mezcla. Se formará un precipitado negro de HgS y el pH debe ser superior a 11,0.

d) Destilación: Destilar y recoger 200 ml de destilado bajo la superficie de 50 ml de solución absorbente. Utilizar ácido bórico indicador cuando se vaya a determinar el amoniaco por titulación. Utilizar 50 ml de solución de H_2SO_4 0,04N para recoger el destilado. Llevar el extremo del condensador muy por debajo del nivel de la solución absorbente sin permitir que la temperatura del condensador supere los 29°C. Bajar el destilado recogido para que no esté en contacto con el tubo de suministro y continuar la destilación durante 1 ó 2 minutos finales para limpiar el condensador.

e) Medición final del amoniaco: Utilizar el método de titulación.

f) Blanco: Llevar un blanco de reactivo durante todos los pasos del método y aplicar las correcciones necesarias a los resultados.

3.5.4.- DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO AMONIAL POR EL MÉTODO TITULOMÉTRICO o DE TITULACIÓN

El nitrógeno bajo la forma de amoniaco se produce en gran parte por desaminación de los compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea. El nitrógeno amoniacal lo determinaremos por dos métodos: titulación y con el SKALAR (método de la sal fenol).

El método titulométrico de titulación se emplea principalmente para concentraciones de NH_3 superiores a 5 mg/l.

El volumen de muestra a tomar será el que indica esta tabla:

Nitrógeno amoniacal en la muestra (mg/l)	Volumen de muestra (ml)
5-10	250
10-20	100
20-50	50,0
50-100	25,0

Tabla 3.2. Tabulación del tamaño de muestra en la determinación del nitrógeno amoniacal

Este método solo se utiliza en muestras que se hayan sometido a una destilación previa, para lo cuál se seguirán los siguientes pasos:

DESTILACIÓN PREVIA:

-La muestra se tampona a pH 9,5 con un tampón de borato para reducir la hidrólisis de los cianatos y los compuestos orgánicos nitrogenados. Se destila a una solución de ácido bórico. Se determina el amoniaco del destilado por titulación con H_2SO_4 estándar y un indicador mixto o un medidor de pH.

-Para la destilación previa hará falta un aparato de destilación y un pHmetro

-Reactivos:

-Agua exenta de amoniaco: Preparar por intercambio iónico o destilación.

El intercambio iónico consiste en hacer pasar agua destilada a través de una columna cambiadora de iones que contenga una resina cambiadora de cationes, muy ácida, mezclada con una cambiadora de aniones, muy básica. Se comprobará en el agua exenta de amoniaco la posibilidad de un valor elevado del blanco.

Para la destilación, en primer lugar se eliminarán las trazas de amoníaco en el agua destilada por adición de 0,1 ml de H_2SO_4 a 1 l de agua destilada y se redestilará. Se desecharán los primeros 100 ml de destilado. Comprobar en el agua redestilada la posibilidad de un blanco elevado.

-Solución tampón de borato: Añadir 88 ml de solución de NaOH 0,1N a 500 ml aproximados de solución de tetraborato de sodio ($Na_2B_4O_7$) 0,025M (9,5 g de $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O/l$) y diluir a 1 l.

-Hidróxido de sodio, 6N: Disolver 240 g de NaOH en agua, diluir a 1 l.

-Agua decolorante: Utilizar 1 ml de alguno de los siguientes reactivos: Sulfito de sodio (disolver 0,9 g de Na_2SO_3 en agua y diluir a 1 l. Preparar diariamente); Tiosulfato de sodio (disolver 3,5 g de $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ en agua y diluir a 1 l. Preparar semanalmente); Oxido de fenilarsina (disolver 1,2 g de C_6H_5AsO en 200 ml de solución de NaOH 0,3N, filtrar si fuese necesario y diluir a 1 l con agua) y Arsenito de sodio (disolver 0,93 g de $NaAsO_2$ en agua y diluir a 1 l. Preparar semanalmente).

-Agente neutralizante: Preparar con agua exenta de amoníaco (hidróxido de sodio, NaOH 1N; Acido sulfúrico, H_2SO_4 1N)

-Solución absorbente, ácido bórico puro: Disolver 20 g de H_3BO_3 en agua y diluir a 1 l.

-Solución indicadora mixta: Disolver 200 mg de indicador rojo de metilo en 100 ml de alcohol etílico o isopropílico del 95 por 100. Disolver 100 mg de azul de metilo en 50 ml de alcohol etílico o isopropílico del 95 por 100. Combinar las dos soluciones. Preparar mensualmente.

-Solución indicadora de ácido bórico: Disolver 20 g de H_3BO_3 en agua

destilada exenta de amoniaco, añadir 10 ml de solución indicadora mixta y diluir a 1 l. Preparar mensualmente.

-Acido sulfúrico, 0,04N: Diluir 1,0 ml de H₂SO₄ conc. a 1 l.

Procedimiento:

a) Preparación del equipo: Añadir 500 ml de agua y 20 ml de tampón borato a un matraz de destilación y ajustar el pH a 9,5 con solución de NaOH 6N. Añadir unas cuentas de vidrio o fragmentos pequeños para ayudar a la ebullición. Utilizar esa mezcla para producir vapor en el aparato de destilación, hasta que en el destilado no aparezcan trazas de amoniaco.

b) Preparación de la muestra: Utilizar 500 ml de muestra declorada o una porción diluida con agua a 500 ml. Cuando la concentración del NH₃ sea inferior a 100 µg/l, utilizar un volumen de muestra de 1.000 ml. Eliminar el cloro residual por adición de agente declorante, equivalente al cloro residual, en el momento de la obtención. Añadir 25 ml de solución tampón de borato y ajustar el pH a 9,5 con NaOH 6N mediante un medidor de pH.

c) Destilación: Para reducir al mínimo la contaminación, dejar instalado el aparato de destilación después de agotar el vapor y hasta justo antes de empezar la destilación de la muestra. Desconectar el matraz productor de vapor y pasar inmediatamente el matraz de muestra al aparato de destilación. Destilar a una velocidad de 6 a 10 ml/min con el extremo del tubo de salida por debajo de la superficie de la solución ácida receptora. Recoger el destilado en un erlenmeyer de 500 ml que contenga 50 ml de solución indicadora de ácido bórico. Recoger, por lo menos, 200 ml de destilado. Bajar el destilado obtenido para evitar su contacto con el tubo de salida y mantener la destilación durante 1 ó 2 minutos, para limpiar el condensador y tubo de salida. Diluir a 500 ml con agua.

Una vez que la muestra se ha destilado previamente, utilizaremos los siguientes reactivos:

- Solución indicadora mixta
- Solución indicadora de ácido bórico
- Titulante estándar de ácido sulfúrico, 0,02N: Preparar y estandarizar el titulante frente a una cantidad de Na_2CO_3 , incorporada a la solución indicadora de ácido bórico para reproducir las condiciones reales de titulación de la muestra; 1,00 ml = 280 μg N.

Procedimiento:

- Se actuará como se hizo para la destilación previa.
- En el caso de muestras de fango o sedimento se pesará rápidamente con una aproximación del ± 1 por 100 una cantidad de muestra húmeda equivalente aproximadamente a 1 g de peso seco, en un frasco pesado o crisol. Lavar la muestra con agua, a un matraz kjeldhal de 500 ml y diluir a 250 ml. Proceder como con la destilación previa, pero añadiendo un pedazo de cera parafina al matraz de destilación y recogiendo sólo 100 ml de destilado.
- Titular el amoniaco del destilado con H_2SO_4 0,02N titulante hasta que el indicador vire a lavanda pálido.
- Llevar un blanco durante todos los pasos del método y aplicar la corrección necesaria a los resultados.

Cálculo:

Para muestras líquidas:

$$\text{NH}_3 \text{ (mg/l)} = \frac{(A - B) \times 280}{\text{ml muestra}}$$

Para muestras de fango o sedimento:

$$\text{NH}_3 \text{ (mg/l)} = \frac{(A - B) \times 280}{\text{g peso seco muestra}}$$

Donde:

A = volumen de H₂SO₄ titulado para la muestra (ml)

B = volumen de H₂SO₄ titulado para el blanco (ml)

3.5.5.- DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO AMONICAL POR EL MÉTODO AUTOMATIZADO DE LA SAL FENOL

PRINCIPIO

El método automático para la determinación del amonio está basado en la reacción modificada Berthelot; después de la diálisis el amonio es almacenado y clorado a monocloramina, la cuál reacciona con salicilato a 5-aminosalicilato.

Después de la oxidación y del acoplamiento oxidativo se forma un compuesto que vira a color verde. La absorción del compuesto formado se mide a 660 nm.

INSTALACIONES DE LABORATORIO

-La potencia máxima de consumo dependerá de la configuración del analizador, 2000 VA. Comprobar la tensión en la parte posterior del instrumento antes de su instalación.

-Instrumental para residuos químicos. Comprobar la normativa medioambiental para la eliminación de residuos.

PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

-El extracto puede ser aplicado para la determinación del B, Ca, Cl, K, Mg, Na, Al, P, SO₄, N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂, total-N (UV), CO₃, HCO₃, pH, Si, Fe (II+III), Fe (III), COD, conductividad eléctrica y urea.

-La muestra es agitada con agua destilada en proporción 1:5 durante una hora. El extracto se obtiene después de filtración.

-El instrumental requerido es un agitador, botes tomamuestras de polietileno de 250 ml, embudo de \pm 70 mm de diámetro y papel de filtro S&S blue ribbon.

-Además se utilizan reactivos y agua destilada.

El procedimiento de preparación de la muestra es el siguiente:

- 1.-Pesar 40,00 g de muestra en un bote de muestreo de polietileno
- 2.-Añadir 200,0 ml de agua destilada
- 3.-Agitar durante 60 minutos.
- 4.-Filtrar la muestra sobre un papel de filtro S&S Blue ribbon o similar.

A veces son usados otros ratios entre el suelo y el extractante.

REACTIVOS

-Solución tampón: Disolver 33 g de tartrato de potasio sódico en \pm 800 ml de agua destilada. Añadir 24 g de citrato trisódico y disolver. Llevar a 1 l con agua destilada y añadir 3 ml de Brij 35 (30%) y mezclar. Medir el pH y ajustar si fuese necesario con ácido clorhídrico a $5,2 \pm 0,1$. La solución es estable durante una semana. Mantener la solución a 4°C cuando no se use.

-Solución de salicilato de sodio: Disolver 25 g de hidróxido sódico en \pm 50 ml de agua destilada. Añadir \pm 800 ml de agua destilada. Añadir 80 g de salicilato de sodio. Llevar a 1 l con agua destilada y mezclar. La solución es estable durante una semana. Mantener en un bote de color oscuro.

-Solución de nitroprusiato de sodio: Disolver 1,0 g de nitroprusiato de sodio en \pm 800 ml de agua destilada. Llevar a 1 litro con agua destilada y mezclar.

-Solución de diclorocianurato de sodio: Disolver 2,0 g de diclorocianuro de sodio en \pm 800 ml de agua destilada. Llevar a 1 litro con agua destilada y mezclar. La solución es estable durante 1 semana

-Lavado de muestras líquidas: Se hará con agua destilada

BLANCOS

-Solución madre 1.000 ppm N: Disolver 3,8190 g de cloruro amónico en \pm 800 ml de agua destilada. Llevar a 1 litro con agua destilada y mezclar. La solución es estable durante 1 mes. Conservar a 4°C cuando la solución no se use.

Normas de trabajo para 10 ppm N, 8 ppm N, 6 ppm N, 4 ppm N y 2 ppm N: Diluir 1,0 ml, 0,8 ml, 0,6 ml, 0,4 ml y 0,2 ml respectivamente de solución madre 1.000 ppm N a 100 ml con lavado de muestra líquida.

Los reactivos son suministrados por MERK. En particular tartrato de potasio sódico tetrahidratado (Merck 108087), de citrato trisódico (Merck 106448), Cloruro sódico (Merck 106404), Brij 35 (30%) (Skalar SC 13900), Hidróxido sódico (Merck 106498), salicilato de sodio (Merck 106601), nitroprusiato de sodio dihidratado (Merck 106541), diclorocianuro de sodio dihidratado (Merck 110888), cloruro amónico (Merck 101145) y solución de hipoclorito sódico (6-14% cloro activo) (Merck 105614).

AJUSTES OPERACIONALES RECOMENDADOS

1.-Para la muestra 60 segundos. Para el agua 80 segundos. Para el aire 1 segundo.

2.-Calibración del tipo de 1er orden. ISO 8466-1

OBSERVACIONES DE FUNCIONAMIENTO Y RESOLUCION DE PROBLEMAS

- 1.-El tiempo de estabilización del sistema es de 20 minutos.
- 2.-La sensibilidad del blanco mayor 10 ppm N es $\pm 0,570$ A.U.
- 3.-La conexión entre el tomamuestras y el tubo de ensayo de la bomba es un tubo SA 5141.
- 4.-Si la matriz fotómetro en uso es SA 6250 ó SA 6260, es aconsejable un filtro de 520 nm ± 10 nm para corregir interferencias
- 5.-Si se utiliza para las bobinas para calentar el agua, el baño de agua tiene que ser enfriado con agua del grifo cuando la temperatura ambiente es superior a 25°C
- 6.-Las botellas de reactivos deben ser enjuagados con agua destilada antes de ser rellenados con nuevos reactivos. Este hecho elimina la precipitación de microorganismos y otras interferencias.
- 7.-Podemos no usar las válvulas de lavado (manual/automática) para soluciones orgánicas o soluciones ácidas > 4N
- 8.-Evitar turbidez en los reactivos, filtrar si fuese necesario.
- 9.-Después de 6 meses la cantidad de Brij 35 puede ser reducida a 1 ml/litro
- 10.-Los procedimientos de desgasificación:
 - a) Bueno: Desgasificar el agua con un flujo de gas helio de 20 l/h aproximadamente, con ayuda de un rociador. Desgasificar 5 litros de agua durante 15 minutos. Este procedimiento elimina todos los gases disueltos o, desgasifica el agua por ebullición del agua durante 10

- minutos. Enfriar a temperatura ambiente antes de su uso.
- b) Medio: Desgasificar el agua con un flujo de gas nitrógeno de 20 l/h aproximadamente, con ayuda de un rociador. Desgasificar 5 litros de agua durante 15 minutos. Este procedimiento elimina la mayor parte de los gases disueltos.
- c) Malo: Desgasificar el agua con ondas ultrasónicas. Este procedimiento elimina una pequeña parte de los gases disueltos.

FLOW DIAGRAM

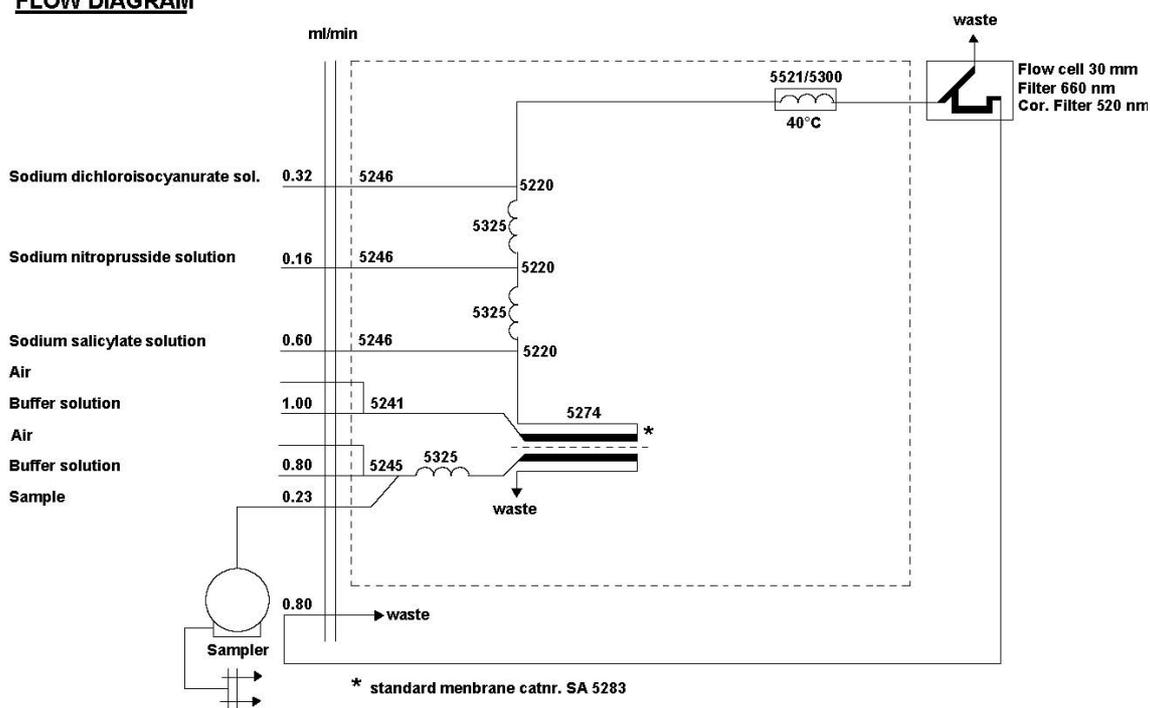


Figura 3.45. Diagrama de flujo del SKALAR SAN^{plus} ANALYZER para la determinación del nitrógeno amoniacal

COMENTARIOS GENERALES

1.-En muchos análisis, el primer pico de la línea base es mucho menor del que debería ser. El primer pico de la línea base debe ser rechazado y no ser incluido en los cálculos.

2.-Si el volumen de la muestra tomado es menor de 1,00 ml/min se precisa de un bypass para incrementar la corriente de la muestra a aproximadamente 1,00 ml/min. Cuando la muestra es de 1,00 ml/min o mayor usar 0,23 ml/min

3.5.6.- DETERMINACIÓN DEL NITRITO y NITRATO POR EL MÉTODO AUTOMATIZADO DE REDUCCIÓN DE CADMIO

El nitrato en cantidades importantes contribuye a una enfermedad infantil: metahemoglobinemia. Es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento.

El nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoníaco a nitrato como en la reducción del nitrato. El nitrito puede pasar al sistema de suministro de agua debido a su uso como inhibidor de la corrosión en el agua para procesos industriales. El nitrito es el agente real causal real de la hemoglobinemia. El ácido nitroso, formado a partir del nitrito en soluciones ácidas, puede reaccionar con aminas secundarias ($RR'NH$) dando lugar a nitrosaminas ($RR'N-NO$), muchas de las cuales son agentes carcinógenos reconocidos.



Figura 3.46. Determinación de nitratos y nitritos con el SKALAR SAN^{plus} ANALYZER

El principio de este método es que el nitrato (NO_3^-) se reduce casi cuantitativamente a nitrito (NO_2^-) en presencia de cadmio. Este método utiliza Cd comercial en gránulos tratado con sulfato de cobre (CuSO_4) y como relleno de una columna de vidrio.

El NO_2^- así producido se determina por diazotado con sulfanilamida y acoplamiento con dihidroclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina para formar un colorante azo de color muy intenso, que se mide colorimétricamente. Se puede hacer una corrección para el NO_2^- presente en la muestra, suprimiendo el paso de reducción en el análisis.

El método consiste en determinar la suma del nitrito y nitrato juntos, y, de manera aislada el nitrito. Obteniendo el nitrato por diferencia de ambos.

PRINCIPIO

La determinación automática de la determinación del nitrato y nitrito está basada en el método de reducción del cadmio. La muestra es almacenada a pH 8,2 y se pasa a través de una columna que contiene gránulos de cobre-cadmio para reducir el nitrato a nitrito. El nitrito (originalmente presenta un plus de nitrato reducido) es determinado por disociación con sulfanilamida y acoplamiento con N-(1-naftil)etilendiamina dihidrocloruro para formar un colorante azoico (-N=N-) que es medido a 540 nm.

INSTALACIONES DE LABORATORIO

- 1.-El máximo consumo de energía dependerá de la configuración del analizador, 2.000 VA. Comprobar la tensión en la parte posterior del instrumento antes de la instalación.
- 2.-Instalaciones para residuos químicos. Comprobar las normativas ambientales para la disposición adecuada de los residuos.
- 3.-Gránulos de cadmio de doble tamiz. Primer tamizado de 0,3 mm y segundo tamizado de 1,0 mm

PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

-El extracto puede ser aplicado para la determinación del B, Ca, Cl, K, Mg, Na, Al, P, SO₄, N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂, total-N (UV), CO₃, HCO₃, pH, Si, Fe (II+III), Fe (III), COD, conductividad eléctrica y urea.

-La muestra es agitada con agua destilada en proporción 1:5 durante una hora. El extracto se obtiene después de filtración.

-El instrumental requerido es un agitador, botes tomamuestras de polietileno de 250 ml, embudo de ± 70 mm de diámetro y papel de filtro S&S blue

ribbon.

-Además se utilizan reactivos y agua destilada.

El procedimiento de preparación de la muestra es el siguiente:

- 1.-Pesar 40,00 g de muestra en un bote de muestreo de polietileno
- 2.-Añadir 200,0 ml de agua destilada
- 3.-Agitar durante 60 minutos.
- 4.-Filtrar la muestra sobre un papel de filtro S&S Blue ribbon o similar.

A veces son usados otros ratios entre el suelo y el extractante.

REACTIVOS

-Solución tampón: Disolver 50 gr de cloruro amónico NH_4Cl en ± 800 ml de agua destilada. Ajustar el pH a 8,2 con ± 1 ml de solución de hidróxido amónico al 25% NH_4OH (25%). Llevar a 1 l con agua destilada y añadir 3 ml de Brij 35 (30%) y mezclar. La solución es estable durante una semana. Mantener la solución a 4°C cuando no se use.

-Solución tampón + EDTA (bajo flujo): Disolver 50 g de cloruro amónico NH_4Cl en ± 800 ml de agua destilada. Ajustar el pH a 8,2 con ± 1 ml de solución de hidróxido amónico al 25% NH_4OH (25%). Disolver aquí el EDTA Llevar a 1 l con agua destilada y añadir 3 ml de Brij 35 (30%) y mezclar. La solución es estable durante una semana. Mantener la solución a 4°C cuando no se use.

-Color del reactivo: Diluir 150 ml de ácido o-fosfórico al 85% H_3PO_4 (85%) en ± 700 ml de agua destilada. Añadir 10 g de sulfanilamida ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) y 0,5 g de N-(1-naftil)etilendiamina dihidrocloruro y disolver. Llevar a 1 l con agua destilada y mezclar. La solución es estable 4 semanas. Conservar en frasco oscuro.

El lavado de muestras líquidas se hará con agua destilada.

BLANCOS:

-Solución madre 1.000 ppm N: Disolver 6,068 g de nitrato sódico NaNO_3 en \pm 800 ml de agua destilada. Llevar a 1 litro con agua destilada y mezclar. La solución es estable durante 1 mes. Conservar a 4°C cuando la solución no se use.

-Solución madre 100 ppm N: Diluir 10 ml de solución madre 1.000 ppm N a 100 ml con agua destilada. Preparar la solución 100 ppm N semanalmente. Conservar a 4°C cuando la solución no se use.

Normas de trabajo para 5 ppm N, 4 ppm N, 3 ppm N, 2 ppm N y 1 ppm N: Diluir 5 ml, 4 ml, 3 ml, 2 ml y 1 ml respectivamente de solución madre 100 ppm N a 100 ml con lavado de muestra líquida.

Los reactivos son suministrados por MERCK. En particular cloruro de potasio (Merck 104936), cloruro amónico (Merck 101145), solución de hidróxido amónico (25%) (Merck 105432), Brij 35 (30%) (Skalar SC 13900), ácido o-fosfórico (85%) (Merck 100573), sulfanilamida (Merck 108035), N-(1-naftil)etilendiamina dihidrocloruro (Merck 106237), nitrato sódico (Merck 106537), ácido clorhídrico (32%)(Merck 100319) y sulfato de cobre (II) pentahidratado (Merck 102790), gránulos de cadmio (Merck 102001), cadmio activo (Skalar SC 13913), solución de hipoclorito sódico (6-14% cloro activo) (Merck 105614).

PROCEDIMIENTO DE ACTIVACIÓN DE REACTIVOS

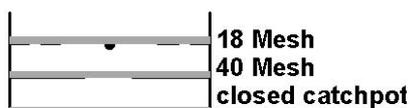
-Solución de ácido clorhídrico (4M): Diluir 400 ml de ácido clorhídrico HCl (32%) en 600 ml de agua destilada.

-Solución de sulfato de cobre (II): Disolver 20 g de sulfato de cobre (II) en \pm 800 ml de agua destilada. Llevar a 1 l con agua destilada y mezclar.

-±4,5 g de gránulos de cadmio de tamiz 0,3-1,0 mm.

ACTIVACIÓN Y PROCEDIMIENTO DE LLENADO

1.-Tamizar fuertemente durante un mínimo de 10 minutos el cadmio con la ayuda de dos mallas de tamiz 18 y 40 en un matraz cerrado



2.-Poner el cadmio que se encuentra en el tamiz de malla 40 en un vaso de precipitado.

3.-Añadir la solución de ácido clorhídrico 4M en el vaso de precipitados hasta que el cadmio se cubra completamente en la solución ácida, y agitarlo fuertemente con la ayuda de una varilla de vidrio.



4.-Eliminar la capa de solución de ácido clorhídrico 4M del vaso de precipitado.

5.-Añadir agua destilada al cadmio en el vaso de precipitados hasta que el cadmio se cubra completamente en la solución de agua destilada, y agitarlo fuertemente con la ayuda de una varilla de vidrio. Este procedimiento se deberá repetir al menos otras 10 veces. Este paso es el más crítico: no se puede dejar el medio ácido.



6.-Comprobar el pH del agua destilada después de lavar el cadmio 10 veces. Cuando el pH sea neutro continuar con el paso 7. Si el pH no es neutro continuar lavando el cadmio con agua destilada.

7.-Añadir la solución de sulfato de cobre (II) 20 g/l al cadmio lavado hasta que el cadmio se cubra completamente en la solución de CuSO_4 , y agitarlo fuertemente con la ayuda de una varilla de vidrio. El color del cadmio vira a negro.



8.-Eliminar la capa de CuSO_4 y lavar 2 veces con agua destilada el cadmio.

9.-Secar el cadmio en un filtro de papel y calentar hasta ± 60 °C en una placa calefactora.

10.-El cadmio está ahora activo y listo para ser usado.

11.-Añadir, con ayuda de un embudo, los gránulos a una columna seca ayudándonos de pequeñas vibraciones para completar la columna en los laterales.

12.-Completar el llenado hasta alcanzar ± 5 mm de la parte superior.

13.-Colocar un pequeño trozo de tubo de polietileno (en catálogo nº SA 5144) que se estrecha en la entrada, dentro de la columna, para evitar que salgan algunos gránulos de la columna.

14.-Llenar con la ayuda de una jeringuilla que contiene solución tampón la columna. Evitar la entrada de agua en la columna.

15.-Colocar la columna en el sistema.

AJUSTES OPERACIONALES RECOMENDADOS

- 1.-Tiempo de muestreo: 60 seg; tiempo de lavado: 80 seg.; tiempo de aireación: 1 seg.
- 2.-Tipo de calibración: De 1 er orden ISO 8466-1

OBSERVACIONES DE FUNCIONAMIENTO Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

- 1.-El tiempo de estabilización del sistema es de 15 minutos.
- 2.-La sensibilidad del blanco mayor 5 ppm N es $\pm 0,540$ A.U.
- 3.-La conexión entre el tomamuestras y el tubo de ensayo de la bomba es un tubo SA 5141.
- 4.-Si la matriz fotómetro en uso es SA 6250 o SA 6260, es aconsejable un filtro de 620 nm ± 10 nm para corregir interferencias
- 5.-Las botellas de reactivos deben ser enjuagados con agua destilada antes de ser rellenados con nuevos reactivos. Este hecho elimina la precipitación de microorganismos y otras interferencias.
- 6.-La turbidez de la muestra puede interferir en este método cuando no se utiliza un dializador. Eliminarla por filtración antes del análisis. El color de la muestra (el que absorbe en el rango fotométrico utilizado para el análisis) también interfiere.
- 7.-Evitar la turbidez en los reactivos. Filtrar si es necesario.
- 8.-Después de 6 meses la cantidad de Brij 35 puede ser reducida a 1 ml/litro
- 9.-Podemos no usar las válvulas de lavado (manual/automática) para soluciones orgánicas o soluciones ácidas > 4N

10.-Para comprobar la capacidad de reducción de la columna de cadmio ejecutar con un blanco de nitrito con la misma concentración (expresada en N) que el más alto de los blancos nitrato. Si el resultado difiere en más de un 10% sustituir la columna. La vida media de una columna, en uso normal, es aproximadamente de 1 mes.

11.-Los procedimientos de desgasificación:

a) Bueno: Desgasificar el agua con un flujo de gas helio de 20 l/h aproximadamente, con ayuda de un rociador. Desgasificar 5 litros de agua durante 15 minutos. Este procedimiento elimina todos los gases disueltos o, desgasifica el agua por ebullición del agua durante 10 minutos. Enfriar a temperatura ambiente antes de su uso.

b) Medio: Desgasificar el agua con un flujo de gas nitrógeno de 20 l/h aproximadamente, con ayuda de un rociador. Desgasificar 5 litros de agua durante 15 minutos. Este procedimiento elimina la mayor parte de los gases disueltos.

c) Malo: Desgasificar el agua con ondas ultrasónicas. Este procedimiento elimina una pequeña parte de los gases disueltos.

COMENTARIOS GENERALES

1.-En muchos análisis, el primer pico de la línea base es mucho menor del que debería ser. El primer pico de la línea base debe ser rechazado y no ser incluido en los cálculos.

2.-Si el volumen de la muestra tomado es menor de 1,00 ml/min se precisa de un bypass para incrementar la corriente de la muestra a aproximadamente 1,00 ml/min. Cuando la muestra es de 1,00 ml/min o mayor usar 0,23 ml/min

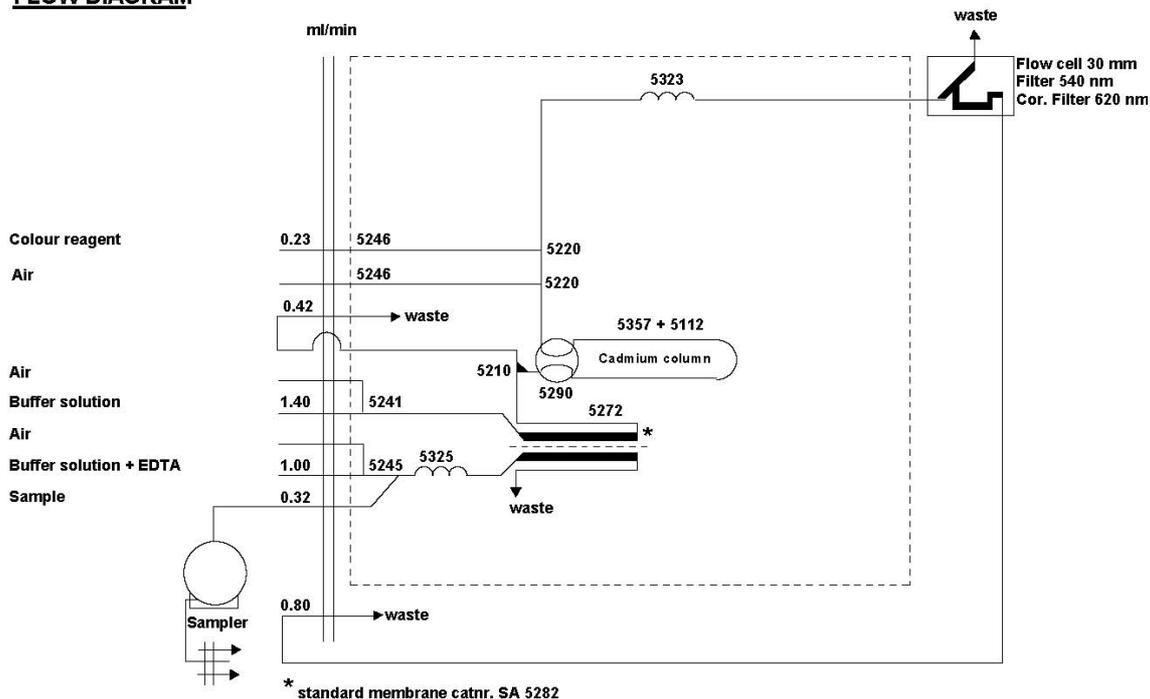
FLOW DIAGRAM

Figura 3.47. Diagrama de flujo del SKALAR SAN^{plus} ANALYZER para la determinación del nitrito y del nitrato

3.5.7.- DETERMINACIÓN DEL FOSFATO POR COLORIMETRÍA. MÉTODO AUTOMATIZADO

PRINCIPIO

El procedimiento automatizado para la determinación de fosfato se basa en la siguiente reacción; después de la diálisis con agua destilada, el heptamolibdato de amonio y el potasio de antimonio (III) óxido de tartrato, reaccionan en un medio ácido con soluciones diluidas de fosfato para formar un complejo antimonio-fosfo-molibdato. Este complejo es reducido a un complejo de color azul intenso por L(+) ácido ascórbico. El complejo se mide a 880 nm

INSTALACIONES DE LABORATORIO

-Consumo máximo de energía en función de la configuración del analizador, 2000 VA. Comprobar la tensión en la parte posterior del instrumento antes de la instalación

-Instalaciones para residuos químicos. Comprobar las normativas ambientales para la disposición adecuada de los residuos.

PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

-El extracto puede ser aplicado para la determinación del B, Ca, Cl, K, Mg, Na, Al, P, SO₄, N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂, total-N (UV), CO₃, HCO₃, pH, Si, Fe (II+III), Fe (III), COD, conductividad eléctrica y urea.

-La muestra es agitada con agua destilada en proporción 1:5 durante una hora. El extracto se obtiene después de filtración.

-El instrumental requerido es un agitador, botes tomamuestras de polietileno de 250 ml, embudo de ± 70 mm de diámetro y papel de filtro S&S blue ribbon.

-Además se utilizan reactivos y agua destilada.

El procedimiento de preparación de la muestra es el siguiente:

- 1.-Pesar 40,00 g de muestra en un bote de muestreo de polietileno
- 2.-Añadir 200,0 ml de agua destilada
- 3.-Agitar durante 60 minutos.
- 4.-Filtrar la muestra sobre un papel de filtro S&S Blue ribbon o similar.

A veces son usados otros ratios entre el suelo y el extractante.

REACTIVOS

-Solución de ácido sulfúrico: Diluir 40 ml de H_2SO_4 (95-97%) en ± 800 ml de agua destilada. Llevar a 1 l con agua destilada, añadir 2 ml de FFD6 y mezclar. Solución estable 1 semana.

-Agua destilada + FFD6: Diluir 2 ml de FFD6 en 1 litro de agua destilada y mezclar. Solución estable 1 semana.

-Solución de heptamolibdato de amonio: Diluir 40 ml de H_2SO_4 (95-97%) en ± 800 ml de agua destilada. Añadir 4,8 g de heptamolibdato de amonio y disolver. Llevar a 1 l con agua destilada y añadir el FFD6 y mezclar. Solución estable 1 semana.

-Solución de potasio de antimonio (III) óxido de tartrato[$K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 1/2 H_2O$]: Disolver 300 mg de potasio de antimonio (III) óxido de tartrato en ± 80 ml de agua destilada. Llevar a 100 ml con agua destilada y mezclar. Solución estable 4 semanas. Conservar a 4°C.

-Solución de L (+) ácido ascórbico: Disolver 18 g de L (+) ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) en ± 800 ml de agua destilada. Añadir 20 ml de solución madre de potasio de antimonio (III) óxido de tartrato. Llevar a 1 l con agua destilada y mezclar. Solución estable 5 días. Conservar a 4°C.

El lavado de las muestras con agua destilada

BLANCOS

Solución madre 100 ppm: Disolver 439,4 mg de fosfato de dihidrógeno potásico (KH_2PO_4) en ± 800 ml de agua destilada. Llevar a 1 l con agua destilada y mezclar. Solución estable 1 mes. Conservar a 4°C.

Normas de trabajo para 5 ppm P, 4 ppm P, 3 ppm P, 2 ppm P y 1 ppm P:

Diluir 5 ml, 4 ml, 3 ml, 2 ml y 1 ml respectivamente de solución madre 100 ppm P a 100 ml con lavado de muestra líquida.

Los reactivos son suministrados por MERCK. En particular ácido sulfúrico (95-97%) (Merck 100731), FFD6 (Skalar SC 13908), heptamolibdato de amonio tetrahidratado (Merck 101182), potasio de antimonio (III) óxido de tartrato hemihidratado (Merck 108092), L (+) ácido ascórbico (Merck VWR PRO 20150.231), fosfato de dihidrógeno potásico (Merck 104873), solución de hipoclorito de sodio (6-14% cloro activo) (Merck 105614).

OBSERVACIONES DE FUNCIONAMIENTO Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

- 1.-El tiempo de estabilización del sistema es de 20 minutos.
- 2.-La sensibilidad del blanco mayor 5 ppm p es $\pm 0,280$ A.U.
- 3.-La conexión entre el tomamuestras y el tubo de ensayo de la bomba es un tubo SA 5141.
- 4.-Si la matriz fotómetro en uso es SA 6250 o SA 6260, es aconsejable un filtro de 1010 nm ± 10 nm para corregir interferencias
- 5.-Para evitar el calentamiento del agua a su paso por el serpentín, si la Tª ambiente es superior a los 25°C el baño de agua debe ser enfriado con agua del grifo.
- 6.-Evitar la turbidez en los reactivos. Filtrar si es necesario.
- 7.-Las botellas de reactivos deben ser enjuagados con agua destilada antes de ser rellenos con nuevos reactivos. Este hecho elimina la precipitación de microorganismos y otras interferencias.
- 8.-Podemos no usar las válvulas de lavado (manual/automática) para soluciones orgánicas o soluciones ácidas > 4N

9.-Los procedimientos de desgasificación:

a) Bueno: Desgasificar el agua con un flujo de gas helio de 20 l/h aproximadamente, con ayuda de un rociador. Desgasificar 5 litros de agua durante 15 minutos. Este procedimiento elimina todos los gases disueltos o, desgasifica el agua por ebullición del agua durante 10 minutos. Enfriar a temperatura ambiente antes de su uso.

b) Medio: Desgasificar el agua con un flujo de gas nitrógeno de 20 l/h aproximadamente, con ayuda de un rociador. Desgasificar 5 litros de agua durante 15 minutos. Este procedimiento elimina la mayor parte de los gases disueltos.

c) Malo: Desgasificar el agua con ondas ultrasónicas. Este procedimiento elimina una pequeña parte de los gases disueltos.

FLOW DIAGRAM

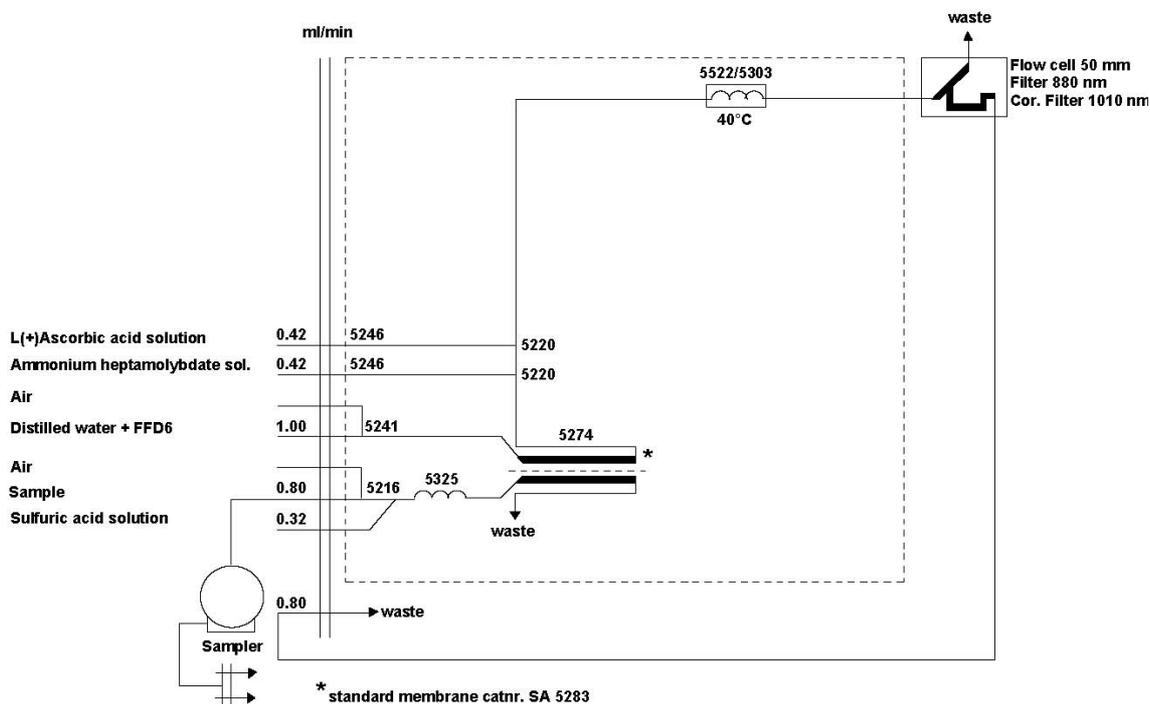


Figura 3.48. Diagrama de flujo de determinación del fosfato con el SKALAR SAN^{plus} ANALYZER

3.5.8.- DETERMINACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT). MÉTODO DE COMBUSTIÓN-INFRAERROJO

El carbono orgánico corresponde a una diversidad de compuestos orgánicos en varios estados de oxidación. Algunos de tales compuestos del carbono pueden ser sometidos a una oxidación posterior por procesos químicos o biológicos. El **COT** es una expresión más conveniente y directa del contenido orgánico total que la **DBO** o la **DQO**. A diferencia de éstas, el **COT** es independiente del estado de oxidación de la materia orgánica y no mide otros elementos orgánicos, tales como el nitrógeno e hidrógeno, o inorgánicos que demanden oxígeno.

Para su determinación, las moléculas orgánicas deben romperse en unidades de carbono simples y ser convertidas en una forma molecular sencilla que se pueda medir de forma cuantitativa. Los métodos utilizados para medir el **COT** analizan fracciones de **CT** (carbono total) mediante 2 o más determinaciones. Estas fracciones de carbono total se definen como **CI** (carbono inorgánico) [el carbonato, el bicarbonato, y el CO_2 disuelto]; **COT** [todos los átomos de carbono unidos mediante enlaces covalentes en moléculas orgánicas]; **COD** (carbono orgánico disuelto) [la fracción de **COT** que atraviesa un filtro de diámetro de poro de 0,45 μm]; **COND** (carbono orgánico no disuelto) [al que también se hace referencia como carbono orgánico en partículas, la fracción del **COT** retenida en un filtro de diámetro de poro de 0,45 μm]; **COP** (carbono orgánico purgable) [al que se hace referencia también como carbono orgánico volátil, la fracción del **COT** extraído de una solución acuosa por eliminación de gases bajo condiciones específicas]; y **CONP** (carbono orgánico no purgable) [la fracción de **COT** no extraído por eliminación de gases].

El método de combustión-infrarrojo se fundamenta en que al inyectar una microporción de una muestra suficientemente homogeneizada y diluida en una cámara de reacción caliente rellena con un catalizador oxidante, como el óxido de cobalto, el agua se vaporiza y el carbono orgánico se oxida hasta CO_2 y H_2O . El CO_2 de la oxidación del carbono orgánico e inorgánico es transportado en corrientes transportadoras de gas y medido. Como lo que se está determinando es el carbono

total, debe medirse el **CI** por separado y obtener el **COT** por diferencia. El **CI** se medirá inyectando la muestra en una cámara de reacción distinta rellena de cuentas de cuarzo cubiertas con ácido fosfórico. Bajo condiciones ácidas, todo el **CI** es convertido a CO_2 , el cuál se puede medir.

El instrumental necesario es un analizador de carbono orgánico total; jeringas de 0 a 50 μl , de 0 a 200 μl y de 0 a 1ml de capacidad; un mezclador u homogeneizador de la muestra; un agitador magnético y varilla de agitación cubiertas de **TFE** y, por último, aparato de filtración y filtros de 0,45 μm .

REACTIVOS:

-Agua para reactivos: Preparar los blancos y las soluciones patrón con agua libre de carbono. Utilizar preferentemente agua destilada, filtrada de carbono.

-Acido fosfórico, H_3PO_4 conc. Como alternativa, emplearemos ácido sulfúrico, H_2SO_4 .

-Solución de reserva de carbono orgánico: Disolver 2,1254 g de biftalato de potasio anhidro, $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$, en agua sin carbono y diluir hasta 1.000 ml; 1 ml = 1,00 mg de carbono. Conservar acidificando con H_3PO_4 ó H_2SO_4 a $\text{pH} \leq 2$.

-Solución de reserva de carbono inorgánico: Disolver 4,4122 g de carbonato de sodio anhidro, Na_2CO_3 , en agua, añadir 3,497 g de bicarbonato de sodio anhidro, NaHCO_3 , y diluir hasta 1.000 l; 1,00 ml = 1,00 mg de carbono. Mantener perfectamente taponado. No acidificar.

-Gas portador: Oxígeno purificado o aire, libre de CO_2 y que contenga menos de 1 ppm de hidrocarburo (como metano).

-Gas de purga: Cualquier gas libre de CO_2 e hidrocarburos.

PROCEDIMIENTO:

Se seguirá el funcionamiento del instrumental según instrucciones del fabricante. Ajustar la temperatura de combustión óptima (900°C) antes de usar el instrumento y monitorizar la temperatura para asegurar la estabilidad.

Si la muestra contiene materia insoluble o sólidos macroscópicos, homogeneizar hasta obtener respuesta satisfactoria. Analizar un blanco de homogeneización consistente en agua para reactivos sometido al tratamiento de homogeneización.

Retirar una porción de la muestra preparada utilizando una jeringa equipada con una aguja de punta roma. Seleccionar el volumen de la muestra según indica el fabricante. Agitar las muestras que contengan partículas con un agitador magnético. Seleccionar el tamaño de la aguja de acuerdo al tamaño de partículas de las muestras. Inyectar las muestras y los patrones en el analizador según las directrices del fabricante y anotar la respuesta. Repetir la inyección hasta obtener picos consecutivos reproducibles en el intervalo ± 10 por 100.

Se preparará la curva estándar, mediante la preparación de series de carbono orgánico e inorgánico patrón por dilución de las soluciones de reserva que abarcan el intervalo esperado en las muestras. Inyectar y anotar la altura del pico de estos patrones y de un blanco de agua de dilución. Representar la concentración de carbono en miligramos por litro frente a la altura del pico corregido en milímetros en papel milimetrado. Inyectar las muestras y los blancos del procedimiento (que consisten en agua para reactivos llevada a través de cualquiera de las etapas preanálisis y cuyos valores son típicamente más altos que los del agua para reactivos) y determinar las concentraciones de carbono orgánico de la muestra comparando las alturas del pico corregido con la curva de calibración.

CÁLCULOS:

- a) Cuando el agua para reactivos constituye una parte importante del blanco

total:

-Se calculará la altura del pico corregida de los patrones restando la altura del pico del blanco menos el agua para reactivos de las alturas de los picos del patrón.

-Se preparará una curva estándar de altura del pico corregido frente a la concentración del **COT**.

-Restar el blanco del procedimiento de la altura del pico de cada muestra y comparar con la curva estándar para determinar el contenido de carbono.

-Aplicar el factor de dilución apropiado cuando sea necesario.

-Restar el carbono orgánico del carbono total cuando se determine **COT** por diferencia.

b) Cuando el agua para reactivos constituye una parte mínima del blanco total:

-Se calculará la altura del pico corregida de los patrones y las muestras restando la altura del pico del blanco del agua para reactivos de las alturas del pico del estándar y de la muestra.

-Se preparará una curva estándar de altura del pico corregido frente a la concentración del **COT**.

-Restar el blanco del procedimiento de la altura del pico de cada muestra y comparar con la curva estándar para determinar el contenido de carbono.

-Aplicar el factor de dilución apropiado cuando sea necesario.

-Restar el carbono inorgánico del carbono total cuando se determine COT por diferencia.

3.5.9.- DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) POR REFLUJO CERRADO. MÉTODO TITULOMÉTRICO

La **DQO** se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de la materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico. Se puede establecer una correlación para muestras de la misma fuente entre la **DQO** y la **DBO₅**, el carbono orgánico o la materia orgánica.

El principio del reflujo cerrado es que la mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a reflujo una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$). Después de la digestión, el $K_2Cr_2O_7$ no reducido que quede se determina con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumido y calcular la materia orgánica oxidable en términos de equivalente de oxígeno. El tiempo estándar de reflujo es de 2 horas, pudiendo reducirse si se demuestra que se obtienen los mismos resultados.

El instrumental a utilizar será: Vasos de digestión (utilizar tubos de cultivo de borosilicato, de 16 x 100 mm, con tapones de rosca forrados con **TFE**); Bloque de calentamiento (aluminio fundido, 45 a 50 mm de profundidad, con agujeros ajustados al tamaño de los tubos de cultivo); Horno o calentador de bloque (la temperatura de trabajo será $150 \pm 2^\circ C$); y sellador de la ampolla (se asegurará un cierre fuerte y consistente).

REACTIVOS:

-Solución de digestión de dicromato de potasio patrón, 0, 0167M: Añadir a unos 500 ml de agua destilada 4,913 g de $K_2Cr_2O_7$, calidad para reactivos primaria, previamente secado a $103^\circ C$ durante 2 horas, 167 ml de H_2SO_4 conc. y 33,3 g de $HgSO_4$. Disolver, enfriar a temperatura ambiente y diluir hasta 1.000 ml.

-Reactivo de ácido sulfúrico: Añadir Ag_2SO_4 , de calidad para reactivos o técnica, en cristales o en polvo, a H_2SO_4 conc. en la proporción de 5,5 g de

$\text{Ag}_2\text{SO}_4/\text{kg}$ de H_2SO_4 . Dejar reposar de 1 a 2 días para disolver Ag_2SO_4 .

-Solución indicadora de ferroína: Disolver 1,485 g de 1,10-fenantrolina monohidratado y 695 mg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir hasta 100 ml.

-Sulfato de amonio ferroso (**SAF**) patrón para titulación, aproximadamente 0,10M: Disolver 39,2 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada. Añadir 20 ml de H_2SO_4 conc., enfriar y diluir hasta 1.000 ml. Estandarizar la solución a diario frente a la solución de digestión patrón de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, como sigue:
 Añadir los reactivos de acuerdo a la tabla adjunta a un tubo de cultivo que contenga el volumen correcto de agua destilada sustituido por la muestra. Enfriar el tubo a temperatura ambiente y añadir de 0,05 a 0,10 ml (1 a 2 gotas) de indicador de ferroína y titular con la solución de titulación de **SAF**.

Vaso de digestión (tubos de cultivo)	Muestra (ml)	Solución de digestión (ml)	Reactivo ácido sulfúrico (ml)	Volumen total final (ml)
16 x 100 mm	2,5	1,5	3,5	7,5
20 x 150 mm	5,0	3,0	7,0	15,0
25 x 150 mm	10,0	6,0	14,0	30,0

Tabla 3.3. Adición de reactivos para la determinación de la DQO

$$\text{Molaridad de la solución de SAF} = \frac{\text{Volumen de solución titulada de } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ 0,0167M (ml)}}{\text{Volumen de SAF utilizada en la titulación (ml)}} \times 0,10$$

-Acido sulfámico: Para eliminar la interferencia de los nitritos (cuando estos superen 1 ó 2 mg/l), añadir 10 mg de ácido sulfámico por cada mg de NO_2^- . Añadir la misma cantidad de ácido sulfámico al vaso de reflujo que contenga

el blanco de agua destilada.

-Patrón de ftalato hidrógeno de potasio (FHP): Triturar ligeramente y luego secar el ftalato de hidrógeno de potasio (HOCC₆H₄COOK) a peso constante a 120°C. Diluir 425 mg en agua destilada y diluir hasta 1.000 ml. El FHP tiene una DQO teórica de 1,176 mg O₂/mg y esta solución tiene una DQO teórica de 500 µg O₂/ml.

PROCEDIMIENTO:

Lavar los tubos de cultivo y los tapones con H₂SO₄ al 20 por 100 antes de usarlos por primera vez para evitar la contaminación. Consultar la tabla anterior para los volúmenes adecuados de reactivos y muestras. Colocar la muestra en el tubo de cultivo y añadir la solución de digestión. Verter con cuidado el ácido sulfúrico en el vaso, de forma que se cree una capa de ácido debajo de la capa de la solución de digestión de la muestra. Apretar bien el tapón de los tubos e invertir varias veces cada uno de ellos para mezclar completamente.

Colocar los tubos en un digestor de bloque o en un horno precalentado a 150°C, y someterle a reflujo durante 2 horas. Enfriar a temperatura ambiente y colocar los vasos en la rejilla de los tubos de ensayo. Quitar los tapones de los tubos de cultivo y añadir una varilla de agitación magnética cubierta de **TFE**. Añadir de 0,05 a 0,10 ml (de 1 a 2 gotas) de indicador de ferroína y agitar rápidamente en un agitador magnético mientras se titula con **SAF** 0,10M. El punto final es un marcado cambio de color del azul verdoso al marrón rojizo, aunque el azul verdoso puede volver a aparecer en pocos minutos. De la misma forma someter a reflujo y titular un blanco que contenga los reactivos y un volumen de agua destilada igual de la muestra.

CÁLCULO:

$$\text{DQO en mg O}_2/\text{l} = \frac{(\text{A}-\text{B}) \times \text{M} \times 8.000}{\text{ml de muestra}}$$

Donde:

A = ml de SAF utilizados para el blanco
B = ml de SAF utilizados para la muestra
M = molaridad del SAF

3.5.10.- DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO A LOS 5 DIAS (DBO₅)

Se pone la muestra con la dilución correspondiente en las botellas ámbar. Las botellas están colocadas en el aparato y quedan conectadas con los sensores de presión por medio de tapones y tubos. Las bacterias utilizan el oxígeno para oxidar la materia orgánica presente en la muestra. El aire que queda en las botellas encima de las muestras contiene un 21% de O₂ y repone el O₂ que consumen las bacterias. Durante la prueba un electroimán hace girar continuamente la barra agitadora, facilitando la transferencia de O₂ del aire a la muestra y simulando las condiciones naturales.

El aparato BODTrack está herméticamente cerrado para impedir que los cambios de presión atmosférica influyan en la lectura de la **DBO**. Los sensores de la presión monitorizan la presión del aire que existe en las botellas de las muestras, y cuando dicha presión desciende, el cambio se convierte en mg/l de **DBO**.

El CO₂ debe eliminarse del sistema para que la diferencia de presión sea proporcional únicamente a la cantidad de O₂ consumido. Los cristales de hidróxido de litio colocados en el tapón hermético de las botellas de muestras antes de efectuar las pruebas eliminan el CO₂.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA:

- 1.-Atemperar la muestra a 20°C de la temperatura de incubación (normalmente 20°C)
- 2.-Preparar la dilución deseada con H₂O UltraPura para entrar en el rango de medida del aparato. El pH debe ser de 7, neutralizándola en caso contrario

con ácido sulfúrico o hidróxido sódico de 1,0 N.

3.-Verter el volumen de muestra en la botella [figura 3.49 (1)]. Según el rango de **DBO** esperado los volúmenes difieren, teniendo cada uno una curva diferente.

4.-Colocar una barra agitadora en cada botella de muestra.

5.-Añadir el contenido de una bolsa de tampón de nutriente para la **DBO** [figura 3.49 (2)] en las botellas para obtener un crecimiento óptimo de las bacterias (opcional). Estas ampollas de nutrientes (Hach) contienen: Cloruro cálcico, Cloruro férrico, Sulfato magnésico, Fosfato potásico y agua.

6.-Aplicar grasa de esmerilado al borde de las botellas y los tapones herméticos.

7.-Con ayuda de un embudo, añadir el contenido de una bolsa de hidróxido de litio [figura 3.49 (3)] en polvo en cada tapón [figura 3.49 (4)].

8.-Colocar los tapones en el cuello de las botellas de las muestras. Evitar que caigan en la muestra partículas de hidróxido de litio. Si ello ocurre, desechar la muestra y preparar otra.

9.-Poner las botellas en el chasis del aparato. Conectar el tubo apropiado en la botella de la muestra y apretar fuertemente el tapón. Cada tubo está marcado con el número de canal.

10.- Poner en marcha el aparato. Verificar que giran todas las barras agitadoras. Ajustar la incubadora a la temperatura apropiada.

11.- Para poner en marcha una prueba, pulsar el número de canal de la botella y a continuación la tecla ON. Aparecerá el menú de selección de rango de la **DBO**. Cada canal ha de ponerse en marcha individualmente.

12.- Leer directamente los resultados en la pantalla del BODTrack pulsando la tecla correspondiente a cada muestra.

Rango DBO esperado (mg/l)	Volumen requerido (ml)
0-35	420
0-70	355
0-350	160
0-700	95

Tabla 3.4. Determinación de DBO. Volumen de muestra requerido en función del rango de DBO esperado

Si la prueba se desarrolla correctamente, los resultados indicarán valores de la **DBO** cada día más altos, con una diferencia decreciente en los valores diarios.

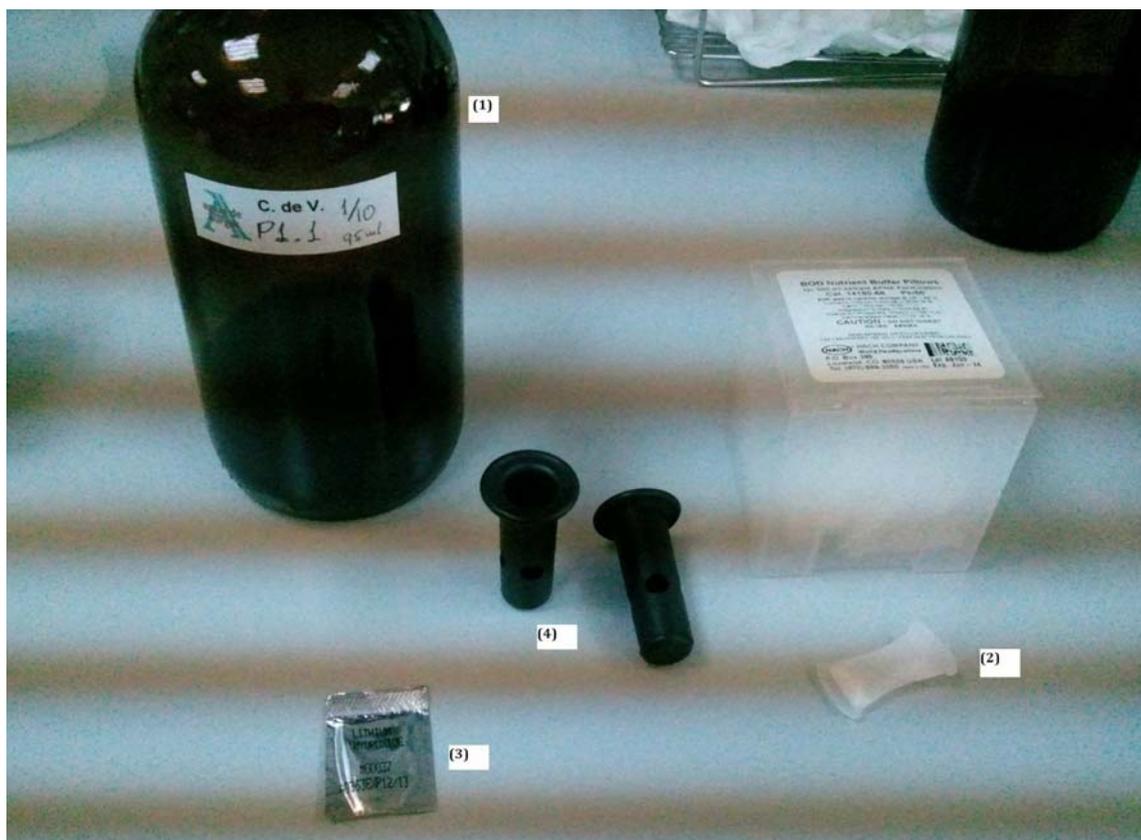


Figura 3.49. Determinación de la DBO₅ (I)

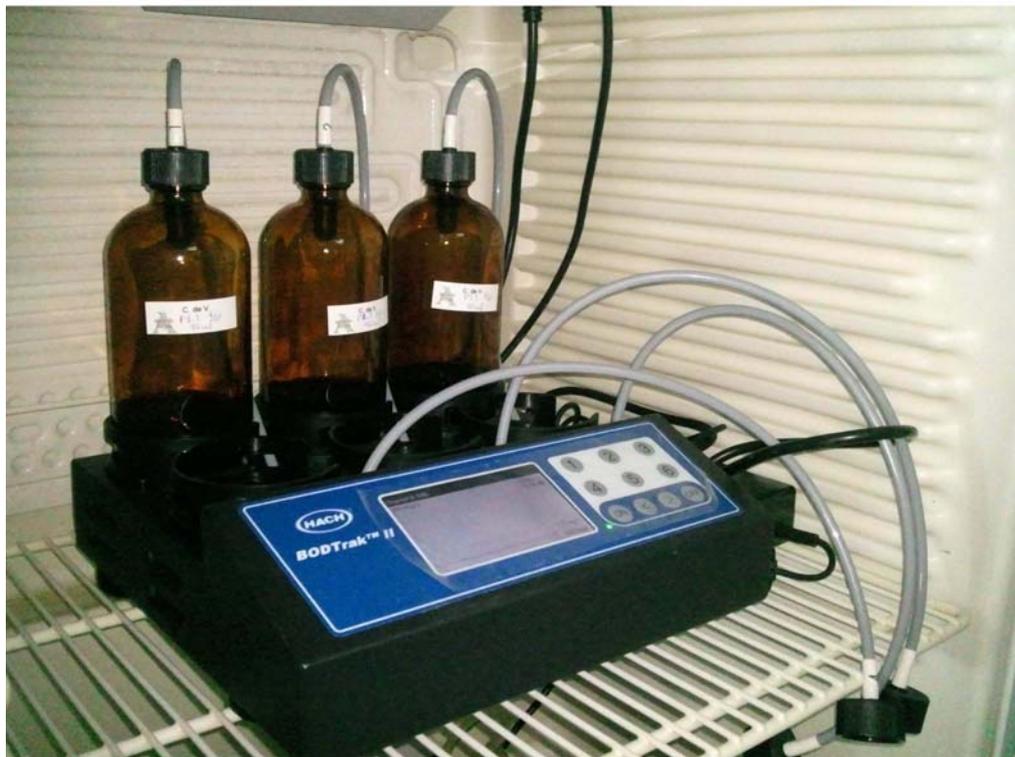


Figura 3.50. Determinación de la DBO₅ (II)



Figura 3.51. Determinación de la DBO_5 (III)

CAPÍTULO 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1-RESULTADOS DE LAS ANALÍTICAS EFECTUADAS

Consecuencia de los análisis efectuados se obtuvieron una serie de parámetros cuya exposición, y posterior discusión, se desarrollan en los siguientes apartados.

Por otro lado, y para un mejor estudio de los mismos se agrupan separadamente en cuatro epígrafes diferenciados: lixiviados **P1**, **P2** y **P3**, lixiviados en el túnel, compost y lixiviados en el MBR.

4.1.1.- LIXIVIADOS P1, P2 y P3

Recordemos que la nomenclatura será para la muestras del lixiviado en la balsa de lixiviados **P1**, en la piscina de lixiviados **P2** y en el vertedero **P3**.

Además esas muestras se recogían en cuatro estaciones diferentes del año:

- Mayo (primavera)
- Agosto (verano)
- Octubre (otoño)
- Diciembre (invierno)

Las siguientes tablas recogen las analíticas efectuadas a las muestras con la siguiente nomenclatura:

- **P1.1**: lixiviado de la balsa de lixiviados recogido en mayo
- **P2.1**: lixiviado de la piscina de lixiviados recogido en mayo
- **P3.1**: lixiviado del vertedero recogido en mayo
- **P1.2**: lixiviado de la balsa de lixiviados recogido en agosto
- **P2.2**: lixiviado de la piscina de lixiviados recogido en agosto
- **P3.2**: lixiviado del vertedero recogido en agosto
- **P1.3**: lixiviado de la balsa de lixiviados recogido en octubre
- **P2.3**: lixiviado de la piscina de lixiviados recogido en octubre
- **P3.3**: lixiviado del vertedero recogido en octubre
- **P1.4**: lixiviado de la balsa de lixiviados recogido en diciembre

- **P2.4**: lixiviado de la piscina de lixiviados recogido en diciembre
- **P3.4** :lixiviado del vertedero recogido en diciembre

Parámetros	P 1.1	P 2.1	P 3.1
pH	7,7 ± 0,2	7,6 ± 0,2	8,1 ± 0,2
CE (dS m ⁻¹)	11,70 ± 0,23	8,60 ± 0,17	54,93 ± 1,10
M.S. (%) a 60°C	0,702 ± 0,090	0,425 ± 0,014	4,593 ± 0,616
Densidad (g m ⁻³)	0,998 ± 0,020	0,998 ± 0,020	1,023 ± 0,020
DQO (mg L ⁻¹)	4.097 ± 1.439	11.585 ± 998	16.812 ± 0
DBO (mg L ⁻¹)	200 ± 4	1.260 ± 25	600 ± 12
DQO/DBO (cálculo)	20	9	28
ST (mg L ⁻¹)	7.005 ± 886	4.236 ± 132	46.842 ± 6.581
SS (mg L ⁻¹)	1.123 ± 173	2.059 ± 204	597 ± 36
SV (mg L ⁻¹)	1.562 ± 245	1.998 ± 218	27.854 ± 15
C total (mg L ⁻¹)	2.354 ± 1	5.400 ± 1	11.950 ± 4
C inorgánico (mg L ⁻¹)	1.620 ± 0	1.136 ± 0	684 ± 0
COT (mg L ⁻¹)	735 ± 0	4.265 ± 0	11.266 ± 0
N total (mg L ⁻¹)	851 ± 0	1.445 ± 1	6.805 ± 3
N orgánico (mg L ⁻¹)	181 ± 2	680 ± 27	783 ± 133
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	670 ± 19	765 ± 35	6.022 ± 52
N-NO ₃ ⁻ + N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	n.d.	n.d.	n.d.
PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)	26 ± 1	83 ± 2	83 ± 2

Tabla 4.1. Parámetros físicos y químicos. Resultados analíticos de lixiviados P1.1, P2.1, P3.1.

Parámetros	P 1.2	P 2.2	P 3.2
pH	7,7 ± 0,2	6,9 ± 0,1	8,0 ± 0,2
CE (dS m ⁻¹)	23,80 ± 0,48	36,00 ± 0,72	61,20 ± 1,22
M.S. (%) a 60°C	1,542 ± 0,150	3,098 ± 0,079	5,353 ± 0,251
Densidad (g m ⁻³)	0,998 ± 0,020	1,001 ± 0,020	1,026 ± 0,021
DQO (mg L ⁻¹)	12.042 ± 1.485	40.758 ± 2.008	24.589 ± 1.747
DBO (mg L ⁻¹)	300 ± 6	700 ± 14	440 ± 9
DQO/DBO (cálculo)	40	58	56
ST (mg L ⁻¹)	15.496 ± 1.539	31.249 ± 739	54.775 ± 2.662
SS (mg L ⁻¹)	1.349 ± 154	10.171 ± 1.788	1.020 ± 52
SV (mg L ⁻¹)	5.150 ± 1.262	14.124 ± 241	31.695 ± 1.885
C total (mg L ⁻¹)	3.477 ± 2	7.685 ± 1	12.820 ± 2
C inorgánico (mg L ⁻¹)	2.200 ± 1	1.008 ± 15	694 ± 0
COT (mg L ⁻¹)	1.277 ± 2	6.677 ± 16	12.127 ± 0
N total (mg L ⁻¹)	1.494 ± 1	2.853 ± 0	7.165 ± 1
N orgánico (mg L ⁻¹)	218 ± 47	591 ± 2	416 ± 172
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	1.276 ± 80	2.262 ± 14	6.749 ± 160
N-NO ₃ ⁻ + N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	n.d.	n.d.	n.d.
PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)	18 ± 0	82 ± 2	85 ± 12

Tabla 4.2. Parámetros físicos y químicos. Resultados analíticos de lixiviados P1.2, P2.2, P3.2.

Parámetros	P 1.3	P 2.3	P 3.3
pH	7,4 ± 0,1	7,6 ± 0,2	7,7 ± 0,2
CE (dS m ⁻¹)	19,90 ± 0,40	24,10 ± 0,48	59,70 ± 1,19
M.S. (%) a 60°C	1,150 ± 0,019	1,805 ± 0,012	5,125 ± 0,358
Densidad (g m ⁻³)	0,999 ± 0,020	1,001 ± 0,020	1,013 ± 0,020
DQO (mg L ⁻¹)	26.154 ± 523	25.066 ± 501	16.982 ± 340
DBO (mg L ⁻¹)	4.230 ± 85	7.740 ± 155	880 ± 18
DQO/DBO (cálculo)	6	3	19
ST (mg L ⁻¹)	11.524 ± 182	18.182 ± 150	52.525 ± 3.607
SS (mg L ⁻¹)	1.203 ± 233	4.234 ± 304	577 ± 52
SV (mg L ⁻¹)	2.115 ± 48	6.034 ± 99	29.048 ± 3.181
C total (mg L ⁻¹)	4.591 ± 0	6.695 ± 2	12.320 ± 1
C inorgánico (mg L ⁻¹)	1.685 ± 1	431 ± 1	706 ± 1
COT (mg L ⁻¹)	2.906 ± 0	6.264 ± 1	11.614 ± 1
N total (mg L ⁻¹)	1.181 ± 0	1.612 ± 1	6.680 ± 0
N orgánico (mg L ⁻¹)	444 ± 12	630 ± 29	410 ± 132
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	737 ± 45	982 ± 33	6.270 ± 269
N-NO ₃ ⁻ + N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	n.d.	n.d.	n.d.
PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)	22 ± 1	87 ± 0	84 ± 2

Tabla 4.3. Parámetros físicos y químicos. Resultados analíticos de lixiviados P1.3, P2.3, P3.3.

Parámetros	P 1.4	P 2.4	P 3.4
PH	7,4 ± 0,1	7,4 ± 0,1	8,0 ± 0,2
CE (dS m ⁻¹)	20,40 ± 0,41	18,20 ± 0,36	65,80 ± 1,32
M.S. (%) a 60°C	1,586 ± 0,023	1,807 ± 0,208	2,864 ± 0,238
Densidad (g m ⁻³)	0,999 ± 0,020	1,001 ± 0,020	1,025 ± 0,021
DQO (mg L ⁻¹)	21.420 ± 428	37.560 ± 751	9.538 ± 191
DBO (mg L ⁻¹)	3.715 ± 74	5.813 ± 116	715 ± 14
DQO/DBO (cálculo)	6	6	13
ST (mg L ⁻¹)	15.908 ± 252	18.034 ± 2.057	29.339 ± 2.452
SS (mg L ⁻¹)	1.755 ± 542	6.007 ± 1.658	933 ± 13
SV (mg L ⁻¹)	6.559 ± 63	10.059 ± 879	5.265 ± 2.210
C total (mg L ⁻¹)	4.145 ± 232	7.891 ± 33	11.550 ± 1
C inorgánico (mg L ⁻¹)	1.625 ± 1	1.631 ± 1	4.871 ± 1
COT (mg L ⁻¹)	2.520 ± 263	6.260 ± 26	6.679 ± 0
N total (mg L ⁻¹)	1.933 ± 14	3.213 ± 1	9.255 ± 0
N orgánico (mg L ⁻¹)	799 ± 907	1.625 ± 53	8.008 ± 44
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	1.134 ± 63	1.588 ± 36	1.247 ± 90
N-NO ₃ ⁻ + N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	0 ± 0	3 ± 0	9 ± 1
PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)	3 ± 0	12 ± 1	124 ± 1

Tabla 4.4. Parámetros físicos y químicos. Resultados analíticos de lixiviados P1.4, P2.4, P3.4.

Metales Pesados (mg. L ⁻¹)	P 1.1	P 2.1	P 3.1
Cd	0,125 ± 0,017	0,128 ± 0,007	0,153 ± 0,004
Cr	0,233 ± 0,029	0,307 ± 0,015	7,393 ± 0,041
Cu	0,302 ± 0,052	0,275 ± 0,005	0,321 ± 0,009
Mn	1,903 ± 0,070	3,893 ± 0,044	0,203 ± 0,005
Ni	0,487 ± 0,009	0,480 ± 0,023	1,328 ± 0,022
Pb	0,607 ± 0,053	0,863 ± 0,227	0,793 ± 0,089
Zn	1,683 ± 0,059	2,467 ± 0,065	1,675 ± 0,049

Tabla 4.5. Metales pesados. Resultados analíticos de lixiviados P1.1, P2.1, P3.1.

Metales Pesados (mg. L ⁻¹)	P 1.2	P 2.2	P 3.2
Cd	0,147 ± 0,007	0,183 ± 0,009	0,147 ± 0,006
Cr	0,281 ± 0,021	0,666 ± 0,011	6,961 ± 0,330
Cu	2,081 ± 0,477	1,486 ± 0,216	2,197 ± 0,125
Mn	0,757 ± 0,045	5,438 ± 0,327	0,195 ± 0,008
Ni	0,793 ± 0,019	1,488 ± 0,061	1,313 ± 0,061
Pb	0,871 ± 0,212	1,091 ± 0,069	0,719 ± 0,021
Zn	2,075 ± 0,130	7,825 ± 0,697	2,042 ± 0,107

Tabla 4.6. Metales pesados. Resultados analíticos de lixiviados P1.2, P2.2, P3.2.

Metales Pesados (mg. L ⁻¹)	P 1.3	P 2.3	P 3.3
Cd	0,029 ± 0,018	0,032 ± 0,008	0,028 ± 0,007
Cr	0,150 ± 0,009	0,253 ± 0,009	3,267 ± 0,864
Cu	0,215 ± 0,011	1,062 ± 0,111	5,009 ± 1,440
Mn	0,571 ± 0,008	1,657 ± 0,082	0,137 ± 0,029
Ni	0,330 ± 0,006	0,617 ± 0,010	0,712 ± 0,225
Pb	0,281 ± 0,047	0,239 ± 0,074	0,173 ± 0,092
Zn	0,425 ± 0,172	3,367 ± 0,365	0,358 ± 0,516

Tabla 4.7. Metales pesados. Resultados analíticos de lixiviados P1.3, P2.3, P3.3.

Metales Pesados (mg. L ⁻¹)	P 1.4	P 2.4	P 3.4
Cd	0,028 ± 0,008	0,043 ± 0,003	0,062 ± 0,008
Cr	0,226 ± 0,017	0,489 ± 0,003	3,312 ± 1,409
Cu	0,273 ± 0,029	0,675 ± 0,051	3,676 ± 1,659
Mn	1,347 ± 0,215	8,092 ± 0,898	0,139 ± 0,037
Ni	0,314 ± 0,017	0,785 ± 0,110	0,716 ± 0,381
Pb	0,077 ± 0,117	0,239 ± 0,077	0,313 ± 0,078
Zn	1,208 ± 0,328	8,383 ± 0,888	0,125 ± 0,920

Tabla 4.8. Metales pesados. Resultados analíticos de lixiviados P1.4, P2.4, P3.4.

Elementos (g. L ⁻¹)	P 1.1	P 2.1	P 3.1
Na	0,813 ± 0,012	0,295 ± 0,003	5,557 ± 0,232
K	1,297 ± 0,006	0,638 ± 0,004	3,218 ± 0,118
Ca	0,107 ± 0,013	0,275 ± 0,015	0,025 ± 0,001
Mg	0,143 ± 0,006	0,104 ± 0,006	0,027 ± 0,001
Fe	0,020 ± 0,001	0,037 ± 0,001	0,053 ± 0,002

Tabla 4.9. Elementos. Resultados analíticos de lixiviados P1.1, P2.1, P3.1.

Elementos (g. L ⁻¹)	P 1.2	P 2.2	P 3.2
Na	1,883 ± 0,019	2,565 ± 0,019	5,334 ± 0,344
K	2,603 ± 0,009	3,495 ± 0,123	2,287 ± 0,167
Ca	0,119 ± 0,008	0,683 ± 0,092	0,024 ± 0,003
Mg	0,178 ± 0,001	0,192 ± 0,002	0,027 ± 0,002
Fe	0,018 ± 0,001	0,087 ± 0,006	0,035 ± 0,003

Tabla 4.10. Elementos. Resultados analíticos de lixiviados P1.2, P2.2, P3.2.

Elementos (g.L ⁻¹)	P 1.3	P 2.3	P 3.3
Na	1,363 ± 0,040	1,546 ± 0,096	3,521 ± 1,017
K	1,919 ± 0,083	2,364 ± 0,164	2,312 ± 0,742
Ca	0,083 ± 0,012	0,133 ± 0,016	0,008 ± 0,009
Mg	0,015 ± 0,001	0,018 ± 0,004	0,000 ± 0,001
Fe	0,009 ± 0,000	0,029 ± 0,001	0,029 ± 0,009

Tabla 4.11. Elementos. Resultados analíticos de lixiviados P1.3, P2.3, P3.3.

Elementos (g. L ⁻¹)	P 1.4	P 2.4	P 3.4
Na	1,119 ± 0,025	0,707 ± 0,046	3,252 ± 1,357
K	1,624 ± 0,018	0,982 ± 0,026	2,159 ± 1,120
Ca	0,154 ± 0,017	0,421 ± 0,057	0,008 ± 0,010
Mg	0,023 ± 0,002	0,016 ± 0,001	n.d.
Fe	0,047 ± 0,008	0,142 ± 0,027	0,030 ± 0,016

Tabla 4.12. Elementos. Resultados analíticos de lixiviados P1.4, P2.4, P3.4.

4.1.2.- LIXIVIADOS EN EL TÚNEL. RÉPLICAS A00062, A00063 y A00064

Se realizaron tres réplicas en el túnel (**A00062, A00063 y A00064**). Cada réplica consistía en la recogida diaria durante quince días de una muestra de lixiviado. Se analizaron metales pesados, elementos como el Ca, Mg, Na, K y Fe, pH, CE, carbono, nitrógeno y fósforo en sus diferentes formas.

En concreto se midió:

- pH, y CE
- Carbono total, el carbono inorgánico y el carbono orgánico total
- Nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico
- Fósforo total, fósforo inorgánico y el fósforo orgánico.
- Metales pesados: Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn
- Elementos: Na, K, Ca, Mg y Fe

Día	pH			CE (dS m ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
1	7,75 ± 0,16	8,23 ± 0,16	8,05 ± 0,16	23,3 ± 0,5	31,7 ± 0,6	24,3 ± 0,5
2	7,36 ± 0,15	8,22 ± 0,16	8,22 ± 0,16	25,4 ± 0,5	32,3 ± 0,6	23,3 ± 0,5
3	7,34 ± 0,15	8,30 ± 0,17	8,23 ± 0,16	31,2 ± 0,6	32,0 ± 0,6	23,5 ± 0,5
4	7,82 ± 0,16	8,30 ± 0,17	8,32 ± 0,17	30,4 ± 0,6	33,2 ± 0,7	23,8 ± 0,5
5	7,35 ± 0,15	8,33 ± 0,17	8,36 ± 0,17	31,3 ± 0,6	33,4 ± 0,7	23,6 ± 0,5
6	7,35 ± 0,15	7,74 ± 0,15	8,76 ± 0,18	24,3 ± 0,5	32,6 ± 0,7	26,6 ± 0,5
7	7,67 ± 0,15	8,13 ± 0,16	8,21 ± 0,16	20,5 ± 0,4	32,5 ± 0,7	26,9 ± 0,5
8	7,96 ± 0,16	7,97 ± 0,16	8,49 ± 0,17	21,4 ± 0,4	35,9 ± 0,7	30,9 ± 0,6
9	7,52 ± 0,15	7,97 ± 0,16	8,68 ± 0,17	21,9 ± 0,4	34,7 ± 0,7	27,3 ± 0,5
10	7,95 ± 0,16	7,84 ± 0,16	8,66 ± 0,17	21,3 ± 0,4	34,2 ± 0,7	29,1 ± 0,6
11	7,78 ± 0,16	7,71 ± 0,15	8,67 ± 0,17	21,9 ± 0,4	35,6 ± 0,7	29,5 ± 0,6
12	7,92 ± 0,16	7,80 ± 0,16	8,64 ± 0,17	23,8 ± 0,5	35,6 ± 0,7	30,0 ± 0,6
13	8,03 ± 0,16	7,90 ± 0,16	8,53 ± 0,17	23,5 ± 0,5	34,9 ± 0,7	29,4 ± 0,6
14	7,76 ± 0,16	7,93 ± 0,16	8,61 ± 0,17	23,8 ± 0,5	35,4 ± 0,7	30,7 ± 0,6
15	7,90 ± 0,16	7,75 ± 0,16	8,56 ± 0,17	22,8 ± 0,5	37,7 ± 0,8	32,2 ± 0,6

Tabla 4.13. pH y CE. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.

CAPÍTULO 4.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Día	C total (mg. L ⁻¹)			C inorgánico (mg. L ⁻¹)			COT (mg. L ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
1	14.780 ± 1	11.295 ± 2	8.025 ± 2	1.346 ± 0	2.649 ± 1	1.901 ± 0	13.434 ± 0	8.647 ± 3	6.125 ± 0
2	16.245 ± 8	10.730 ± 0	8.025 ± 4	1.499 ± 1	2.783 ± 1	2.289 ± 0	14.746 ± 6	7.948 ± 0	5.736 ± 1
3	17.905 ± 6	11.120 ± 1	7.640 ± 1	1.589 ± 1	2.983 ± 1	2.143 ± 1	16.317 ± 5	8.138 ± 1	5.498 ± 1
4	18.015 ± 3	9.855 ± 2	7.935 ± 0	1.349 ± 1	2.716 ± 1	2.291 ± 1	16.666 ± 2	7.139 ± 2	5.645 ± 0
5	16.825 ± 5	10.420 ± 1	7.625 ± 3	1.360 ± 1	2.822 ± 1	2.364 ± 1	15.466 ± 3	7.599 ± 1	5.262 ± 3
6	11.485 ± 1	12.620 ± 4	10.820 ± 3	1.346 ± 1	2.497 ± 1	2.772 ± 0	10.139 ± 1	10.124 ± 5	8.048 ± 1
7	9.305 ± 1	11.320 ± 0	10.150 ± 4	1.197 ± 0	2.308 ± 1	712 ± 0	8.108 ± 0	9.012 ± 0	9.438 ± 0
8	10.000 ± 0	14.410 ± 3	10.290 ± 4	1.212 ± 0	2.472 ± 1	2.866 ± 1	8.789 ± 0	11.939 ± 4	7.425 ± 3
9	10.110 ± 0	15.000 ± 5	8.990 ± 3	1.492 ± 0	2.097 ± 0	2.885 ± 1	8.618 ± 0	12.903 ± 1	6.106 ± 1
10	8.705 ± 5	15.805 ± 5	8.975 ± 1	1.128 ± 1	2.030 ± 1	3.039 ± 1	7.578 ± 4	13.776 ± 5	5.936 ± 2
11	8.760 ± 1	15.670 ± 1	9.480 ± 2	1.266 ± 0	2.153 ± 1	3.314 ± 1	7.495 ± 0	13.517 ± 1	6.167 ± 3
12	8.715 ± 1	16.715 ± 8	8.940 ± 1	1.385 ± 1	2.267 ± 1	3.053 ± 3	7.330 ± 1	14.448 ± 10	5.887 ± 2
13	9.435 ± 5	15.040 ± 2	8.475 ± 4	1.379 ± 0	2.178 ± 1	2.990 ± 1	8.056 ± 0	12.863 ± 2	5.486 ± 3
14	8.945 ± 3	15.555 ± 8	8.935 ± 3	1.221 ± 2	2.297 ± 1	3.052 ± 1	7.725 ± 4	13.259 ± 4	5.884 ± 3
15	9.045 ± 1	16.175 ± 3	8.440 ± 0	1.566 ± 1	1.973 ± 1	2.992 ± 1	7.480 ± 1	14.203 ± 3	5.449 ± 0

Tabla 4.14. C total, C inorgánico y COT. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.

Día	N-total (mg. L ⁻¹)			N-NH ₄ ⁺ (mg. L ⁻¹)			N-orgánico (mg. L ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
1	2.896 ± 1	2.951 ± 0	1.913 ± 0	1.530 ± 7	2.127 ± 197	1.410 ± 143	1.366 ± 4	823 ± 37	503 ± 67
2	3.150 ± 1	2.960 ± 0	2.010 ± 0	1.704 ± 64	2.224 ± 54	1.252 ± 124	1.445 ± 95	736 ± 19	758 ± 61
3	3.413 ± 1	3.078 ± 0	1.936 ± 1	1.825 ± 35	2.265 ± 573	1.396 ± 57	1.587 ± 38	812 ± 6	540 ± 56
4	3.518 ± 0	2.791 ± 0	2.052 ± 1	1.816 ± 44	2.282 ± 104	1.438 ± 44	1.702 ± 14	508 ± 25	614 ± 31
5	3.278 ± 1	2.892 ± 1	2.005 ± 0	1.691 ± 300	2.354 ± 118	1.449 ± 21	1.587 ± 273	537 ± 66	556 ± 3
6	2.366 ± 0	3.066 ± 1	2.372 ± 1	1.406 ± 144	2.122 ± 295	1.645 ± 19	960 ± 25	944 ± 203	727 ± 15
7	1.919 ± 0	2.656 ± 1	2.111 ± 0	1.119 ± 68	2.139 ± 243	1.458 ± 68	799 ± 5	517 ± 124	652 ± 3
8	2.122 ± 0	3.059 ± 0	2.216 ± 1	1.100 ± 89	2.127 ± 113	1.476 ± 2	1.022 ± 41	932 ± 52	739 ± 2
9	2.154 ± 0	3.071 ± 1	2.015 ± 0	1.342 ± 115	2.338 ± 374	1.516 ± 27	812 ± 3	732 ± 315	498 ± 10
10	1.908 ± 0	3.153 ± 0	2.016 ± 0	1.249 ± 66	2.251 ± 40	1.521 ± 61	659 ± 10	901 ± 4	495 ± 30
11	2.037 ± 1	3.161 ± 1	2.187 ± 0	1.230 ± 129	2.308 ± 266	1.585 ± 12	807 ± 111	853 ± 177	602 ± 6
12	2.002 ± 1	3.443 ± 1	2.069 ± 1	1.275 ± 49	2.485 ± 178	1.416 ± 58	727 ± 49	958 ± 134	653 ± 58
13	2.095 ± 1	3.129 ± 1	1.975 ± 1	1.608 ± 43	2.193 ± 6	1.422 ± 25	487 ± 30	935 ± 4	553 ± 17
14	2.095 ± 0	3.301 ± 1	2.085 ± 0	1.521 ± 137	2.381 ± 29	1.424 ± 136	574 ± 66	919 ± 34	661 ± 20
15	2.143 ± 1	3.482 ± 0	2.026 ± 0	1.660 ± 32	2.032 ± 3	1.415 ± 49	483 ± 30	1.450 ± 0	611 ± 8

Tabla 4.15. N-total, N-NH₄⁺, N-orgánico. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.

Día	P inorgánico (mg L ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064
1	28 ± 6	n.d.	n.d.
2	26 ± 8	n.d.	n.d.
3	27 ± 11	n.d.	n.d.
4	38 ± 19	n.d.	n.d.
5	59 ± 5	n.d.	n.d.
6	9 ± 2	n.d.	n.d.
7	n.d.	n.d.	n.d.
8	2 ± 7	11 ± 3	n.d.
9	n.d.	n.d.	n.d.
10	n.d.	7 ± 5	n.d.
11	n.d.	n.d.	n.d.
12	n.d.	n.d.	n.d.
13	n.d.	n.d.	n.d.
14	n.d.	n.d.	n.d.
15	n.d.	n.d.	n.d.

Tabla 4.16. P inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.

Día	Cd (mg. L ⁻¹)			Cr (mg.L ⁻¹)			Cu (mg. L ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
1	0,054 ± 0,003	0,009 ± 0,003	0,018 ± 0,003	0,318 ± 0,014	0,257 ± 0,009	0,260 ± 0,008	3,082 ± 0,285	2,173 ± 0,088	3,417 ± 0,180
2	0,065 ± 0,004	0,015 ± 0,006	0,036 ± 0,008	0,381 ± 0,003	0,291 ± 0,004	0,278 ± 0,003	4,371 ± 0,074	1,853 ± 0,041	2,865 ± 0,013
3	0,058 ± 0,007	0,021 ± 0,003	0,032 ± 0,009	0,362 ± 0,002	0,303 ± 0,011	0,266 ± 0,010	4,029 ± 0,020	1,891 ± 0,090	2,127 ± 0,055
4	0,060 ± 0,009	0,034 ± 0,006	0,016 ± 0,011	0,372 ± 0,007	0,317 ± 0,011	0,283 ± 0,007	4,366 ± 0,047	2,067 ± 0,047	3,927 ± 0,257
5	0,083 ± 0,003	0,021 ± 0,000	0,028 ± 0,007	0,380 ± 0,007	0,353 ± 0,011	0,285 ± 0,003	4,428 ± 0,060	2,263 ± 0,061	3,169 ± 0,183
6	0,041 ± 0,009	0,044 ± 0,012	0,046 ± 0,006	0,297 ± 0,011	0,299 ± 0,007	0,344 ± 0,013	3,132 ± 0,079	1,778 ± 0,058	1,762 ± 0,057
7	0,039 ± 0,006	0,041 ± 0,005	0,052 ± 0,007	0,263 ± 0,021	0,259 ± 0,007	0,366 ± 0,006	2,317 ± 0,038	1,629 ± 0,194	1,801 ± 0,057
8	0,037 ± 0,009	0,039 ± 0,012	0,046 ± 0,016	0,246 ± 0,007	0,298 ± 0,003	0,357 ± 0,003	2,678 ± 0,041	2,275 ± 0,190	1,832 ± 0,227
9	0,050 ± 0,002	0,041 ± 0,003	0,028 ± 0,005	0,245 ± 0,005	0,308 ± 0,007	0,366 ± 0,013	2,686 ± 0,102	2,541 ± 0,064	2,380 ± 0,140
10	0,044 ± 0,008	0,056 ± 0,014	0,042 ± 0,009	0,217 ± 0,004	0,348 ± 0,012	0,367 ± 0,007	6,012 ± 0,087	2,557 ± 0,118	8,826 ± 1,072
11	0,014 ± 0,007	0,052 ± 0,007	0,035 ± 0,007	0,213 ± 0,008	0,321 ± 0,006	0,353 ± 0,003	2,317 ± 0,069	2,833 ± 0,119	4,087 ± 0,102
12	0,035 ± 0,009	0,059 ± 0,007	0,039 ± 0,007	0,248 ± 0,005	0,315 ± 0,005	0,393 ± 0,006	2,692 ± 0,045	3,100 ± 0,154	6,011 ± 0,534
13	0,021 ± 0,012	0,047 ± 0,003	0,037 ± 0,013	0,235 ± 0,013	0,298 ± 0,003	0,407 ± 0,017	2,402 ± 0,060	10,536 ± 0,208	6,600 ± 0,153
14	0,029 ± 0,007	0,054 ± 0,003	0,051 ± 0,010	0,207 ± 0,007	0,343 ± 0,009	0,436 ± 0,010	1,712 ± 0,015	3,350 ± 0,014	8,453 ± 0,213
15	0,030 ± 0,009	0,051 ± 0,004	0,034 ± 0,009	0,218 ± 0,009	0,352 ± 0,006	0,413 ± 0,006	1,872 ± 0,043	3,402 ± 0,124	4,567 ± 0,260

Tabla 4.17. Metales pesados: Cd, Cr, Cu. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.

Día	Mn (mg L ⁻¹)			Ni (mg L ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
1	4,167 ± 0,065	1,379 ± 0,051	1,627 ± 0,026	1,173 ± 0,025	1,110 ± 0,016	1,016 ± 0,015
2	4,636 ± 0,091	1,283 ± 0,049	1,754 ± 0,053	1,294 ± 0,043	1,147 ± 0,011	1,033 ± 0,030
3	4,499 ± 0,028	1,246 ± 0,055	1,258 ± 0,061	1,333 ± 0,024	1,186 ± 0,018	0,938 ± 0,013
4	4,763 ± 0,116	1,143 ± 0,015	1,274 ± 0,089	1,417 ± 0,044	1,224 ± 0,033	1,077 ± 0,093
5	4,389 ± 0,070	1,175 ± 0,010	1,349 ± 0,116	1,513 ± 0,027	1,245 ± 0,009	1,009 ± 0,044
6	2,907 ± 0,091	1,664 ± 0,025	1,699 ± 0,045	1,114 ± 0,048	1,368 ± 0,223	1,247 ± 0,013
7	2,463 ± 0,029	1,647 ± 0,095	2,059 ± 0,071	0,968 ± 0,022	1,228 ± 0,010	1,330 ± 0,042
8	2,421 ± 0,019	2,889 ± 0,323	1,631 ± 0,234	1,023 ± 0,087	1,428 ± 0,063	1,341 ± 0,088
9	2,499 ± 0,070	2,434 ± 0,075	1,672 ± 0,121	1,147 ± 0,068	1,433 ± 0,026	1,338 ± 0,021
10	2,061 ± 0,038	2,828 ± 0,046	1,710 ± 0,151	0,991 ± 0,044	1,606 ± 0,013	1,408 ± 0,025
11	1,971 ± 0,034	2,531 ± 0,102	1,244 ± 0,035	0,899 ± 0,033	1,064 ± 1,013	1,332 ± 0,017
12	2,049 ± 0,030	2,379 ± 0,075	1,509 ± 0,141	0,972 ± 0,022	1,602 ± 0,083	1,483 ± 0,020
13	1,951 ± 0,004	2,185 ± 0,054	1,595 ± 0,046	1,004 ± 0,024	1,531 ± 0,054	1,455 ± 0,022
14	1,604 ± 0,016	2,399 ± 0,006	1,594 ± 0,089	0,929 ± 0,020	1,550 ± 0,047	1,508 ± 0,004
15	1,634 ± 0,024	2,874 ± 0,098	1,644 ± 0,115	1,012 ± 0,016	1,674 ± 0,116	1,544 ± 0,036

Tabla 4.18. Metales pesados: Mn, Ni, Pb. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.

Día	Zn (mg L ⁻¹)			Pb (mg L ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
1	2,229 ± 0,283	1,929 ± 0,140	5,813 ± 0,247	0,519 ± 0,079	0,768 ± 0,062	0,392 ± 0,123
2	3,604 ± 0,255	1,263 ± 0,028	5,321 ± 0,082	0,554 ± 0,035	0,801 ± 0,058	0,499 ± 0,033
3	3,079 ± 0,531	1,638 ± 0,172	3,379 ± 0,131	0,596 ± 0,039	0,772 ± 0,039	0,465 ± 0,096
4	4,138 ± 0,057	1,496 ± 0,033	4,713 ± 0,247	0,513 ± 0,088	0,847 ± 0,122	0,264 ± 0,138
5	4,029 ± 0,134	1,863 ± 0,075	4,113 ± 0,538	0,624 ± 0,057	0,444 ± 0,104	0,266 ± 0,184
6	2,688 ± 0,075	2,188 ± 0,057	3,696 ± 0,091	0,369 ± 0,074	0,516 ± 0,064	0,579 ± 0,078
7	2,204 ± 0,091	2,071 ± 0,286	4,263 ± 0,123	0,387 ± 0,016	0,654 ± 0,016	0,604 ± 0,060
8	2,396 ± 0,199	4,679 ± 0,562	3,813 ± 0,294	0,419 ± 0,004	0,850 ± 0,063	0,593 ± 0,069
9	2,863 ± 0,245	5,013 ± 0,049	4,729 ± 0,247	0,438 ± 0,130	0,860 ± 0,018	0,566 ± 0,057
10	3,846 ± 0,134	5,846 ± 0,114	6,329 ± 0,475	0,304 ± 0,079	0,971 ± 0,044	0,577 ± 0,054
11	2,146 ± 0,156	5,663 ± 0,204	4,371 ± 0,236	0,159 ± 0,051	0,927 ± 0,034	0,341 ± 0,119
12	2,621 ± 0,156	5,696 ± 0,199	5,646 ± 0,342	0,311 ± 0,065	0,875 ± 0,065	0,276 ± 0,099
13	2,479 ± 0,161	10,388 ± 0,102	5,763 ± 0,225	0,420 ± 0,040	0,647 ± 0,210	0,541 ± 0,118
14	1,746 ± 0,071	6,004 ± 0,107	5,788 ± 0,245	0,364 ± 0,051	0,841 ± 0,078	0,622 ± 0,089
15	1,896 ± 0,059	6,921 ± 0,107	5,363 ± 0,107	0,384 ± 0,051	0,998 ± 0,041	0,644 ± 0,041

Tabla 4.19. Metales pesados: Zn. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.

CAPÍTULO 4.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Día	Na (g. L ⁻¹)			K (g. L ⁻¹)			Ca (g. L ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
1	14,352 ± 0,483	13,610 ± 0,092	11,890 ± 0,128	19,404 ± 0,397	22,470 ± 0,049	19,224 ± 0,124	0,613 ± 0,011	0,295 ± 0,011	0,206 ± 0,004
2	14,790 ± 0,404	13,727 ± 0,094	12,402 ± 0,029	21,258 ± 0,359	23,037 ± 0,368	19,924 ± 0,203	0,751 ± 0,016	0,217 ± 0,006	0,220 ± 0,006
3	15,123 ± 0,364	14,831 ± 0,320	11,990 ± 0,434	20,229 ± 2,921	23,987 ± 0,041	19,749 ± 0,277	0,721 ± 0,044	0,194 ± 0,005	0,172 ± 0,011
4	16,785 ± 0,413	15,385 ± 0,224	12,427 ± 0,182	24,499 ± 0,837	24,816 ± 0,323	19,820 ± 0,320	0,593 ± 0,031	0,174 ± 0,002	0,165 ± 0,011
5	17,269 ± 0,150	15,256 ± 0,208	12,052 ± 0,409	24,199 ± 0,124	24,820 ± 0,177	19,454 ± 0,418	0,920 ± 0,048	0,172 ± 0,003	0,160 ± 0,005
6	12,373 ± 0,425	15,673 ± 0,118	15,281 ± 0,325	16,620 ± 0,367	24,737 ± 0,281	24,937 ± 0,742	0,619 ± 0,037	0,307 ± 0,006	0,271 ± 0,014
7	10,919 ± 0,171	14,302 ± 0,169	15,219 ± 0,221	15,133 ± 0,062	23,933 ± 0,214	25,362 ± 0,071	0,548 ± 0,033	0,292 ± 0,007	0,318 ± 0,012
8	11,052 ± 0,054	15,340 ± 0,085	15,119 ± 0,187	15,495 ± 0,139	25,691 ± 0,199	24,758 ± 0,636	0,449 ± 0,052	0,399 ± 0,025	0,243 ± 0,029
9	11,548 ± 0,094	15,452 ± 0,495	15,844 ± 0,296	16,249 ± 0,227	26,024 ± 0,241	27,074 ± 0,238	0,559 ± 0,034	0,361 ± 0,007	0,233 ± 0,014
10	11,290 ± 0,335	16,281 ± 0,240	15,302 ± 0,327	16,283 ± 0,447	27,095 ± 0,318	25,979 ± 0,498	0,371 ± 0,040	0,487 ± 0,017	0,214 ± 0,012
11	11,165 ± 0,345	16,590 ± 0,114	16,102 ± 0,054	16,599 ± 0,151	27,208 ± 0,320	27,337 ± 0,106	0,313 ± 0,093	0,490 ± 0,021	0,152 ± 0,006
12	11,885 ± 0,198	16,560 ± 0,128	16,752 ± 0,336	16,883 ± 0,037	27,708 ± 0,313	28,374 ± 0,185	0,495 ± 0,033	0,411 ± 0,014	0,166 ± 0,011
13	12,019 ± 0,450	16,823 ± 0,216	16,660 ± 0,651	16,979 ± 0,205	27,391 ± 0,397	27,604 ± 0,438	0,527 ± 0,012	0,418 ± 0,007	0,170 ± 0,004
14	12,252 ± 0,369	16,394 ± 0,356	16,773 ± 0,385	17,541 ± 0,170	26,654 ± 0,250	28,124 ± 0,230	0,226 ± 0,011	0,450 ± 0,012	0,163 ± 0,014
15	11,952 ± 0,127	16,035 ± 0,530	16,773 ± 0,395	17,270 ± 0,116	26,791 ± 0,155	28,037 ± 0,078	0,401 ± 0,036	0,453 ± 0,022	0,159 ± 0,015

Tabla 4.20. Elementos: Na, K, Ca. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.

Día	Mg (g. L ⁻¹)			Fe (g. L ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
1	1,441 ± 0,003	1,370 ± 0,009	1,238 ± 0,019	0,015 ± 0,001	0,014 ± 0,001	0,029 ± 0,001
2	1,425 ± 0,008	1,355 ± 0,009	1,231 ± 0,006	0,022 ± 0,001	0,019 ± 0,001	0,033 ± 0,001
3	1,452 ± 0,011	1,330 ± 0,018	1,215 ± 0,019	0,017 ± 0,003	0,019 ± 0,001	0,024 ± 0,002
4	1,467 ± 0,027	1,331 ± 0,013	1,167 ± 0,014	0,023 ± 0,000	0,018 ± 0,001	0,028 ± 0,001
5	1,458 ± 0,017	1,322 ± 0,007	1,206 ± 0,020	0,025 ± 0,000	0,019 ± 0,000	0,031 ± 0,003
6	1,403 ± 0,024	1,384 ± 0,007	1,328 ± 0,009	0,020 ± 0,001	0,021 ± 0,000	0,031 ± 0,001
7	1,391 ± 0,038	1,370 ± 0,014	1,330 ± 0,010	0,017 ± 0,000	0,017 ± 0,003	0,037 ± 0,000
8	1,392 ± 0,006	1,417 ± 0,025	1,318 ± 0,024	0,018 ± 0,001	0,028 ± 0,005	0,033 ± 0,003
9	1,380 ± 0,018	1,460 ± 0,018	1,323 ± 0,005	0,022 ± 0,001	0,024 ± 0,001	0,039 ± 0,002
10	1,369 ± 0,022	1,410 ± 0,026	1,300 ± 0,013	0,020 ± 0,001	0,030 ± 0,001	0,044 ± 0,002
11	1,384 ± 0,047	1,425 ± 0,010	1,323 ± 0,012	0,020 ± 0,003	0,025 ± 0,002	0,035 ± 0,001
12	1,393 ± 0,010	1,405 ± 0,007	1,320 ± 0,017	0,020 ± 0,001	0,026 ± 0,002	0,044 ± 0,003
13	1,399 ± 0,019	1,435 ± 0,027	1,313 ± 0,007	0,020 ± 0,001	0,023 ± 0,001	0,045 ± 0,002
14	1,402 ± 0,018	1,408 ± 0,006	1,317 ± 0,011	0,016 ± 0,000	0,027 ± 0,000	0,046 ± 0,002
15	1,395 ± 0,010	1,413 ± 0,008	1,295 ± 0,007	0,017 ± 0,001	0,036 ± 0,001	0,048 ± 0,002

Tabla 4.21. Elementos: Mg, Fe. Resultados analíticos del lixiviado en el túnel de fermentación. Réplicas A00062, A00063 y A00064.

4.1.3.- MATERIAL BIOESTABILIZADO FINAL

El material de partida es el residuo fermentado en la fase activa del compostaje en tres réplicas (**A0062, A00063 y A00064**). La nomenclatura seguida es:

-RUBi: Muestra a la salida del tromel y entrada en túnel correspondiente al **residuo urbano bruto**.

-RUFi: Muestra a la salida del túnel del **residuo urbano fermentado**.

-RUCLi: Muestra del **residuo urbano compostado regado con lixiviado** procedente de la balsa de lixiviados a la entrada del afino del compost, una vez transcurridas 4 semanas en la nave de maduración, y con riegos semanales

-CFRUAI: Muestra del **material bioestabilizado final a partir de residuo urbano**, una vez **afinado, y procedente del cordón regado con agua industrial**

-CFRULi: Muestra del **material bioestabilizado final a partir de residuo urbano**, una vez **afinado, y procedente del cordón regado con lixiviado** procedente de la balsa de lixiviados.

Se analizaron metales pesados, elementos, pH, CE, carbono, nitrógeno y fósforo en sus diferentes formas de las muestras CFRUAI y CFRULi.

En concreto se midió:

- pH, CE
- Carbono total, MO y relación C/N
- Nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico
- Fósforo total, fósforo inorgánico y el fósforo orgánico.
- P₂O y K₂O
- Metales pesados: Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn
- Elementos: Na, Ca, Mg, y Fe.

Día	pH			CE (dS m ⁻¹)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
CFRULi	6,5 ± 0,0	7,0 ± 0,0	6,9 ± 0,0	10,70 ± 0,00	9,00 ± 0,40	9,40 ± 0,40
CFRUAi	6,7 ± 0,1	7,1 ± 0,1	6,9 ± 0,0	10,50 ± 0,10	8,80 ± 0,20	9,30 ± 0,30

Día	C-total (% ms)			M.O. (% ms)			C/N		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
CFRULi	30,2 ± 0,4	27,8 ± 2,1	28,4 ± 0,8	52 ± 0,6	47,8 ± 3,5	48,8 ± 1,3	15,6 ± 0	14,3 ± 0,2	14,5 ± 0
CFRUAi	29,5 ± 0,3	26,6 ± 0,8	27,3 ± 0,4	50,7 ± 0,5	45,8 ± 1,4	46,9 ± 0,7	15 ± 0	13,2 ± 0	13,5 ± 0

Día	N-total (% ms)			N-NH ₄ ⁺ (% ms)			N orgánico (% ms)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
CFRULi	1,94 ± 0,07	1,94 ± 0,07	1,96 ± 0,01	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	1,94 ± 0,07	1,94 ± 0,07	1,96 ± 0,01
CFRUAi	1,96 ± 0,07	2,02 ± 0,05	2,01 ± 0,02	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	1,96 ± 0,07	2,02 ± 0,05	2,01 ± 0,02

Día	P-total (g. Kg ⁻¹ ms)			P-inorgánico (g. Kg ⁻¹ ms)			P-orgánico (g. Kg ⁻¹ ms)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
CFRULi	5,7 ± 0,17	5,23 ± 0,07	5,21 ± 0,1	5,22 ± 0,33	4,47 ± 0,53	4,45 ± 0,66	0,48 ± 0,06	0,76 ± 0,04	0,76 ± 0,07
CFRUAi	4,83 ± 0,7	4,82 ± 0,04	5,29 ± 0,03	5 ± 0,15	4,49 ± 0,06	4,23 ± 0,09	n.d.	0,33 ± 0	1,07 ± 0

Día	P ₂ O ₅ (% ms)			K ₂ O (% ms)			K (g. Kg ⁻¹ ms)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
CFRULi	2,61 ± 0,08	2,4 ± 0,03	2,39 ± 0,05	2 ± 0,05	1,96 ± 0,03	1,97 ± 0,3	8,31 ± 0,21	8,12 ± 0,12	8,18 ± 1,24
CFRUAi	2,21 ± 0,32	2,21 ± 0,02	2,42 ± 0,01	2,12 ± 0,04	2,26 ± 0,03	1,96 ± 0,09	8,8 ± 0,17	9,36 ± 0,11	8,15 ± 0,39

Tabla 4.22. pH, CE, C-total, MO, C/N, N-total, N-NH₄⁺, N-orgánico, P-total, P-inorgánico, P-orgánico, P₂O₅, K₂O y K. Resultados analíticos en el material bioestabilizado final. Réplicas A00062, A00063 y A00064

Día	Cd (mg Kg ⁻¹ ms)			Cr (mg Kg ⁻¹ ms)			Cu (mg Kg ⁻¹ ms)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
CFRULi	2,0 ± 0,1	2,6 ± 0,1	3,5 ± 0,2	113,8 ± 2,9	23,6 ± 8,1	20,9 ± 2,2	176,6 ± 3,2	106,0 ± 5,0	130,4 ± 46,4
CFRUAI	1,7 ± 0,2	2,4 ± 0,1	3,1 ± 0,1	28,4 ± 4,0	22,4 ± 3,2	26,8 ± 4,5	235,8 ± 8,8	104,2 ± 1,3	89,1 ± 0,7

Día	Mn (mg Kg ⁻¹ ms)			Ni (mg Kg ⁻¹ ms)			Pb (mg Kg ⁻¹ ms)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
CFRULi	271,6 ± 1,3	176,6 ± 7,0	173,3 ± 22,6	25,1 ± 3,1	25,6 ± 4,5	28,5 ± 6,2	101,9 ± 40,1	73,7 ± 6,3	56,2 ± 3,4
CFRUAI	243,8 ± 10,4	166,8 ± 3,3	161,4 ± 3,7	25,0 ± 4,9	19,2 ± 0,5	36,4 ± 17,6	94,7 ± 10,5	64,9 ± 5,9	73,8 ± 8,5

Día	Zn (mg Kg ⁻¹ ms)		
	A00062	A00063	A00064
CFRULi	334,4 ± 9,2	415,9 ± 47,1	300,8 ± 72,1
CFRUAI	330,5 ± 20,3	331,4 ± 33,7	299,7 ± 29,4

Día	Na (g Kg ⁻¹ MS)			Ca (g Kg ⁻¹ MS)			Mg (g Kg ⁻¹ MS)		
	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064	A00062	A00063	A00064
CFRULi	7,7 ± 0,5	8,6 ± 1,2	8,1 ± 1,1	57,5 ± 2,6	65,8 ± 9,8	55,5 ± 3,3	5,3 ± 0,4	5,2 ± 0,1	4,9 ± 0,6
CFRUAI	8,4 ± 0,7	8,0 ± 0,6	7,9 ± 0,5	55,8 ± 3,6	55,2 ± 1,1	61,4 ± 3,2	5,6 ± 0,2	5,1 ± 0,1	5,2 ± 0,3

Día	Fe (g Kg ⁻¹ MS)		
	A00062	A00063	A00064
CFRULi	4,8 ± 1,0	4,9 ± 0,3	5,7 ± 0,8
CFRUAI	4,5 ± 0,5	5,1 ± 0,6	6,1 ± 0,1

Tabla 4.23. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn. Elementos Na, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos en el material bioestabilizado final. Réplicas A00062, A00063 y A00064

4.1.4.- LIXIVIADOS TRATADOS EN UN MBR

4.1.4.1.-TRATAMIENTO EN UN MBR SIN DECANTACION

Se hicieron tres pruebas. La primera prueba únicamente con lixiviado **P2**, la segunda con lixiviado **P2** y **P3** en proporciones 75%-25%. La tercera prueba con lixiviado **P2** y **P3** en proporciones 50%-50%.

Las tomas se realizaron a la entrada de la instalación, a la salida del físico-químico, a la entrada del reactor biológico, a la entrada de la membrana y, por último, a la salida de las membranas. Además se recogieron muestras a las 9:00 y a las 14:00.

La nomenclatura utilizada ha sido:

- **LE100P2**: Lixiviado a la entrada de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es 100% lixiviado de la piscina de lixiviados.
- **FQ100P2**: Lixiviado a salida del físico-químico. El lixiviado objeto de la prueba es 100% lixiviado de la piscina de lixiviados
- **SRB100P2**: Lixiviado a la salida del reactor biológico. El lixiviado objeto de la prueba es 100% lixiviado de la piscina de lixiviados.
- **LP100P2**: Permeado del lixiviado tratado a la salida de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es 100% lixiviado de la piscina de lixiviados
- **LE75P2P3**: Lixiviado a la entrada de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 75% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 25% lixiviado de vertedero.
- **FQ75P2P3**: Lixiviado a salida del físico-químico. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 75% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 25% lixiviado de vertedero.
- **SRB75P2P3**: Lixiviado a la salida del reactor biológico. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 75% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 25% lixiviado de vertedero.

- **LP75P2P3**: Permeado del lixiviado tratado a la salida de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 75% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 25% lixiviado de vertedero.
- **LE50P2P3**: Lixiviado a la entrada de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 50% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 50% lixiviado de vertedero.
- **FQ50P2P3**: Lixiviado a salida del físico-químico. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 50% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 50% lixiviado de vertedero.
- **SRB50P2P3**: Lixiviado a la salida del reactor biológico. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 50% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 50% lixiviado de vertedero.
- **LP50P2P3**: Permeado del lixiviado tratado a la salida de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 50% lixiviado de la piscina de lixiviados y un 50% lixiviado de vertedero).

Cada una de las tres pruebas ha durado varios días con recogida de muestras representativas de 3 días por cada prueba. La primera prueba se hizo el 21, 23 y 25 de noviembre. La segunda se hizo el 14, 15 y 16 de diciembre. La tercera prueba se hizo el 20, 21 y 22 de diciembre.

Se analizaron metales pesados, elementos, pH, CE, carbono, nitrógeno y fósforo en sus diferentes formas.

En concreto se midió:

- pH, CE
- SS, C total, C inorgánico y COT
- Nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico
- Fósforo inorgánico.
- Metales pesados: Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn
- Elementos: Na, K, Ca, Mg, y Fe.

1ª SEMANA (MUESTRAS DÍAS 21, 23 Y 25 DE NOVIEMBRE)

Día	pH		CE (mS cm ⁻¹)		SS (mg L ⁻¹)	
	21-nov-II		21-nov-II		21-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	7,7 ± 0,2	7,8 ± 0,2	12,94 ± 0,26	13,42 ± 0,27	5,440 ± 109	6,090 ± 122
FQ100P2	7,2 ± 0,1	7,3 ± 0,1	19,15 ± 0,38	19,29 ± 0,39	7,353 ± 147	8,53 ± 17
SRB100P2	8,5 ± 0,2	8,5 ± 0,2	19,53 ± 0,39	21,20 ± 0,42	7,667 ± 153	9,213 ± 184
LP100P2	8,6 ± 0,2	8,7 ± 0,2	4,46 ± 0,09	19,20 ± 0,38	<25	<25
Día	23-nov-II		23-nov-II		23-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	7,2 ± 0,1	7,3 ± 0,1	14,61 ± 0,29	12,79 ± 0,26	5,000 ± 100	7,750 ± 155
FQ100P2	7,2 ± 0,1	7,1 ± 0,1	16,12 ± 0,32	16,63 ± 0,33	3,267 ± 65	7,647 ± 153
SRB100P2	9,0 ± 0,2	8,9 ± 0,2	20,20 ± 0,40	20,01 ± 0,40	9,920 ± 198	10,420 ± 208
LP100P2	8,9 ± 0,2	8,7 ± 0,2	18,33 ± 0,37	18,39 ± 0,37	<25	<25
Día	25-nov-II		25-nov-II		25-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	7,6 ± 0,2	7,3 ± 0,1	9,50 ± 0,19	10,00 ± 0,20	6,670 ± 133	7,320 ± 146
FQ100P2	6,8 ± 0,1	6,9 ± 0,1	16,40 ± 0,33	16,36 ± 0,33	1,467 ± 29	1,220 ± 24
SRB100P2	9,4 ± 0,2	9,5 ± 0,2	19,27 ± 0,39	17,92 ± 0,36	11,887 ± 238	12,573 ± 251
LP100P2	9,0 ± 0,2	9,1 ± 0,2	17,79 ± 0,36	15,90 ± 0,32	<25	<25

Día	C total (mg L ⁻¹)		C inorgánico (mg L ⁻¹)		COT (mg L ⁻¹)	
	21-nov-II		21-nov-II		21-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	6,449 ± 2	6,057 ± 2	1,557 ± 0	2,106 ± 1	4,892 ± 1	3,952 ± 1
FQ100P2	9,091 ± 2	7,718 ± 2	815 ± 0	852 ± 0	8,276 ± 1	6,866 ± 0
SRB100P2	5,294 ± 1	5,938 ± 1	1,630 ± 0	1,838 ± 0	3,664 ± 0	4,100 ± 0
LP100P2	491 ± 0	2,229 ± 0	575 ± 0	1,359 ± 1	n.d.	870 ± 0
Día	23-nov-II		23-nov-II		23-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	7,273 ± 0	6,332 ± 0	1,821 ± 0	2,247 ± 0	5,452 ± 0	4,085 ± 0
FQ100P2	6,948 ± 1	8,949 ± 0	756 ± 0	804 ± 0	6,192 ± 0	8,146 ± 0
SRB100P2	6,251 ± 3	6,133 ± 2	1,795 ± 1	1,753 ± 1	4,456 ± 2	4,381 ± 1
LP100P2	1,781 ± 0	4,700 ± 1	1,412 ± 0	1,444 ± 1	369 ± 0	3,256 ± 0
Día	25-nov-II		25-nov-II		25-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	5,307 ± 1	5,350 ± 0	1,724 ± 0	1,827 ± 1	3,583 ± 0	3,524 ± 0
FQ100P2	6,627 ± 0	6,295 ± 2	790 ± 0	690 ± 0	5,838 ± 0	5,605 ± 0
SRB100P2	6,482 ± 1	6,735 ± 2	1,742 ± 1	1,694 ± 1	4,740 ± 1	5,041 ± 1
LP100P2	1,710 ± 0	1,452 ± 0	1,430 ± 0	1,207 ± 0	280 ± 0	245 ± 0

Tabla 4.24. pH, CE, SS, C-total, C-inorgánico, COT. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.

Día	N total (mg L ⁻¹)		N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)		N orgánico (mg L ⁻¹)	
	21-nov-II		21-nov-II		21-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	2,183 ± 1	1,992 ± 0	1,247 ± 103	1,318 ± 126	936 ± 91	674 ± 47
FQ100P2	2,378 ± 0	2,271 ± 0	1,473 ± 68	1,457 ± 11	905 ± 10	814 ± 4
SRB100P2	1,854 ± 0	1,993 ± 1	1,059 ± 0	1,077 ± 15	795 ± 0	916 ± 7
LP100P2	257 ± 0	1,333 ± 0	323 ± 5	1,024 ± 108	n.d.	309 ± 53
Día	23-nov-II		23-nov-II		23-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	2,470 ± 0	2,234 ± 0	1,405 ± 165	1,264 ± 39	1,065 ± 47	970 ± 13
FQ100P2	2,038 ± 0	2,569 ± 0	1,382 ± 45	1,595 ± 98	656 ± 4	974 ± 2
SRB100P2	2,133 ± 1	2,142 ± 1	1,086 ± 11	1,060 ± 35	1,047 ± 9	1,082 ± 29
LP100P2	1,182 ± 0	1,274 ± 0	931 ± 23	963 ± 32	250 ± 5	310 ± 2
Día	25-nov-II		25-nov-II		25-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	2,015 ± 0	2,041 ± 0	1,116 ± 27	1,127 ± 13	899 ± 9	914 ± 5
FQ100P2	2,152 ± 0	2,079 ± 1	1,571 ± 157	1,483 ± 98	581 ± 9	596 ± 62
SRB100P2	2,165 ± 1	2,250 ± 1	1,066 ± 23	1,099 ± 5	1,098 ± 12	1,151 ± 3
LP100P2	1,244 ± 0	1,100 ± 0	1,006 ± 77	1,001 ± 129	237 ± 3	99 ± 18

Tabla 4.25. N-total, N-NH₄⁺, N-orgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.

Día	P inorgánico (mg L ⁻¹)	
	21-nov-11	
	9:00	14:00
LE100P2	2,596 ± 0,052	1,964 ± 0,039
FQ100P2	0,069 ± 0,001	0,041 ± 0,001
SRB100P2	0,548 ± 0,011	0,693 ± 0,014
LP100P2	0,020 ± 0,000	0,010 ± 0,000
Día	23-nov-11	
	9:00	14:00
	LE100P2	0,954 ± 0,019
FQ100P2	0,020 ± 0,000	0,030 ± 0,001
SRB100P2	0,582 ± 0,012	0,532 ± 0,011
LP100P2	0,013 ± 0,000	0,016 ± 0,000
Día	25-nov-11	
	9:00	14:00
	LE100P2	1,222 ± 0,024
FQ100P2	0,027 ± 0,001	0,022 ± 0,000
SRB100P2	0,452 ± 0,009	0,450 ± 0,009
LP100P2	0,009 ± 0,000	0,011 ± 0,000

Tabla 4.26. P inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.

Día	Cd (mg L ⁻¹)		Cr (mg L ⁻¹)		Cu (mg L ⁻¹)	
	21-nov-11		21-nov-11		21-nov-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	0,064 ± 0,016	0,081 ± 0,017	0,262 ± 0,047	0,261 ± 0,053	0,473 ± 0,067	0,477 ± 0,112
FQ100P2	0,060 ± 0,011	0,059 ± 0,019	0,260 ± 0,050	0,103 ± 0,060	0,407 ± 0,062	0,171 ± 0,021
SRB100P2	0,038 ± 0,007	0,049 ± 0,002	0,281 ± 0,017	0,299 ± 0,005	0,368 ± 0,035	0,458 ± 0,007
LP100P2	0,027 ± 0,016	0,028 ± 0,014	0,023 ± 0,004	0,051 ± 0,004	0,073 ± 0,023	0,126 ± 0,006
Día	23-nov-11		23-nov-11		23-nov-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P2	0,048 ± 0,017	0,084 ± 0,036	0,209 ± 0,035	0,331 ± 0,179	0,329 ± 0,089
FQ100P2	0,052 ± 0,018	0,082 ± 0,016	0,101 ± 0,016	0,227 ± 0,049	0,244 ± 0,046	0,321 ± 0,055
SRB100P2	0,088 ± 0,007	0,076 ± 0,018	0,304 ± 0,017	0,323 ± 0,016	0,478 ± 0,030	0,509 ± 0,016
LP100P2	0,061 ± 0,004	0,024 ± 0,002	0,057 ± 0,007	0,046 ± 0,006	0,138 ± 0,042	0,193 ± 0,004
Día	25-nov-11		25-nov-11		25-nov-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P2	0,087 ± 0,009	0,088 ± 0,033	0,227 ± 0,044	0,263 ± 0,119	0,289 ± 0,114
FQ100P2	0,061 ± 0,033	0,036 ± 0,007	0,078 ± 0,004	0,084 ± 0,005	0,162 ± 0,020	0,160 ± 0,018
SRB100P2	0,039 ± 0,017	0,030 ± 0,012	0,415 ± 0,007	0,430 ± 0,017	0,604 ± 0,031	0,653 ± 0,041
LP100P2	0,027 ± 0,007	0,022 ± 0,006	0,060 ± 0,017	0,054 ± 0,008	0,234 ± 0,022	0,279 ± 0,021

Día	Mn (mg L ⁻¹)		Ni (mg L ⁻¹)		Pb (mg L ⁻¹)	
	21-nov-11		21-nov-11		21-nov-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	2,801 ± 0,733	2,819 ± 0,852	0,388 ± 0,104	0,455 ± 0,111	0,432 ± 0,029	0,441 ± 0,026
FQ100P2	3,558 ± 0,529	1,318 ± 0,019	0,604 ± 0,029	0,429 ± 0,006	0,487 ± 0,084	0,440 ± 0,026
SRB100P2	1,874 ± 0,105	2,463 ± 0,017	0,543 ± 0,057	0,735 ± 0,057	0,424 ± 0,045	0,368 ± 0,069
LP100P2	0,033 ± 0,002	0,063 ± 0,011	n.d.	n.d.	0,589 ± 0,091	0,099 ± 0,066
Día	23-nov-11		23-nov-11		23-nov-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P2	2,407 ± 0,684	4,730 ± 3,210	0,329 ± 0,033	0,671 ± 0,329	0,444 ± 0,032
FQ100P2	2,622 ± 0,056	4,443 ± 0,081	0,260 ± 0,022	0,424 ± 0,126	0,359 ± 0,041	0,452 ± 0,006
SRB100P2	2,758 ± 0,137	3,053 ± 0,136	0,760 ± 0,039	0,849 ± 0,087	0,415 ± 0,054	0,331 ± 0,017
LP100P2	0,085 ± 0,019	0,087 ± 0,010	0,027 ± 0,017	0,013 ± 0,020	0,170 ± 0,054	0,167 ± 0,058
Día	25-nov-11		25-nov-11		25-nov-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P2	2,710 ± 1,024	3,371 ± 2,488	0,345 ± 0,132	0,405 ± 0,195	0,412 ± 0,047
FQ100P2	4,248 ± 0,062	4,553 ± 0,155	0,254 ± 0,016	0,404 ± 0,042	0,280 ± 0,057	0,372 ± 0,009
SRB100P2	3,450 ± 0,092	3,678 ± 0,078	0,706 ± 0,030	0,726 ± 0,025	0,471 ± 0,060	0,633 ± 0,060
LP100P2	0,093 ± 0,009	0,094 ± 0,003	0,004 ± 0,030	n.d.	0,258 ± 0,123	0,246 ± 0,078

Tabla 4.27. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni y Pb. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.

Día	Zn (mg L ⁻¹)	
	21-nov-II	
	9:00	14:00
LE100P2	4,368 ± 1,164	4,776 ± 1,314
FQ100P2	4,843 ± 0,984	0,318 ± 0,102
SRB100P2	3,626 ± 0,114	4,484 ± 0,227
LP100P2	0,055 ± 0,005	0,095 ± 0,147
Día	23-nov-II	
	9:00	14:00
	LE100P2	3,376 ± 0,923
FQ100P2	1,193 ± 0,273	3,384 ± 0,813
SRB100P2	5,126 ± 0,424	5,276 ± 0,161
LP100P2	0,130 ± 0,019	0,298 ± 0,017
Día	25-nov-II	
	9:00	14:00
	LE100P2	4,201 ± 1,593
FQ100P2	1,126 ± 0,107	0,451 ± 0,166
SRB100P2	6,293 ± 0,319	6,718 ± 0,225
LP100P2	0,210 ± 0,018	0,237 ± 0,035

Tabla 4.28. Metales pesados Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.

Día	Na (mg L ⁻¹)		K (mg L ⁻¹)		Ca (mg L ⁻¹)	
	21-nov-II		21-nov-II		21-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	1,200 ± 20	1,312 ± 50	1,897 ± 15	1,981 ± 161	381 ± 66	341 ± 49
FQ100P2	1,736 ± 19	1,657 ± 48	2,850 ± 33	2,684 ± 67	568 ± 108	396 ± 20
SRB100P2	1,368 ± 18	1,368 ± 38	2,402 ± 43	2,519 ± 64	329 ± 8	429 ± 12
LP100P2	367 ± 11	1,478 ± 182	583 ± 11	2,603 ± 140	53 ± 2	34 ± 6
Día	23-nov-II		23-nov-II		23-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P2	1,312 ± 8	1,315 ± 25	1,982 ± 16	1,967 ± 29	373 ± 42
FQ100P2	1,384 ± 76	1,256 ± 100	2,270 ± 141	2,094 ± 158	414 ± 9	423 ± 124
SRB100P2	1,248 ± 39	1,308 ± 35	2,333 ± 80	2,443 ± 52	457 ± 5	490 ± 4
LP100P2	1,618 ± 12	1,593 ± 58	2,596 ± 51	2,548 ± 139	35 ± 7	31 ± 1
Día	25-nov-II		25-nov-II		25-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P2	777 ± 45	817 ± 36	1,102 ± 67	1,149 ± 63	314 ± 83
FQ100P2	1,291 ± 45	1,351 ± 103	2,204 ± 58	2,213 ± 192	420 ± 40	386 ± 72
SRB100P2	1,462 ± 139	1,429 ± 97	2,699 ± 93	2,665 ± 45	411 ± 38	466 ± 75
LP100P2	1,502 ± 258	1,398 ± 34	2,443 ± 418	2,259 ± 50	23 ± 21	32 ± 3

Día	Mg (mg L ⁻¹)		Fe (mg L ⁻¹)	
	21-nov-II		21-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P2	38 ± 1	29 ± 3	22 ± 8	24 ± 9
FQ100P2	57 ± 7	50 ± 6	23 ± 7	n.d.
SRB100P2	32 ± 3	40 ± 6	21 ± 2	25 ± 0
LP100P2	8 ± 1	26 ± 3	0 ± 0	2 ± 0
Día	23-nov-II		23-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P2	34 ± 1	34 ± 6	52 ± 15
FQ100P2	44 ± 3	41 ± 8	111 ± 12	237 ± 108
SRB100P2	37 ± 3	36 ± 2	33 ± 2	39 ± 0
LP100P2	30 ± 2	29 ± 1	3 ± 0	3 ± 0
Día	25-nov-II		25-nov-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P2	21 ± 0	23 ± 4	34 ± 5
FQ100P2	43 ± 2	43 ± 9	193 ± 23	133 ± 76
SRB100P2	40 ± 2	41 ± 8	37 ± 6	55 ± 9
LP100P2	21 ± 13	28 ± 3	3 ± 0	3 ± 0

Tabla 4.29. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 100%.

2ª SEMANA (MUESTRAS DÍAS 14, 15 Y 16 DE DICIEMBRE)

Día	pH		CE (mS cm ⁻¹)		SS (mg L ⁻¹)	
	14-dic-11		14-dic-11		14-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE75P2P3	7,4 ± 0,2	7,3 ± 0,2	16,60 ± 0,30	17,00 ± 0,30	10,727 ± 215	16,460 ± 329
FQ75P2P3	7,3 ± 0,2	7,4 ± 0,2	21,50 ± 0,40	23,50 ± 0,50	3,480 ± 70	3,387 ± 68
SRB75P2P3	9,0 ± 0,2	9,0 ± 0,2	21,00 ± 0,40	21,30 ± 0,40	9,933 ± 199	8,527 ± 171
LP75P2P3	9,0 ± 0,2	8,6 ± 0,2	17,20 ± 0,30	19,70 ± 0,40	<25	<25
Día	15-dic-11		15-dic-11		15-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	7,5 ± 0,2	7,4 ± 0,2	17,50 ± 0,40	17,40 ± 0,30	15,007 ± 300
FQ75P2P3	7,2 ± 0,1	7,1 ± 0,1	25,20 ± 0,50	25,60 ± 0,50	2,813 ± 56	5,960 ± 119
SRB75P2P3	8,5 ± 0,2	8,6 ± 0,2	17,80 ± 0,40	20,30 ± 0,40	10,213 ± 204	9,553 ± 191
LP75P2P3	8,7 ± 0,2	8,7 ± 0,2	20,40 ± 0,40	17,60 ± 0,40	<25	<25
Día	16-dic-11		16-dic-11		16-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	7,6 ± 0,2	7,9 ± 0,2	17,80 ± 0,40	17,60 ± 0,40	11,960 ± 239
FQ75P2P3	7,2 ± 0,1	7,3 ± 0,2	25,00 ± 0,50	24,00 ± 0,50	3,173 ± 63	6,033 ± 121
SRB75P2P3	8,5 ± 0,2	8,6 ± 0,2	18,70 ± 0,40	18,70 ± 0,40	11,633 ± 233	12,027 ± 241
LP75P2P3	8,7 ± 0,2	8,8 ± 0,2	19,30 ± 0,40	20,00 ± 0,40	<25	<25

Día	C total (mg L ⁻¹)		C inorgánico (mg L ⁻¹)		COT (mg L ⁻¹)	
	14-dic-11		14-dic-11		14-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE75P2P3	8,194 ± 2	11,138 ± 1	2,669 ± 1	2,844 ± 1	5,525 ± 1	8,294 ± 1
FQ75P2P3	6,386 ± 1	6,375 ± 0	1,468 ± 1	1,620 ± 1	4,918 ± 1	4,755 ± 0
SRB75P2P3	5,695 ± 1	5,172 ± 1	1,565 ± 0	1,655 ± 1	4,131 ± 0	3,517 ± 1
LP75P2P3	1,341 ± 0	2,168 ± 0	1,149 ± 0	1,143 ± 1	192 ± 0	1,025 ± 0
Día	15-dic-11		15-dic-11		15-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	11,520 ± 2	9,255 ± 1	2,238 ± 2	2,043 ± 1	9,283 ± 3
FQ75P2P3	5,523 ± 0	6,719 ± 1	1,857 ± 1	1,799 ± 0	3,667 ± 0	4,920 ± 0
SRB75P2P3	5,786 ± 0	5,408 ± 1	1,553 ± 0	1,624 ± 1	4,233 ± 0	3,785 ± 0
LP75P2P3	2,238 ± 0	1,686 ± 0	1,167 ± 0	1,011 ± 0	1,072 ± 0	675 ± 0
Día	16-dic-11		16-dic-11		16-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	10,653 ± 1	8,721 ± 1	1,948 ± 0	2,694 ± 11	8,705 ± 1
FQ75P2P3	5,889 ± 0	6,944 ± 1	1,797 ± 0	1,716 ± 1	4,092 ± 0	5,228 ± 1
SRB75P2P3	6,134 ± 1	6,286 ± 1	1,562 ± 0	1,639 ± 1	4,573 ± 0	4,648 ± 1
LP75P2P3	1,810 ± 1	1,762 ± 1	1,124 ± 0	1,247 ± 0	687 ± 0	516 ± 0

Tabla 4.30. pH, CE, SS, C-total, C-inorgánico y COT. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.

Día	N total (mg L ⁻¹)		N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)		N orgánico (mg L ⁻¹)	
	14-dic-11		14-dic-11		14-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE75P2P3	3,191 ± 2	3,641 ± 1	1,824 ± 22	1,761 ± 70	1,366 ± 37	1,880 ± 55
FQ75P2P3	3,261 ± 1	3,257 ± 0	2,039 ± 149	2,138 ± 41	1,163 ± 92	1,119 ± 9
SRB75P2P3	2,174 ± 1	2,181 ± 1	1,187 ± 42	1,297 ± 75	987 ± 23	884 ± 42
LP75P2P3	1,248 ± 0	1,666 ± 0	977 ± 12	1,382 ± 152	271 ± 0	284 ± 2
Día	15-dic-11		15-dic-11		15-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	3,756 ± 1	3,388 ± 0	1,758 ± 43	1,832 ± 26	1,998 ± 31
FQ75P2P3	3,105 ± 0	3,364 ± 0	2,171 ± 116	2,118 ± 35	935 ± 9	1,247 ± 4
SRB75P2P3	2,257 ± 0	2,182 ± 0	1,242 ± 5	1,227 ± 37	1,015 ± 1	955 ± 10
LP75P2P3	1,350 ± 0	1,735 ± 0	1,254 ± 30	1,105 ± 2	96 ± 6	630 ± 0
Día	16-dic-11		16-dic-11		16-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	3,594 ± 0	3,439 ± 0	1,894 ± 96	1,891 ± 63	1,700 ± 19
FQ75P2P3	3,345 ± 0	3,352 ± 1	2,173 ± 108	2,168 ± 62	1,172 ± 17	1,185 ± 49
SRB75P2P3	2,315 ± 0	2,406 ± 1	1,213 ± 16	1,215 ± 14	1,102 ± 7	1,191 ± 16
LP75P2P3	1,522 ± 0	1,586 ± 0	1,171 ± 32	1,190 ± 48	351 ± 3	396 ± 4

Tabla 4.31. N-total, N-NH₄⁺, N-orgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.

Día	P inorgánico (mg L ⁻¹)	
	14-dic-II	
	9:00	14:00
LE75P2P3	7,501 ± 0,150	6,047 ± 0,121
FQ75P2P3	0,133 ± 0,003	0,084 ± 0,002
SRB75P2P3	0,119 ± 0,002	0,083 ± 0,002
LP75P2P3	0,032 ± 0,001	0,012 ± 0,000
Día	15-dic-II	
	9:00	14:00
	LE75P2P3	6,346 ± 0,127
FQ75P2P3	0,161 ± 0,003	0,236 ± 0,005
SRB75P2P3	0,075 ± 0,002	0,081 ± 0,002
LP75P2P3	0,025 ± 0,001	0,021 ± 0,000
Día	16-dic-II	
	9:00	14:00
	LE75P2P3	6,020 ± 0,120
FQ75P2P3	0,091 ± 0,002	0,213 ± 0,004
SRB75P2P3	0,093 ± 0,002	0,128 ± 0,003
LP75P2P3	0,014 ± 0,000	0,015 ± 0,000

Tabla 4.32. P-inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.

Día	Cd (mg L ⁻¹)		Cr (mg L ⁻¹)		Cu (mg L ⁻¹)	
	14-dic-II		14-dic-II		14-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE75P2P3	0,117 ± 0,013	0,083 ± 0,039	0,617 ± 0,056	0,661 ± 0,083	0,419 ± 0,037	0,532 ± 0,000
FQ75P2P3	0,037 ± 0,010	0,023 ± 0,006	0,182 ± 0,012	0,185 ± 0,009	0,145 ± 0,021	0,124 ± 0,007
SRB75P2P3	0,071 ± 0,028	0,035 ± 0,003	0,286 ± 0,006	0,287 ± 0,012	0,363 ± 0,039	0,375 ± 0,027
LP75P2P3	0,053 ± 0,003	0,054 ± 0,002	0,035 ± 0,006	0,041 ± 0,007	0,334 ± 0,010	0,840 ± 0,003
Día	15-dic-II		15-dic-II		15-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	0,051 ± 0,010	0,060 ± 0,003	0,739 ± 0,057	0,697 ± 0,098	0,724 ± 0,118
FQ75P2P3	0,068 ± 0,006	0,066 ± 0,009	0,201 ± 0,011	0,191 ± 0,004	0,158 ± 0,007	0,204 ± 0,007
SRB75P2P3	0,077 ± 0,019	0,098 ± 0,009	0,331 ± 0,016	0,325 ± 0,044	0,393 ± 0,019	0,403 ± 0,049
LP75P2P3	0,038 ± 0,008	0,053 ± 0,014	0,054 ± 0,010	0,030 ± 0,002	0,346 ± 0,007	0,188 ± 0,006
Día	16-dic-II		16-dic-II		16-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	0,099 ± 0,004	0,088 ± 0,020	0,716 ± 0,099	0,623 ± 0,100	0,620 ± 0,153
FQ75P2P3	0,042 ± 0,018	0,058 ± 0,017	0,186 ± 0,008	0,178 ± 0,015	0,182 ± 0,021	0,164 ± 0,007
SRB75P2P3	0,048 ± 0,015	0,048 ± 0,004	0,367 ± 0,018	0,330 ± 0,026	0,470 ± 0,034	0,411 ± 0,037
LP75P2P3	0,023 ± 0,010	0,020 ± 0,003	0,037 ± 0,003	0,053 ± 0,013	0,172 ± 0,006	0,176 ± 0,031
Día	Mn (mg L ⁻¹)		Ni (mg L ⁻¹)		Pb (mg L ⁻¹)	
	14-dic-II		14-dic-II		14-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE75P2P3	5,087 ± 2,102	5,242 ± 0,416	0,684 ± 0,177	0,783 ± 0,032	0,564 ± 0,046	0,688 ± 0,111
FQ75P2P3	0,832 ± 0,051	0,873 ± 0,026	0,295 ± 0,009	0,301 ± 0,028	0,243 ± 0,061	0,338 ± 0,045
SRB75P2P3	2,153 ± 0,239	2,133 ± 0,220	0,367 ± 0,053	0,412 ± 0,048	0,229 ± 0,029	0,340 ± 0,049
LP75P2P3	0,154 ± 0,007	0,259 ± 0,003	n.d.	n.d.	0,177 ± 0,053	0,086 ± 0,052
Día	15-dic-II		15-dic-II		15-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	6,587 ± 1,074	5,959 ± 1,875	0,823 ± 0,117	0,731 ± 0,161	0,524 ± 0,064
FQ75P2P3	0,847 ± 0,137	1,238 ± 0,061	0,321 ± 0,021	0,394 ± 0,039	0,259 ± 0,048	0,287 ± 0,047
SRB75P2P3	2,313 ± 0,234	2,463 ± 0,421	0,457 ± 0,072	0,477 ± 0,054	0,318 ± 0,020	0,464 ± 0,011
LP75P2P3	0,285 ± 0,002	0,193 ± 0,018	n.d.	n.d.	0,078 ± 0,052	0,156 ± 0,077
Día	16-dic-II		16-dic-II		16-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE75P2P3	5,493 ± 1,479	4,793 ± 1,859	0,767 ± 0,162	0,659 ± 0,188	0,611 ± 0,103
FQ75P2P3	0,936 ± 0,047	1,461 ± 1,518	0,380 ± 0,034	0,339 ± 0,033	0,238 ± 0,040	0,362 ± 0,126
SRB75P2P3	3,128 ± 0,385	2,850 ± 0,454	0,569 ± 0,073	0,474 ± 0,089	0,608 ± 0,077	0,380 ± 0,036
LP75P2P3	0,212 ± 0,011	0,162 ± 0,007	0,184 ± 0,013	0,190 ± 0,007	0,354 ± 0,021	0,162 ± 0,049

Tabla 4.33. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni y Pb. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.

Día	Zn (mg L ⁻¹)			
	14-dic-11			
	9:00		14:00	
LE75P2P3	6,976 ± 3,501	7,593 ± 0,343		
FQ75P2P3	0,709 ± 0,188	0,818 ± 0,251		
SRB75P2P3	3,109 ± 0,449	2,959 ± 0,166		
LP75P2P3	0,218 ± 0,046	0,326 ± 0,059		
Día	15-dic-11			
	9:00		14:00	
LE75P2P3	9,593 ± 1,372	8,476 ± 2,367		
FQ75P2P3	1,009 ± 0,166	1,251 ± 0,171		
SRB75P2P3	3,901 ± 0,128	3,726 ± 0,556		
LP75P2P3	0,220 ± 0,010	0,113 ± 0,046		
Día	16-dic-11			
	9:00		14:00	
LE75P2P3	8,351 ± 2,662	7,418 ± 2,523		
FQ75P2P3	0,926 ± 0,086	0,809 ± 0,091		
SRB75P2P3	4,418 ± 0,422	4,234 ± 0,199		
LP75P2P3	0,098 ± 0,011	0,186 ± 0,036		

Tabla 4.34. Metales pesados Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.

Día	Na (mg L ⁻¹)				K (mg L ⁻¹)				Ca (mg L ⁻¹)			
	14-dic-11				14-dic-11				14-dic-11			
	9:00		14:00		9:00		14:00		9:00		14:00	
LE75P2P3	1,980 ± 47	1,911 ± 93	2,271 ± 57	2,176 ± 87	520 ± 190	667 ± 311						
FQ75P2P3	1,884 ± 72	1,858 ± 106	2,089 ± 49	2,063 ± 116	168 ± 10	166 ± 9						
SRB75P2P3	1,490 ± 48	1,520 ± 39	2,499 ± 84	2,471 ± 74	204 ± 34	201 ± 26						
LP75P2P3	1,402 ± 10	1,527 ± 81	2,275 ± 49	2,209 ± 94	21 ± 36	34 ± 2						
Día	15-dic-11				15-dic-11				15-dic-11			
	9:00		14:00		9:00		14:00		9:00		14:00	
LE75P2P3	1,986 ± 24	1,914 ± 118	2,543 ± 26	2,324 ± 55	550 ± 73	411 ± 29						
FQ75P2P3	1,905 ± 38	1,782 ± 240	2,119 ± 49	2,084 ± 13	177 ± 9	174 ± 18						
SRB75P2P3	1,577 ± 29	1,562 ± 41	2,586 ± 96	2,517 ± 73	233 ± 21	226 ± 20						
LP75P2P3	1,542 ± 35	1,330 ± 25	2,198 ± 33	1,801 ± 87	35 ± 6	37 ± 3						
Día	16-dic-11				16-dic-11				16-dic-11			
	9:00		14:00		9:00		14:00		9:00		14:00	
LE75P2P3	2,180 ± 47	1,948 ± 87	2,696 ± 62	2,334 ± 57	492 ± 117	455 ± 140						
FQ75P2P3	1,985 ± 60	2,055 ± 98	2,074 ± 48	2,021 ± 125	167 ± 5	151 ± 12						
SRB75P2P3	1,549 ± 50	1,442 ± 131	2,512 ± 45	2,347 ± 171	314 ± 42	283 ± 33						
LP75P2P3	1,543 ± 44	1,371 ± 120	1,858 ± 38	1,694 ± 91	35 ± 4	30 ± 3						

Día	Mg (mg L ⁻¹)				Fe (mg L ⁻¹)			
	14-dic-11				14-dic-11			
	9:00		14:00		9:00		14:00	
LE75P2P3	38 ± 4	39 ± 6	46 ± 10	57 ± 5				
FQ75P2P3	33 ± 3	31 ± 1	41 ± 2	43 ± 1				
SRB75P2P3	31 ± 3	34 ± 1	106 ± 6	107 ± 14				
LP75P2P3	21 ± 5	25 ± 1	2 ± 0	2 ± 0				
Día	15-dic-11				15-dic-11			
	9:00		14:00		9:00		14:00	
LE75P2P3	39 ± 2	36 ± 7	72 ± 12	65 ± 19				
FQ75P2P3	32 ± 4	25 ± 3	42 ± 6	58 ± 2				
SRB75P2P3	28 ± 2	33 ± 3	146 ± 6	145 ± 21				
LP75P2P3	19 ± 2	25 ± 2	4 ± 0	2 ± 0				
Día	16-dic-11				16-dic-11			
	9:00		14:00		9:00		14:00	
LE75P2P3	41 ± 4	33 ± 3	60 ± 20	52 ± 19				
FQ75P2P3	30 ± 3	27 ± 4	45 ± 2	37 ± 1				
SRB75P2P3	27 ± 1	29 ± 1	186 ± 9	165 ± 4				
LP75P2P3	23 ± 1	19 ± 1	4 ± 0	3 ± 0				

Tabla 4.35. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 75% y P3 al 25%.

3ª SEMANA (MUESTRAS DÍAS 20, 21 Y 22 DE DICIEMBRE)

Día	pH		CE (mS cm ⁻¹)		SS (mg L ⁻¹)	
	20-dic-II		20-dic-II		20-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P2P3	7.7 ± 0.2	7.6 ± 0.2	16.20 ± 0.32	16.26 ± 0.33	7.880 ± 158	10.600 ± 212
FQ50P2P3	7.7 ± 0.2	7.8 ± 0.2	25.00 ± 0.50	19.82 ± 0.40	1.373 ± 27	1.300 ± 26
SRB50P2P3	8.7 ± 0.2	8.6 ± 0.2	21.40 ± 0.43	23.00 ± 0.46	8.207 ± 164	8.820 ± 176
LP50P2P3	9.1 ± 0.2	8.8 ± 0.2	21.20 ± 0.42	20.80 ± 0.42	<25	<25
Día	21-dic-II		21-dic-II		21-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	7.6 ± 0.2	7.6 ± 0.2	15.80 ± 0.32	16.59 ± 0.33	5.753 ± 115
FQ50P2P3	8.0 ± 0.2	8.2 ± 0.2	33.80 ± 0.68	34.00 ± 0.68	4.307 ± 86	4.153 ± 83
SRB50P2P3	8.9 ± 0.2	8.8 ± 0.2	25.30 ± 0.51	27.40 ± 0.55	6.233 ± 125	4.647 ± 93
LP50P2P3	9.0 ± 0.2	8.9 ± 0.2	25.20 ± 0.50	25.90 ± 0.52	<25	<25
Día	22-dic-II		22-dic-II		22-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	7.6 ± 0.2	7.6 ± 0.2	16.63 ± 0.33	17.25 ± 0.35	5.620 ± 112
FQ50P2P3	8.0 ± 0.2	8.0 ± 0.2	35.40 ± 0.71	35.70 ± 0.71	4.520 ± 90	4.447 ± 89
SRB50P2P3	8.9 ± 0.2	8.9 ± 0.2	28.40 ± 0.57	28.00 ± 0.56	5.920 ± 118	7.020 ± 140
LP50P2P3	9.2 ± 0.2	9.2 ± 0.2	26.40 ± 0.53	27.30 ± 0.55	<25	<25

Día	C total (mg L ⁻¹)		C inorgánico (mg L ⁻¹)		COT (mg L ⁻¹)	
	20-dic-II		20-dic-II		20-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P2P3	7.636 ± 0	8.365 ± 1	1.961 ± 0	2.030 ± 0	5.675 ± 0	6.335 ± 0
FQ50P2P3	5.650 ± 1	5.663 ± 0	1.245 ± 0	1.259 ± 1	4.405 ± 0	4.404 ± 0
SRB50P2P3	5.356 ± 2	5.741 ± 4	1.640 ± 1	1.752 ± 1	3.717 ± 2	3.989 ± 3
LP50P2P3	1.971 ± 0	2.279 ± 0	1.130 ± 0	1.031 ± 0	841 ± 0	1.248 ± 0
Día	21-dic-II		21-dic-II		21-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	6.766 ± 2	7.052 ± 4	2.024 ± 0	1.696 ± 0	4.742 ± 0
FQ50P2P3	7.657 ± 0	7.443 ± 0	2.698 ± 1	2.658 ± 1	4.959 ± 0	4.785 ± 0
SRB50P2P3	5.357 ± 2	5.283 ± 2	1.853 ± 1	2.029 ± 0	3.504 ± 1	3.254 ± 0
LP50P2P3	2.544 ± 1	2.620 ± 1	1.385 ± 0	1.379 ± 1	1.160 ± 0	1.242 ± 0
Día	22-dic-II		22-dic-II		22-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	6.084 ± 2	6.558 ± 2	2.000 ± 0	2.052 ± 0	4.085 ± 0
FQ50P2P3	7.578 ± 1	7.766 ± 1	2.709 ± 1	2.526 ± 0	4.869 ± 1	5.240 ± 0
SRB50P2P3	5.682 ± 1	5.994 ± 0	2.069 ± 1	1.991 ± 0	3.614 ± 1	4.004 ± 0
LP50P2P3	2.383 ± 0	2.400 ± 0	1.450 ± 1	1.381 ± 1	933 ± 0	1.019 ± 0

Tabla 4.36. pH, CE, SS, C-total, C-inorgánico y COT. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.

Día	N total (mg L ⁻¹)		N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)		N orgánico (mg L ⁻¹)	
	20-dic-II		20-dic-II		20-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P2P3	2.715 ± 0	2.732 ± 1	1.471 ± 44	1.389 ± 57	1.244 ± 3	1.343 ± 42
FQ50P2P3	3.018 ± 0	3.018 ± 0	2.041 ± 1	2.043 ± 70	977 ± 0	975 ± 5
SRB50P2P3	2.300 ± 0	2.569 ± 0	1.188 ± 68	1.367 ± 68	1.112 ± 21	1.202 ± 23
LP50P2P3	1.698 ± 0	1.799 ± 0	1.245 ± 10	1.409 ± 81	452 ± 1	390 ± 14
Día	21-dic-II		21-dic-II		21-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	2.562 ± 0	2.489 ± 0	1.452 ± 112	1.442 ± 84	1.111 ± 29
FQ50P2P3	4.936 ± 0	4.892 ± 0	2.952 ± 135	3.007 ± 55	1.984 ± 16	1.885 ± 4
SRB50P2P3	2.769 ± 1	3.138 ± 0	1.670 ± 51	1.848 ± 10	1.099 ± 59	1.290 ± 3
LP50P2P3	2.442 ± 0	2.593 ± 0	1.702 ± 18	1.813 ± 35	740 ± 7	780 ± 8
Día	22-dic-II		22-dic-II		22-dic-II	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	2.362 ± 1	2.475 ± 1	1.416 ± 23	1.498 ± 15	946 ± 19
FQ50P2P3	4.988 ± 0	4.919 ± 1	3.028 ± 160	2.982 ± 115	1.959 ± 36	1.937 ± 57
SRB50P2P3	3.287 ± 1	3.404 ± 2	2.062 ± 121	2.009 ± 9	1.225 ± 138	1.395 ± 14
LP50P2P3	2.585 ± 0	2.596 ± 0	1.801 ± 12	1.855 ± 111	783 ± 6	741 ± 17

Tabla 4.37. N-total, N-NH₄⁺, N-orgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.

Día	P inorgánico (mg L ⁻¹)	
	20-dic-11	
	9:00	14:00
LE50P2P3	8,008 ± 0,160	9,614 ± 0,192
FQ50P2P3	0,358 ± 0,007	0,332 ± 0,007
SRB50P2P3	0,106 ± 0,002	0,084 ± 0,002
LP50P2P3	0,030 ± 0,001	0,020 ± 0,000
Día	21-dic-11	
	9:00	14:00
	LE50P2P3	9,309 ± 0,186
FQ50P2P3	3,879 ± 0,078	1,681 ± 0,034
SRB50P2P3	0,457 ± 0,009	0,122 ± 0,002
LP50P2P3	0,017 ± 0,000	0,014 ± 0,000
Día	22-dic-11	
	9:00	14:00
	LE50P2P3	8,947 ± 0,179
FQ50P2P3	2,130 ± 0,043	1,641 ± 0,033
SRB50P2P3	1,248 ± 0,025	1,535 ± 0,031
LP50P2P3	0,011 ± 0,000	0,012 ± 0,000

Tabla 4.38. P inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.

Día	Cd (mg L ⁻¹)		Cr (mg L ⁻¹)		Cu (mg L ⁻¹)	
	20-dic-11		20-dic-11		20-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P2P3	0,043 ± 0,012	0,047 ± 0,010	0,329 ± 0,054	0,262 ± 0	0,298 ± 0,056	0,273 ± 0,014
FQ50P2P3	0,061 ± 0,029	0,085 ± 0,010	0,191 ± 0,003	0,191 ± 0	0,143 ± 0,009	0,169 ± 0,032
SRB50P2P3	0,029 ± 0,004	0,027 ± 0,004	0,238 ± 0,011	0,237 ± 0	0,301 ± 0,010	0,292 ± 0,017
LP50P2P3	0,032 ± 0,014	0,028 ± 0,011	0,045 ± 0,004	0,038 ± 0	2,508 ± 0,089	0,471 ± 0,016
Día	21-dic-11		21-dic-11		21-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	0,062 ± 0,009	0,045 ± 0,006	0,348 ± 0,065	0,274 ± 0	0,402 ± 0,091
FQ50P2P3	0,070 ± 0,005	0,035 ± 0,016	1,208 ± 0,006	1,231 ± 0	0,385 ± 0,037	0,371 ± 0,029
SRB50P2P3	0,024 ± 0,002	0,038 ± 0,005	0,386 ± 0,020	0,501 ± 0	0,271 ± 0,006	0,274 ± 0,025
LP50P2P3	0,013 ± 0,004	0,014 ± 0,006	0,075 ± 0,010	0,100 ± 0	0,174 ± 0,021	0,141 ± 0,018
Día	22-dic-11		22-dic-11		22-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	0,015 ± 0,018	0,034 ± 0,004	0,222 ± 0,017	0,194 ± 0	0,201 ± 0,068
FQ50P2P3	0,038 ± 0,010	0,074 ± 0,019	1,362 ± 0,078	1,169 ± 0	0,398 ± 0,014	0,336 ± 0,019
SRB50P2P3	0,065 ± 0,015	0,073 ± 0,014	0,677 ± 0,058	0,613 ± 0	0,384 ± 0,058	0,337 ± 0,022
LP50P2P3	0,022 ± 0,003	0,033 ± 0,005	0,121 ± 0,008	0,105 ± 0	0,178 ± 0,033	0,150 ± 0,018

Día	Mn (mg L ⁻¹)		Ni (mg L ⁻¹)		Pb (mg L ⁻¹)	
	20-dic-11		20-dic-11		20-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P2P3	3,185 ± 0,878	1,756 ± 0,494	0,344 ± 0,053	0,298 ± 0,053	0,376 ± 0,018	0,299 ± 0,031
FQ50P2P3	2,962 ± 0,068	3,313 ± 0,034	0,346 ± 0,025	0,328 ± 0,014	0,390 ± 0,022	0,339 ± 0,006
SRB50P2P3	1,770 ± 0,120	1,882 ± 0,115	0,258 ± 0,030	0,214 ± 0,014	0,315 ± 0,034	0,485 ± 0,037
LP50P2P3	0,187 ± 0,007	0,229 ± 0,003	0,184 ± 0,004	0,166 ± 0,008	0,244 ± 0,044	0,154 ± 0,118
Día	21-dic-11		21-dic-11		21-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	2,813 ± 1,202	2,000 ± 0,514	0,386 ± 0,123	0,306 ± 0,039	0,353 ± 0,070
FQ50P2P3	3,093 ± 0,031	2,918 ± 0,036	0,741 ± 0,036	0,784 ± 0,043	0,368 ± 0,048	0,368 ± 0,031
SRB50P2P3	1,439 ± 0,116	1,093 ± 0,094	0,222 ± 0,033	0,244 ± 0,019	0,320 ± 0,025	0,301 ± 0,057
LP50P2P3	0,266 ± 0,017	0,272 ± 0,012	0,255 ± 0,024	0,246 ± 0,030	0,299 ± 0,081	0,194 ± 0,102
Día	22-dic-11		22-dic-11		22-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	1,359 ± 0,109	1,213 ± 0,252	0,271 ± 0,069	0,223 ± 0,042	0,247 ± 0,047
FQ50P2P3	3,437 ± 0,123	2,961 ± 0,104	0,932 ± 0,044	0,820 ± 0,038	0,312 ± 0,048	0,387 ± 0,093
SRB50P2P3	2,487 ± 0,559	1,795 ± 0,200	0,399 ± 0,056	0,331 ± 0,016	0,576 ± 0,059	0,279 ± 0,016
LP50P2P3	0,249 ± 0,006	0,270 ± 0,013	0,244 ± 0,010	0,258 ± 0,024	0,207 ± 0,031	0,289 ± 0,073

Tabla 4.39. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni y Pb. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.

Día	Zn (mg L ⁻¹)	
	20-dic-11	
	9:00	14:00
LE50P2P3	4,384 ± 1,205	2,734 ± 0,477
FG50P2P3	0,768 ± 0,150	0,559 ± 0,114
SRB50P2P3	2,543 ± 0,283	2,426 ± 0,205
LP50P2P3	1,101 ± 0,091	0,310 ± 0,019
Día	21-dic-11	
	9:00	14:00
	LE50P2P3	3,926 ± 1,720
FG50P2P3	2,934 ± 0,086	3,026 ± 0,107
SRB50P2P3	2,384 ± 0,142	2,284 ± 0,180
LP50P2P3	0,140 ± 0,013	0,120 ± 0,030
Día	22-dic-11	
	9:00	14:00
	LE50P2P3	1,626 ± 0,099
FG50P2P3	3,651 ± 0,161	2,984 ± 0,261
SRB50P2P3	3,401 ± 0,695	2,643 ± 0,299
LP50P2P3	0,167 ± 0,074	0,162 ± 0,020

Tabla 4.40. Metales pesados Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.

Día	Na (mg L ⁻¹)		K (mg L ⁻¹)		Ca (mg L ⁻¹)	
	20-dic-11		20-dic-11		20-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P2P3	1,431 ± 34	1,423 ± 59	1,970 ± 17	1,926 ± 26	317 ± 82	210 ± 31
FG50P2P3	1,857 ± 30	1,982 ± 85	1,998 ± 33	2,137 ± 89	195 ± 5	209 ± 14
SRB50P2P3	1,649 ± 54	1,694 ± 86	2,416 ± 140	2,374 ± 136	163 ± 18	156 ± 33
LP50P2P3	1,440 ± 89	1,480 ± 65	1,671 ± 94	1,647 ± 63	43 ± 6	38 ± 1
Día	21-dic-11		21-dic-11		21-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	1,606 ± 29	1,405 ± 35	2,209 ± 51	1,969 ± 39	265 ± 83
FG50P2P3	2,938 ± 370	2,651 ± 33	2,419 ± 224	2,329 ± 61	129 ± 16	123 ± 8
SRB50P2P3	2,122 ± 21	2,096 ± 74	2,451 ± 48	2,293 ± 61	133 ± 25	110 ± 47
LP50P2P3	2,008 ± 99	1,724 ± 40	1,855 ± 43	1,549 ± 26	38 ± 2	33 ± 1
Día	22-dic-11		22-dic-11		22-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	1,412 ± 5	1,436 ± 23	2,082 ± 29	2,141 ± 4	227 ± 13
FG50P2P3	3,187 ± 151	2,480 ± 229	2,801 ± 198	2,205 ± 179	205 ± 40	148 ± 10
SRB50P2P3	2,406 ± 105	2,241 ± 4	2,538 ± 140	2,341 ± 23	142 ± 22	126 ± 11
LP50P2P3	1,880 ± 9	1,904 ± 107	1,634 ± 12	1,613 ± 65	37 ± 1	37 ± 5

Día	Mg (mg L ⁻¹)		Fe (mg L ⁻¹)	
	20-dic-11		20-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P2P3	30 ± 1	28 ± 2	36 ± 11	17 ± 7
FG50P2P3	27 ± 2	30 ± 1	74 ± 7	73 ± 12
SRB50P2P3	34 ± 1	36 ± 3	97 ± 4	101 ± 4
LP50P2P3	22 ± 2	21 ± 2	2 ± 0	2 ± 0
Día	21-dic-11		21-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	30 ± 3	28 ± 1	30 ± 17
FG50P2P3	18 ± 2	18 ± 2	159 ± 61	141 ± 23
SRB50P2P3	25 ± 1	28 ± 2	82 ± 6	86 ± 6
LP50P2P3	20 ± 3	18 ± 0	3 ± 0	4 ± 0
Día	22-dic-11		22-dic-11	
	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P2P3	34 ± 2	33 ± 5	12 ± 2
FG50P2P3	23 ± 3	21 ± 1	168 ± 46	121 ± 42
SRB50P2P3	25 ± 3	28 ± 2	183 ± 13	113 ± 19
LP50P2P3	20 ± 2	18 ± 2	3 ± 0	5 ± 0

Tabla 4.41. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR sin decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P2 al 50% y P3 al 50%.

4.1.4.2.-TRATAMIENTO EN UN MBR CON DECANTACION

Se intercaló un decantador entre el físico-químico y el reactor biológico. Se hicieron dos pruebas. La primera prueba únicamente con lixiviado **P1**, la segunda con lixiviado **P1** y **P3** en proporciones 50%-50%.

Las tomas se realizaron a la entrada de la instalación, a la salida del físico-químico, a la salida del decantador, a la entrada del reactor biológico, a la entrada de la membrana y, por último, a la salida de las membranas. Además se recogieron muestras a las 9:00 y a las 14:00.

La nomenclatura utilizada ha sido:

- **LE100P1**: Lixiviado a la entrada de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es 100% lixiviado de la balsa de lixiviados.
- **FQ100P1**: Lixiviado a salida del físico-químico. El lixiviado objeto de la prueba es 100% lixiviado de la balsa de lixiviados.
- **D100P1**: Lixiviado a salida del decantador. El lixiviado objeto de la prueba es 100% lixiviado de la piscina de lixiviados.
- **SRB100P1**: Lixiviado a la salida del reactor biológico. El lixiviado objeto de la prueba es 100% lixiviado de la balsa de lixiviados.
- **LP100P1**: Permeado del lixiviado tratado a la salida de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es 100% lixiviado de la balsa de lixiviados.
- **LE50P1P3**: Lixiviado a la entrada de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 50% lixiviado de la balsa de lixiviados y un 50% lixiviado de vertedero.
- **FQ50P1P3**: Lixiviado a salida del físico-químico. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 50% lixiviado de la balsa de lixiviados y un 50% lixiviado de vertedero.
- **D50P1P3**: Lixiviado a salida del decantador. El lixiviado objeto de la prueba es 50% lixiviado de la balsa de lixiviado y un 50% lixiviado de vertedero.

- **SRB50P1P3**: Lixiviado a la salida del reactor biológico. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 50% lixiviado de la balsa de lixiviados y un 50% lixiviado de vertedero.
- **LP50P1P3**: Permeado del lixiviado tratado a la salida de la instalación. El lixiviado objeto de la prueba es una mezcla homogénea con 50% lixiviado de la balsa de lixiviados y un 50% lixiviado de vertedero.

Cada una de las dos pruebas ha durado varios días con recogida de muestras representativas de 3 días por cada prueba. La primera prueba se hizo el 29 de febrero, 1 y 2 de marzo. La segunda prueba se hizo el 14, 15 y 16 de marzo.

Se analizaron metales pesados, elementos, pH, CE, carbono, nitrógeno y fósforo en sus diferentes formas.

En concreto se midió:

- pH, CE
- SS, C total, C inorgánico y COT
- Nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico
- Fósforo inorgánico.
- Metales pesados: Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn
- Elementos: Na, K, Ca, Mg, y Fe.

1ª SEMANA (MUESTRAS DÍAS 29 DE FEBRERO, 1 Y 2 DE MARZO)

Día	pH		CE (mS cm ⁻¹)		SS (mg L ⁻¹)	
	29-feb-12		29-feb-12		29-feb-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P1	7.6 ± 0.2	7.7 ± 0.2	15.50 ± 0.31	15.50 ± 0.31	1022 ± 20	808 ± 16
FQ100P1	7.2 ± 0.1	7.3 ± 0.1	14.90 ± 0.30	14.40 ± 0.29	212 ± 4	248 ± 5
D100P1	7.0 ± 0.1	7.0 ± 0.1	12.70 ± 0.25	12.90 ± 0.26	190 ± 4	229 ± 5
SRB100P1	8.7 ± 0.2	8.7 ± 0.2	13.50 ± 0.27	12.80 ± 0.26	3.539 ± 71	3.561 ± 71
LP100P1	8.8 ± 0.2	8.8 ± 0.2	13.60 ± 0.27	12.50 ± 0.25	<25	<25
Día	01-mar-12		01-mar-12		01-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	8.0 ± 0.2	7.7 ± 0.2	15.30 ± 0.31	15.60 ± 0.31	1260 ± 25
FQ100P1	7.3 ± 0.1	7.4 ± 0.1	14.50 ± 0.29	14.40 ± 0.29	517 ± 10	361 ± 7
D100P1	6.9 ± 0.1	6.9 ± 0.1	12.80 ± 0.26	12.90 ± 0.26	260 ± 5	368 ± 7
SRB100P1	8.8 ± 0.2	8.7 ± 0.2	12.20 ± 0.24	12.70 ± 0.25	4.122 ± 82	4.454 ± 89
LP100P1	8.9 ± 0.2	8.9 ± 0.2	13.00 ± 0.26	12.60 ± 0.25	<25	<25
Día	02-mar-12		02-mar-12		02-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	7.8 ± 0.2	7.8 ± 0.2	15.40 ± 0.31	15.00 ± 0.30	1428 ± 29
FQ100P1	7.5 ± 0.2	7.7 ± 0.2	14.50 ± 0.29	13.60 ± 0.27	410 ± 8	399 ± 8
D100P1	6.9 ± 0.1	7.1 ± 0.1	13.10 ± 0.26	12.70 ± 0.25	255 ± 5	285 ± 6
SRB100P1	9.0 ± 0.2	8.6 ± 0.2	10.80 ± 0.22	12.20 ± 0.24	5.061 ± 101	4.408 ± 88
LP100P1	9.1 ± 0.2	8.5 ± 0.2	12.10 ± 0.24	13.10 ± 0.26	<25	<25

Día	C total (mg L ⁻¹)		C inorgánico (mg L ⁻¹)		COT (mg L ⁻¹)	
	29-feb-12		29-feb-12		29-feb-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P1	4.752 ± 1	4.619 ± 0	1.403 ± 2	1.301 ± 1	3.350 ± 2	3.318 ± 0
FQ100P1	3.534 ± 1	3.508 ± 1	672 ± 1	639 ± 0	2.862 ± 1	2.869 ± 0
D100P1	3.056 ± 1	3.101 ± 0	636 ± 0	620 ± 0	2.420 ± 0	2.481 ± 0
SRB100P1	3.692 ± 1	3.556 ± 0	1.315 ± 1	1.350 ± 0	2.377 ± 1	2.206 ± 0
LP100P1	1.052 ± 0	999 ± 0	1.097 ± 0	1.039 ± 0	n.d.	n.d.
Día	01-mar-12		01-mar-12		01-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	4.818 ± 0	4.728 ± 0	1.295 ± 0	1.221 ± 0	3.523 ± 0
FQ100P1	4.078 ± 0	3.633 ± 2	707 ± 1	695 ± 0	3.371 ± 0	2.938 ± 1
D100P1	3.125 ± 1	3.091 ± 1	615 ± 0	610 ± 0	2.510 ± 0	2.481 ± 0
SRB100P1	3.649 ± 0	3.923 ± 0	1.274 ± 0	1.298 ± 1	2.375 ± 0	2.625 ± 0
LP100P1	1.028 ± 0	1.236 ± 0	1.064 ± 1	945 ± 0	n.d.	291 ± 0
Día	02-mar-12		02-mar-12		02-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	4.621 ± 1	4.465 ± 2	1.216 ± 0	1.121 ± 0	3.405 ± 0
FQ100P1	3.705 ± 1	3.507 ± 0	839 ± 0	834 ± 0	2.866 ± 0	2.673 ± 0
D100P1	2.961 ± 0	3.063 ± 1	588 ± 0	593 ± 0	2.374 ± 0	2.470 ± 0
SRB100P1	4.000 ± 0	3.711 ± 0	1.213 ± 0	1.252 ± 1	2.787 ± 0	2.460 ± 0
LP100P1	877 ± 0	1.101 ± 0	968 ± 0	927 ± 0	n.d.	175 ± 0

Día	N total (mg L ⁻¹)		N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)		N orgánico (mg L ⁻¹)	
	29-feb-12		29-feb-12		29-feb-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P1	1.498 ± 1	1.510 ± 0	537 ± 11	539 ± 11	961 ± 6	971 ± 2
FQ100P1	1.226 ± 0	1.212 ± 0	551 ± 11	462 ± 9	675 ± 4	749 ± 2
D100P1	1.250 ± 0	1.315 ± 0	536 ± 11	401 ± 8	715 ± 3	914 ± 1
SRB100P1	1.537 ± 0	1.479 ± 0	987 ± 20	486 ± 10	550 ± 5	992 ± 4
LP100P1	915 ± 0	874 ± 0	549 ± 11	453 ± 9	366 ± 2	421 ± 2
Día	01-mar-12		01-mar-12		01-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	1.538 ± 0	1.500 ± 0	508 ± 10	608 ± 12	1.029 ± 3
FQ100P1	1.389 ± 0	1.292 ± 0	748 ± 15	628 ± 13	641 ± 4	664 ± 3
D100P1	1.320 ± 0	1.258 ± 0	603 ± 12	312 ± 6	717 ± 3	945 ± 2
SRB100P1	1.463 ± 0	1.601 ± 0	505 ± 10	599 ± 12	958 ± 2	1.003 ± 0
LP100P1	924 ± 0	985 ± 0	479 ± 10	539 ± 11	444 ± 3	446 ± 4
Día	02-mar-12		02-mar-12		02-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	1.448 ± 0	1.427 ± 0	485 ± 10	528 ± 11	964 ± 5
FQ100P1	1.332 ± 0	1.289 ± 0	447 ± 9	725 ± 15	885 ± 4	563 ± 4
D100P1	1.243 ± 0	1.287 ± 1	398 ± 8	451 ± 9	845 ± 4	837 ± 5
SRB100P1	1.591 ± 0	1.506 ± 0	516 ± 10	659 ± 13	1.075 ± 2	847 ± 0
LP100P1	856 ± 0	948 ± 0	407 ± 8	537 ± 11	449 ± 2	410 ± 2

Tabla 4.42. pH, CE, SS, C-total, C-inorgánico y COT, N-total, N-NH₄⁺ y N-orgánico Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.

Día	P inorgánico (mg L ⁻¹)	
	29-feb-12	
	9:00	14:00
LE100P1	5,514 ± 0,110	0,103 ± 0,002
FG100P1	0,050 ± 0,001	n.d.
D100P1	n.d.	n.d.
SRB100P1	n.d.	n.d.
LP100P1	n.d.	n.d.
Día	01-mar-12	
	9:00	14:00
	LE100P1	1,029 ± 0,021
FG100P1	0,014 ± 0,000	n.d.
D100P1	n.d.	n.d.
SRB100P1	n.d.	n.d.
LP100P1	n.d.	n.d.
Día	02-mar-12	
	9:00	14:00
	LE100P1	1,423 ± 0,028
FG100P1	n.d.	n.d.
D100P1	n.d.	n.d.
SRB100P1	n.d.	n.d.
LP100P1	n.d.	n.d.

Tabla 4.43. P inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.

Día	Cd (mg L ⁻¹)		Cr (mg L ⁻¹)		Cu (mg L ⁻¹)	
	29-feb-12		29-feb-12		29-feb-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P1	0,056 ± 0,011	0,050 ± 0,010	0,138 ± 0,012	0,074 ± 0,012	0,201 ± 0,064	0,162 ± 0,007
FG100P1	0,034 ± 0,003	0,021 ± 0,008	0,062 ± 0,038	0,012 ± 0,007	0,047 ± 0,024	0,109 ± 0,053
D100P1	0,055 ± 0,002	0,059 ± 0,016	0,068 ± 0,017	0,025 ± 0,014	0,072 ± 0,022	0,045 ± 0,012
SRB100P1	0,058 ± 0,004	0,073 ± 0,010	0,175 ± 0,003	0,187 ± 0,027	0,431 ± 0,034	0,490 ± 0,050
LP100P1	0,034 ± 0,012	0,046 ± 0,008	0,018 ± 0,012	0,018 ± 0,019	0,193 ± 0,041	0,125 ± 0,028
Día	01-mar-12		01-mar-12		01-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	0,044 ± 0,005	0,058 ± 0,006	0,101 ± 0,006	0,054 ± 0,011	0,180 ± 0,052
FG100P1	0,042 ± 0,007	0,044 ± 0,008	0,034 ± 0,007	0,054 ± 0,007	0,129 ± 0,040	0,127 ± 0,024
D100P1	0,055 ± 0,004	0,055 ± 0,009	0,086 ± 0,011	0,032 ± 0,018	0,025 ± 0,009	0,095 ± 0,018
SRB100P1	0,056 ± 0,015	0,064 ± 0,006	0,278 ± 0,035	0,253 ± 0,006	0,431 ± 0,091	0,601 ± 0,030
LP100P1	0,040 ± 0,018	0,037 ± 0,009	0,033 ± 0,006	0,024 ± 0,017	0,192 ± 0,033	0,055 ± 0,029
Día	02-mar-12		02-mar-12		02-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	0,051 ± 0,008	0,040 ± 0,010	0,053 ± 0,007	0,065 ± 0,017	0,159 ± 0,022
FG100P1	0,042 ± 0,006	0,056 ± 0,003	0,031 ± 0,013	0,025 ± 0,013	0,145 ± 0,018	0,130 ± 0,011
D100P1	0,043 ± 0,006	0,032 ± 0,009	0,050 ± 0,007	0,033 ± 0,022	0,110 ± 0,023	0,098 ± 0,034
SRB100P1	0,068 ± 0,006	0,049 ± 0,018	0,259 ± 0,021	0,207 ± 0,030	0,515 ± 0,006	0,548 ± 0,009
LP100P1	0,040 ± 0,012	0,034 ± 0,008	0,034 ± 0,018	0,021 ± 0,015	0,151 ± 0,015	0,040 ± 0,011

Tabla 4.44. Metales pesados Cd, Cr y Cu. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.

Día	Mn (mg L ⁻¹)		Ni (mg L ⁻¹)		Pb (mg L ⁻¹)	
	29-feb-12		29-feb-12		29-feb-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P1	0.773 ± 0.056	0.680 ± 0.030	0.295 ± 0.026	0.237 ± 0.040	0.479 ± 0.115	0.378 ± 0.032
FQ100P1	2.142 ± 0.014	1.894 ± 0.120	0.290 ± 0.313	0.113 ± 0.018	0.689 ± 0.072	0.441 ± 0.065
D100P1	2.982 ± 0.090	3.346 ± 0.015	0.224 ± 0.004	0.211 ± 0.020	0.559 ± 0.053	0.579 ± 0.019
SRB100P1	2.026 ± 0.173	2.354 ± 0.563	0.493 ± 0.042	0.623 ± 0.071	0.550 ± 0.078	0.687 ± 0.019
LP100P1	0.147 ± 0.013	0.160 ± 0.013	0.183 ± 0.025	0.162 ± 0.053	0.507 ± 0.058	0.462 ± 0.012
Día	01-mar-12		01-mar-12		01-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	0.725 ± 0.030	0.705 ± 0.044	0.303 ± 0.033	0.268 ± 0.042	0.560 ± 0.099
FQ100P1	1.944 ± 0.101	1.763 ± 0.044	0.204 ± 0.052	0.181 ± 0.030	0.503 ± 0.025	0.362 ± 0.079
D100P1	3.191 ± 0.031	3.403 ± 0.078	0.223 ± 0.070	0.208 ± 0.016	0.671 ± 0.065	0.455 ± 0.087
SRB100P1	2.414 ± 0.444	3.033 ± 0.349	0.568 ± 0.094	0.666 ± 0.119	0.716 ± 0.118	0.566 ± 0.091
LP100P1	0.145 ± 0.004	0.215 ± 0.007	0.129 ± 0.023	0.183 ± 0.009	0.398 ± 0.030	0.299 ± 0.051
Día	02-mar-12		02-mar-12		02-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	0.728 ± 0.020	0.784 ± 0.022	0.271 ± 0.055	0.335 ± 0.043	0.588 ± 0.063
FQ100P1	1.862 ± 0.041	1.638 ± 0.070	0.196 ± 0.054	0.182 ± 0.029	0.418 ± 0.056	0.490 ± 0.048
D100P1	3.295 ± 0.028	3.228 ± 0.178	0.178 ± 0.007	0.106 ± 0.045	0.452 ± 0.073	0.293 ± 0.056
SRB100P1	3.125 ± 0.239	2.700 ± 0.535	0.659 ± 0.034	0.552 ± 0.091	0.356 ± 0.057	0.518 ± 0.047
LP100P1	0.142 ± 0.002	0.201 ± 0.006	0.153 ± 0.020	0.171 ± 0.007	0.533 ± 0.119	0.403 ± 0.068

Día	Zn (mg L ⁻¹)	
	29-feb-12	
	9:00	14:00
LE100P1	1.751 ± 0.156	1.609 ± 0.201
FQ100P1	1.101 ± 0.171	0.976 ± 0.118
D100P1	0.934 ± 0.212	0.759 ± 0.142
SRB100P1	3.618 ± 0.383	3.643 ± 0.519
LP100P1	0.587 ± 0.259	0.308 ± 0.025
Día	01-mar-12	
	9:00	14:00
	LE100P1	1.618 ± 0.130
FQ100P1	0.909 ± 0.156	1.209 ± 0.071
D100P1	0.884 ± 0.201	1.259 ± 0.261
SRB100P1	4.340 ± 0.381	4.509 ± 0.382
LP100P1	0.545 ± 0.210	0.240 ± 0.015
Día	02-mar-12	
	9:00	14:00
	LE100P1	1.693 ± 0.141
FQ100P1	0.534 ± 0.171	0.393 ± 0.102
D100P1	1.284 ± 0.193	1.318 ± 0.141
SRB100P1	4.609 ± 0.385	3.834 ± 0.156
LP100P1	0.330 ± 0.030	0.333 ± 0.063

Tabla 4.45. Metales pesados Mn, Ni, Pb y Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.

Día	Na (mg L ⁻¹)		K (mg L ⁻¹)		Ca (mg L ⁻¹)	
	29-feb-12		29-feb-12		29-feb-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P1	975 ± 43	965 ± 48	1.719 ± 75	1.714 ± 76	229 ± 27	220 ± 17
FQ100P1	965 ± 49	867 ± 65	1.749 ± 31	1.519 ± 137	213 ± 3	203 ± 27
D100P1	656 ± 71	659 ± 19	906 ± 80	961 ± 13	299 ± 31	279 ± 67
SRB100P1	1.023 ± 30	989 ± 12	1.502 ± 34	1.467 ± 20	323 ± 24	370 ± 78
LP100P1	1.038 ± 34	964 ± 51	1.453 ± 9	1.334 ± 7	41 ± 13	54 ± 7
Día	01-mar-12		01-mar-12		01-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	983 ± 66	902 ± 65	1.742 ± 83	1.645 ± 126	219 ± 12
FQ100P1	837 ± 53	876 ± 20	1.471 ± 151	1.520 ± 41	200 ± 21	188 ± 15
D100P1	619 ± 10	733 ± 29	918 ± 17	1.101 ± 43	233 ± 36	304 ± 72
SRB100P1	996 ± 54	940 ± 12	1.488 ± 74	1.417 ± 34	365 ± 69	429 ± 40
LP100P1	975 ± 44	932 ± 30	1.336 ± 61	1.300 ± 45	45 ± 2	50 ± 1
Día	02-mar-12		02-mar-12		02-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	883 ± 16	899 ± 27	1.635 ± 41	1.667 ± 60	206 ± 12
FQ100P1	827 ± 50	833 ± 15	1.517 ± 78	1.544 ± 12	213 ± 28	201 ± 3
D100P1	710 ± 8	682 ± 42	1.050 ± 7	1.006 ± 48	310 ± 29	292 ± 55
SRB100P1	940 ± 33	951 ± 21	1.387 ± 84	1.331 ± 32	444 ± 32	387 ± 60
LP100P1	860 ± 28	851 ± 24	1.177 ± 36	1.183 ± 25	42 ± 2	46 ± 5

Tabla 4.46. Elementos Na, K y Ca. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.

Día	Mg (mg L ⁻¹)		Fe (mg L ⁻¹)	
	29-feb-12			
	9:00	14:00	9:00	14:00
LE100P1	172 ± 8	171 ± 3	26 ± 3	23 ± 1
FQ100P1	177 ± 1	162 ± 13	142 ± 6	123 ± 13
D100P1	131 ± 11	126 ± 25	121 ± 16	118 ± 36
SRB100P1	186 ± 3	202 ± 3	157 ± 7	174 ± 24
LP100P1	132 ± 27	141 ± 6	1 ± 0	1 ± 0
Día	01-mar-12		01-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	171 ± 1	166 ± 10	25 ± 2
FQ100P1	156 ± 12	156 ± 5	126 ± 10	126 ± 3
D100P1	103 ± 16	136 ± 20	98 ± 18	106 ± 42
SRB100P1	200 ± 6	202 ± 1	191 ± 24	220 ± 17
LP100P1	140 ± 2	117 ± 11	1 ± 0	1 ± 0
Día	02-mar-12		02-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE100P1	164 ± 7	169 ± 6	26 ± 1
FQ100P1	158 ± 3	164 ± 5	124 ± 4	113 ± 8
D100P1	124 ± 26	102 ± 9	108 ± 40	74 ± 11
SRB100P1	195 ± 6	192 ± 3	223 ± 19	202 ± 25
LP100P1	119 ± 10	130 ± 15	1 ± 0	1 ± 0

Tabla 4.47. Elementos Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 100%.

2ª SEMANA (MUESTRAS DÍAS 14,15,16 DE MARZO)

Día	pH		CE (mS cm ⁻¹)		SS (mg L ⁻¹)	
	14-mar-12				14-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	8,2 ± 0,2	8,2 ± 0,2	37,00 ± 0,74	37,40 ± 0,75	1,062 ± 21	865 ± 17
FQ50P1P3	7,6 ± 0,2	7,7 ± 0,2	33,50 ± 0,67	34,90 ± 0,70	568 ± 11	632 ± 13
D50P1P3	7,1 ± 0,1	7,2 ± 0,1	13,60 ± 0,27	13,80 ± 0,28	347 ± 7	378 ± 8
SRB50P1P3	8,9 ± 0,2	8,6 ± 0,2	11,10 ± 0,22	12,10 ± 0,24	3,986 ± 80	3,710 ± 74
LP50P1P3	9,0 ± 0,2	8,8 ± 0,2	11,90 ± 0,24	10,50 ± 0,21	<25	<25
Día	15-mar-12		15-mar-12		15-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P1P3	8,2 ± 0,2	8,2 ± 0,2	37,10 ± 0,74	36,00 ± 0,72	1,055 ± 21
FQ50P1P3	7,7 ± 0,2	7,7 ± 0,2	34,80 ± 0,70	33,60 ± 0,67	644 ± 13	769 ± 15
D50P1P3	7,2 ± 0,1	7,3 ± 0,1	14,20 ± 0,28	14,20 ± 0,28	450 ± 9	1,754 ± 35
SRB50P1P3	8,8 ± 0,2	8,7 ± 0,2	12,00 ± 0,24	11,00 ± 0,22	4,024 ± 80	4,053 ± 81
LP50P1P3	8,9 ± 0,2	8,8 ± 0,2	12,10 ± 0,24	12,30 ± 0,25	<25	<25
Día	16-mar-12		16-mar-12		16-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P1P3	8,2 ± 0,2	8,2 ± 0,2	36,60 ± 0,73	36,80 ± 0,74	960 ± 19
FQ50P1P3	7,7 ± 0,2	7,7 ± 0,2	33,90 ± 0,68	33,80 ± 0,68	537 ± 11	578 ± 12
D50P1P3	7,3 ± 0,1	7,2 ± 0,1	14,80 ± 0,30	14,30 ± 0,29	398 ± 8	352 ± 7
SRB50P1P3	8,8 ± 0,2	8,9 ± 0,2	11,70 ± 0,23	11,40 ± 0,23	5,759 ± 115	5,639 ± 114
LP50P1P3	8,9 ± 0,2	9,0 ± 0,2	12,40 ± 0,25	11,30 ± 0,23	<25	<25

Tabla 4.48. pH, CE, SS. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 50% y P3 al 50%.

Día	C total (mg L ⁻¹)		C inorgánico (mg L ⁻¹)		COT (mg L ⁻¹)	
	14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	7.267 ± 2	7.272 ± 1	3.134 ± 1	3.189 ± 1	4.133 ± 3	4.083 ± 1
FQ50P1P3	5.835 ± 1	6.078 ± 0	2.590 ± 0	2.689 ± 1	3.245 ± 0	3.389 ± 0
D50P1P3	3.115 ± 2	3.326 ± 0	613 ± 0	633 ± 0	2.503 ± 0	2.694 ± 0
SRB50P1P3	3.115 ± 0	2.983 ± 1	1.157 ± 0	1.172 ± 1	1.958 ± 0	1.812 ± 1
LP50P1P3	811 ± 0	715 ± 0	878 ± 0	845 ± 0	n.d.	n.d.
Día	15-mar-12		15-mar-12		15-mar-12	
Día	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	7.737 ± 1	7.526 ± 0	3.384 ± 0	3.178 ± 3	4.353 ± 0	4.348 ± 1
FQ50P1P3	5.815 ± 0	5.886 ± 0	2.549 ± 0	2.553 ± 1	3.266 ± 0	3.333 ± 0
D50P1P3	3.385 ± 1	3.690 ± 0	726 ± 0	679 ± 0	2.659 ± 0	3.012 ± 0
SRB50P1P3	3.211 ± 0	3.140 ± 1	1.261 ± 1	1.196 ± 1	1.950 ± 0	1.945 ± 0
LP50P1P3	802 ± 0	822 ± 0	894 ± 0	932 ± 0	n.d.	n.d.
Día	16-mar-12		16-mar-12		16-mar-12	
Día	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	7.365 ± 5	7.035 ± 1	3.286 ± 1	3.162 ± 1	4.080 ± 5	3.873 ± 2
FQ50P1P3	5.992 ± 2	5.958 ± 1	2.552 ± 0	2.557 ± 1	3.440 ± 0	3.401 ± 0
D50P1P3	3.510 ± 0	3.260 ± 1	662 ± 0	668 ± 0	2.848 ± 0	2.592 ± 0
SRB50P1P3	3.721 ± 0	2.092 ± 0	1.109 ± 1	1.239 ± 1	2.613 ± 0	853 ± 0
LP50P1P3	841 ± 0	793 ± 0	953 ± 0	909 ± 1	n.d.	n.d.

Día	N total (mg L ⁻¹)		N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)		N orgánico (mg L ⁻¹)	
	14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	4.530 ± 1	4.585 ± 0	2.174 ± 43	2.608 ± 52	2.356 ± 63	1.977 ± 19
FQ50P1P3	4.331 ± 0	4.505 ± 0	2.181 ± 44	2.345 ± 47	2.150 ± 2	2.160 ± 17
D50P1P3	1.266 ± 0	1.363 ± 0	398 ± 8	613 ± 12	868 ± 1	750 ± 0
SRB50P1P3	1.346 ± 0	1.308 ± 0	584 ± 12	820 ± 16	762 ± 1	487 ± 0
LP50P1P3	884 ± 0	737 ± 0	482 ± 10	361 ± 7	401 ± 1	375 ± 1
Día	15-mar-12		15-mar-12		15-mar-12	
Día	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	4.892 ± 1	4.793 ± 1	2.505 ± 50	2.471 ± 49	2.387 ± 38	2.322 ± 66
FQ50P1P3	4.286 ± 0	4.312 ± 0	2.215 ± 44	2.351 ± 47	2.071 ± 0	1.961 ± 8
D50P1P3	1.374 ± 0	1.430 ± 0	422 ± 8	620 ± 12	953 ± 1	810 ± 2
SRB50P1P3	1.420 ± 1	1.432 ± 0	761 ± 15	551 ± 11	659 ± 8	881 ± 4
LP50P1P3	863 ± 0	876 ± 0	418 ± 8	394 ± 8	445 ± 2	482 ± 1
Día	16-mar-12		16-mar-12		16-mar-12	
Día	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	4.613 ± 2	4.447 ± 0	2.660 ± 53	2.717 ± 54	1.953 ± 87	1.730 ± 27
FQ50P1P3	4.424 ± 1	4.265 ± 1	2.431 ± 49	2.553 ± 51	1.992 ± 63	1.712 ± 64
D50P1P3	1.440 ± 0	1.362 ± 0	583 ± 12	429 ± 9	857 ± 3	934 ± 4
SRB50P1P3	1.577 ± 0	1.280 ± 0	472 ± 9	481 ± 10	1.104 ± 2	799 ± 3
LP50P1P3	905 ± 0	822 ± 0	502 ± 10	468 ± 9	402 ± 1	354 ± 0

Día	P inorgánico (mg L ⁻¹)	
	14-mar-12	
	9:00	14:00
LE50P1P3	7.104 ± 0,142	6.422 ± 0,128
FQ50P1P3	0,863 ± 0,017	1,350 ± 0,027
D50P1P3	n.d.	n.d.
SRB50P1P3	n.d.	n.d.
LP50P1P3	n.d.	n.d.
Día	15-mar-12	
Día	9:00	14:00
LE50P1P3	5,834 ± 0,117	6,894 ± 0,138
FQ50P1P3	1,525 ± 0,031	1,775 ± 0,035
D50P1P3	n.d.	n.d.
SRB50P1P3	n.d.	n.d.
LP50P1P3	n.d.	n.d.
Día	16-mar-12	
Día	9:00	14:00
LE50P1P3	7,430 ± 0,149	7,106 ± 0,142
FQ50P1P3	0,540 ± 0,011	0,800 ± 0,016
D50P1P3	n.d.	n.d.
SRB50P1P3	n.d.	n.d.
LP50P1P3	n.d.	n.d.

Tabla 4.49. C-total, C-inorgánico y COT , N-total, N-NH₄⁺, N-orgánico y P inorgánico. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 50% y P3 al 50%.

Día	Cd (mg L ⁻¹)		Cr (mg L ⁻¹)		Cu (mg L ⁻¹)	
	14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	0,060 ± 0,006	0,058 ± 0,013	1,538 ± 0,106	1,472 ± 0,049	0,210 ± 0,020	0,190 ± 0,306
FG50P1P3	0,045 ± 0,004	0,069 ± 0,008	1,075 ± 0,025	1,063 ± 0,037	0,412 ± 0,028	0,440 ± 0,031
D50P1P3	0,052 ± 0,010	0,055 ± 0,013	0,014 ± 0,013	0,011 ± 0,004	3,119 ± 0,000	0,155 ± 0,031
SRB50F1P3	0,067 ± 0,022	0,057 ± 0,014	0,183 ± 0,018	0,134 ± 0,021	0,336 ± 0,028	0,412 ± 0,034
LP50P1P3	0,029 ± 0,011	0,032 ± 0,007	0,055 ± 0,005	0,044 ± 0,009	0,597 ± 0,012	0,379 ± 0,037
Día	15-mar-12		15-mar-12		15-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P1P3	0,060 ± 0,009	0,050 ± 0,011	1,659 ± 0,034	1,78 ± 0,044	3,117 ± 0,016
FG50P1P3	0,058 ± 0,011	0,048 ± 0,009	0,999 ± 0,104	1,072 ± 0,078	0,451 ± 0,023	0,442 ± 0,344
D50P1P3	0,039 ± 0,007	0,054 ± 0,003	0,013 ± 0,002	0,012 ± 0,006	3,141 ± 0,022	0,17 ± 0,023
SRB50F1P3	0,054 ± 0,011	0,262 ± 0,401	0,172 ± 0,051	0,168 ± 0,026	0,407 ± 0,073	0,423 ± 0,344
LP50P1P3	0,044 ± 0,014	0,020 ± 0,002	0,030 ± 0,014	0,048 ± 0,026	0,077 ± 0,01	0,028 ± 0,303
Día	16-mar-12		16-mar-12		16-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P1P3	0,053 ± 0,011	0,050 ± 0,004	1,746 ± 0,026	1,725 ± 0,047	0,105 ± 0,021
FG50P1P3	0,053 ± 0,004	0,070 ± 0,010	1,048 ± 0,026	1,038 ± 0,025	0,455 ± 0,020	0,450 ± 0,326
D50P1P3	0,035 ± 0,009	0,045 ± 0,012	0,042 ± 0,014	0,030 ± 0,027	3,131 ± 0,025	0,067 ± 0,023
SRB50F1P3	0,203 ± 0,312	0,567 ± 0,007	0,199 ± 0,044	0,193 ± 0,026	0,455 ± 0,083	0,520 ± 0,031
LP50P1P3	0,025 ± 0,009	0,032 ± 0,002	0,040 ± 0,025	0,016 ± 0,013	0,084 ± 0,016	0,082 ± 0,014
Día	Mn (mg L ⁻¹)		Ni (mg L ⁻¹)		Pb (mg L ⁻¹)	
	14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	0,665 ± 0,027	0,575 ± 0,007	0,643 ± 0,031	0,615 ± 0,092	0,568 ± 0,10	0,662 ± 0,051
FG50P1P3	1,384 ± 0,067	1,788 ± 0,087	0,618 ± 0,095	0,633 ± 0,022	0,549 ± 0,039	0,581 ± 0,115
D50P1P3	3,105 ± 0,062	2,961 ± 0,121	0,141 ± 0,025	0,13 ± 0,036	0,427 ± 0,080	0,391 ± 0,345
SRB50F1P3	3,247 ± 0,547	3,185 ± 0,487	0,454 ± 0,070	0,403 ± 0,030	0,541 ± 0,033	0,608 ± 0,385
LP50P1P3	0,183 ± 0,005	0,206 ± 0,007	0,088 ± 0,044	0,071 ± 0,027	0,257 ± 0,031	0,221 ± 0,339
Día	15-mar-12		15-mar-12		15-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P1P3	0,648 ± 0,008	0,615 ± 0,003	0,702 ± 0,024	0,696 ± 0,037	0,595 ± 0,071
FG50P1P3	1,364 ± 0,060	1,752 ± 0,076	0,668 ± 0,046	0,672 ± 0,041	0,479 ± 0,090	0,170 ± 0,308
D50P1P3	2,550 ± 0,067	2,819 ± 0,111	0,157 ± 0,014	0,180 ± 0,020	0,312 ± 0,045	0,395 ± 0,387
SRB50F1P3	3,673 ± 0,661	3,710 ± 0,628	0,549 ± 0,121	0,494 ± 0,024	0,586 ± 0,152	0,620 ± 0,110
LP50P1P3	0,203 ± 0,005	0,229 ± 0,016	0,123 ± 0,010	0,109 ± 0,050	0,352 ± 0,102	0,342 ± 0,349
Día	16-mar-12		16-mar-12		16-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
	LE50P1P3	0,640 ± 0,010	0,647 ± 0,027	0,743 ± 0,018	0,768 ± 0,054	0,642 ± 0,10
FG50P1P3	1,727 ± 0,014	1,739 ± 0,035	0,688 ± 0,046	0,707 ± 0,027	0,207 ± 0,094	0,440 ± 0,334
D50P1P3	2,898 ± 0,030	2,845 ± 0,096	0,157 ± 0,023	0,226 ± 0,024	0,046 ± 0,055	0,423 ± 0,112
SRB50F1P3	5,543 ± 1,042	5,990 ± 0,695	0,454 ± 0,220	0,188 ± 0,005	0,595 ± 0,061	0,606 ± 0,173
LP50P1P3	0,191 ± 0,006	0,185 ± 0,016	0,079 ± 0,017	0,133 ± 0,017	0,303 ± 0,048	0,130 ± 0,384
Día	Zn (mg L ⁻¹)					
	14-mar-12					
	9:00	14:00				
LE50P1P3	1,901 ± 0,156	1,626 ± 0,059				
FG50P1P3	1,268 ± 0,158	1,434 ± 0,244				
D50P1P3	1,384 ± 0,140	1,409 ± 0,086				
SRB50F1P3	2,709 ± 0,340	2,718 ± 0,408				
LP50P1P3	0,298 ± 0,029	0,277 ± 0,023				
Día	15-mar-12					
	9:00	14:00				
	LE50P1P3	2,034 ± 0,033	2,084 ± 0,305			
FG50P1P3	1,501 ± 0,140	1,493 ± 0,075				
D50P1P3	1,201 ± 0,161	1,384 ± 0,237				
SRB50F1P3	3,534 ± 0,453	3,276 ± 0,257				
LP50P1P3	0,197 ± 0,010	0,171 ± 0,009				
Día	16-mar-12					
	9:00	14:00				
	LE50P1P3	1,384 ± 0,229	1,884 ± 0,114			
FG50P1P3	1,551 ± 0,086	1,626 ± 0,059				
D50P1P3	1,376 ± 0,043	1,326 ± 0,043				
SRB50F1P3	4,201 ± 0,682	4,784 ± 0,566				
LP50P1P3	0,224 ± 0,012	0,241 ± 0,019				

Tabla 4.50. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 50% y P3 al 50%.

Día	Na (mg L ⁻¹)				K (mg L ⁻¹)				Ca (mg L ⁻¹)			
	14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	3.480 ± 431	3.285 ± 104	2.558 ± 294	2.331 ± 87	147 ± 16	138 ± 4						
FG50P1P3	2.972 ± 18	3.041 ± 190	2.160 ± 12	2.233 ± 92	105 ± 6	114 ± 7						
D50P1P3	811 ± 45	837 ± 15	1.167 ± 14	1.226 ± 19	244 ± 26	313 ± 11						
SRB50P1P3	824 ± 61	754 ± 123	1.212 ± 83	1.242 ± 95	451 ± 63	452 ± 0						
LP50P1P3	784 ± 22	658 ± 15	1.099 ± 9	928 ± 34	48 ± 7	41 ± 7						
Día	15-mar-12				15-mar-12				15-mar-12			
	14:00		14:00		14:00		14:00		14:00		14:00	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	3.572 ± 227	3.531 ± 55	2.584 ± 108	2.634 ± 41	164 ± 28	148 ± 2						
FG50P1P3	3.139 ± 62	2.953 ± 16	2.218 ± 58	2.109 ± 24	118 ± 6	116 ± 12						
D50P1P3	826 ± 81	835 ± 17	1.192 ± 112	1.236 ± 20	250 ± 32	345 ± 31						
SRB50P1P3	827 ± 13	842 ± 10	1.215 ± 22	1.266 ± 24	576 ± 74	505 ± 61						
LP50P1P3	830 ± 46	836 ± 14	1.106 ± 30	1.140 ± 11	43 ± 6	35 ± 3						
Día	16-mar-12				16-mar-12				16-mar-12			
	14:00		14:00		14:00		14:00		14:00		14:00	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	3.508 ± 53	3.590 ± 207	2.649 ± 43	2.635 ± 115	147 ± 3	150 ± 13						
FG50P1P3	2.892 ± 192	2.951 ± 57	2.150 ± 43	2.173 ± 36	122 ± 6	112 ± 5						
D50P1P3	850 ± 14	819 ± 9	1.268 ± 25	1.199 ± 20	280 ± 32	310 ± 15						
SRB50P1P3	797 ± 45	791 ± 62	1.150 ± 24	1.229 ± 16	693 ± 60	556 ± 13						
LP50P1P3	813 ± 8	712 ± 26	1.158 ± 3	1.055 ± 50	36 ± 5	34 ± 3						

Día	Mg (mg L ⁻¹)				Fe (mg L ⁻¹)			
	14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12		14-mar-12	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	99 ± 8	92 ± 3	82 ± 7	72 ± 3				
FG50P1P3	87 ± 1	89 ± 6	188 ± 7	198 ± 14				
D50P1P3	115 ± 15	124 ± 15	96 ± 14	128 ± 13				
SRB50P1P3	176 ± 9	174 ± 6	207 ± 33	205 ± 8				
LP50P1P3	127 ± 6	111 ± 14	0 ± 0	0 ± 0				
Día	15-mar-12				15-mar-12			
	14:00		14:00		14:00		14:00	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	100 ± 4	100 ± 1	81 ± 2	80 ± 2				
FG50P1P3	89 ± 1	87 ± 1	185 ± 4	194 ± 2				
D50P1P3	119 ± 19	178 ± 61	84 ± 6	118 ± 3				
SRB50P1P3	181 ± 3	178 ± 9	256 ± 39	240 ± 43				
LP50P1P3	112 ± 9	111 ± 12	1 ± 1	0 ± 0				
Día	16-mar-12				16-mar-12			
	14:00		14:00		14:00		14:00	
	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00	9:00	14:00
LE50P1P3	102 ± 1	100 ± 2	83 ± 2	80 ± 3				
FG50P1P3	88 ± 2	88 ± 2	185 ± 9	190 ± 5				
D50P1P3	130 ± 3	153 ± 8	108 ± 6	128 ± 23				
SRB50P1P3	192 ± 8	161 ± 35	324 ± 39	242 ± 76				
LP50P1P3	113 ± 26	95 ± 5	0 ± 0	0 ± 0				

Tabla 4.51. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe. Resultados analíticos del lixiviado a tratar en el MBR con decantación en sus diferentes etapas. Lixiviado P1 al 50% y P3 al 50%.

4.2.-DISCUSIÓN

4.2.1.- LIXIVIADOS P1, P2 y P3

Con los resultados obtenidos se establecieron los gráficos adjuntos que nos permiten deducir y discutir aspectos que pueden ser interesantes.

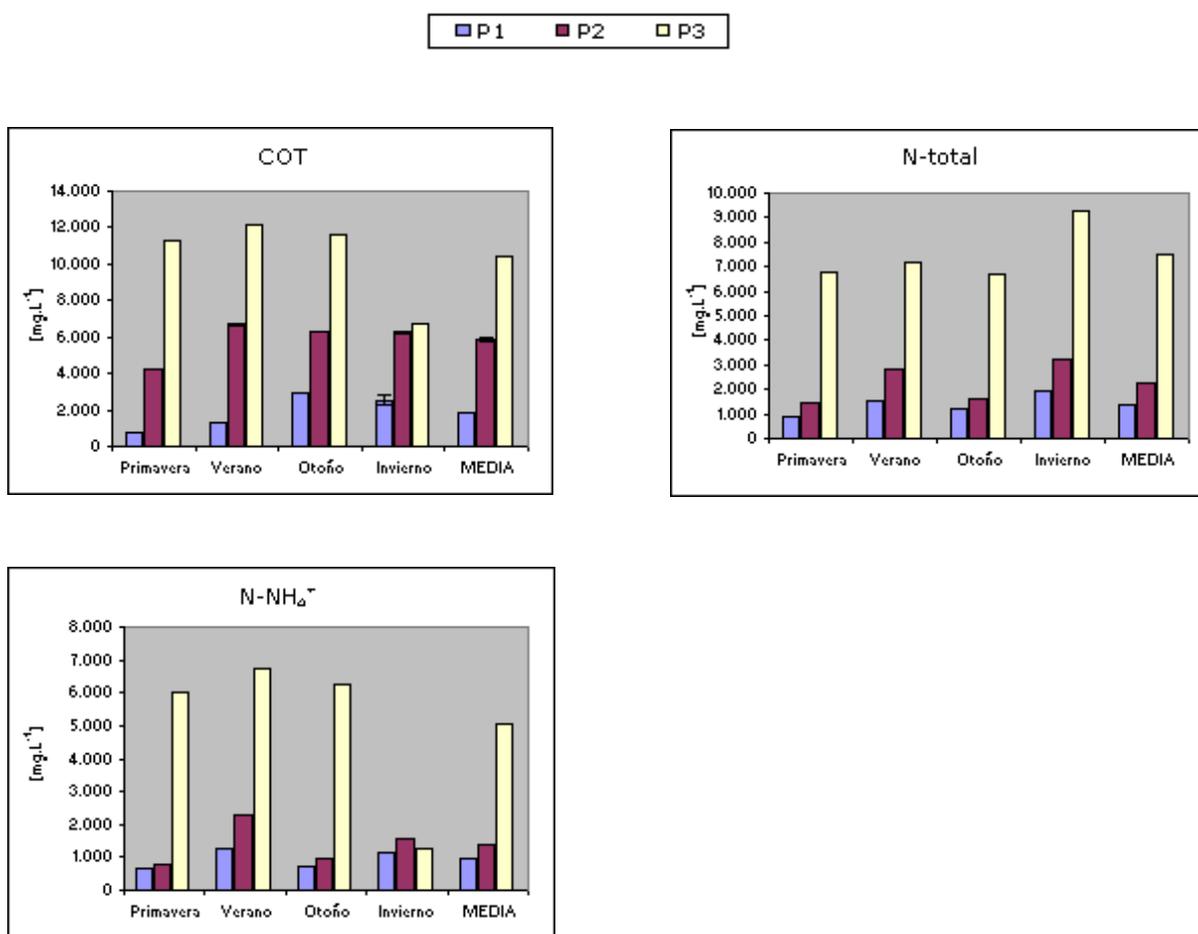


Figura 4.1. COT, N-total y N-NH₄⁺ en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.

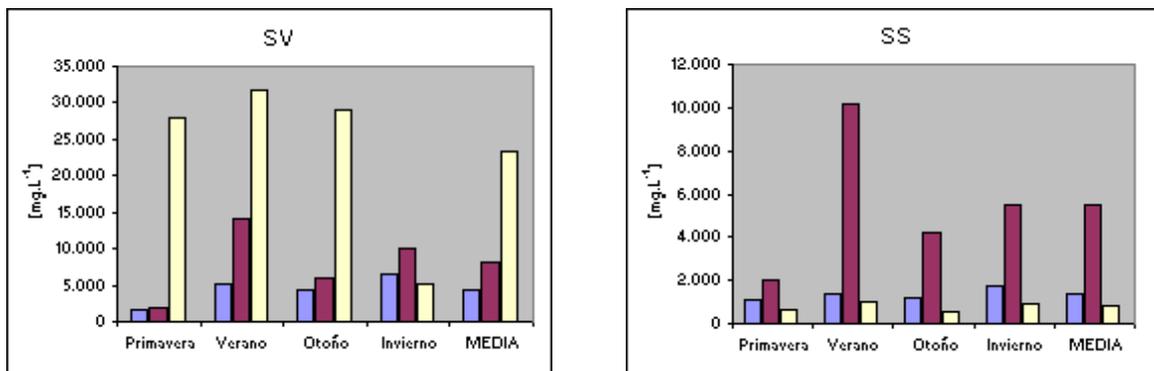


Figura 4.2. SV y SS en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.

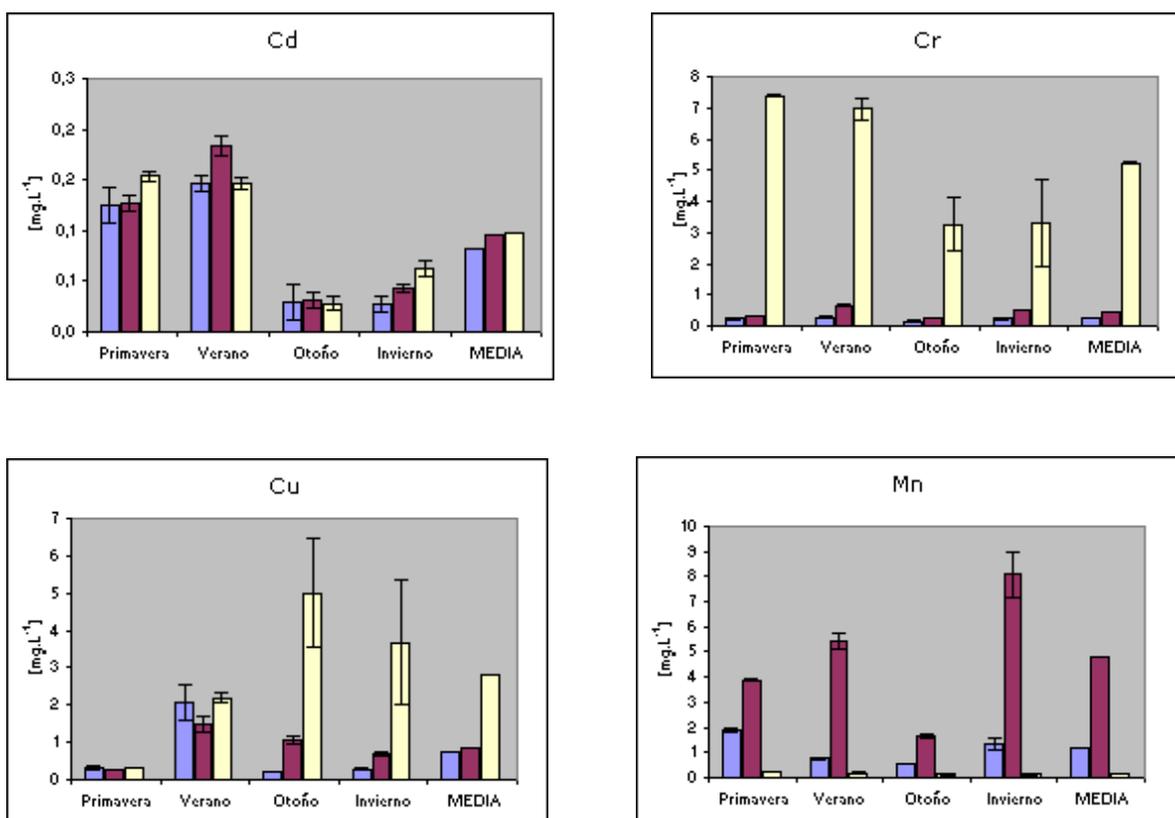


Figura 4.3. Metales pesados Cd, Cr, Cu y Mn en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.

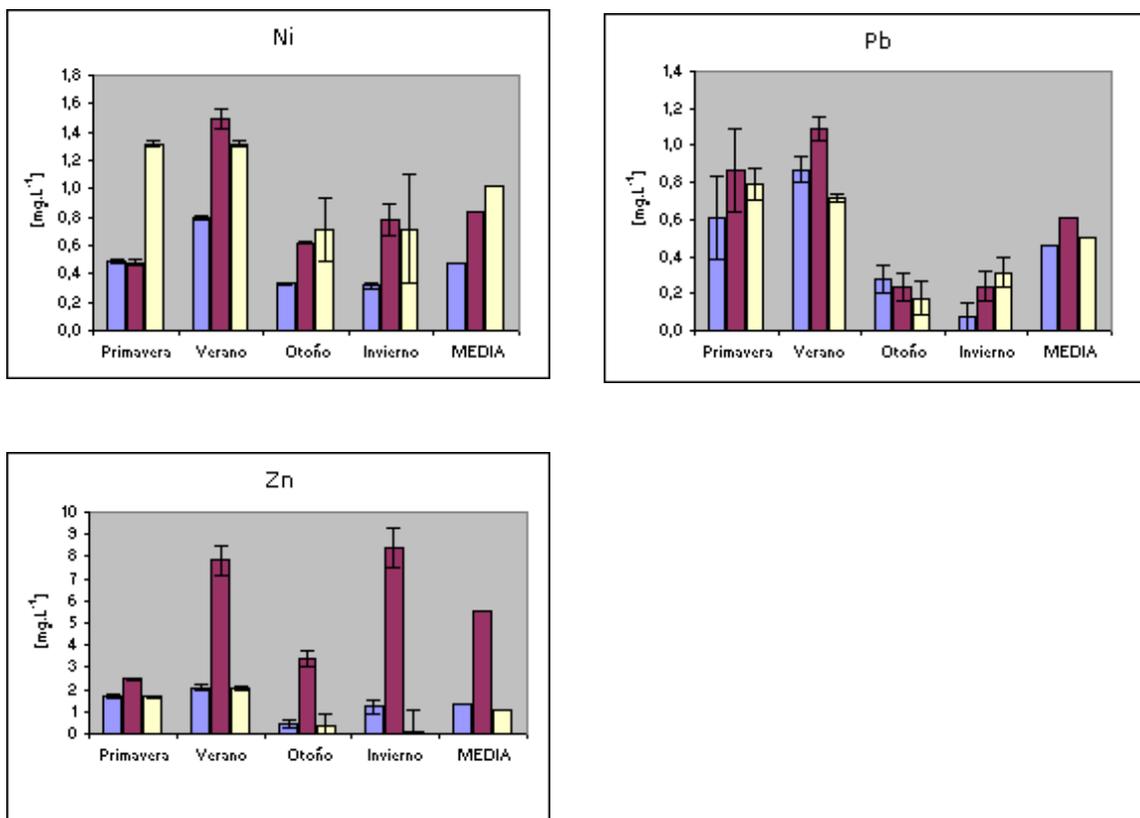


Figura 4.4. Metales pesados Ni, Pb y Zn en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.

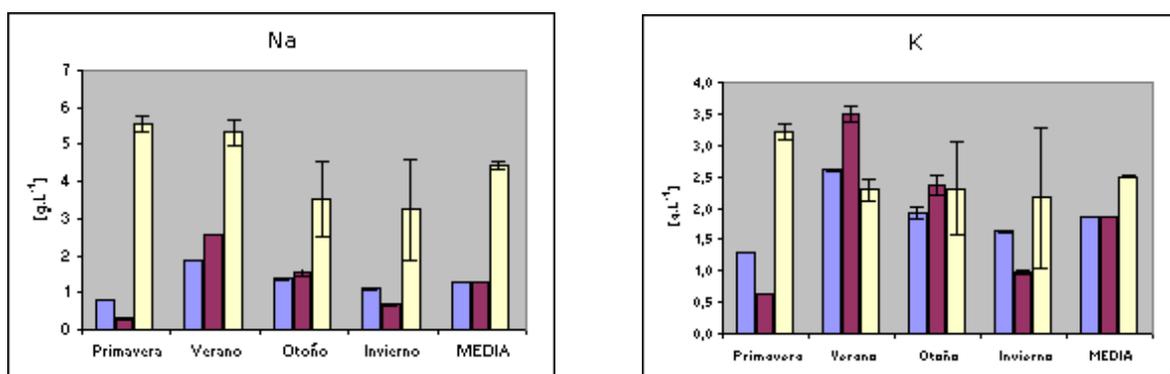


Figura 4.5. Elementos Na y K en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.

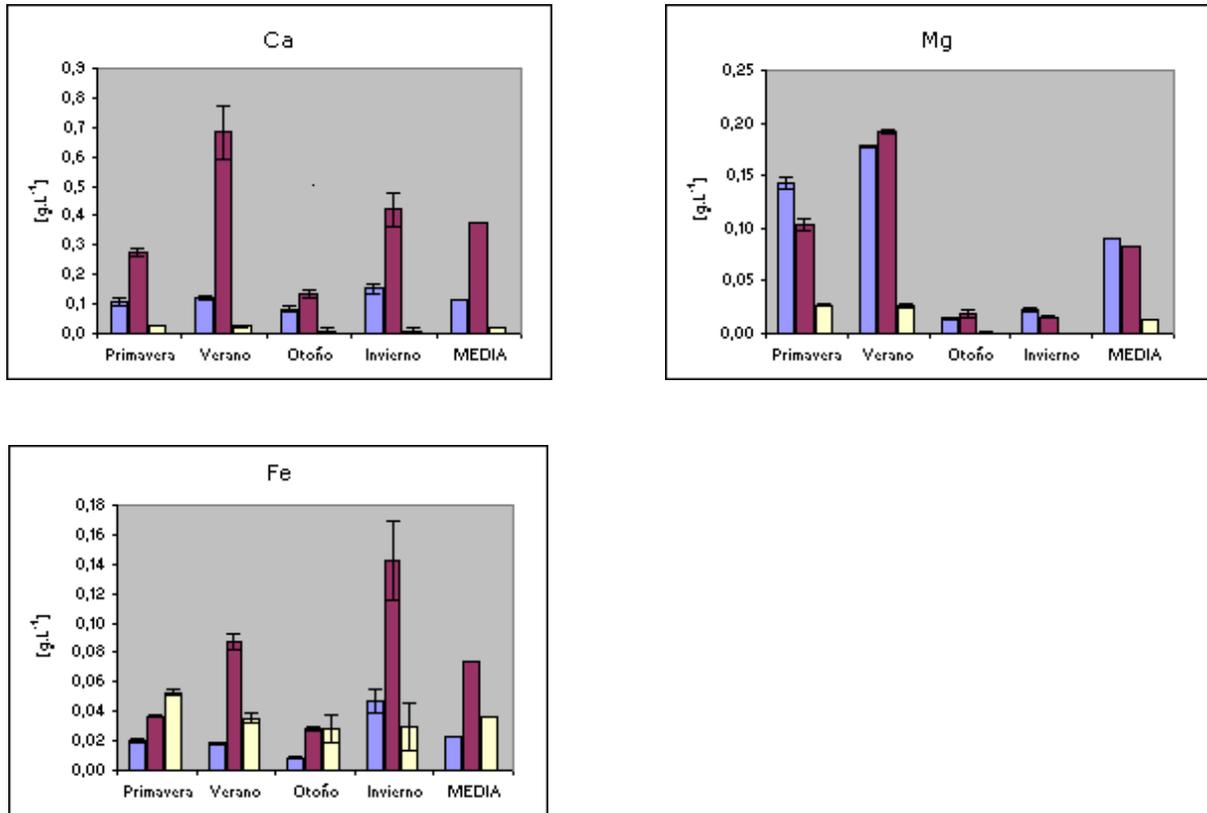


Figura 4.6. Elementos Ca, Mg y Fe en lixiviados P1, P2 y P3 en las cuatro estaciones del año.

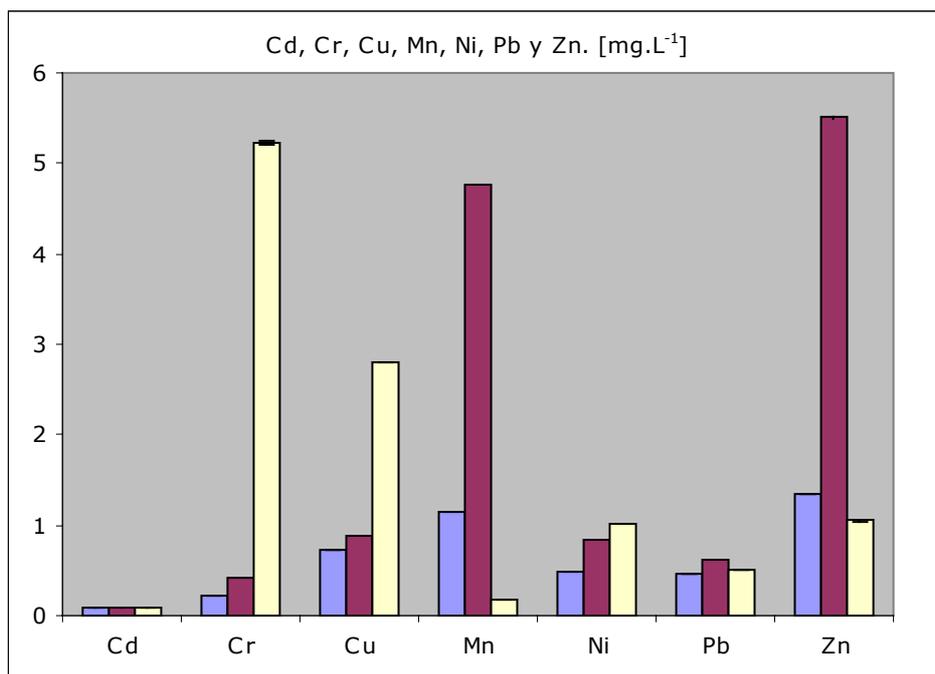


Figura 4.7. Metales pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en lixiviados P1, P2 y P3. Valores medios en g.L⁻¹

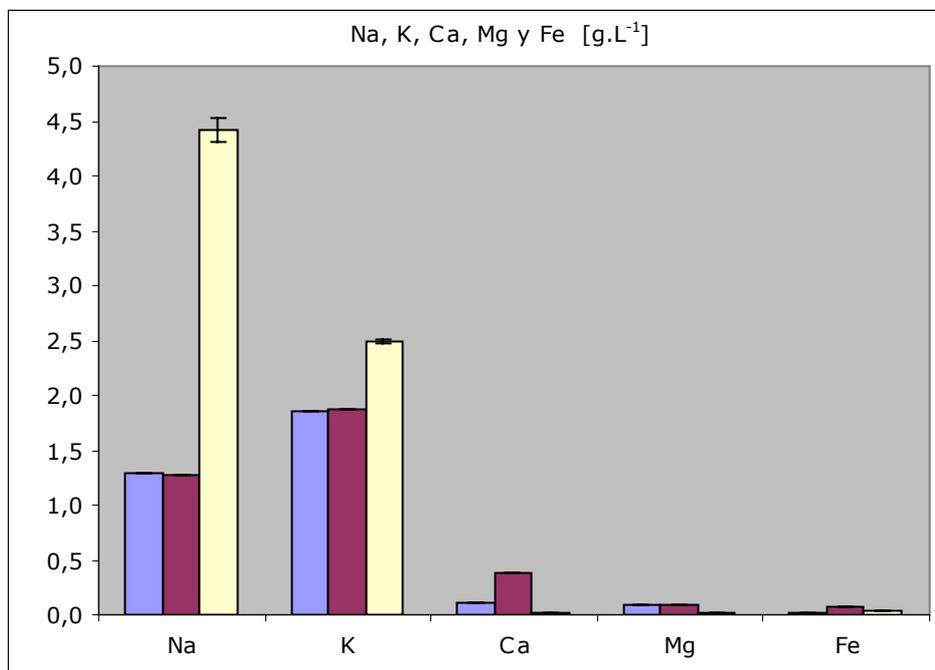


Figura 4.8. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe en lixiviados P1, P2 y P3. Valores medios en g.L⁻¹

En la discusión separaremos los metales pesados (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn), los elementos (Na, K, Ca, Mg y Fe) y otros parámetros como el **COT**, **SS**, **SV**, N-total, N-NH₄⁺ y N-orgánico. La forma de expresar los resultados la podemos resumir de cara a su discusión comparando la concentración de cada elemento mediante la ordenación de mayor a menor contenido para cada tipo de lixiviado, y agrupándolo por las estaciones en que fueron recogidas las muestras. Ejemplo: Cr (**P3>P2>P1**) representaría que la presencia de Cr es mayor en el lixiviado P3 que en el P2 y, a su vez, mayor en el lixiviado P2 que en el P1.

METALES PESADOS

Para cada muestra tenemos:

- Primavera: Cd (P3>P2≈P1), Cr (P3>P2>P1), Cu (P3>P1>P2), Mn (P2>P1>P3), Ni (P3>P1≈P2), Pb (P2>P3>P1), Zn (P2>P1≈P3).
- Verano: Cd (P2>P3≈P1), Cr (P3>P2>P1), Cu (P3>P1>P2), Mn (P2>P1>P3), Ni (P2>P3>P1), Pb (P2>P1>P3), Zn (P2>P1≈P3).
- Otoño: Cd (P2>P1≈P3), Cr (P3>P2>P1), Cu (P3>P2>P1), Mn (P2>P1>P3), Ni (P3>P2>P1), Pb (P1>P2>P3), Zn (P2>P1>P3).
- Invierno: Cd (P3>>P2>P1), Cr (P3>P2>P1), Cu (P3>P2>P1), Mn (P2>P1>P3), Ni (P2>P3>P1), Pb (P3>P2>P1), Zn (P2>P1>P3).
- Media resultante: Cd (P3>P2>P1), Cr (P3>P2>P1), Cu (P3>P2>P1), Mn (P2>P1>P3), Ni (P3>P2>P1), Pb (P2>P3>P1), Zn (P2>P1>P3).

A priori, la masa de **RSU** a partir de la que se genera el lixiviado tiene la misma concentración de metales pesados en el **CTR** que en el vertedero, nunca

menor. Más aún, por las causas anteriormente expuestas (recogida separada implantada, ausencia de **RI**, etc.), la masa de **RSU** que ocupa el vertedero debiera presentar en su conjunto una mayor concentración de metales que los **RSU** entrantes en el **CTR**. La diferencia principal entre ambos es "el modo" en que se encuentra almacenada la "masa de residuos" a partir de la cuál se va a generar el lixiviado, y los procesos químicos que en esa materia orgánica se producen en el vertedero y en el **CTR**. En éste se someterá al residuo a un ambiente oxidante (fase activa de compostaje: fermentación en túneles y fase pasiva: nave de maduración), en aquel el residuo se someterá a un ambiente reductor (ausencia de oxígeno: anaerobiosis).

En consecuencia, la única diferencia atribuible a que haya una mayor presencia en Mn, Pb y Zn en los lixiviados **P1** y **P2** que en el lixiviado **P3** es la debida a las diferentes reacciones químicas que se producen en la masa de residuos en los dos ambientes referidos, de suerte que, en el interior del vertedero, estos metales pesados se encontrarían formando ligandos con la masa de residuos, siendo más lenta y/o difícil su separación y posterior lixiviación. Frente a esto, en el compostaje, la masa de residuos pese a aparentemente tener una menor concentración en estos metales pesados presentaría una mayor facilidad para lixiviar Mn, Pb y Zn.

Esta sería la explicación a que el lixiviado **P2** presente un 2.832,94%, un 121,71%, y un 524,84% más de concentración en metales como el Mn, Pb y Zn, respectivamente que en el lixiviado **P3**. O que el lixiviado **P1** presente un 679,73%, un 91,88%, y un 128,38% más de concentración en metales como el Mn, Pb y Zn, respectivamente que en el lixiviado **P3**.

ELEMENTOS

Se procederá igual que con los metales pesados

- Primavera: Na ($P3 > P1 > P2$), K ($P3 > P1 > P2$), Ca ($P2 > P1 > P3$), Mg ($P1 > P2 > P3$) y Fe ($P3 > P2 > P1$).

- Verano: Na ($P3 > P2 > P1$), K ($P2 > P1 > P3$), Ca ($P2 > P1 > P3$), Mg ($P2 > P1 > P3$) y Fe ($P2 > P3 > P1$).
- Otoño: Na ($P3 > P2 > P1$), K ($P2 > P3 > P1$), Ca ($P2 > P1 > P3$), Mg ($P2 > P1 > P3$) y Fe ($P3 \approx P2 > P1$).
- Invierno: Na ($P3 > P1 > P2$), K ($P3 > P1 > P2$), Ca ($P2 > P1 > P3$), Mg ($P1 > P2 > P3$) y Fe ($P2 > P1 > P3$).
- Media resultante: Na ($P3 > P1 \approx P2$), K ($P3 > P2 \approx P1$), Ca ($P2 > P1 > P3$), Mg ($P1 > P2 > P3$) y Fe ($P2 > P3 > P1$).

Para el caso del Na y K, estos datos son muy congruentes con los datos de CE. La gran diferencia entre la CE del lixiviado **P3** ($60,408 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y la de los lixiviados **P1** y **P2** ($18,950$ y $21,725 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ respectivamente) es consecuente con la gran diferencia existente en la concentración media de Na y K en **P3**, con respecto a **P1** ($341,08\%$ para el Na; $134,03\%$ para el K) y con respecto a **P2** ($345,47\%$ para el Na; $133,39\%$ para el K). Pudiera Ser que el Na y K en los túneles de fermentación y en la nave de maduración, formase ligandos con partículas de **MO** más estabilizada. Sin embargo, esto no ocurriría en el vertedero sellado.

Respecto al Ca y Mg, ocurre al revés, sus niveles son mucho más altos en los lixiviados **P1** ($689,94\%$ para el Ca; $667,61\%$ para el Mg) y **P2** ($2.251,09\%$ para el Ca; $614,63\%$ para el Mg) que en el lixiviado **P3**. Su explicación es bastante congruente con las diferencias medias observadas en el pH medio del lixiviado **P3** ($7,938$) y el de los lixiviados **P1** y **P2** ($7,533$ y $7,378$ respectivamente). Pareciera como si el Ca y Mg lixiviasen con intensidad en el vertedero, y percolasen, por la descomposición anaeróbica de la masa de residuos. Sin embargo, en los túneles de fermentación y la nave de maduración, el Ca y el Mg pudieran formar ligandos con partículas de **MO** más estabilizada y ciertas proteínas y, en consecuencia, no lixiviasen con tanta intensidad.

Finalmente respecto al Fe hay diferencias entre estaciones muy importantes, no atreviéndonos a deducir que presumiblemente el Fe presentaría un mejor

comportamiento en lixiviación en el CTR que en el vertedero, sorprendiendo las diferencias ente el **P1** y **P2**.

OTROS PARAMETROS

Procediendo como antes

- Primavera: COT ($P3 > P2 > P1$), SS ($P2 > P1 > P3$), SV ($P3 > P2 > P1$), N-total ($P3 > P2 > P1$), $N-NH_4^+$ ($P3 > P2 > P1$) y N-orgánico ($P3 > P2 > P1$).
- Verano: COT ($P3 > P2 > P1$), SS ($P2 > P1 > P3$), SV ($P3 > P2 > P1$), N-total ($P3 > P2 > P1$), $N-NH_4^+$ ($P3 > P2 > P1$) y N-orgánico ($P2 > P3 > P1$).
- Otoño: COT ($P3 > P2 > P1$), SS ($P2 > P1 > P3$), SV ($P3 > P2 > P1$), N-total ($P3 > P2 > P1$), $N-NH_4^+$ ($P3 > P2 > P1$) y N-orgánico ($P2 > P1 > P3$).
- Invierno: COT ($P3 > P2 > P1$), SS ($P2 > P1 > P3$), SV ($P2 > P3 > P1$), N-total ($P3 > P2 > P1$), $N-NH_4^+$ ($P2 > P3 > P1$) y N-orgánico ($P3 > P2 > P1$).
- Media resultante: COT ($P3 > P2 > P1$), SS ($P2 > P1 > P3$), SV ($P3 > P2 > P1$), N-total ($P3 > P2 > P1$), $N-NH_4^+$ ($P3 > P2 > P1$) y N-orgánico ($P3 > P2 > P1$).

Es totalmente congruente que en el lixiviado **P3**, la media de los valores del **COT** y el N-Total, $N-NH_4^+$ y, en consecuencia, N-orgánico sean mayores que en los lixiviados **P1** y **P2**. Además esta diferencia es muy grande, con relación al inmediatamente inferior (177,64% en el **COT**; 327,81% en el N-Total; 362,50% en el $N-NH_4^+$; y 272,73% en el N-orgánico). De igual manera, en todas las muestras los **ST** son mayores en **P3** que en **P2** y en **P2** que en **P1**. Esto también ocurre con los **SV** (excepto la muestra de invierno), lo cuál es congruente con la capacidad potencial de producción de biogás en las digestiones anaerobias. En la tabla 4.52 se refleja este hecho.

	Primavera			Verano			Otoño			Invierno			MEDIA		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
ST	7.005	4.236	46.842	15.496	31.249	54.775	11.524	18.182	52.525	15.908	18.034	29.339	12.483	17.925	45.870
SV	1.562	1.998	27.854	5.150	14.124	31.695	2.114	6.034	29.048	6.559	10.059	5.265	3.846	8.054	23.466
SV/ST	22%	47%	59%	33%	45%	58%	18%	33%	55%	41%	56%	18%	31%	45%	51%
	P3>P2>P1			P3>P2>P1			P3>P2>P1			P2>P1>P3			P3>P2>P1		

Tabla 4.52. Porcentaje de SV/ST en los lixiviados P1, P2 y P3. Datos en mg.L⁻¹

El mayor contenido de **COT** en **P3** es debido al arrastre de partículas de **MO** sin degradar, precisando de un mayor tiempo para poder conseguir que mediante procesos anaeróbicos se vaya descomponiendo. Igual ocurre con los fenómenos de nitrificación, la mayor parte del nitrógeno es amoniacal, debiendo transcurrir más tiempo para que parte de este nitrógeno pase a formas nítricas y/o se volatilice. De hecho con el tiempo, la mayoría de estos sólidos volátiles se irán transformando en CH₄, CO₂, NH₃, etc. Por el contrario, en los procesos biooxidativos, parte de ese carbono permanece en lo que acabará convirtiéndose en humus. Además, una gran parte importante del N se volatiliza en el proceso.

La interpretación de porque los **SS** son inferiores en el lixiviado **P3** a los obtenidos en los lixiviados **P1** y **P2** parece deberse a la forma de recoger la muestra. En **P3**, la muestra se recoge con un pequeño cazo. En **P1** y **P2**, dado su difícil acceso, la muestra es bombeada mediante una bomba sumergible.

Con la finalidad de observar el posible grado de correlación existente entre los parámetros analizados en los lixiviados **P1**, **P2** y **P3**, en las cuatro estaciones del año, se sometieron los resultados obtenidos a un ANOVA introduciendo dos factores fijos: los tipos de lixiviados con tres niveles (**P1**, **P2** y **P3**) y la obtención de la muestra con cuatro niveles (estaciones del año).

Posteriormente se analizó el grado de correlación bivariada. Mediante el análisis en cuestión se obtuvo el coeficiente de Pearson que nos mide el grado de correlación entre dos variables.

Se observó como principal hecho relevante que la presencia en los lixiviados de ciertos metales como el Cd, Cr, Zn y Mn, estaba fuertemente relacionada con la forma de lixiviar el Pb, Na, Mn, Ca y Fe. En particular, con una probabilidad del 99%, el contenido en los lixiviados de Cd venía condicionada por la forma de lixiviar el Pb (en un 89%); de Cr por el Na (en un 89%), de Zn por el Mn, Ca y Fe (en un 83%, 78% y 74% respectivamente); por último, el contenido de Mn en los lixiviado venía condicionado por la forma de lixiviar el Ca, y el Fe (en un 78% y 70% respectivamente).

Correlación Globales (correlación de Pearson)	[Cu] (mg.L ⁻¹)	[Ni] (mg.L ⁻¹)	[Cd] (mg.L ⁻¹)	[Pb] (mg.L ⁻¹)	[Cr] (mg.L ⁻¹)	[Zn] (mg.L ⁻¹)	[Mn] (mg.L ⁻¹)	[Fe] (g.L ⁻¹)	[Ca] (g.L ⁻¹)	[Mg] (g.L ⁻¹)	[K] (g.L ⁻¹)	[Na] (g.L ⁻¹)
[Cu] (mg.L ⁻¹)	1											
[Ni] (mg.L ⁻¹)	0,247	1										
[Cd] (mg.L ⁻¹)	-0,138	.675(**)	1									
[Pb] (mg.L ⁻¹)	-0,157	.596(**)	.943(**)	1								
[Cr] (mg.L ⁻¹)	.331(*)	.641(**)	0,311	0,17	1							
[Zn] (mg.L ⁻¹)	-0,195	.424(**)	0,224	0,251	-0,253	1						
[Mn] (mg.L ⁻¹)	-0,328	0,113	0,075	0,136	-.445(**)	.910(**)	1					
[Fe] (g.L ⁻¹)	-0,128	.381(*)	0,047	0,029	-0,03	.858(**)	.836(**)	1				
[Ca] (g.L ⁻¹)	-0,268	0,302	0,295	.379(*)	-.445(**)	.884(**)	.861(**)	.682(**)	1			
[Mg] (g.L ⁻¹)	-0,198	0,229	.723(**)	.761(**)	-.377(*)	0,319	0,279	-0,003	.531(**)	1		
[K] (g.L ⁻¹)	0,324	.652(**)	.332(*)	0,292	.400(*)	0,037	-0,268	-0,077	0,042	0,149	1	
[Na] (g.L ⁻¹)	.464(**)	.738(**)	.337(*)	0,209	.946(**)	-0,218	-.436(**)	-0,067	-.369(*)	-0,286	.613(**)	1

Tabla 4.53. Correlaciones globales existentes en metales pesados y elementos en lixiviados P1,P2 y P3.

* Probabilidad del 95%. ** Probabilidad del 99%.

Y = a + b.X		Coeficientes		Coeficiente de Pearson r	R ²
Y	X	a	b		
Cd	Pb	0,005	0,166	0,943**	89%
Cr	Na	-1,362	1,427	0,946**	89%
Zn	Mn	0,796	0,954	0,910**	83%
Zn	Ca	0,757	11,570	0,884**	78%
Mn	Ca	0,193	10,759	0,861**	74%
Zn	Fe	0,089	59,393	0,858**	74%
Mn	Fe	-0,428	55,218	0,836**	70%
Pb	Mg	0,301	3,643	0,761**	58%
Ni	Na	0,390	0,167	0,738**	54%
Cd	Mg	0,055	0,610	0,723**	52%
Fe	Ca	0,022	0,129	0,682**	47%
Ni	Cd	0,360	4,556	0,675**	46%
Ni	K	0,240	0,261	0,652**	43%
Ni	Cr	0,591	0,096	0,641**	41%
K	Na	1,265	0,348	0,613**	38%
Ni	Pb	0,407	0,709	0,596**	36%
Ca	Mg	0,078	1,501	0,531**	28%
Cu	Na	0,491	0,418	0,464**	22%
Ni	Zn	0,602	0,065	0,424**	18%
Cr	K	-0,246	1,064	0,400*	16%
Ni	Fe	0,600	4,057	0,381*	15%
Pb	Ca	0,417	0,642	0,379*	14%
Cd	Na	0,066	0,011	0,337*	11%
Cd	K	0,052	0,020	0,332*	11%
Cu	Cr	1,076	0,198	0,331*	11%
Ca	Na	0,267	-0,042	-0,369*	14%
Cr	Mg	2,844	-14,285	-0,377*	14%
Cr	Mn	2,929	-0,477	-0,445**	20%
Cr	Ca	2,979	-5,966	-0,445**	20%
Mn	Na	3,653	-0,698	-0,496**	25%

Tabla 4.54. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales, coeficiente de correlación de Pearson r y valor R² en lixiviados P1, P2 y P3

4.2.2- LIXIVIADOS EN EL TÚNEL. RÉPLICAS A00062, A00063 y A00064

Con los resultados obtenidos se establecieron los gráficos adjuntos donde se representa la acumulación en las trazas y oligoelementos del lixiviado durante los quince días de permanencia del residuo en el túnel de fermentación.

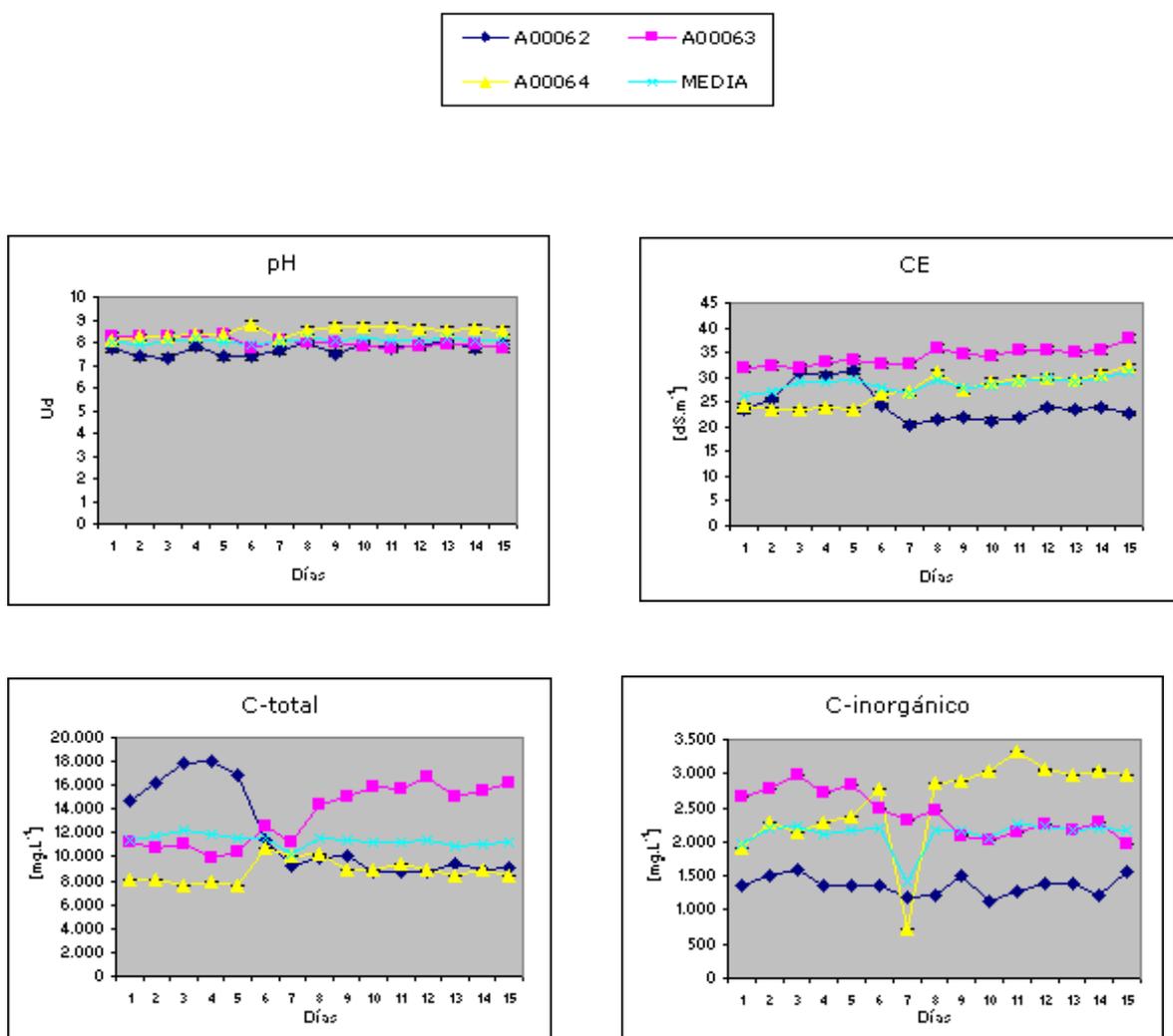


Figura 4.9. pH, CE, C-total y C-inorgánicos en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.

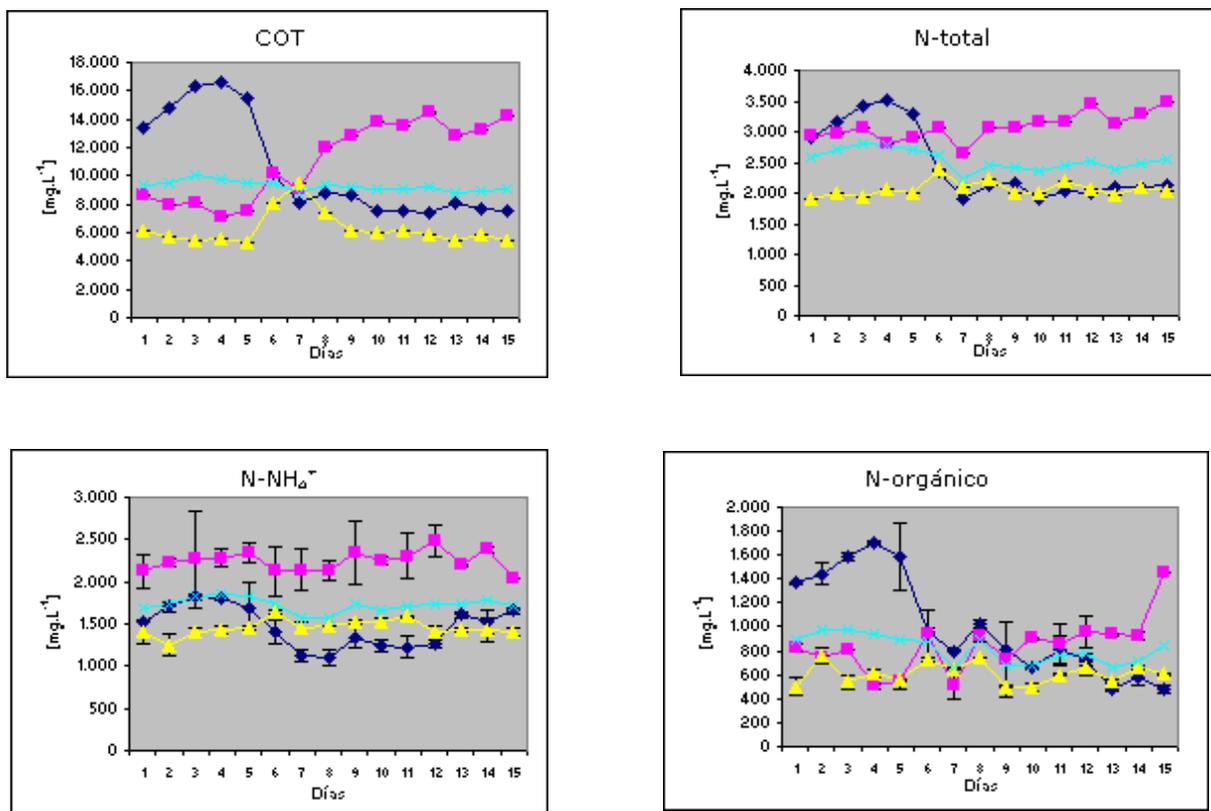


Figura 4.10. COT, N-total, N-NH₄⁺ y N-orgánico en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.

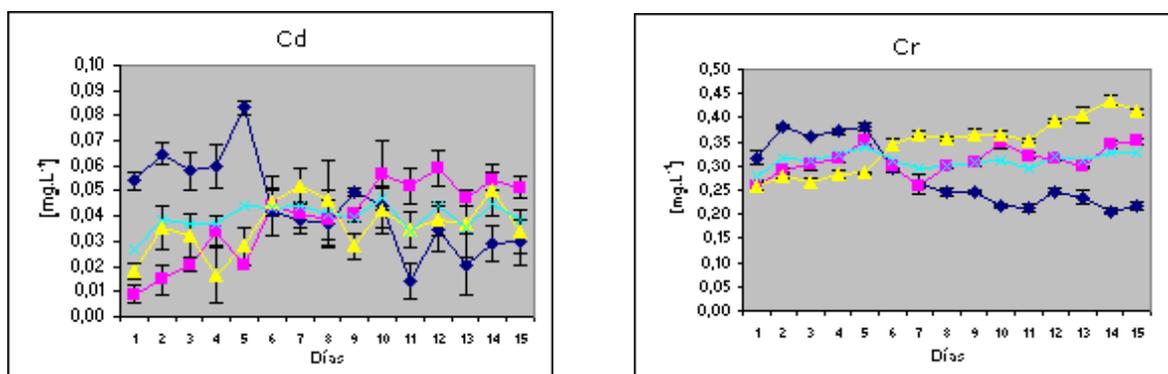


Figura 4.11. Metales pesados Cd y Cr en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.

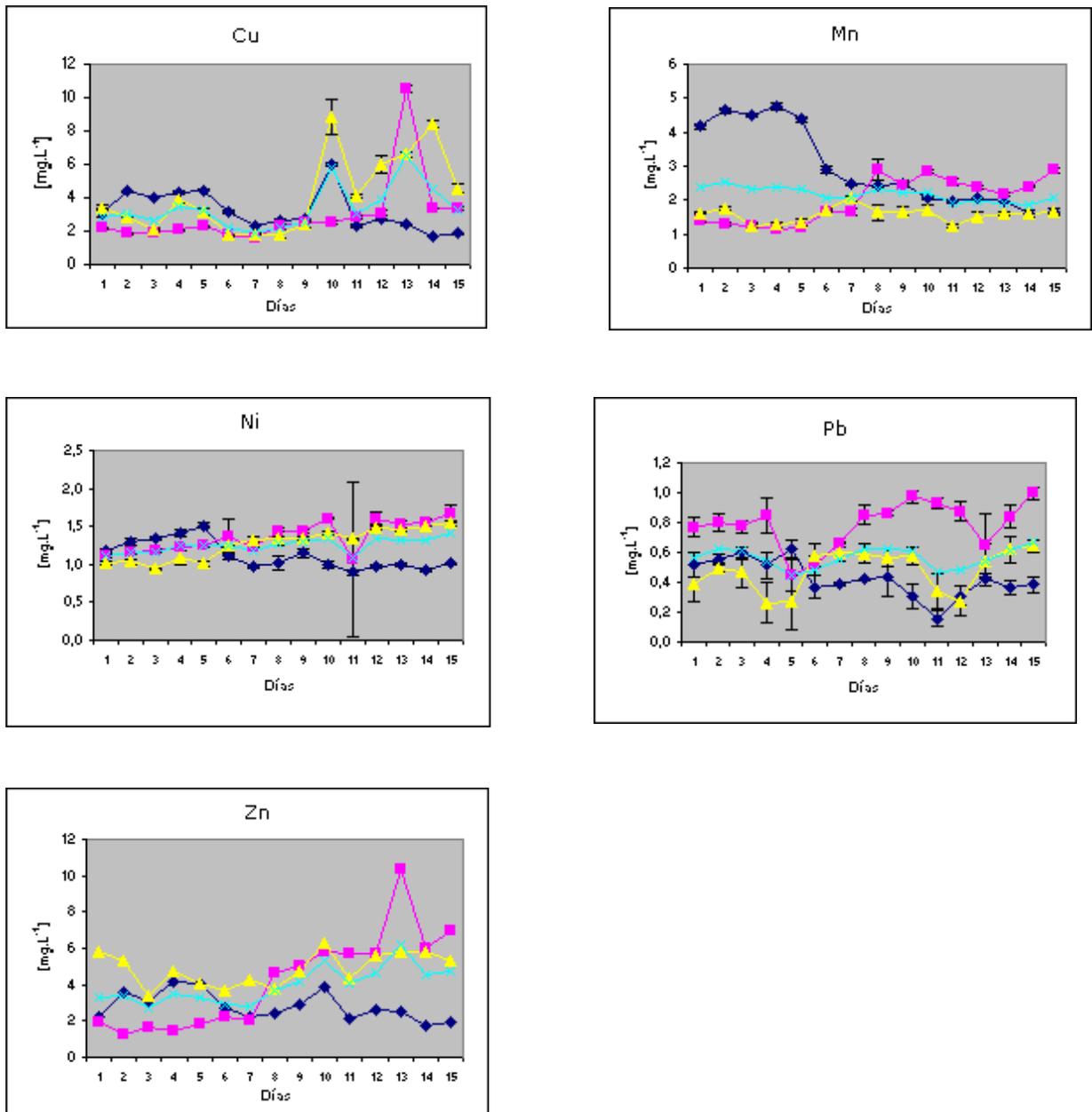


Figura 4.12. Metales pesados Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.

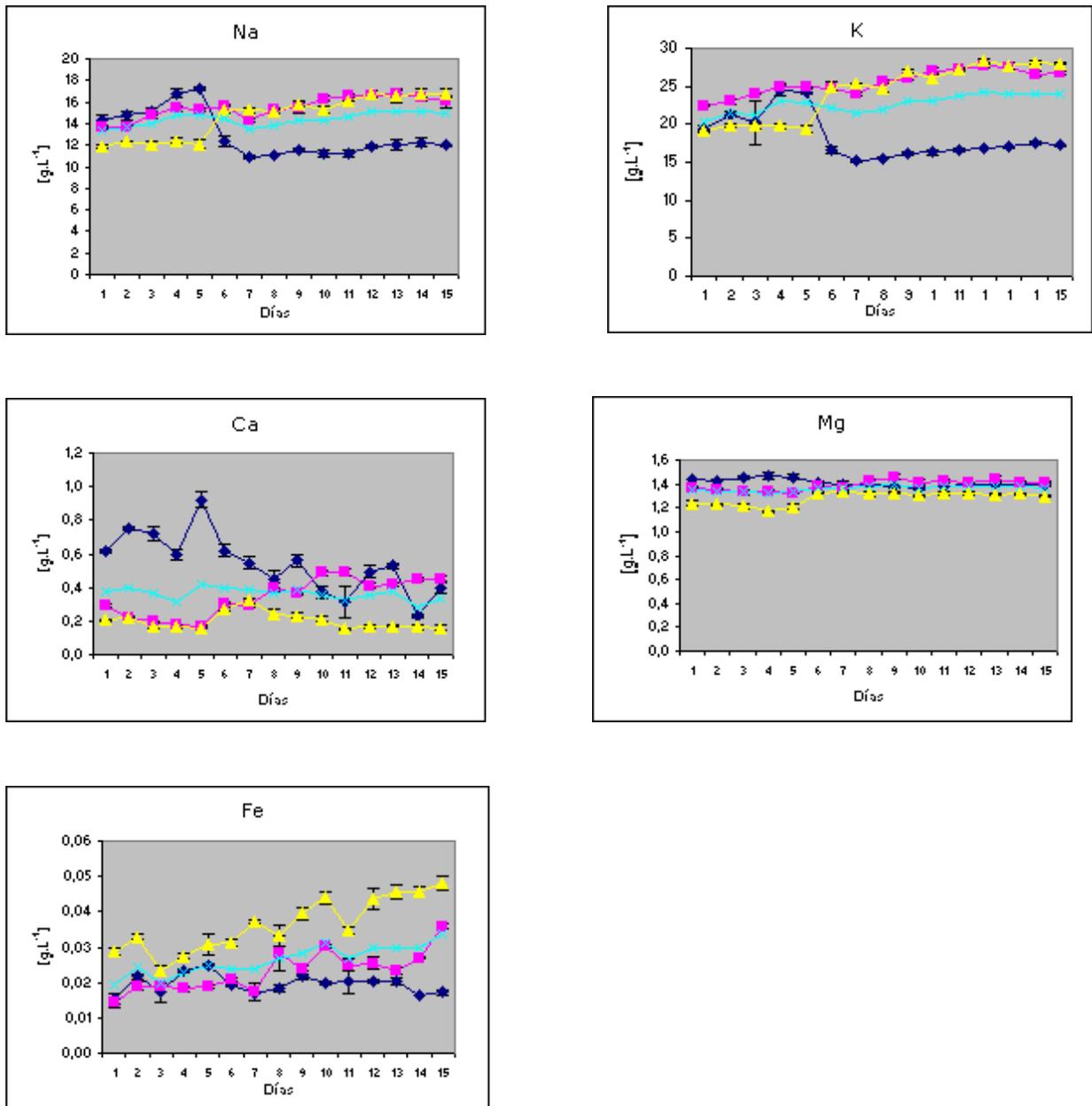


Figura 4.13. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Réplicas A00062, A00063, A00064 y la media.

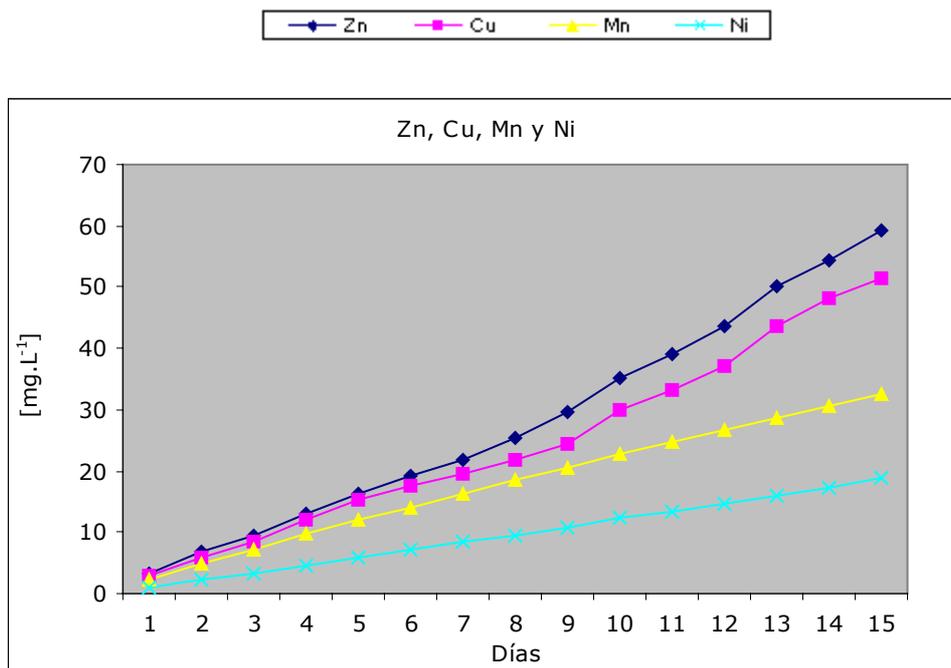


Figura 4.14. Metales pesados Zn, Cu, Mn y Ni acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.

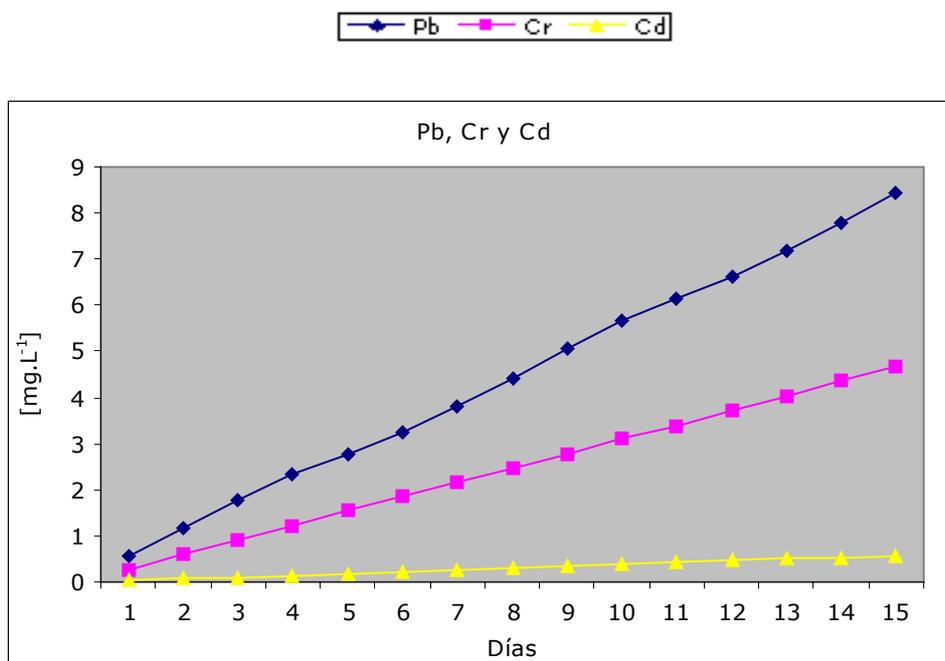


Figura 4.15. Metales pesados Pb, Cr y Cd acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.

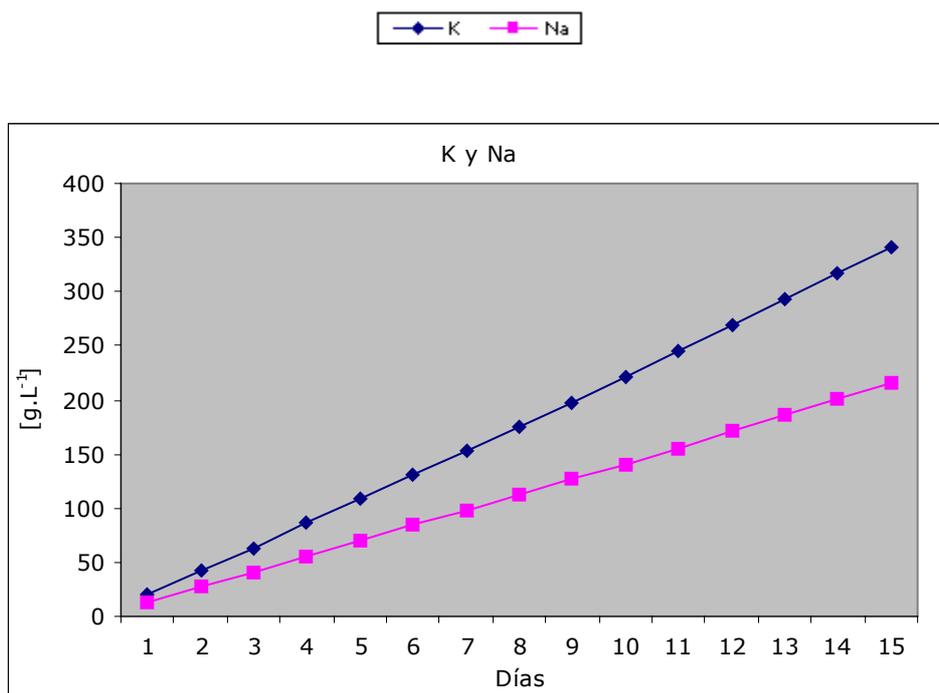


Figura 4.16. Elementos K y Na acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.

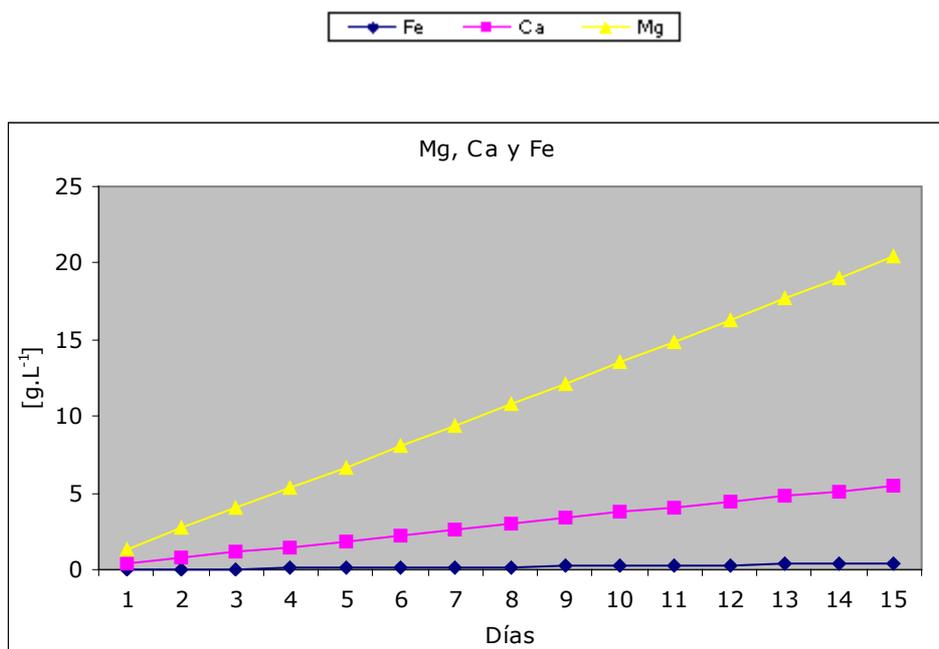


Figura 4.17. Elementos Ca, Mg y Fe acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.

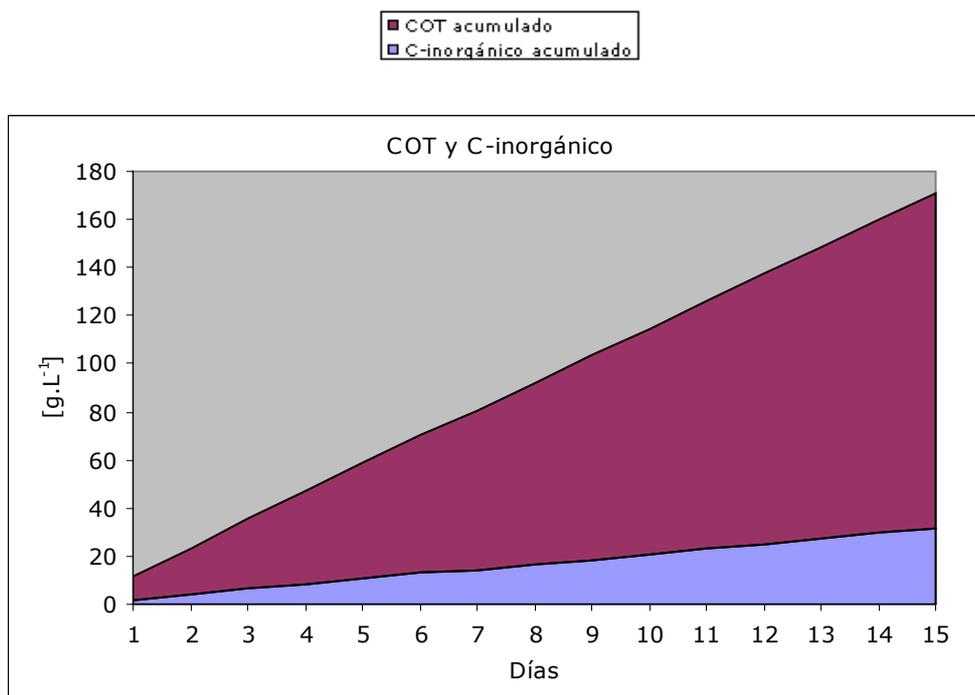


Figura 4.18. C-total, C-inorgánico y COT acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.

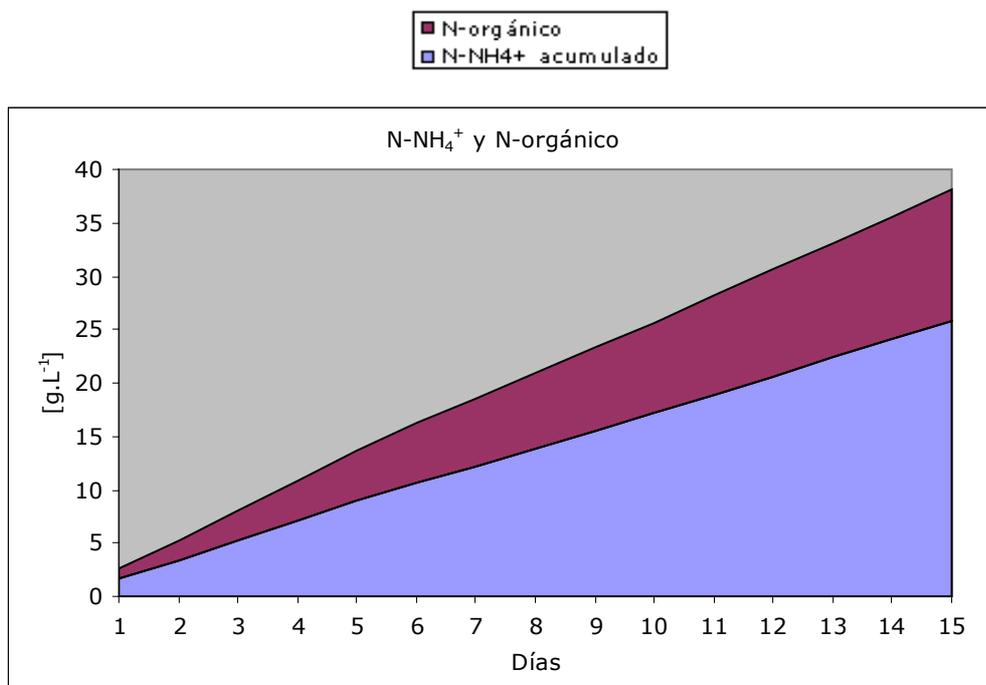


Figura 4.19. N-total, N-NH₄⁺ y N-inorgánico acumulados en lixiviado del túnel de fermentación durante los 15 días. Valores medios.

Lixiviado Túnel de Fermentación		Día-1	Día-2	Día-3	Día-4	Día-5	Día-6	Día-7	Día-8
Metales Pesados acumulados [mg.L ⁻¹]	Cu	2,890	5,920	8,602	12,056	15,343	17,567	19,483	21,744
	Ni	1,100	2,258	3,410	4,650	5,906	7,149	8,324	9,588
	Mn	2,391	4,949	7,283	9,677	11,981	14,071	16,127	18,441
	Cd	0,027	0,065	0,102	0,139	0,183	0,227	0,271	0,312
	Pb	0,560	1,178	1,789	2,331	2,775	3,263	3,812	4,432
	Zn	3,324	6,719	9,418	12,867	16,201	19,058	21,904	25,533
	Cr	0,278	0,595	0,905	1,229	1,568	1,882	2,178	2,478
Elementos acumulados [g.L ⁻¹]	Fe	0,020	0,044	0,064	0,087	0,112	0,136	0,159	0,186
	Ca	0,372	0,768	1,130	1,441	1,858	2,257	2,643	3,007
	Mg	1,350	2,687	4,019	5,341	6,669	8,041	9,405	10,780
	K	20,366	41,773	63,094	86,140	108,964	131,062	152,538	174,519
	Na	13,284	26,924	40,905	55,771	70,630	85,072	98,552	112,389

Lixiviado Túnel de Fermentación		Día-9	Día-10	Día-11	Día-12	Día-13	Día-14	Día-15
Metales Pesados acumulados [mg.L ⁻¹]	Cu	24,280	30,078	33,157	37,092	43,604	48,109	51,389
	Ni	10,894	12,229	13,328	14,680	16,010	17,339	18,749
	Mn	20,643	22,842	24,758	26,737	28,648	30,514	32,564
	Cd	0,351	0,399	0,432	0,477	0,512	0,512	0,556
	Pb	5,053	5,670	6,146	6,633	7,169	7,778	8,453
	Zn	29,735	35,075	39,135	43,789	49,999	54,511	59,238
	Cr	2,784	3,094	3,390	3,709	4,022	4,350	4,678
Elementos acumulados [g.L ⁻¹]	Fe	0,214	0,245	0,272	0,302	0,332	0,361	0,395
	Ca	3,391	3,748	4,067	4,424	4,796	5,075	5,413
	Mg	12,168	13,528	14,905	16,277	17,660	19,035	20,403
	K	197,636	220,755	244,469	268,791	292,782	316,889	340,921
	Na	126,670	140,961	155,580	170,646	185,813	200,953	215,873

Tabla 4.55. Metales pesados y elementos acumulados en el lixiviado del túnel de fermentación durante los quince días.

Con la finalidad de observar el posible grado de correlación existente entre los parámetros analizados en el lixiviado del túnel, durante los 15 días y en las tres réplicas A00062, A00063 y A00064 se sometieron los resultados a un análisis ANOVA introduciendo dos factores fijos: la réplica de **RSU** con tres niveles (réplica A00062, A00063 y A00064) y la evolución diaria del lixiviado con quince niveles (los quince días que dura el proceso).

Posteriormente se analizó el grado de correlación bivariada. Mediante el análisis en cuestión se obtuvo el coeficiente de Pearson que nos mide el grado de correlación entre dos variables.

Se observó que la mayor o menor presencia de ciertos metales pesados como el Mn y el Pb en el lixiviado del túnel de fermentación, con un grado de probabilidad del 99%, se veía afectada por ciertas propiedades. En particular, con una probabilidad del 99%, la presencia de Mn en el lixiviado venía condicionada por el N-orgánico, el COT y el C-total (en un 81%, 71% y 60% respectivamente). El Pb venía condicionado por la CE, el N-NH₄⁺ y el N-total (en un 67%, 59% y 50% respectivamente). El Ni por la CE (en un 59%). Además, estas correlaciones eran directas.

De igual manera, la presencia de ciertos elementos como el Ca, Mg, Na y K, también venían condicionada por ciertas propiedades. Así, con un grado de probabilidad del 99%, la presencia del K viene determinada en 70% por la CE. La presencia de Na, viene determinada en un 68% por la CE. La presencia de Mg viene determinada por la de COT (en un 64%) y C-total (en un 57%). La del Ca por el COT y el N-orgánico (en un 61% y 60% respectivamente). Además, estas correlaciones eran directas.

También se observó, que con una probabilidad del 99%, la mayor o menor presencia de ciertos metales pesados como el Ni, Cr y Cd, venía condicionado por la presencia de ciertos elementos y otros metales pesados. Así, con una fiabilidad del 99%, el Mn viene condicionado por el Ca en un 79%. El Ni venía condicionado por el Na y K en 78% y 70% respectivamente. El Cr por el Na, Ni, y K en un 70%, 60% y 59%, respectivamente. El Cd por el Mn en un 54%. Estas correlaciones eran directas. Finalmente, los elementos Na y Ca vienen condicionados respectivamente por el K (en un 88%) y el Mg (en un 57%). Estas correlaciones eran directas.

CORRELACIONES GLOBALES. Correlación de Pearson	pH	CE (dS.m ⁻¹)	M-Total (g.L ⁻¹)	M-NH ₄ ⁺ (g.L ⁻¹)	N-org (g.L ⁻¹)	C-Total (g.L ⁻¹)	C-Inorg (g.L ⁻¹)	COT (g.L ⁻¹)	Cd (mg.L ⁻¹)	Cr (mg.L ⁻¹)	Cu (mg.L ⁻¹)	Mn (mg.L ⁻¹)	Ni (mg.L ⁻¹)	Pb (mg.L ⁻¹)	Zn (mg.L ⁻¹)	Fe (mg.L ⁻¹)	Ca (g.L ⁻¹)	Mg (g.L ⁻¹)	Na (g.L ⁻¹)	K (g.L ⁻¹)	
pH	1																				
CE (dS.m ⁻¹)	0,083	1																			
M-Total (g.L ⁻¹)	-461(**)	.734(**)	1																		
M-NH ₄ ⁺ (g.L ⁻¹)	-0,112	.839(**)	.822(**)	1																	
N-org (g.L ⁻¹)	-656(**)	0,212	.695(**)	0,161	1																
C-Total (g.L ⁻¹)	-592(**)	.592(**)	.923(**)	.618(**)	.817(**)	1															
C-Inorg (g.L ⁻¹)	.750(**)	.513(**)	0,008	.318(*)	-.387(**)	-0,201	1														
COT (g.L ⁻¹)	-707(**)	.452(**)	.865(**)	.517(**)	.846(**)	.980(**)	-.391(**)	1													
Cd (mg.L ⁻¹)	-438(**)	0,269	.468(**)	0,118	.661(**)	.690(**)	-0,264	.701(**)	1												
Cr (mg.L ⁻¹)	.314(*)	0,264	0,264	0,153	0,264	.307(*)	.477(**)	0,192	.484(**)	1											
Cu (mg.L ⁻¹)	0,162	0,126	-0,057	-0,138	0,076	0,044	0,206	0,000	0,268	.415(**)	1										
Mn (mg.L ⁻¹)	-716(**)	0,052	.549(**)	0,04	.899(**)	.777(**)	-.547(**)	.840(**)	.732(**)	0,233	0,1	1									
Ni (mg.L ⁻¹)	0,109	.769(**)	.536(**)	.465(**)	.342(*)	.560(**)	.398(**)	.445(**)	.562(**)	.776(**)	.406(**)	0,263	1								
Pb (mg.L ⁻¹)	-0,061	.817(**)	.708(**)	.771(**)	0,253	.612(**)	0,283	.518(**)	.328(*)	.354(*)	-0,071	0,162	.605(**)	1							
Zn (mg.L ⁻¹)	0,167	.393(**)	0,113	0,099	0,07	0,237	0,245	0,173	.343(*)	.447(**)	.688(**)	0,077	.606(**)	0,283	1						
Fe (mg.L ⁻¹)	.621(**)	0,208	-.311(*)	-0,238	-0,239	-0,235	.522(**)	-.327(*)	0,128	.690(**)	.471(**)	-0,223	.536(**)	0,075	.637(**)	1					
Ca (g.L ⁻¹)	-841(**)	-0,049	.477(**)	0,039	.776(**)	.690(**)	-.668(**)	.783(**)	.659(**)	-0,013	-0,017	.889(**)	0,092	0,114	-0,061	-.420(**)	1				
Mg (g.L ⁻¹)	-667(**)	.295(*)	.634(**)	.370(*)	.631(**)	.755(**)	-.448(**)	.800(**)	.526(**)	-0,009	-0,02	.685(**)	0,274	.352(*)	-0,066	-.426(**)	.753(**)	1			
Na (g.L ⁻¹)	0,211	.824(**)	.568(**)	.552(**)	0,287	.547(**)	.509(**)	.411(**)	.508(**)	.836(**)	.356(*)	0,204	.885(**)	.610(**)	.514(**)	.492(**)	0,011	0,247	1		
K (g.L ⁻¹)	.443(**)	.839(**)	.417(**)	.558(**)	0,017	.339(*)	.683(**)	0,18	0,286	.769(**)	.316(*)	-0,086	.837(**)	.627(**)	.568(**)	.611(**)	-0,279	0,016	.937(**)	1	

Tabla 4.56. Correlaciones globales existentes en metales pesados, elementos y propiedades del lixiviado del túnel de fermentación

RECTA DE REGRESIÓN		Y = a + b.X		Coeficiente Pearson r	R ²
Y	X	a	b		
Mn [mg.L ⁻¹]	N-organico [g.L ⁻¹]	-0,040	2,709	0,899**	81%
Mn [mg.L ⁻¹]	COT [g.L ⁻¹]	-0,039	0,238	0,840**	71%
K [g.L ⁻¹]	CE [dS.m ⁻¹]	2,193	0,717	0,839**	70%
Na [g.L ⁻¹]	CE [dS.m ⁻¹]	4,806	0,334	0,824**	68%
Pb [mg.L ⁻¹]	CE [dS.m ⁻¹]	-0,425	0,035	0,817**	67%
Mg [g.L ⁻¹]	COT [g.L ⁻¹]	1,206	0,017	0,800**	64%
Ca [g.L ⁻¹]	COT [g.L ⁻¹]	-0,037	0,043	0,783**	61%
Mn [mg.L ⁻¹]	C-total [g.L ⁻¹]	-0,499	0,234	0,777**	60%
Ca [g.L ⁻¹]	N-organico [g.L ⁻¹]	-0,007	0,451	0,776**	60%
Pb [mg.L ⁻¹]	N-NH ₄ ⁺ [g.L ⁻¹]	-0,127	0,401	0,771**	59%
Ni [mg.L ⁻¹]	CE [dS.m ⁻¹]	0,284	0,034	0,769**	59%
Mg [g.L ⁻¹]	C-total [g.L ⁻¹]	1,170	0,017	0,755**	57%
Pb [mg.L ⁻¹]	N-total [g.L ⁻¹]	-0,117	0,268	0,708**	50%
Cd [mg.L ⁻¹]	COT [g.L ⁻¹]	0,011	0,003	0,701**	49%
Ca [g.L ⁻¹]	C-total [g.L ⁻¹]	-0,097	0,040	0,690**	48%
Cd [mg.L ⁻¹]	C-total [g.L ⁻¹]	0,002	0,003	0,690**	48%
K [g.L ⁻¹]	C-inorganico [g.L ⁻¹]	13,806	4,216	0,683**	47%
Cd [mg.L ⁻¹]	N-organico [g.L ⁻¹]	0,014	0,031	0,661**	44%
Mg [g.L ⁻¹]	N-total [g.L ⁻¹]	1,155	0,081	0,634**	40%
Mg [g.L ⁻¹]	N-organico [g.L ⁻¹]	1,247	0,139	0,631**	40%
Fe [mg.L ⁻¹]	pH	-91,775	14,659	0,621**	39%
Pb [mg.L ⁻¹]	C-total [g.L ⁻¹]	0,105	0,040	0,612**	37%
Na [g.L ⁻¹]	N-total [g.L ⁻¹]	9,145	2,066	0,568**	32%
Ni [mg.L ⁻¹]	C-total [g.L ⁻¹]	0,816	0,038	0,560**	31%
K [g.L ⁻¹]	N-NH ₄ ⁺ [g.L ⁻¹]	12,613	5,871	0,558**	31%
Na [g.L ⁻¹]	N-NH ₄ ⁺ [g.L ⁻¹]	9,638	2,759	0,552**	30%
Mn [mg.L ⁻¹]	N-total [g.L ⁻¹]	-0,255	0,955	0,549**	30%
Na [g.L ⁻¹]	C-total [g.L ⁻¹]	10,459	0,345	0,547**	30%
Ni [mg.L ⁻¹]	N-total [g.L ⁻¹]	0,715	0,211	0,536**	29%
Fe [mg.L ⁻¹]	C-inorganico [g.L ⁻¹]	11,562	6,981	0,522**	27%
Cr [mg.L ⁻¹]	CE [dS.m ⁻¹]	0,138	0,006	0,518**	27%
Pb [mg.L ⁻¹]	COT [g.L ⁻¹]	0,267	0,032	0,518**	27%
Na [g.L ⁻¹]	C-inorganico [g.L ⁻¹]	11,233	1,493	0,509**	26%
Ca [g.L ⁻¹]	N-total [g.L ⁻¹]	-0,045	0,160	0,477**	23%
Cr [mg.L ⁻¹]	C-inorganico [g.L ⁻¹]	0,226	0,040	0,477**	23%
Cd [mg.L ⁻¹]	N-total [g.L ⁻¹]	0,007	0,013	0,468**	22%
Ni [mg.L ⁻¹]	N-NH ₄ ⁺ [g.L ⁻¹]	0,818	0,251	0,465**	22%
Ni [mg.L ⁻¹]	COT [g.L ⁻¹]	0,986	0,028	0,445**	20%
K [g.L ⁻¹]	pH	-16,147	4,825	0,443**	20%
K [g.L ⁻¹]	N-total [g.L ⁻¹]	14,627	3,190	0,417**	17%
Na [g.L ⁻¹]	COT [g.L ⁻¹]	12,131	0,244	0,411**	17%
Ni [mg.L ⁻¹]	C-inorganico [g.L ⁻¹]	0,984	0,126	0,398**	16%
Zn [mg.L ⁻¹]	CE [dS.m ⁻¹]	-0,249	0,147	0,393**	15%
Cd [mg.L ⁻¹]	pH	0,177	-0,017	-0,438**	19%
Mg [g.L ⁻¹]	C-inorganico [g.L ⁻¹]	1,457	-0,046	-0,448**	20%
Mn [mg.L ⁻¹]	C-inorganico [g.L ⁻¹]	3,793	-0,767	-0,547**	30%
Mg [g.L ⁻¹]	pH	2,334	-0,121	-0,667**	44%
Ca [g.L ⁻¹]	C-inorganico [g.L ⁻¹]	0,743	-0,181	-0,668**	45%
Mn [mg.L ⁻¹]	pH	16,446	-1,772	-0,716**	51%
Ca [g.L ⁻¹]	pH	3,594	-0,401	-0,841**	71%

Tabla 4.57. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales y/o elementos y diferentes propiedades. Coeficiente de correlación de Pearson r. Valor R² en lixiviado del túnel de fermentación durante quince días. **Probabilidad del 99%

RECTA DE REGRESIÓN		Y = a + b.X		Coeficiente Pearson r	R ²
Y	X	a	b		
Mg [g.L ⁻¹]	N-NH ₄ ⁺ [g.L ⁻¹]	1,249	0,065	0,370*	14%
Ni [mg.L ⁻¹]	N-organico [g.L ⁻¹]	1,060	0,233	0,342*	12%
K [g.L ⁻¹]	C-total [g.L ⁻¹]	17,605	0,450	0,339*	11%
Cr [mg.L ⁻¹]	pH	-0,067	0,047	0,314*	10%
Cr [mg.L ⁻¹]	C-total [g.L ⁻¹]	0,248	0,006	0,307*	9%
Mg [g.L ⁻¹]	CE [dS.m ⁻¹]	1,240	0,004	0,295*	9%
Fe [mg.L ⁻¹]	N-total [g.L ⁻¹]	39,436	-5,159	-0,311*	10%
Fe [mg.L ⁻¹]	COT [g.L ⁻¹]	34,527	-0,883	-0,327*	33%

Tabla 4.58. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales pesados y/o elementos y diferentes propiedades. Coeficiente de correlación de Pearson r. Valor R² en lixiviado del túnel de fermentación durante quince días. **Probabilidad del 95%

RECTA DE REGRESIÓN		Y = a + b.X		Coeficiente Pearson r	R ²
Y	X	a	b		
Cu [mg.L ⁻¹]	Na [g.L ⁻¹]	-1,619	0,351	0,356*	13%
Cr [mg.L ⁻¹]	Pb [mg.L ⁻¹]	0,257	0,098	0,354*	13%
Pb [mg.L ⁻¹]	Mg [g.L ⁻¹]	-0,861	1,047	0,352*	18%
Cd [mg.L ⁻¹]	Zn [mg.L ⁻¹]	0,029	0,003	0,343*	12%
Cd [mg.L ⁻¹]	Pb [mg.L ⁻¹]	0,026	0,024	0,328*	11%
Cu [mg.L ⁻¹]	K [g.L ⁻¹]	0,066	0,148	0,316*	10%

Tabla 4.59. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales pesados. Coeficiente de correlación de Pearson r. Valor R² en lixiviado del túnel de fermentación durante quince días. **Probabilidad del 95%

RECTA DE REGRESIÓN		Y= a + b.X		Coeficiente Pearson r	R ²
Y	X	a	b		
Na [g.L ⁻¹]	K [g.L ⁻¹]	4,269	0,445	0,937**	88%
Mn [mg.L ⁻¹]	Ca [g.L ⁻¹]	0,507	4,610	0,889**	79%
Ni [mg.L ⁻¹]	Na [g.L ⁻¹]	-0,125	0,096	0,885**	78%
Ni [mg.L ⁻¹]	K [g.L ⁻¹]	0,275	0,043	0,837**	70%
Cr [mg.L ⁻¹]	Na [g.L ⁻¹]	-0,036	0,024	0,836**	70%
Cr [mg.L ⁻¹]	Ni [mg.L ⁻¹]	0,052	0,208	0,776**	60%
Cr [mg.L ⁻¹]	K [g.L ⁻¹]	0,072	0,011	0,769**	59%
Ca [g.L ⁻¹]	Mg [g.L ⁻¹]	-2,336	1,983	0,753**	57%
Cd [mg.L ⁻¹]	Mn [mg.L ⁻¹]	0,015	0,011	0,732**	54%
Cr [mg.L ⁻¹]	Fe [mg.L ⁻¹]	0,197	0,004	0,690**	48%
Cu [mg.L ⁻¹]	Zn [mg.L ⁻¹]	0,519	0,736	0,688**	47%
Mn [mg.L ⁻¹]	Mg [g.L ⁻¹]	-10,562	9,361	0,685**	47%
Cd [mg.L ⁻¹]	Ca [g.L ⁻¹]	0,020	0,054	0,659**	43%
Zn [mg.L ⁻¹]	Fe [mg.L ⁻¹]	0,569	0,128	0,637**	41%
Pb [mg.L ⁻¹]	K [g.L ⁻¹]	-0,142	0,031	0,627**	39%
Fe [mg.L ⁻¹]	K [g.L ⁻¹]	-3,733	1,323	0,611**	37%
Pb [mg.L ⁻¹]	Na [g.L ⁻¹]	-0,350	0,063	0,610**	37%
Ni [mg.L ⁻¹]	Zn [mg.L ⁻¹]	0,969	0,071	0,606**	37%
Ni [mg.L ⁻¹]	Pb [mg.L ⁻¹]	0,897	0,627	0,605**	37%
Zn [mg.L ⁻¹]	K [g.L ⁻¹]	-1,693	0,248	0,568**	32%
Cd [mg.L ⁻¹]	Ni [mg.L ⁻¹]	-0,009	0,039	0,562**	32%
Ni [mg.L ⁻¹]	Fe [mg.L ⁻¹]	0,915	0,013	0,536**	29%
Cd [mg.L ⁻¹]	Mg [g.L ⁻¹]	-0,113	0,113	0,526**	28%
Zn [mg.L ⁻¹]	Na [g.L ⁻¹]	-2,847	0,472	0,514**	26%
Cd [mg.L ⁻¹]	Na [mg.L ⁻¹]	-0,015	0,004	0,508**	26%
Fe [mg.L ⁻¹]	Na [g.L ⁻¹]	-5,977	2,245	0,492**	24%
Cd [mg.L ⁻¹]	Cr [mg.L ⁻¹]	0,000	0,126	0,484**	23%
Cu [mg.L ⁻¹]	Fe [mg.L ⁻¹]	0,750	0,102	0,471**	22%
Cr [mg.L ⁻¹]	Zn [mg.L ⁻¹]	0,256	0,014	0,447**	20%
Cr [mg.L ⁻¹]	Cu [mg.L ⁻¹]	0,270	0,012	0,415**	17%
Cu [mg.L ⁻¹]	Ni [mg.L ⁻¹]	-1,203	3,704	0,406**	16%
Fe [mg.L ⁻¹]	Ca [g.L ⁻¹]	33,822	-20,752	-0,420**	18%
Fe [mg.L ⁻¹]	Mg [g.L ⁻¹]	101,857	-55,523	-0,426**	18%

Tabla 4.60. Coeficientes de correlación a y b de la recta de regresión entre metales pesados, elementos o ambos. Coeficiente de correlación de Pearson r. Valor R² en lixiviado del túnel de fermentación durante quince días. **Probabilidad del 99%

En los gráficos adjuntos se representan las rectas de regresión de los parámetros que tienen una muy buena relación

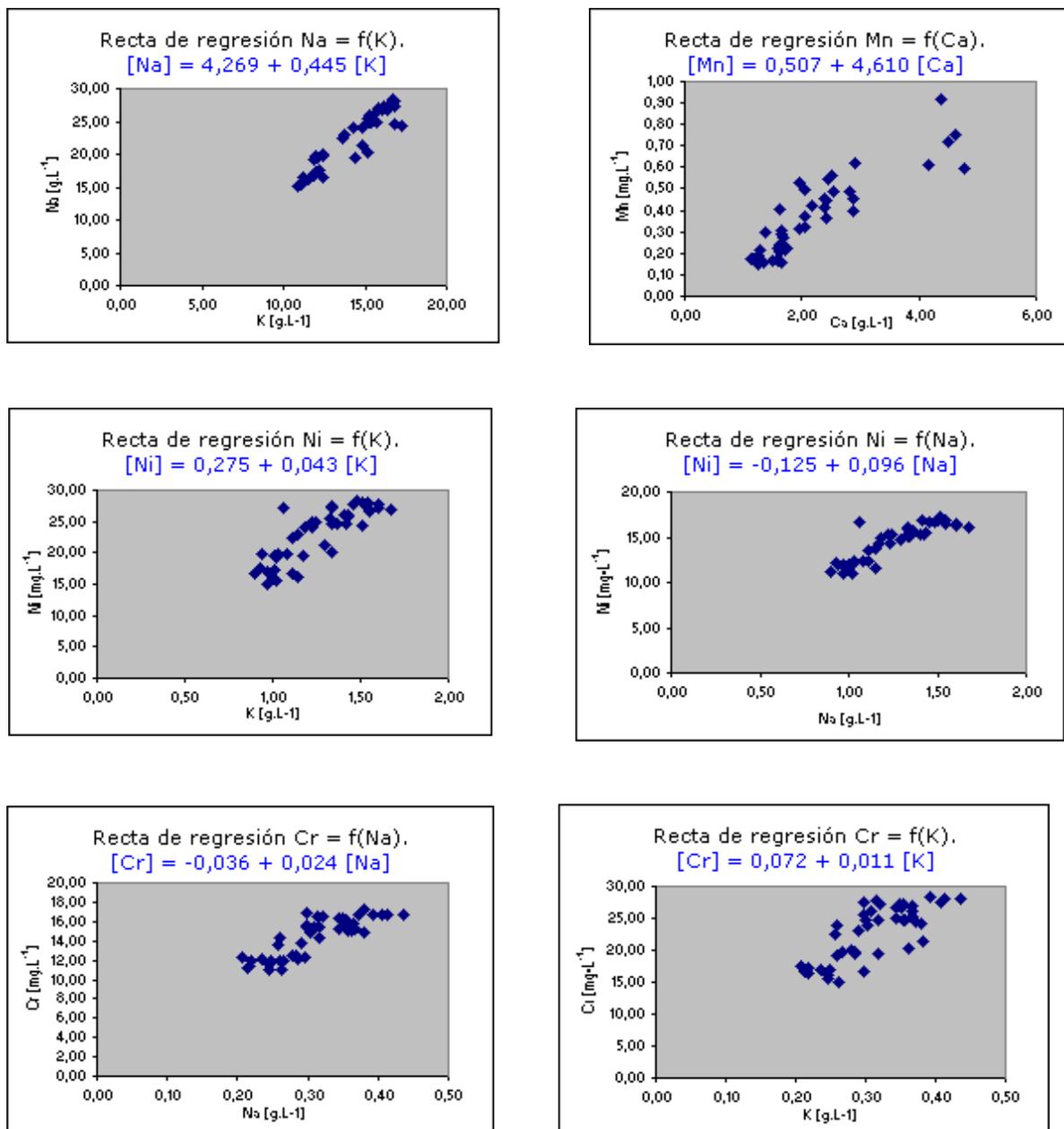


Figura 4.20. Rectas de regresión $Na = f(K)$, $Mn = f(Ca)$, $Ni = f(K)$, $Ni = f(Na)$, $Cr = f(Na)$ y $Cr=f(K)$

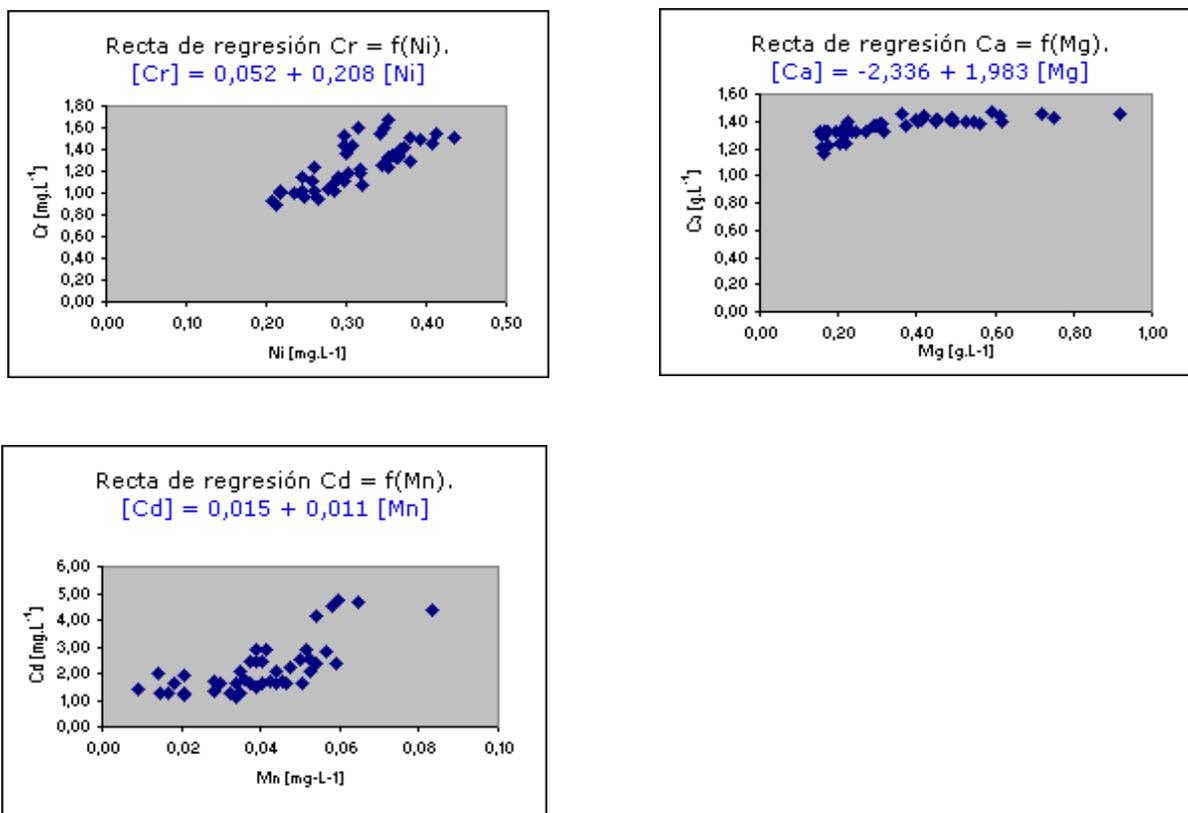


Figura 4.21. Rectas de regresión Cr = f(Ni), Ca = f(Mg) y Cd = f(Mn)

4.2.3.- MATERIAL BIOESTABILIZADO FINAL

Con los resultados obtenidos se establecieron los gráficos adjuntos que, en líneas generales, no muestran diferencias muy significativas en cuanto al contenido en metales en el material bioestabilizado final para los dos casos estudiados: **CFRULi** y **CFRUAI**. En cualquier caso, aún no siendo muy significativas estas diferencias, el contenido en metales siempre era mayor en **CFRULi** que en **CFRUAI**, excepto en el caso del Pb y del Fe. Además, hubo a lo largo de la investigación algunas excepciones adicionales que contradicen este comportamiento general o tendencia. En particular:

- En la réplica A00062 el Cu (mayor contenido en **CFRUIi** que en **CFRULi**) y Fe (menor contenido en **CFRUIi** que en **CFRULi**)
- En la réplica A00063 el Pb (menos contenido en **CFRUIi** que en **CFRULi**)
- En la réplica A00064 el Cr (mayor contenido en **CFRUIi** que en **CFRULi**)

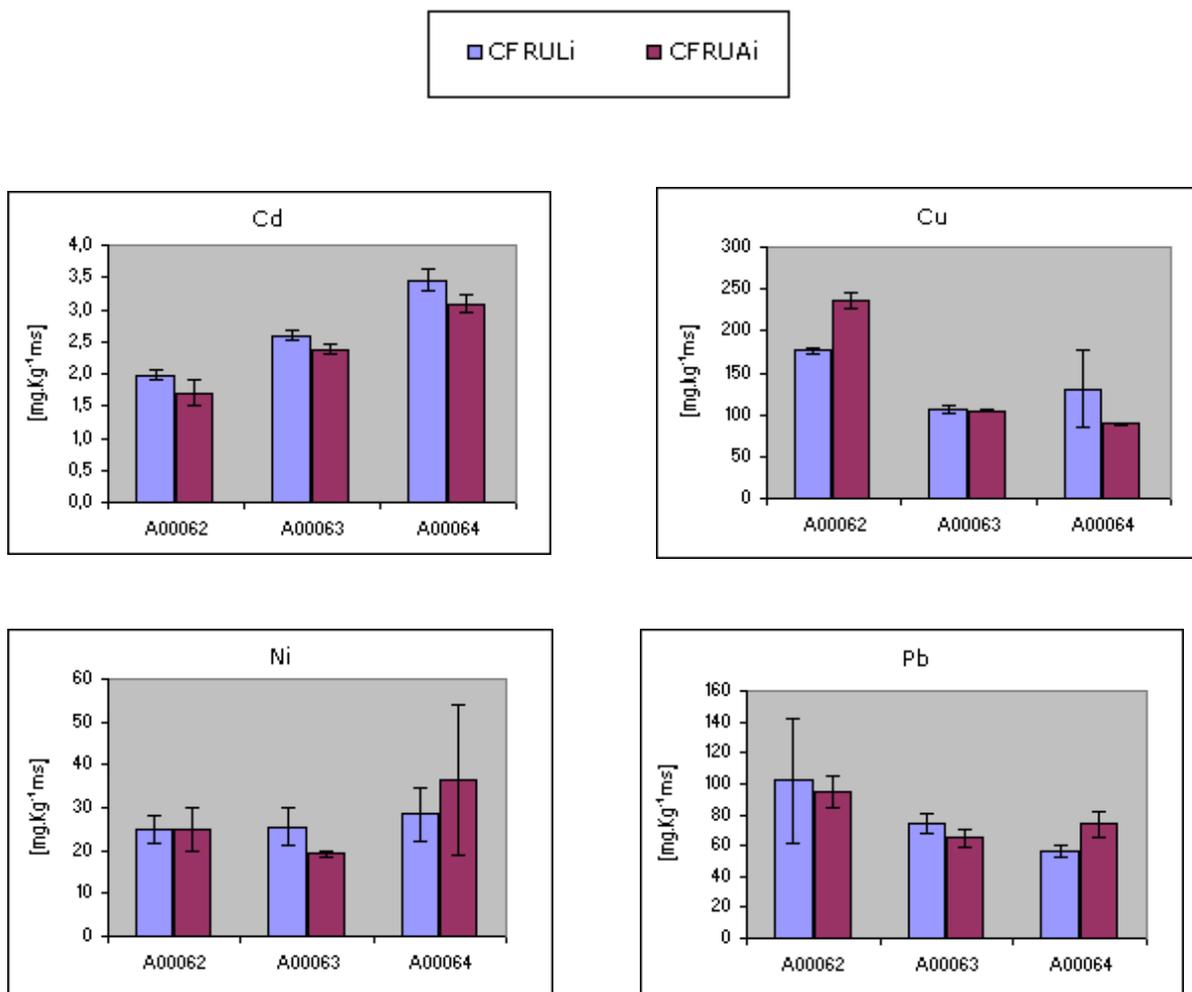


Figura 4.22. Metales pesados Cd, Cu, Ni y Pb en el material bioestabilizado final CFRULi y CFRUIi. Réplicas A00062, A00063 y A00064

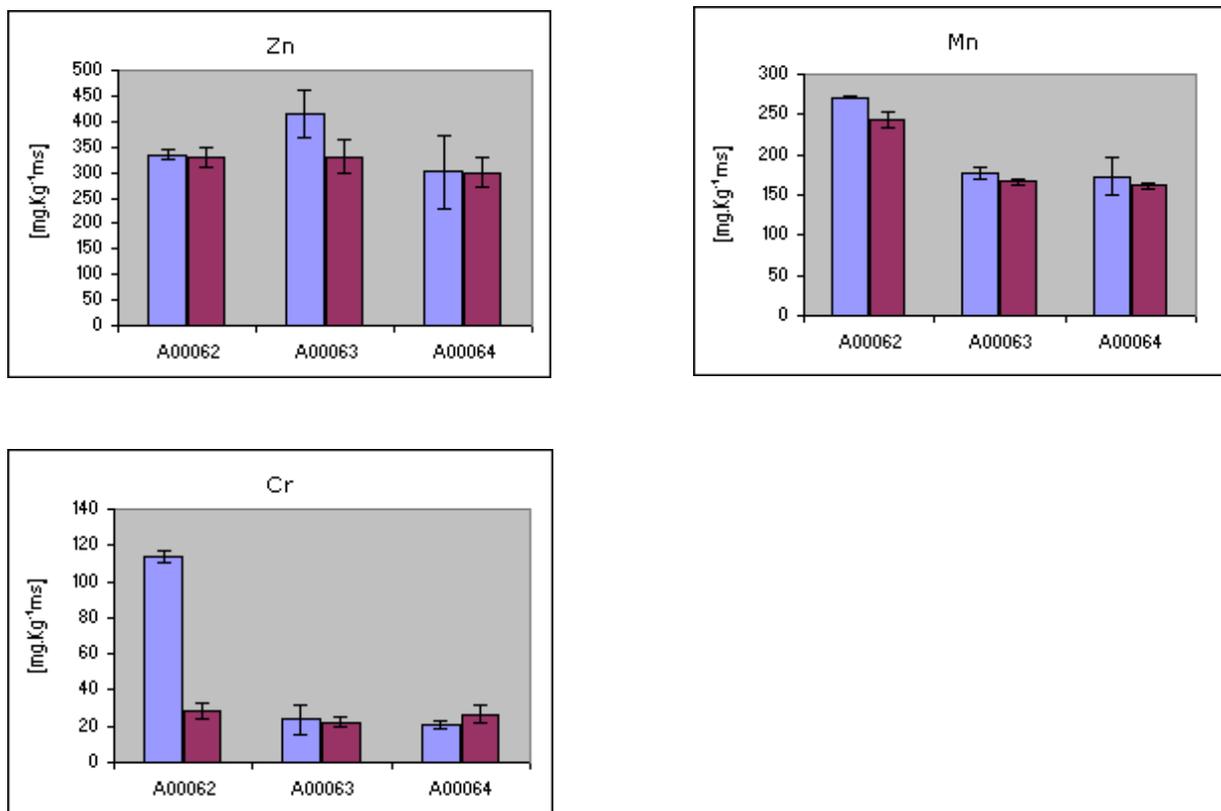


Figura 4.23. Metales pesados Zn, Mn y Cr en el material bioestabilizado final CFRULi y CFRUAI. Réplicas A00062, A00063 y A00064

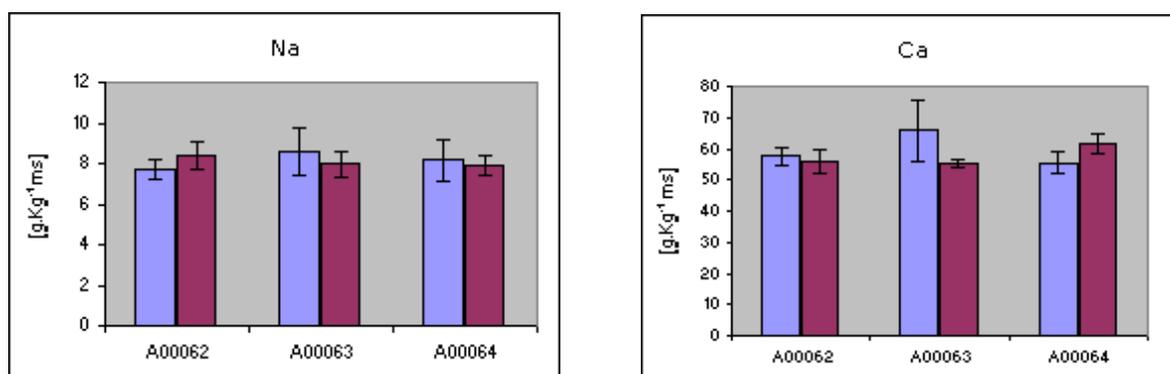


Figura 4.24. Elementos Na y Ca en el material bioestabilizado final CFRULi y CFRUAI. Réplicas A00062, A00063 y A00064

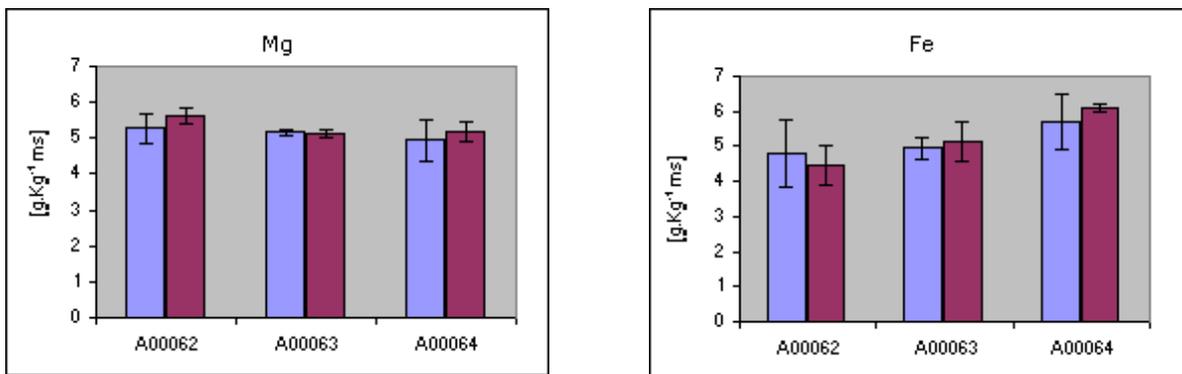


Figura 4.25. Elementos Mg y Fe en el material bioestabilizado final CFRULi y CFRUAI. Réplicas A00062, A00063 y A00064

En resumen, como se recoge en la tabla 4.61, con los 8 metales analizados en las muestras de material bioestabilizado **CFRUAI** y **CFRULI**, correspondiente a las réplicas A00062, A00063 y A00064, en 18 ocasiones la presencia de algún metal era inferior en el **CFRAI** que en el **CFRULI** y en 6 era superior [una el Cu (réplica A00062), dos el Pb (réplica A00062, A00064), una el Cr (réplica A00064) y dos el Fe (réplica A00063, A00064)].

Reducción de metales			
Metal	A00062	A00063	A00064
Cd	13,90%	8,42%	10,73%
Cu	-33,49%	1,67%	31,64%
Ni	0,41%	25,14%	2,93%
Pb	-16,15%	12,00%	-31,36%
Zn	1,27%	20,33%	0,47%
Cr	75,06%	5,11%	-27,78%
Fe	7,30%	-4,04%	-7,04%
Mn	10,24%	5,55%	6,87%
MEDIA*	13,52%	11,17%	10,53%

*En el cálculo de la media, a los valores negativos le asignamos una reducción cero.

Tabla 4.61. Reducción de metales en el material bioestabilizado final aplicando riego con agua industrial, en lugar de regar con lixiviado.

La presencia de metales en el material bioestabilizado final de las réplicas realizadas era menor, con carácter general, en el medio cordón de residuo fermentado regado durante la fase de maduración con agua industrial frente al regado con lixiviado.

La reducción de metales observada era muy variada, oscilando entre el 1,27% (Zn. Réplica A00062) y el 75,06% (Cr. Réplica A00062). Los valores medios asignados fueron un 13,52% en la réplica A00062, un 11,17% en la réplica A00063 y un 10,53% en la réplica A00064. La presencia de una reducción negativa (incremento de metales por riego con agua industrial) carece de valor científico alguno siendo su interpretación más razonable una "contaminación" de la muestra en su recogida (a nuestros efectos le asignamos un valor de 0%). Ver tabla 4.61.

Con la finalidad de observar el posible grado de correlación existente entre los parámetros analizados en el material bioestabilizado final **CFRULi** y **CFRUAI** en las tres réplicas A00062, A00063 y A00064 se sometieron los resultados a un análisis ANOVA introduciendo dos factores fijos: la réplica de **RSU** con tres niveles (réplica A00062, A00063 y A00064) y el tratamiento con dos niveles (regado con agua industrial y regado con lixiviado).

Posteriormente se analizó el grado de correlación bivariada. Mediante el análisis en cuestión se obtuvo el coeficiente de Pearson que nos mide el grado de correlación entre dos variables.

Se observó la correlación existente entre ciertas propiedades del material bioestabilizado y la presencia de metales pesados, con una probabilidad del 99% era relevante. Así, la CE viene condicionada por el Mn (en un 83%) y el Cu (en un 69%). El C-total por el N-nítrico y el Cu (en un 71% y 57% respectivamente). El N-nítrico por el Cu (en 60%). Estas correlaciones son directas.

También se observó, con un 99% de probabilidad, la dependencia del pH con la CE, Mn, Cr y Cu (en un 90%, 84%, 60% y 56% respectivamente). El N-total y el Cr (en un 62%). El P-total y el N-total (en 61%). Estas correlaciones son inversas.

Por último, había también una gran correlación entre ciertos metales pesados. Con un 99% de probabilidad, la mayor o menor presencia de Cu, Cr y Cd en el material bioestabilizado final vendría condicionado por la de Mn en un 70%, 61% y 57% respectivamente. Las dos primeras eran directas. La última inversa.

CORRELACIONES GLOBALES. Correlación de Pearson	pH	CE (ds.m ⁻¹)	P-total (g.kg ⁻¹)	P-inorg (g.kg ⁻¹)	C-total (z)	M-total (z)	M-NH ₄ ⁺ (mg.kg ⁻¹)	M-nitró (mg.kg ⁻¹)	FD (g.kg ⁻¹)	MA (mg.kg ⁻¹)	CA (g.kg ⁻¹)	MG (g.kg ⁻¹)	K (g.kg ⁻¹)	MA (g.kg ⁻¹)	CD (mg.kg ⁻¹)	CO (mg.kg ⁻¹)	CO (mg.kg ⁻¹)	MI (mg.kg ⁻¹)	PH (mg.kg ⁻¹)	ZA (mg.kg ⁻¹)	
pH	1																				
CE (ds.m ⁻¹)	-.946(**)	1																			
P-total (g.kg ⁻¹)	-0.416	0.286	1																		
P-inorg (g.kg ⁻¹)	-.697(**)	.626(**)	0.313	1																	
C-total (z)	-0.339	0.445	-.530(**)	C.234	1																
M-total (z)	0.347	-C.214	-.784(**)	-0.403	.564(**)	1															
M-NH ₄ ⁺ (mg.kg ⁻¹)	-.508(**)	C.44	-0.238	0.291	.486(**)	0.347	1														
M-nitró (mg.kg ⁻¹)	-0.438	.444(**)	-0.336	C.464	.841(**)	0.43	.606(**)	1													
FD (g.kg ⁻¹)	0.29	-0.382	0.213	-.573(**)	-0.46	0.223	-0.067	-.492(**)	1												
MA (mg.kg ⁻¹)	-.914(**)	.913(**)	0.268	.693(**)	0.375	-0.342	0.374	.489(**)	-.487(**)	1											
CA (g.kg ⁻¹)	0.213	-C.182	0.218	-0.427	-0.384	-C.22	-.611(**)	-C.39	0.082	-C.15	1										
MG (g.kg ⁻¹)	-0.432	.507(**)	-0.148	C.038	0.217	0.256	0.301	C.44	-0.107	.512(**)	0.135	1									
K (g.kg ⁻¹)	0.107	-0.045	-.629(**)	-C.189	0.175	0.437	0.419	0.2	-0.004	C.114	-0.217	0.482	1								
MA (g.kg ⁻¹)	0.131	-0.047	-0.22	-0.056	0.171	0.355	-0.189	C.162	0.17	0.018	0.104	0.343	0.284	1							
CD (mg.kg ⁻¹)	.547(**)	-.564(**)	0.185	-.606(**)	-0.323	0.091	-0.386	-.634(**)	.683(**)	-.767(**)	0.153	-.546(**)	-C.392	-0.066	1						
CO (mg.kg ⁻¹)	-.773(**)	.697(**)	.614(**)	.578(**)	-0.17	-.787(**)	0.123	-0.062	-0.257	.763(**)	-0.041	0.13	-0.117	-0.276	-0.146	1					
CO (mg.kg ⁻¹)	-.746(**)	.829(**)	-0.131	.532(**)	.752(**)	0.186	.532(**)	.774(**)	-.496(**)	.835(**)	-0.286	.633(**)	0.27	0.191	-.695(**)	0.31	1				
MI (mg.kg ⁻¹)	0.034	0.022	0.113	-0.375	-0.037	0.101	-0.124	-0.213	0.327	-0.134	0.227	-0.16	-0.3	-0.066	0.308	-0.059	-0.114	1			
PH (mg.kg ⁻¹)	-.652(**)	.654(**)	0.373	.619(**)	0.126	-0.222	0.19	0.334	-.529(**)	.699(**)	0.019	0.214	-C.057	-0.031	-.608(**)	.581(**)	.545(**)	0.033	1		
ZA (mg.kg ⁻¹)	0.215	-C.108	0.018	C.002	-0.13	-0.136	-.666(**)	-0.153	-0.271	0.051	0.348	0.232	0.028	.491(**)	-0.235	-0.039	0.043	-C.032	0.121	1	

Tabla 4.62. Correlaciones globales existentes en metales pesados, elementos y propiedades en e material bioestabilizado final.

Y	X	Coefficiente Pearson r	R ²
CE	Mn	0,913*	83%
C-total	N-nítrico	0,841*	71%
Mn	Cu	0,835*	70%
CE	Cu	0,829*	69%
Mn	Cr	0,783*	61%
N-Nítrico	Cu	0,774*	60%
C-total	Cu	0,752*	57%
Mn	Pb	0,699*	49%
CE	Cr	0,697*	49%
P-inorgánico	Mn	0,689*	47%
Fe	Cd	0,683*	47%
CE	Pb	0,654*	43%
P-inorgánico	Pb	0,649*	42%
Mg	Cu	0,633*	40%
CE	P-inorgánico	0,626*	39%
P-total	Cr	0,614*	38%
N-NH ₄ ⁺	N-nítrico	0,606*	37%
Cr	Pb	0,581*	34%
P-inorgánico	Cr	0,578*	33%
C-total	N-total	0,564*	32%
pH	Cd	0,547*	30%
Cu	Pb	0,545*	30%
P-inorgánico	Cu	0,532*	28%
N-NH ₄ ⁺	Cu	0,532*	28%
Mn	Mg	0,512*	26%
CE	Mg	0,507*	26%
Na	Zn	0,491*	24%
N-Nítrico	Mn	0,489*	24%
C-total	N-NH ₄ ⁺	0,486*	24%
CE	N-nítrico	0,484*	23%
Fe	Mn	-0,487**	24%
N-Nítrico	Fe	-0,492**	24%
Fe	Cu	-0,498**	25%
pH	N-NH ₄ ⁺	-0,508**	26%
P-total	K	-0,529**	28%
Fe	Pb	-0,529**	28%
P-total	C-total	-0,530**	28%
Mg	Cd	-0,546**	30%
CE	Cd	-0,564**	32%
P-inorgánico	Fe	-0,573**	33%
N-Nítrico	Cd	-0,594**	35%
P-inorgánico	Cd	-0,606**	37%
Cd	Pb	-0,608**	37%
N-NH ₄ ⁺	Ca	-0,611**	37%
pH	Pb	-0,652**	43%
N-NH ₄ ⁺	Zn	-0,666**	44%
Cd	Cu	-0,695**	48%
pH	P-inorgánico	-0,697**	49%
pH	Cu	-0,746**	56%
Mn	Cd	-0,757**	57%
pH	Cr	-0,773**	60%
P-total	N-total	-0,784**	61%
N-total	Cr	-0,787**	62%
pH	Mn	-0,914**	84%
pH	CE	-0,948**	90%

Tabla 4.63. Coeficiente de correlación de Pearson r entre metales pesados y/o elementos y diferentes propiedades. Valor R² en material bioestabilizado final. **Probabilidad del 99%. * Probabilidad del 95%

RECTA DE REGRESIÓN		Y = a + b.X		Coeficiente Pearson r	R ²
Y	X	a	b		
Cu [mg.kg ⁻¹]	Mn [mg.kg ⁻¹]	-62,770	1,021	0,835**	70%
Cr [mg.kg ⁻¹]	Mn [mg.kg ⁻¹]	-81,429	0,607	0,783**	61%
Pb [mg.kg ⁻¹]	Mn [mg.kg ⁻¹]	11,812	0,330	0,699**	49%
Cd [mg.kg ⁻¹]	Fe [g.kg ⁻¹]	-0,528	0,590	0,683**	47%
Cu [mg.kg ⁻¹]	Mg [g.kg ⁻¹]	-420,587	107,618	0,633**	40%
Cr [mg.kg ⁻¹]	Pb [mg.kg ⁻¹]	-34,613	0,954	0,581*	34%
Cu [mg.kg ⁻¹]	Pb [mg.kg ⁻¹]	31,142	1,409	0,545*	30%
Zn [mg.kg ⁻¹]	Na [g.kg ⁻¹]	37,251	36,685	0,491*	24%
Cd [mg.kg ⁻¹]	Mn [mg.kg ⁻¹]	4,664	-0,011	-0,757**	57%
Cd [mg.kg ⁻¹]	Cu [mg.kg ⁻¹]	3,663	-0,008	-0,695**	48%
Cd [mg.kg ⁻¹]	Pb [mg.kg ⁻¹]	3,944	-0,018	-0,608**	37%
Cd [mg.kg ⁻¹]	Mg [g.kg ⁻¹]	8,125	-1,072	-0,546*	30%
Pb [mg.kg ⁻¹]	Fe [g.kg ⁻¹]	156,920	-15,287	-0,529*	28%
Cu [mg.kg ⁻¹]	Fe [g.kg ⁻¹]	333,301	-37,149	-0,498*	25%

Tabla 4.64. Coeficiente a y b de la recta de regresión entre metales pesados y/o elementos en el material bioestabilizado final. Correlación de Pearson r. Valor R² . **Probabilidad del 99%. * Probabilidad del 95%.

En los gráficos adjuntos se representan las rectas de regresión de los parámetros que tienen una muy buena relación

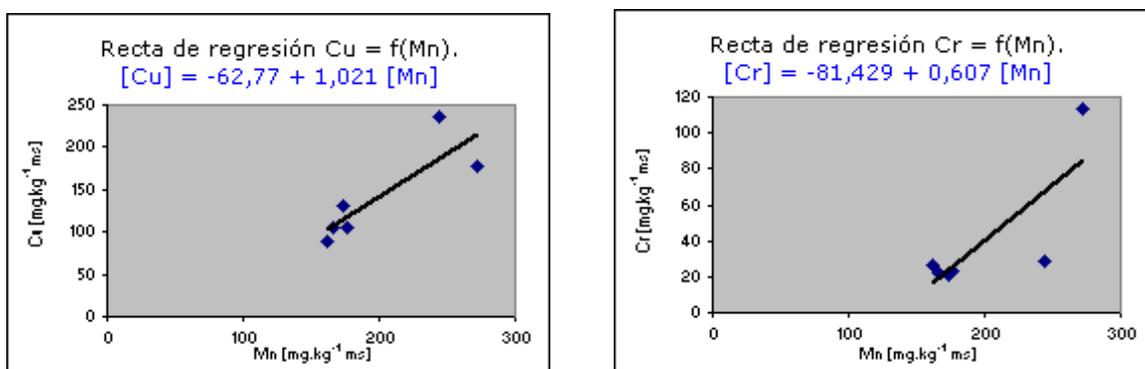


Figura 4.26. Rectas de regresión Cu = f(Mn), Cr = f(Mn)

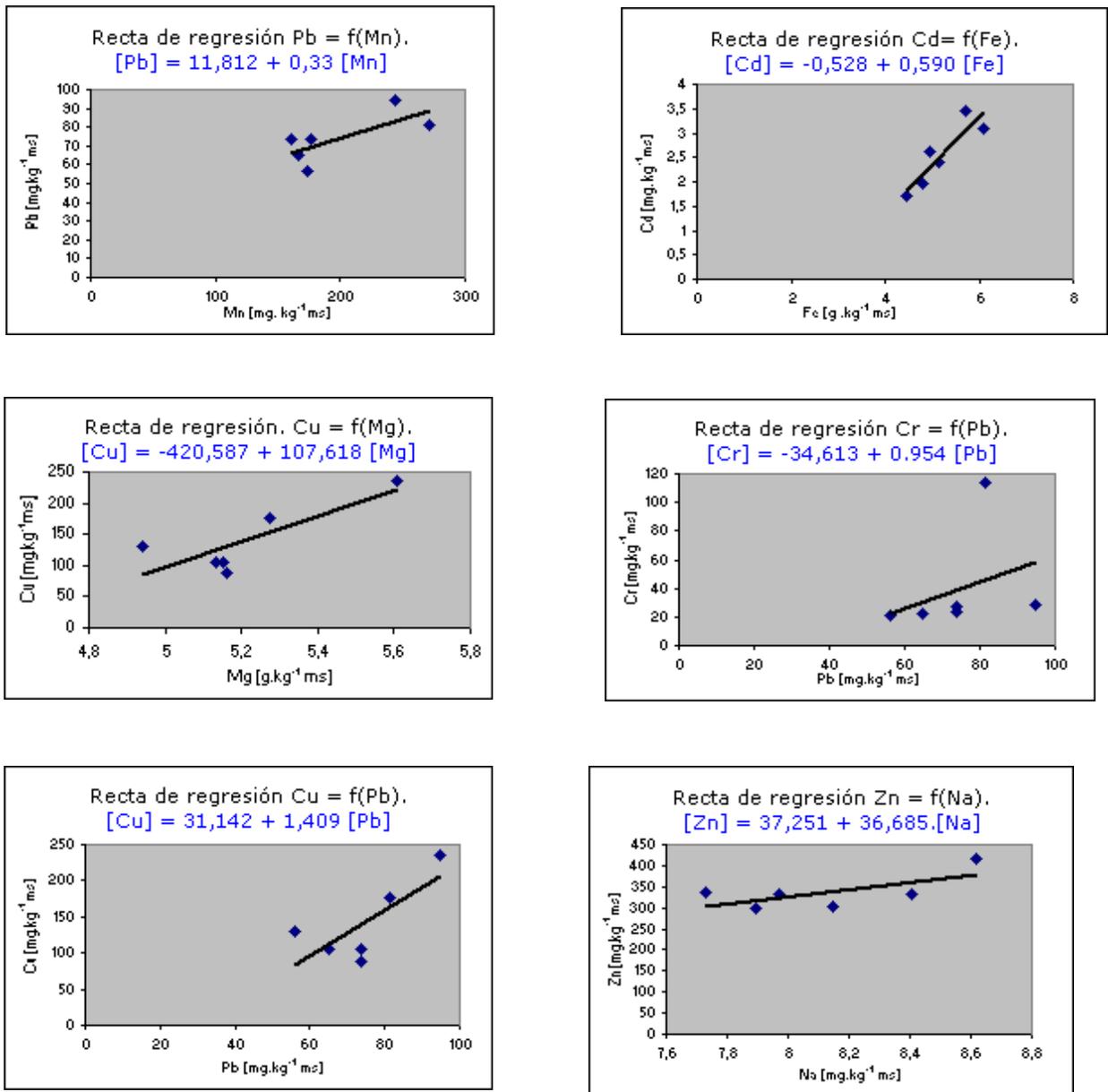


Figura 4.27. Rectas de regresión $Pb = f(Mn)$, $Cd = f(Fe)$, $Cu = f(Mg)$, $Cr = f(Pb)$, $Cu = f(Pb)$, $Zn = f(Na)$

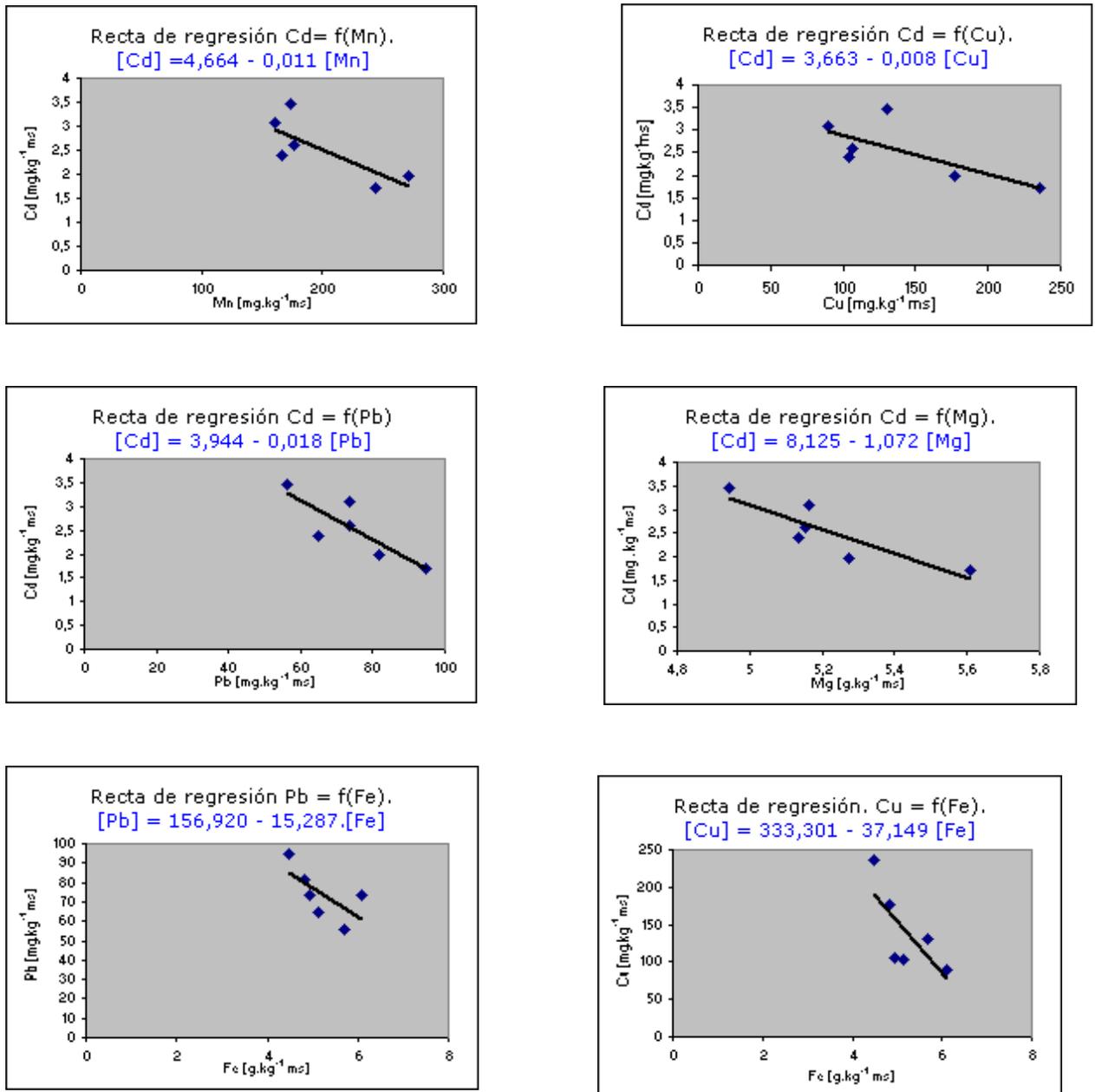


Figura 4.28. Rectas de regresión Cd = f(Mn), Cd = f(Cu), Cd = f(Pb), Cd = f(Mg), Pb = f(Fe), Cu = f(Fe)

4.2.4.- LIXIVIADOS TRATADOS EN UN MBR

MBR SIN DECANTACIÓN

Con los resultados obtenidos se establecieron los gráficos adjuntos que nos permiten deducir y discutir aspectos que pueden ser interesantes.

Es destacable que los rendimientos obtenidos, en líneas generales son muy altos y en casi todos los casos congruentes. La experiencia que ha dado unos valores que pudieran conducir a una más precisa interpretación son los correspondientes a las pruebas realizadas con 75% **P2** y 25% **P3**.

PRUEBAS CON LIXIVIADO 100% P2.

Tratamiento: MBR sin decantación

FECHA DE RECOGIDA MUESTRA
M11 = 21-nov-11 (9:00)
M12 = 21-nov-11 (14:00)
M13 = 23-nov-11 (9:00)
M14 = 23-nov-11 (14:00)
M15 = 25-nov-11 (9:00)
M16 = 25-nov-11 (14:00)

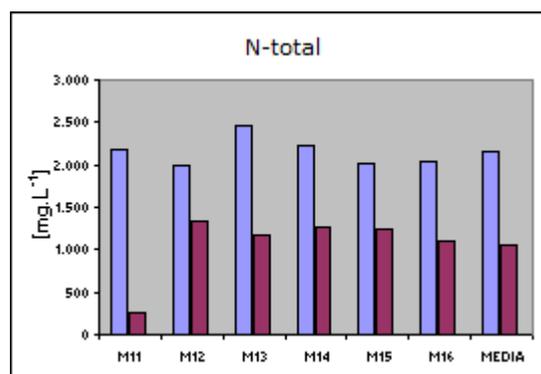
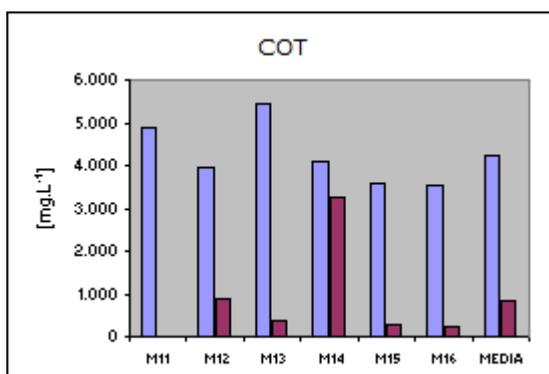
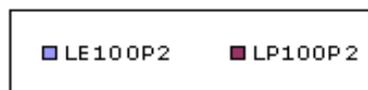


Figura 4.29. COT y N-total en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

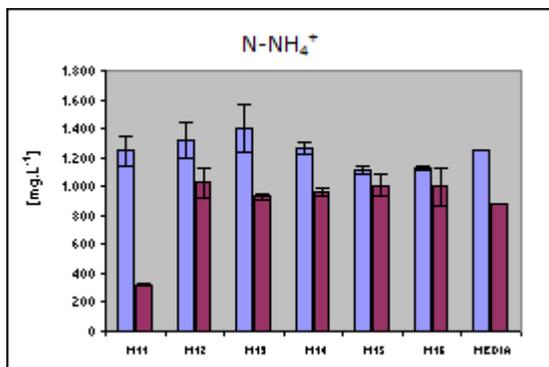


Figura 4.30. N-NH₄⁺ en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes

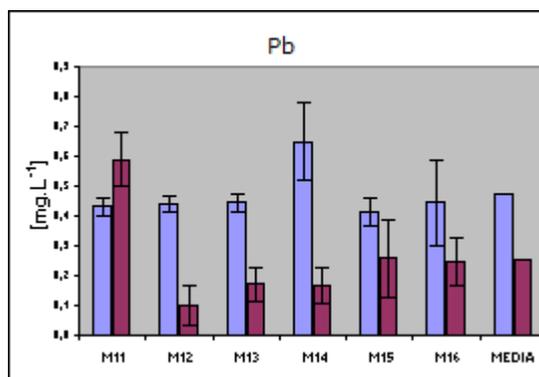
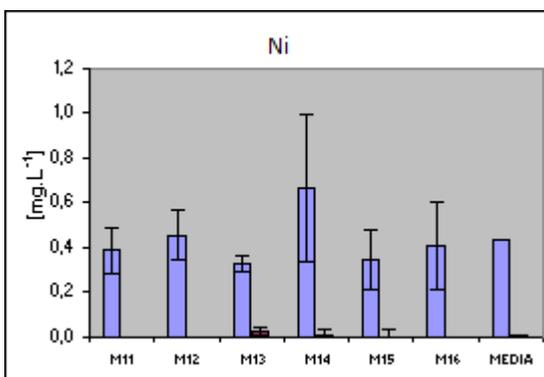
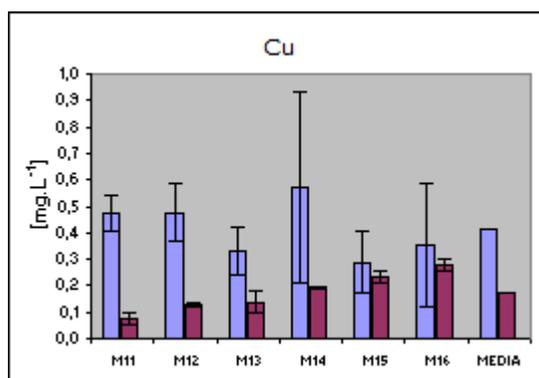
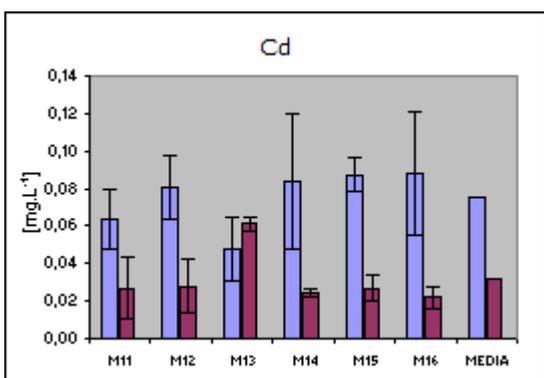


Figura 4.31. Metales Pesados Cd, Cu, Ni y Pb en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes

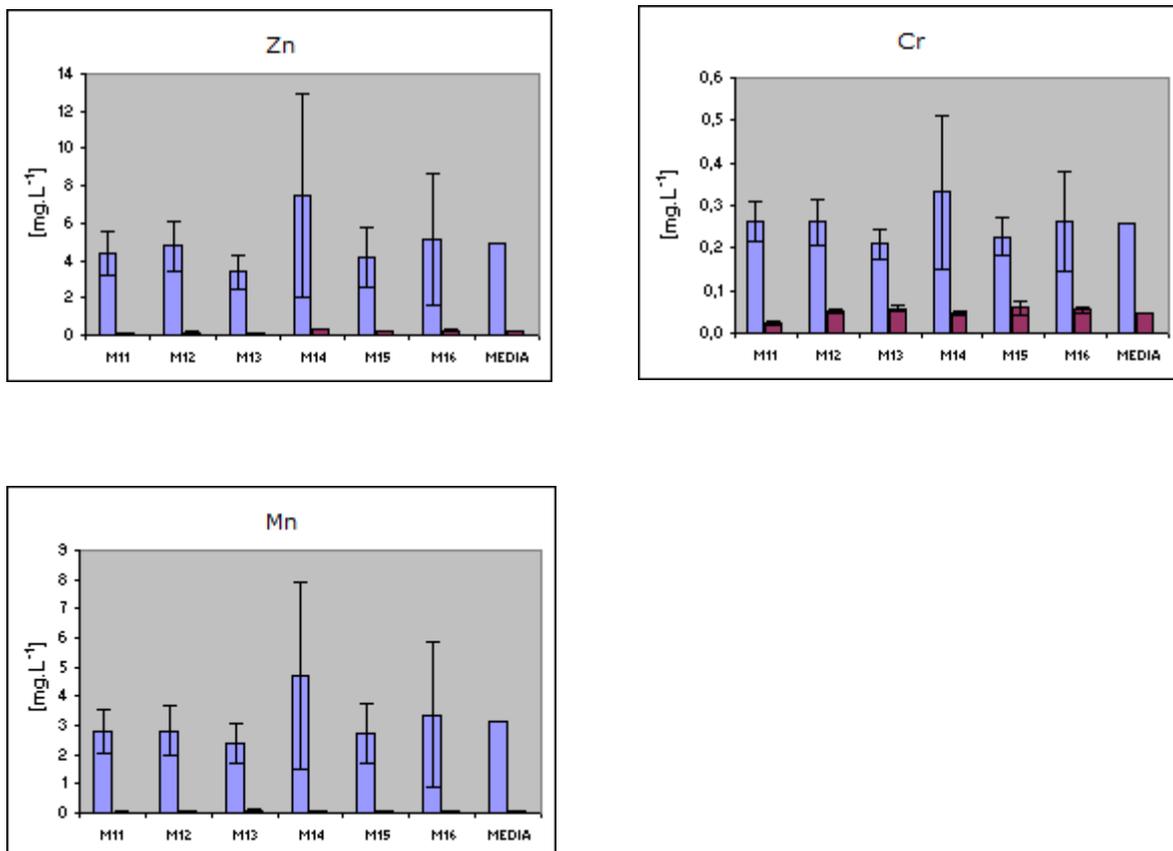


Figura 4.32. Metales Pesados Zn, Cr y Mn en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes

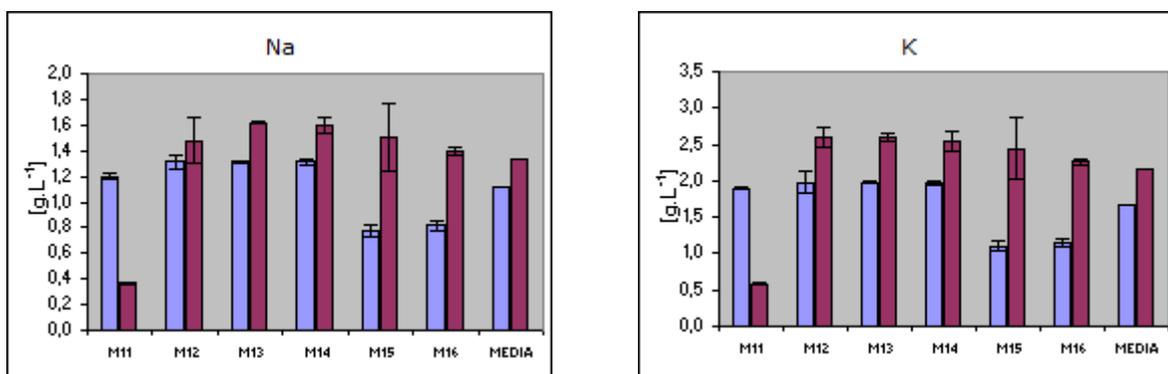


Figura 4.33. Elementos Na y K en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes

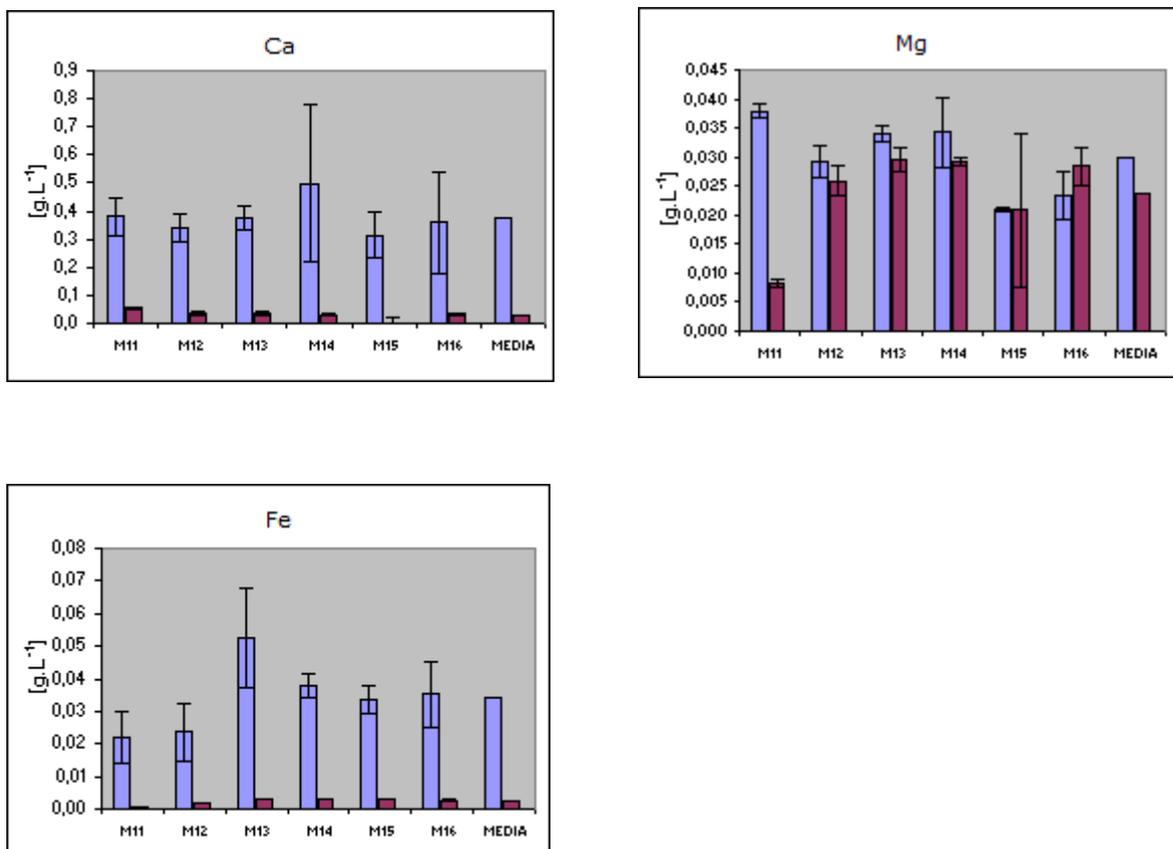


Figura 4.34. Elementos Ca, Mg y Fe en lixiviado entrante 100% P2 y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes

PRUEBAS CON LIXIVIADO 75% P2 Y 25% P3

Tratamiento: MBR sin decantación

FECHA DE RECOGIDA MUESTRA
M21 = 14-dic-11 (9:00)
M22 = 14-dic-11 (14:00)
M23 = 15-dic-11 (9:00)
M24 = 15-dic-11 (14:00)
M25 = 16-dic-11 (9:00)
M26 = 16-dic-11 (14:00)



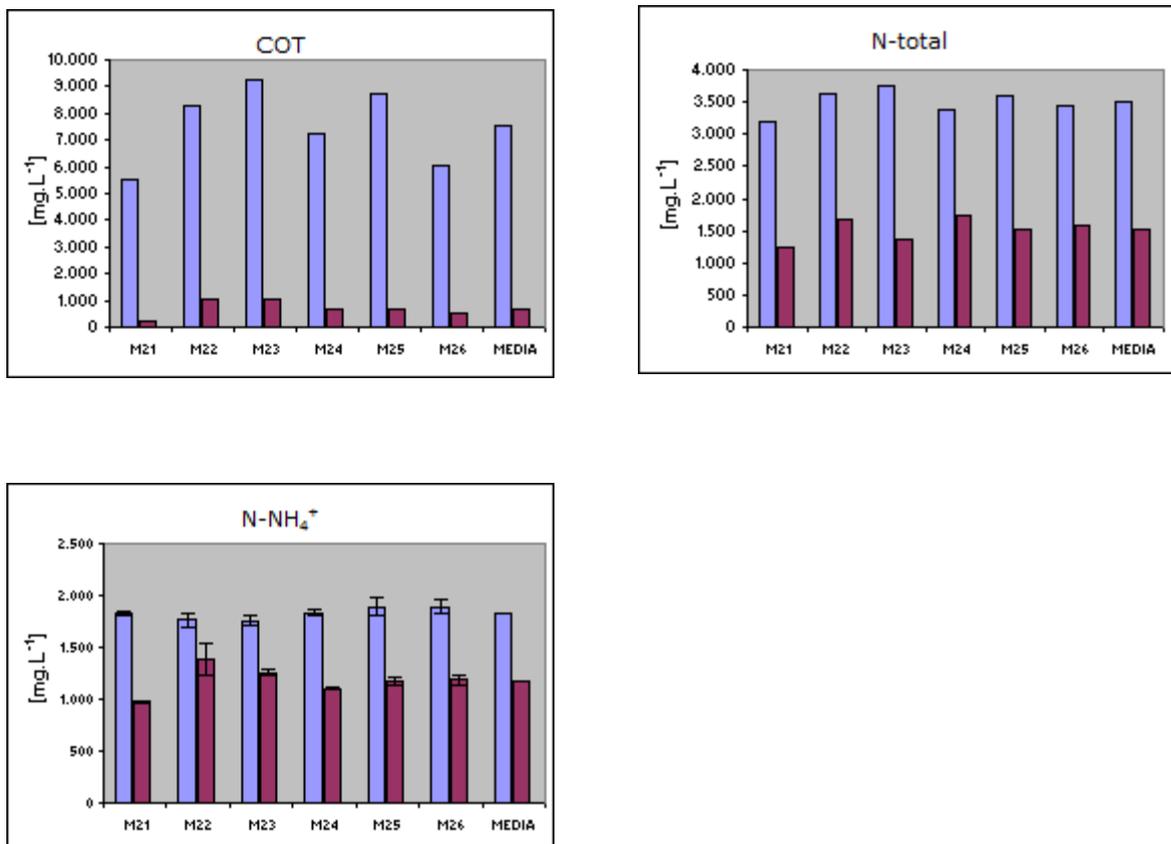


Figura 4.35. COT, N-total y N-NH₄⁺ en lixiviado entrante compuesto por un 75% P2 y un 25% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

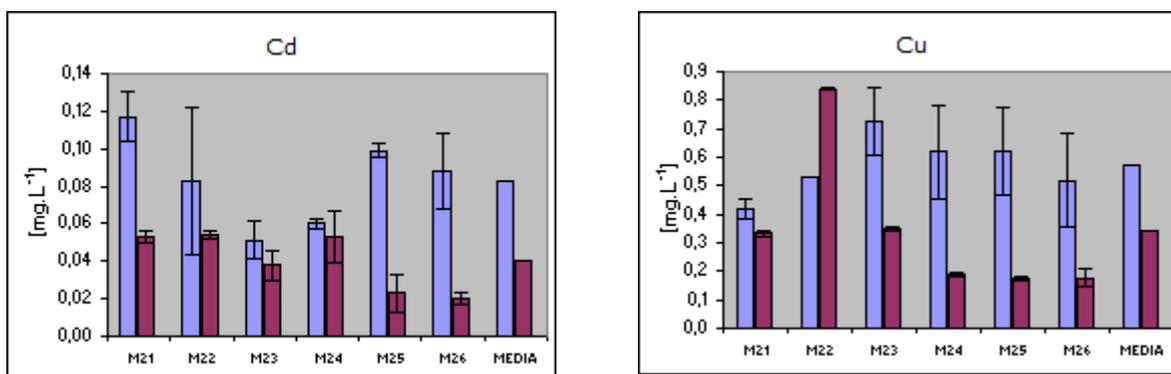


Figura 4.36. Metales Pesados Cd y Cu en lixiviado entrante compuesto por un 75% P2 y un 25% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

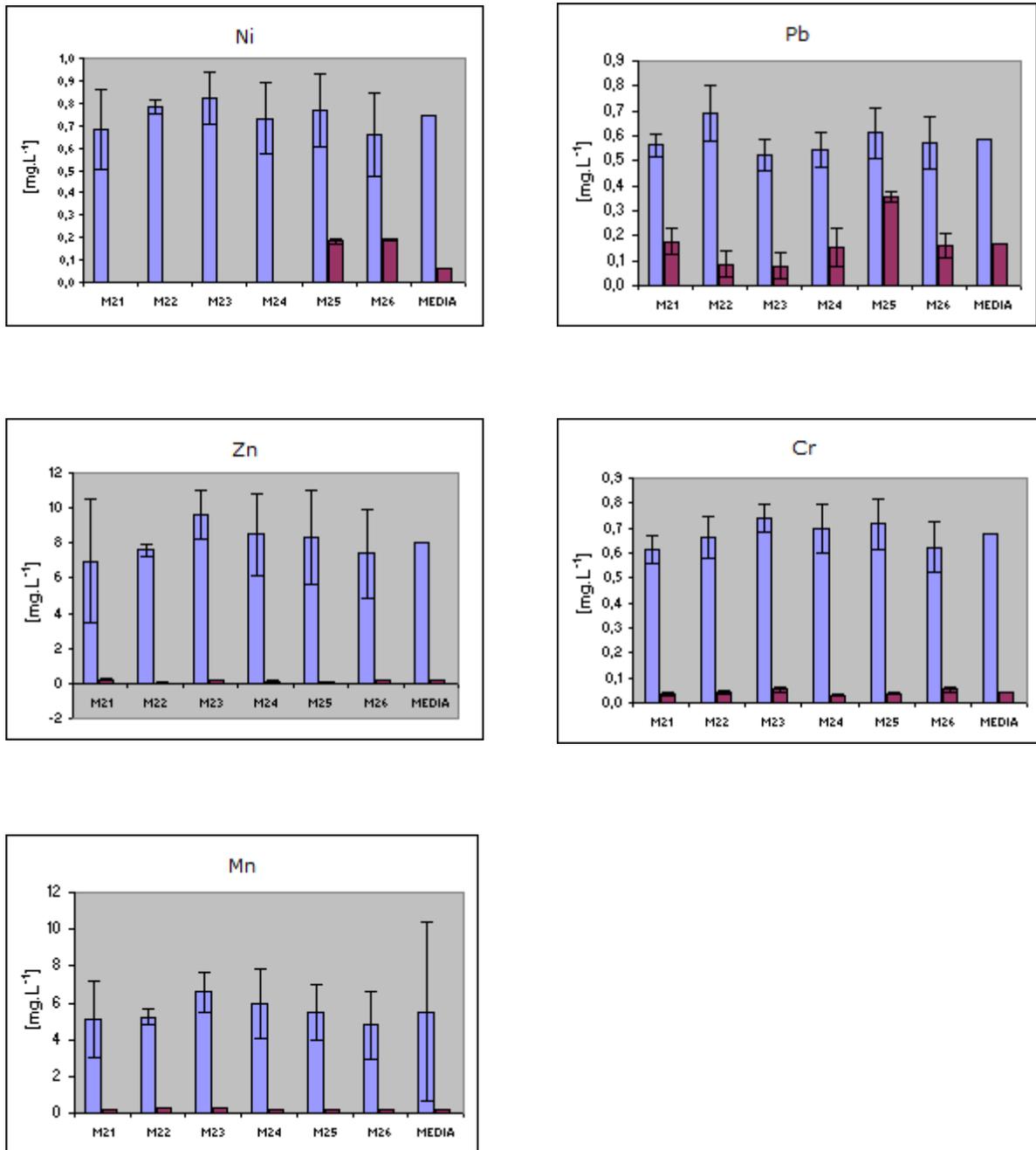


Figura 4.37. Metales Pesados Ni, Pb, Zn, Cr y Mn en lixiviado entrante compuesto por un 75% P2 y un 25% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

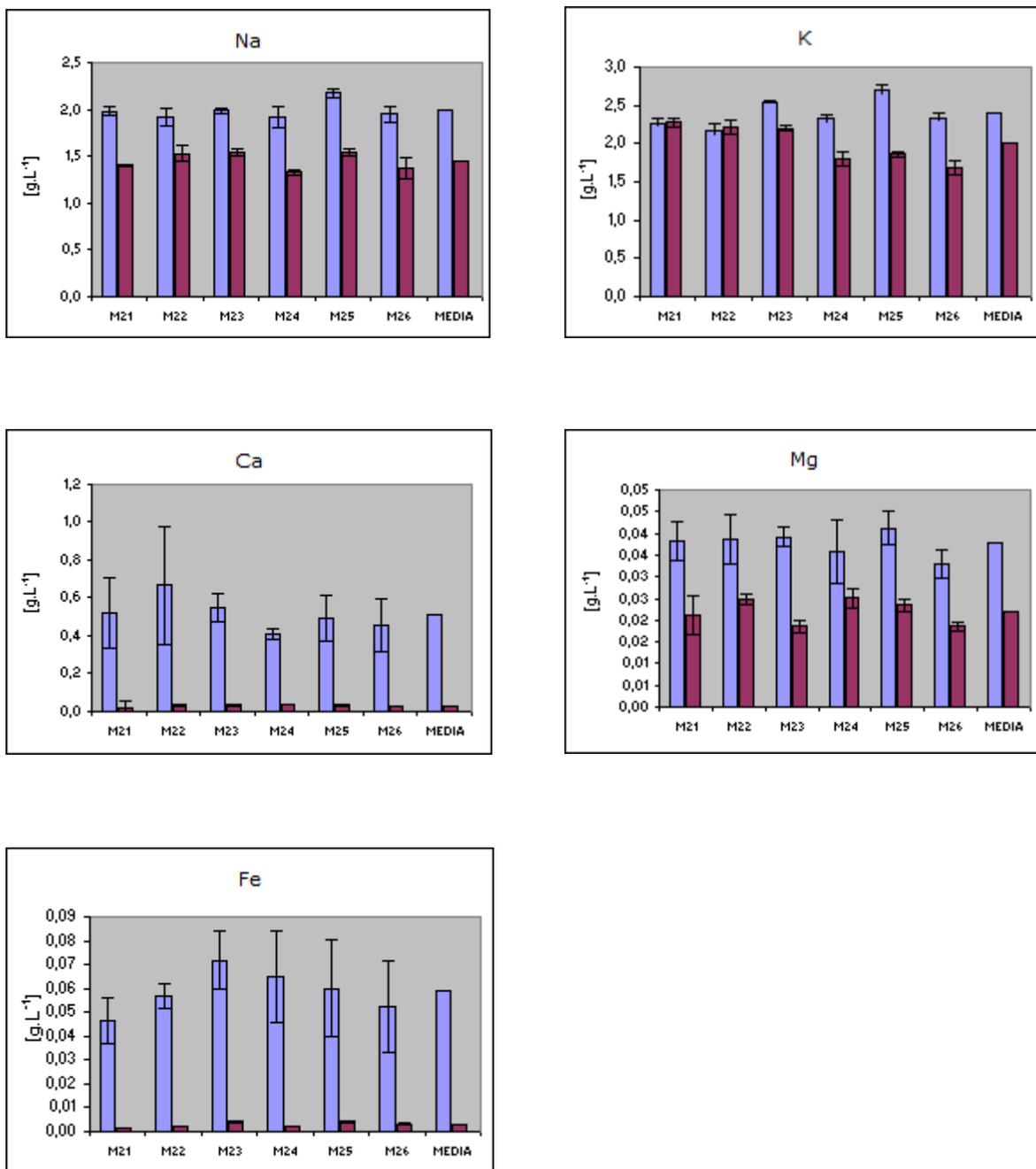


Figura 4.38. Elementos Na, K, Ca, Mg y Fe en lixiviado entrante compuesto por un 75% P2 y un 25% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

PRUEBAS CON LIXIVIADO 50% P2 Y 50% P3

Tratamiento: MBR sin decantación

FECHA DE RECOGIDA MUESTRA
M31 = 20-dic-11 (9:00)
M32 = 20-dic-11 (14:00)
M33 = 21-dic-11 (9:00)
M34 = 21-dic-11 (14:00)
M35 = 22-dic-11 (9:00)
M36 = 22-dic-11 (14:00)

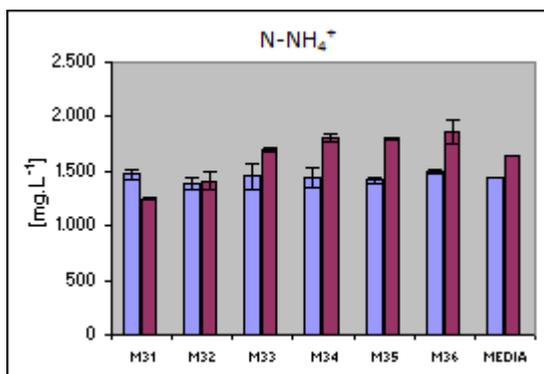
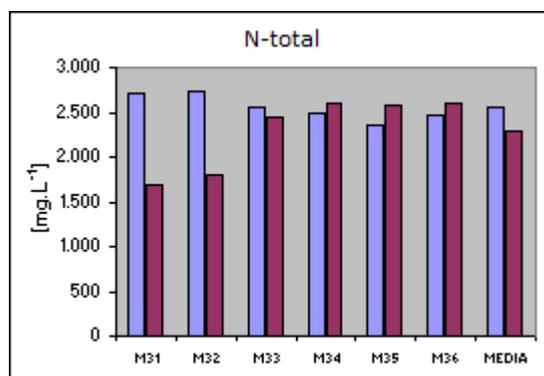
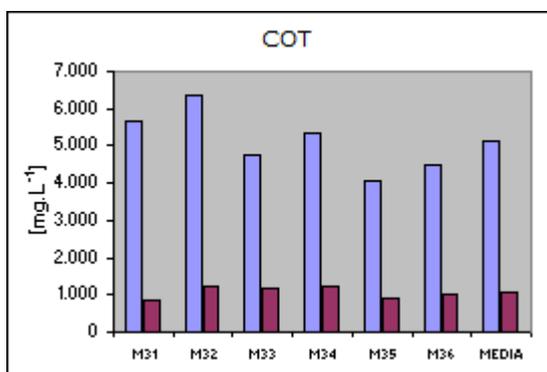


Figura 4.39. COT, N-total y N-NH₄⁺ en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

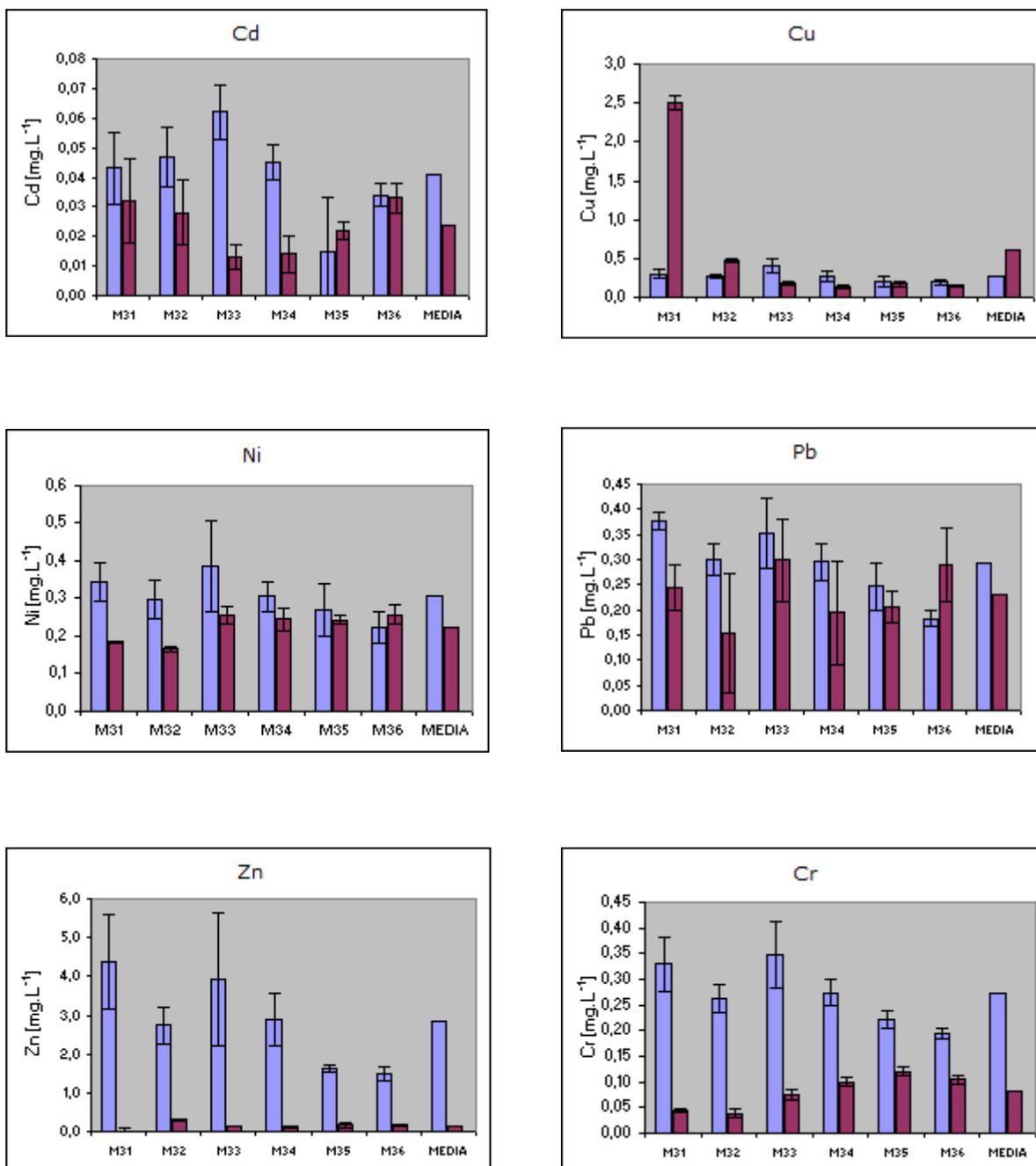


Figura 4.40. Metales Pesados Cd, Cu, Ni, Pb, Zn y Cr en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

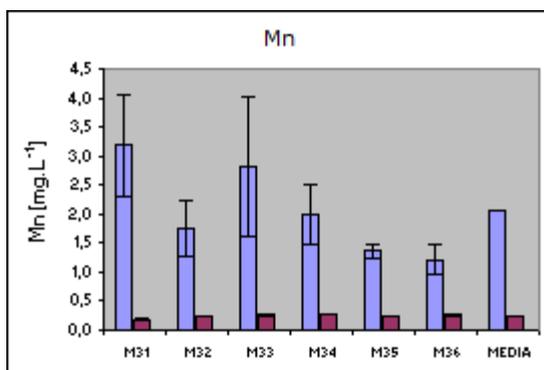


Figura 4.41. Metal Pesado Mn en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

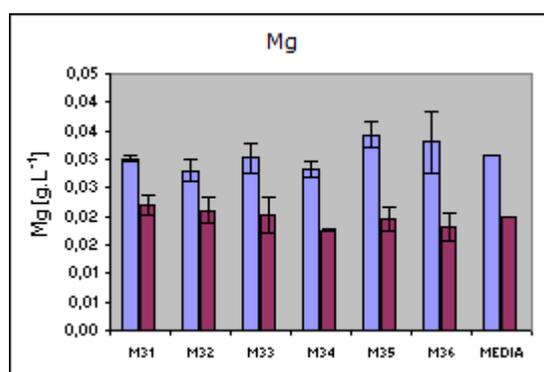
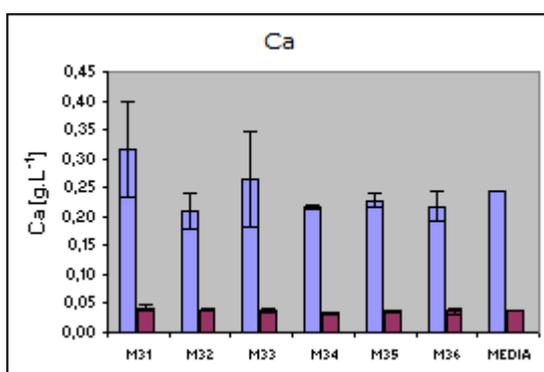
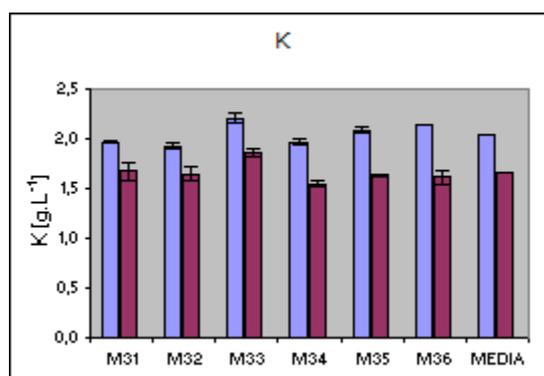
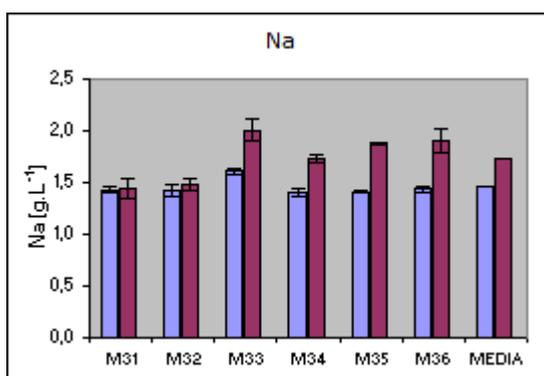


Figura 4.42. Elementos Na, K, Ca y Mg en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

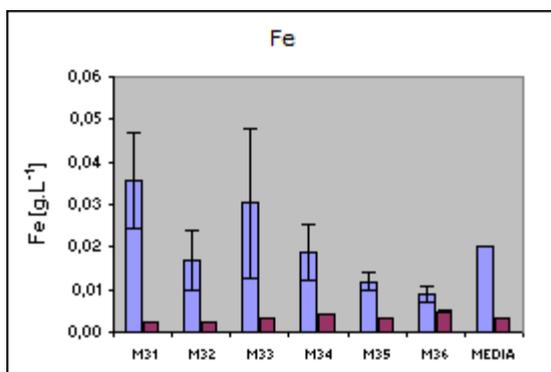


Figura 4.43. Elemento Fe en lixiviado entrante compuesto por un 50% P2 y un 50% P3, y el permeado tratado con MBR sin decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

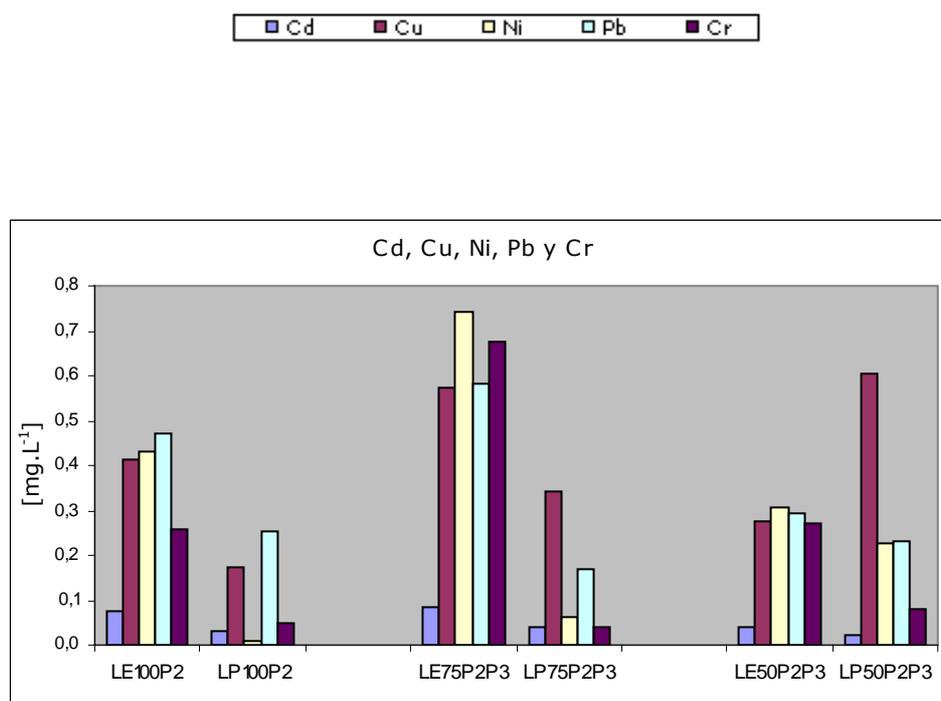


Figura 4.44. Reducción de metales pesados Cd, Cu, Ni, Pb y Cr. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P2, mezcla 75% P2 y 25% P3 y 50%P2 y 50%P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios

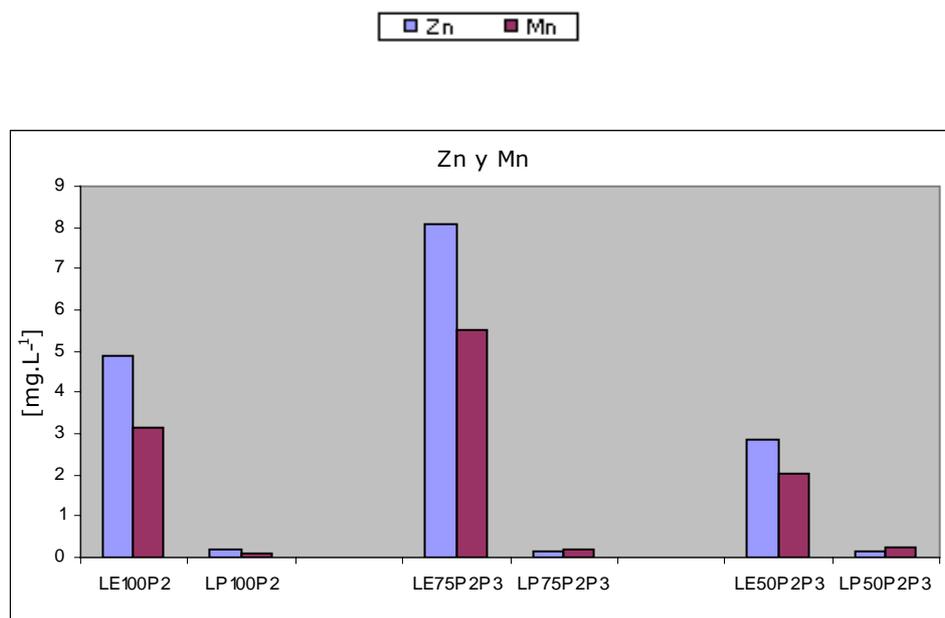


Figura 4.45. Reducción de metales pesados Zn y Mn. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P2, mezcla 75% P2 y 25% P3 y 50%P2 y 50%P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios

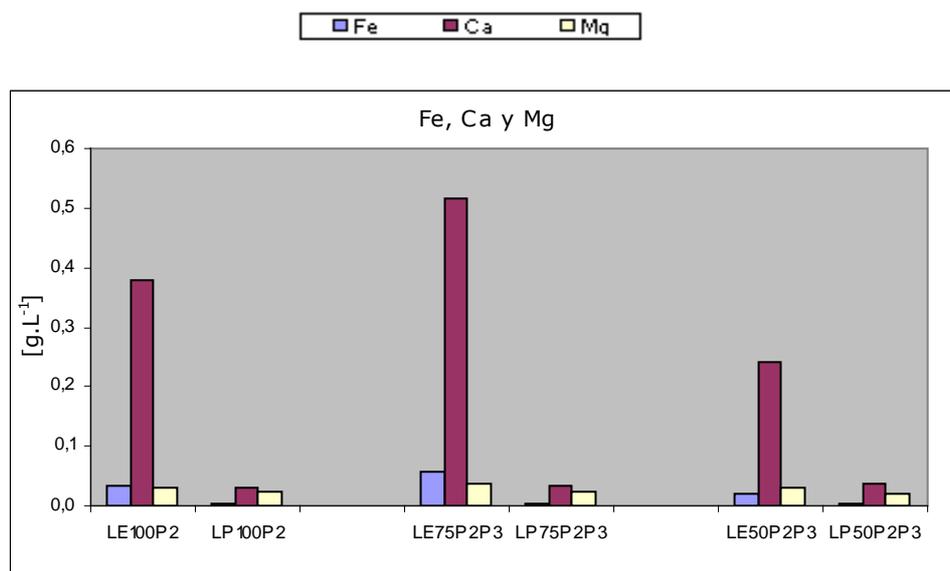


Figura 4.46. Reducción de Elementos Fe, Ca y Mg. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P2, mezcla 75% P2 y 25% P3 y 50%P2 y 50%P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios

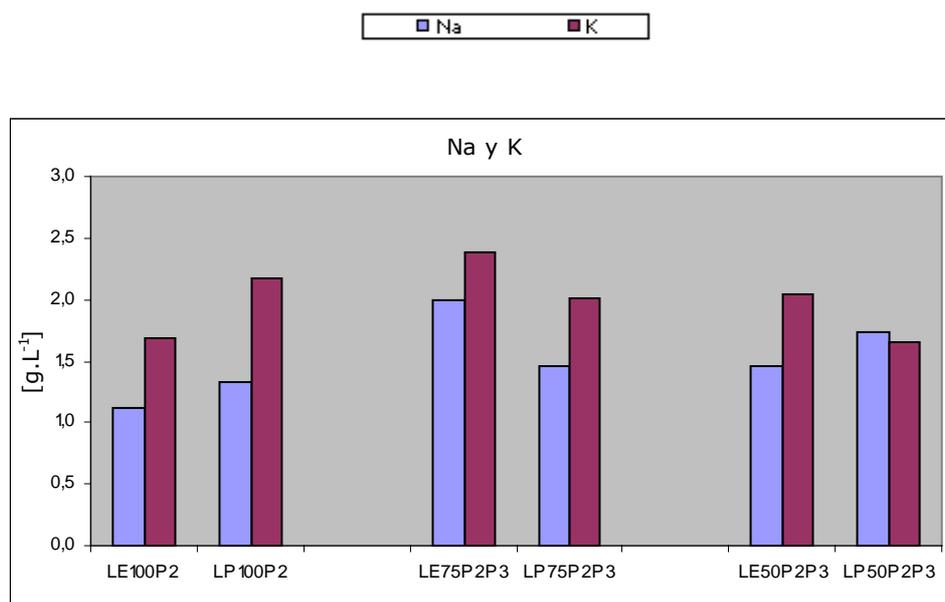


Figura 4.47. Reducción de Elemento Na y K. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P2, mezcla 75% P2 y 25% P3 y 50%P2 y 50%P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios

Los diferentes resultados obtenidos en todas las fases del tratamiento se adjuntan en las tablas correspondientes.

Estudio Global de la instalación	OTROS PARÁMETROS			METALES PESADOS							ELEMENTOS				
	COT	N total	N-NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Na	K	Ca	Mg
LE100P2-LP100P2	80%	51%	30%	58%	58%	98%	46%	97%	81%	98%	93%	18%	29%	91%	21%
LE75P2P3-LP75P2P3	91%	57%	35%	52%	40%	92%	71%	96%	94%	96%	95%	27%	16%	94%	42%
LE50P2P3-LP50P2P3	79%	11%	13%	42%	121%	26%	21%	88%	70%	88%	83%	20%	19%	84%	36%

Estudio del Físico-químico	OTROS PARÁMETROS			METALES PESADOS							ELEMENTOS				
	COT	N total	N-NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Na	K	Ca	Mg
LE100P2-FQ100P2	61%	4%	20%	23%	41%	8%	15%	61%	45%	10%	241%	29%	42%	15%	31%
LE75P2P3-FQ75P2P3	39%	6%	17%	41%	72%	54%	51%	89%	72%	81%	24%	4%	13%	68%	21%
LE50P2P3-FQ50P2P3	7%	68%	85%	48%	10%	116%	23%	18%	229%	52%	503%	73%	13%	30%	26%

Estudio del Biológico	OTROS PARÁMETROS			METALES PESADOS							ELEMENTOS				
	COT	N total	N-NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Na	K	Ca	Mg
FQ100P2-SRB100P2	36%	7%	28%	26%	110%	82%	11%	179%	141%	17%	70%	6%	5%	1%	5%
FQ75P2P3-SRB75P2P3	10%	31%	43%	28%	147%	36%	35%	305%	72%	143%	221%	20%	20%	46%	2%
FQ50P2P3-SRB50P2P3	23%	32%	37%	29%	3%	58%	5%	13%	50%	44%	10%	19%	4%	18%	28%

Estudio de la ultrafiltración	OTROS PARÁMETROS			METALES PESADOS							ELEMENTOS				
	COT	N total	N-NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Na	K	Ca	Mg
SRB100P2-LP100P2	81%	49%	19%	57%	66%	99%	42%	97%	86%	97%	93%	3%	13%	92%	37%
SRB75P2P3-LP75P2P3	83%	33%	4%	36%	15%	86%	57%	92%	87%	92%	98%	5%	19%	87%	28%
SRB50P2P3-LP50P2P3	71%	22%	3%	45%	95%	19%	39%	87%	82%	86%	97%	15%	31%	73%	33%



Tabla 4.65. Estudio global en la instalación, en el físico-químico, en el biológico y en la ultrafiltración, durante las tres pruebas: Lixiviado 100% P2, lixiviado 75% P2 y 25%P3; lixiviado 50% P2 y 50% P3. Rendimiento en la reducción y porcentaje de acumulación

MBR CON DECANTACIÓN

A continuación se procedió a seguir realizando pruebas con el mismo MBR pero intercalando un decantador entre el físico-químico y el MBR. Con los resultados obtenidos se establecieron los gráficos adjuntos que nos permiten

deducir y discutir aspectos que pueden ser interesantes. Además las pruebas se realizaron en lugar de con P2 con P1. También se incluyón en una prueba una mezcla con P3 al 50%

PRUEBAS CON LIXIVIADO 100% P1.

Tratamiento: MBR con decantación

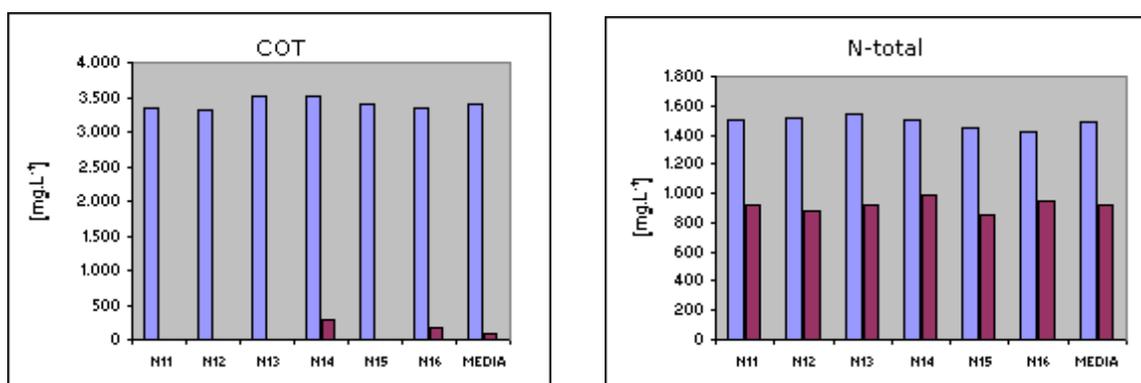


Figura 4.48. COT y N-total en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes

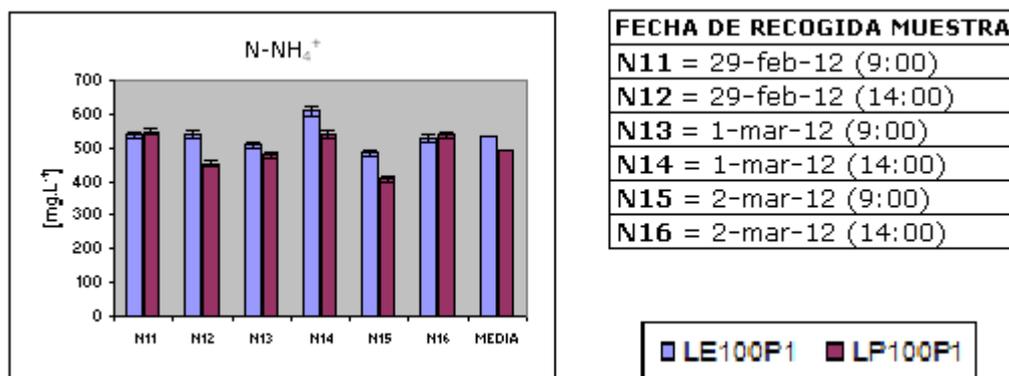


Figura 4.49. N-NH₄⁺ en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes

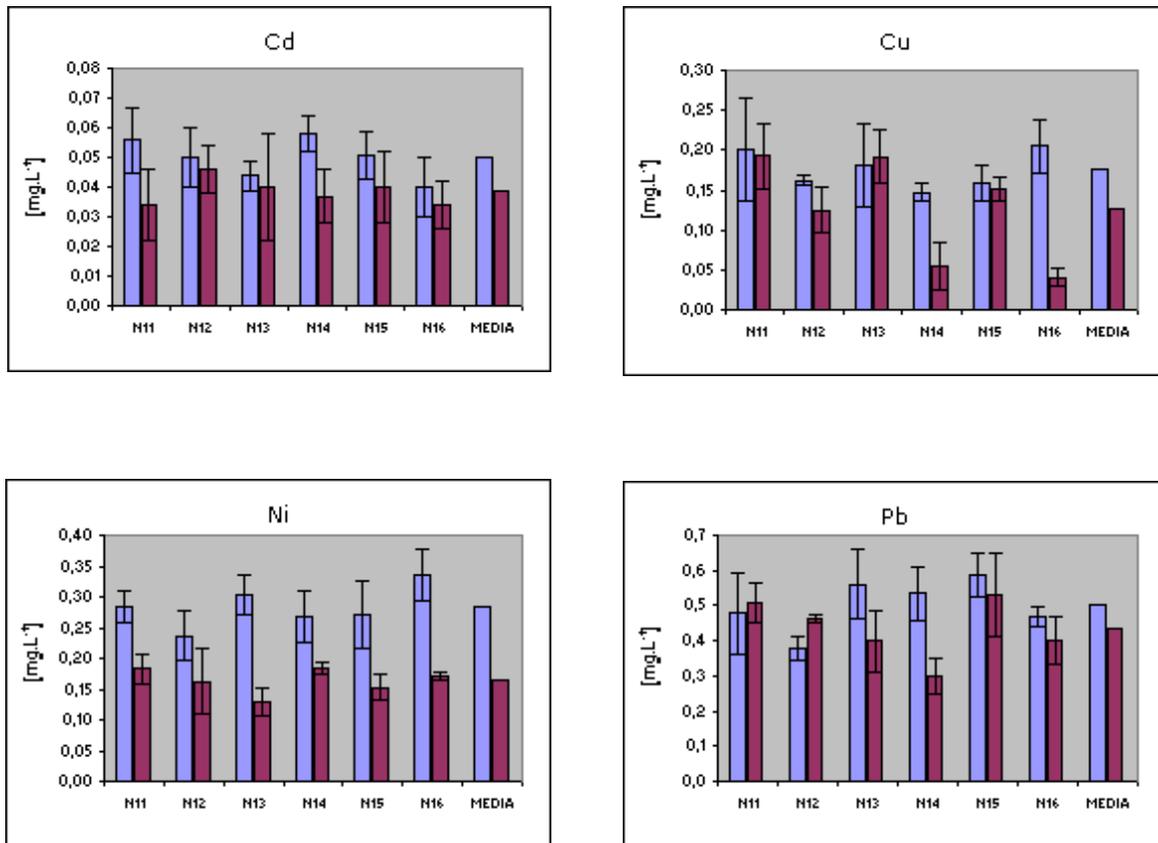


Figura 4.50. Metales Pesados Cd, Cu, Ni y Pb en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

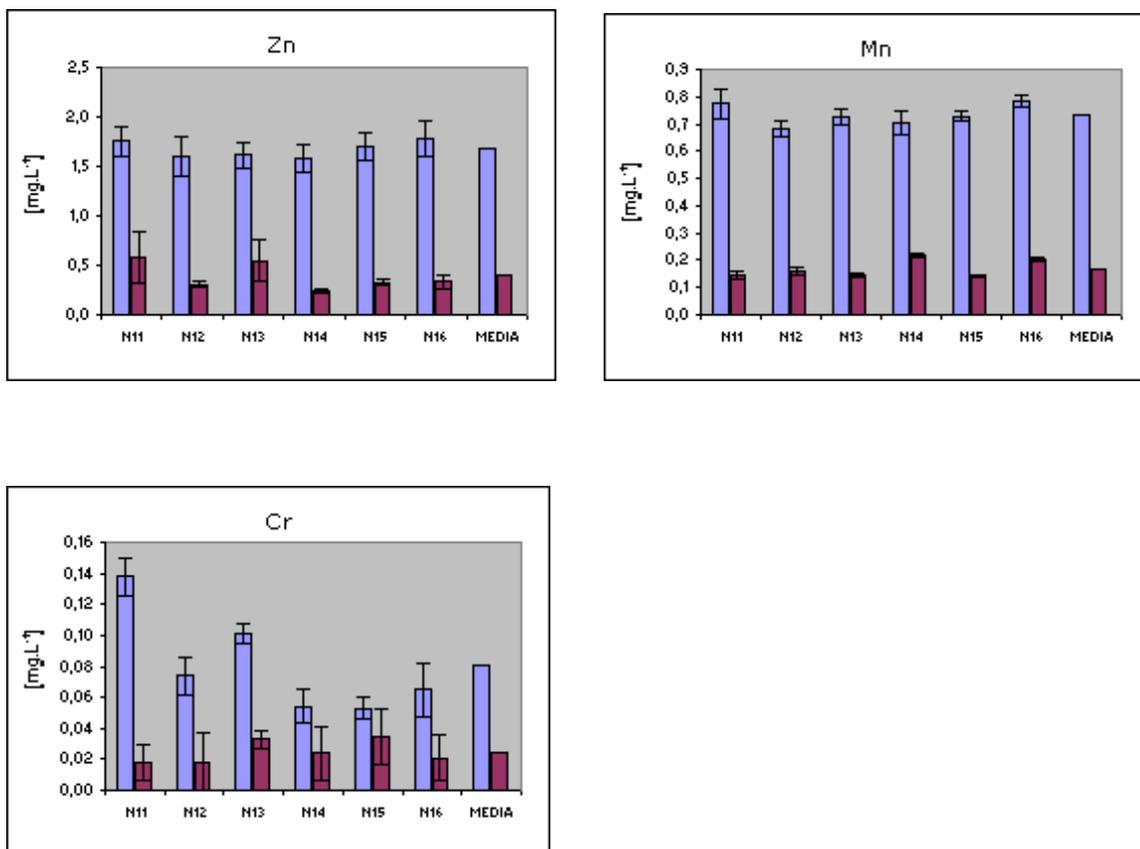


Figura 4.51. Metales Pesados Zn, Cr y Mn en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

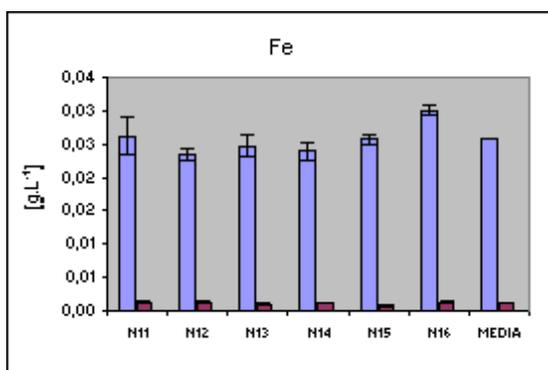


Figura 4.52. Elemento Fe en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

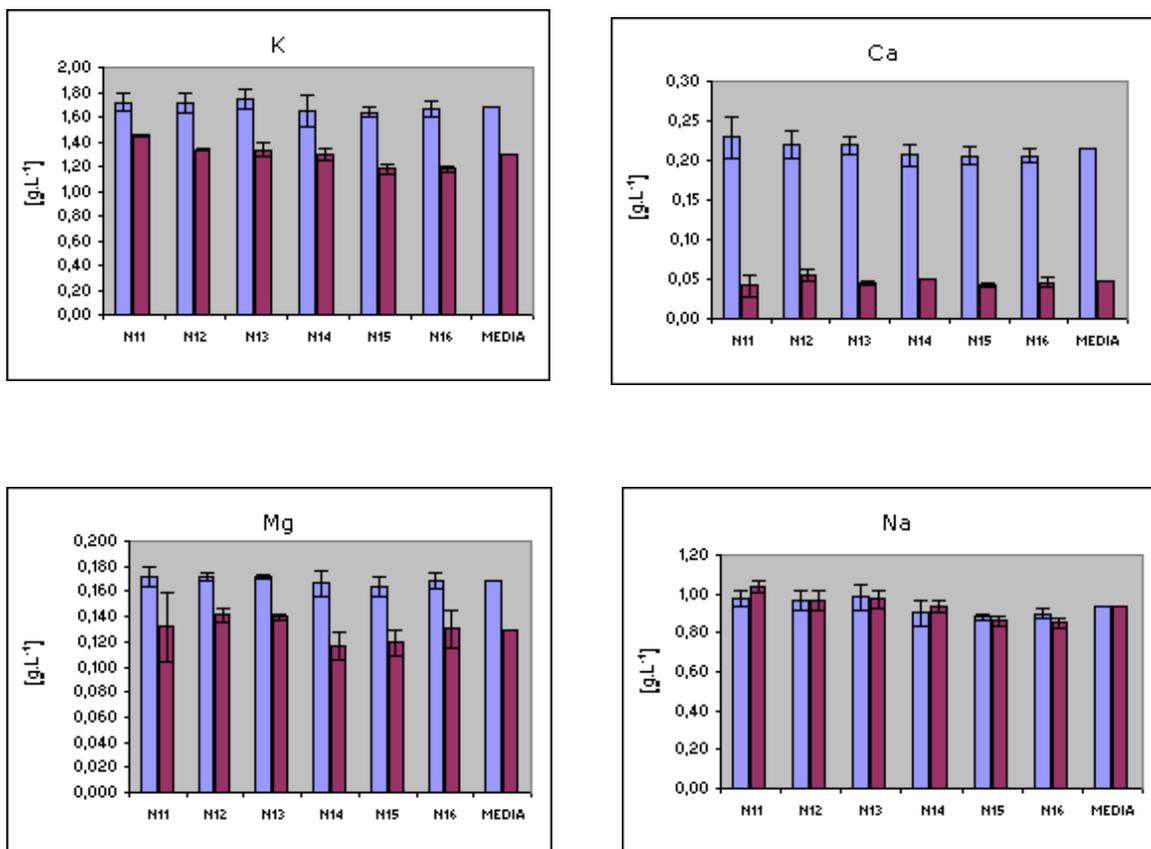
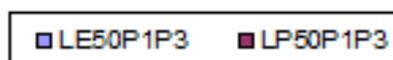


Figura 4.53. Elemento Na, K, Ca y Mg en lixiviado entrante compuesto por un 100% P1, y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

PRUEBAS CON LIXIVIADO 50% P1 y 50% P3.

Tratamiento: MBR con decantación

FECHA DE RECOGIDA MUESTRA
N21 = 14-mar-12 (9:00)
N22 = 14-mar-12 (14:00)
N23 = 15-mar-12 (9:00)
N24 = 15-mar-12 (14:00)
N25 = 16-mar-12 (9:00)
N26 = 16-mar-12 (14:00)



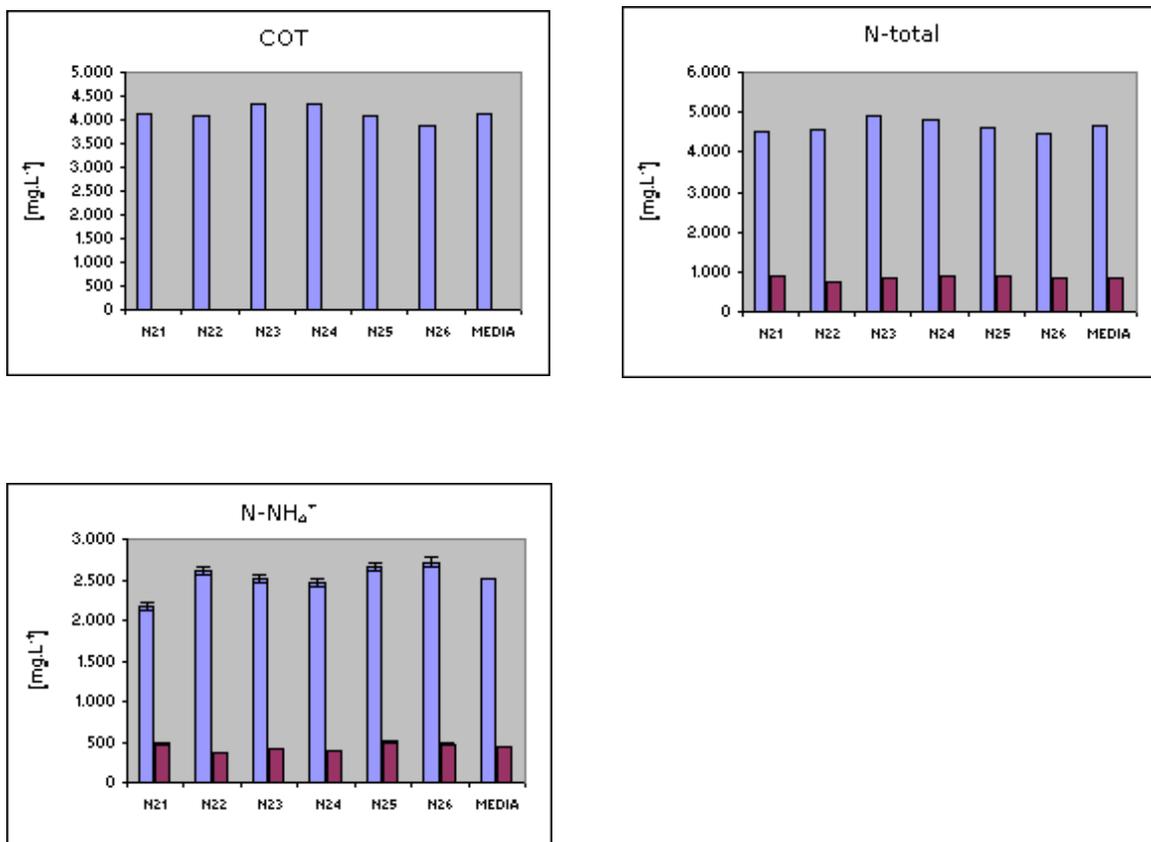


Figura 4.54. COT, N-total y N-NH₄⁺ en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes

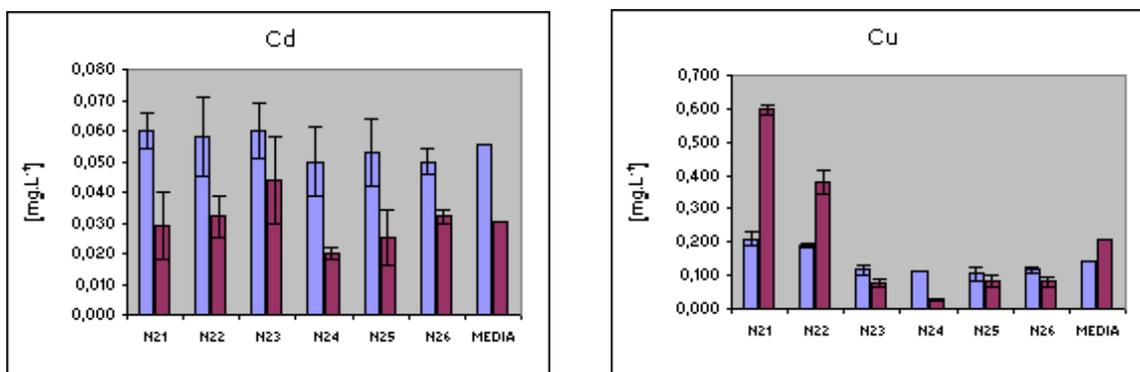


Figura 4.55. Metales Pesados Cd y Cu en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

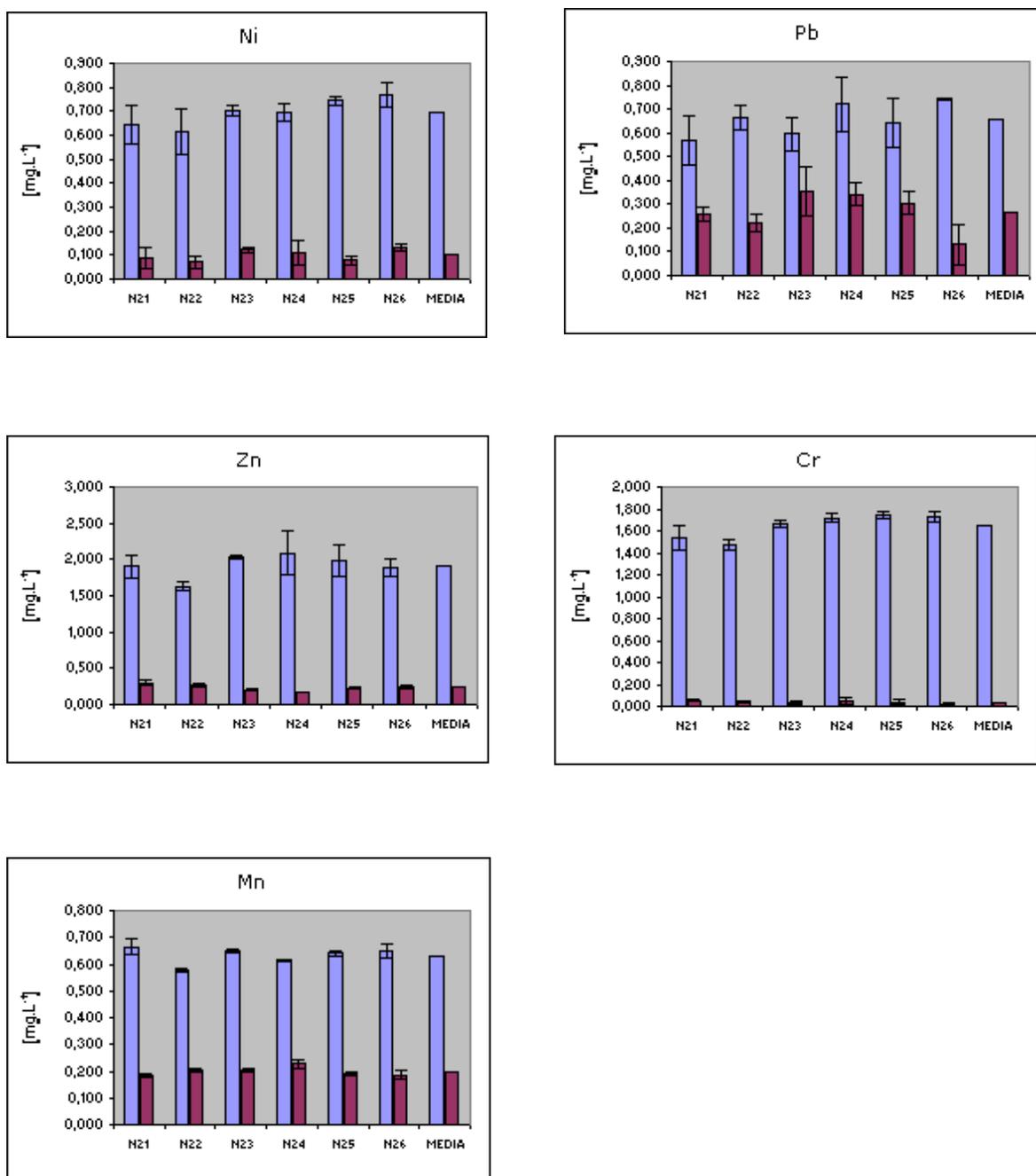


Figura 4.56. Metales Pesados Ni, Pb, Zn, Cr y Mn en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

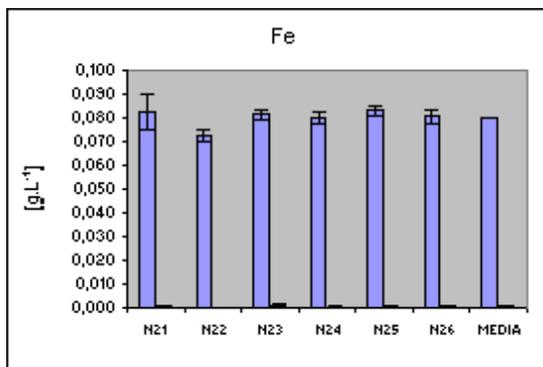


Figura 4.57. Elemento Fe en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

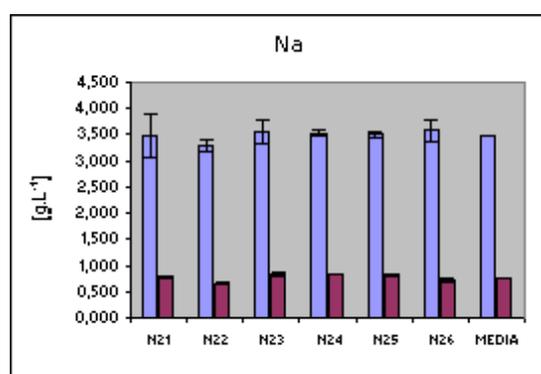
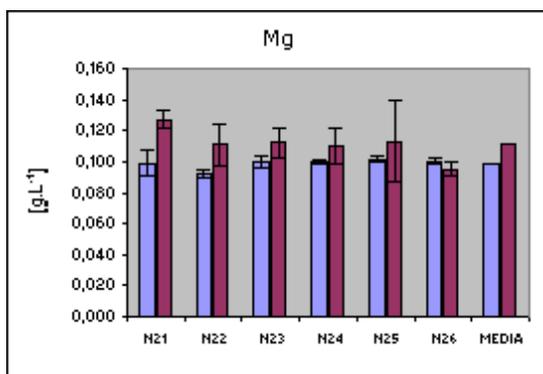
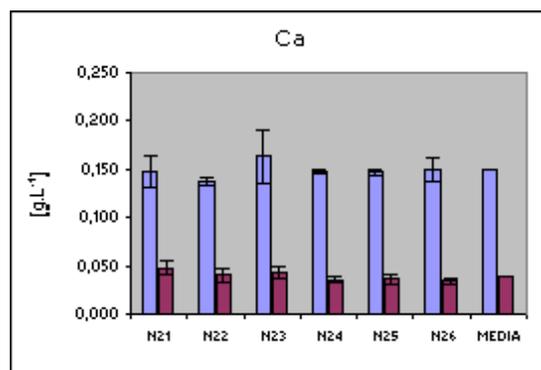
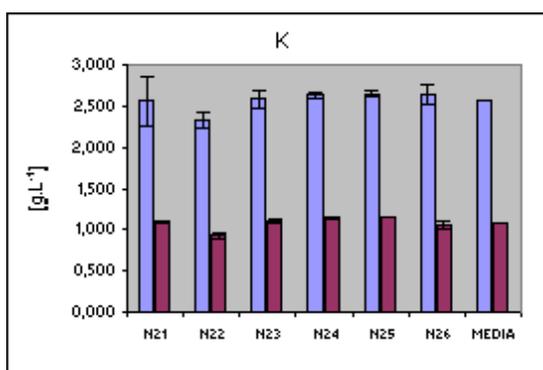


Figura 4.58. Elemento Na, K, Ca y Mg en lixiviado entrante compuesto por un 50% P1 y un 50% P3; y el permeado tratado con MBR con decantación. Muestras correspondientes a tres días y dos horas diferentes.

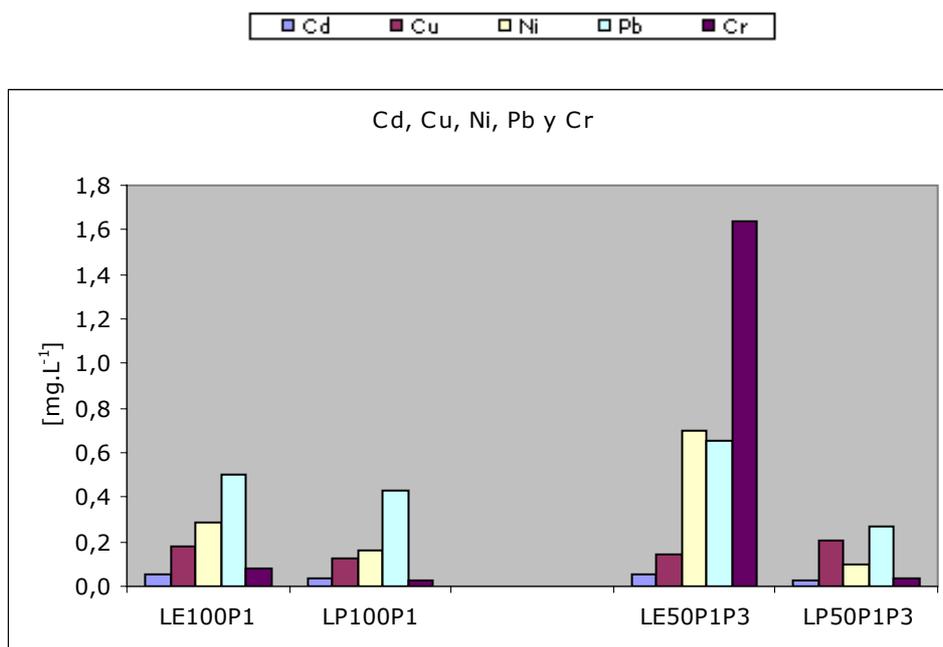


Figura 4.59. Reducción de metales pesados Cd, Cu, Ni, Pb y Cr. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P1; mezcla 50% P1 y 50% P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios

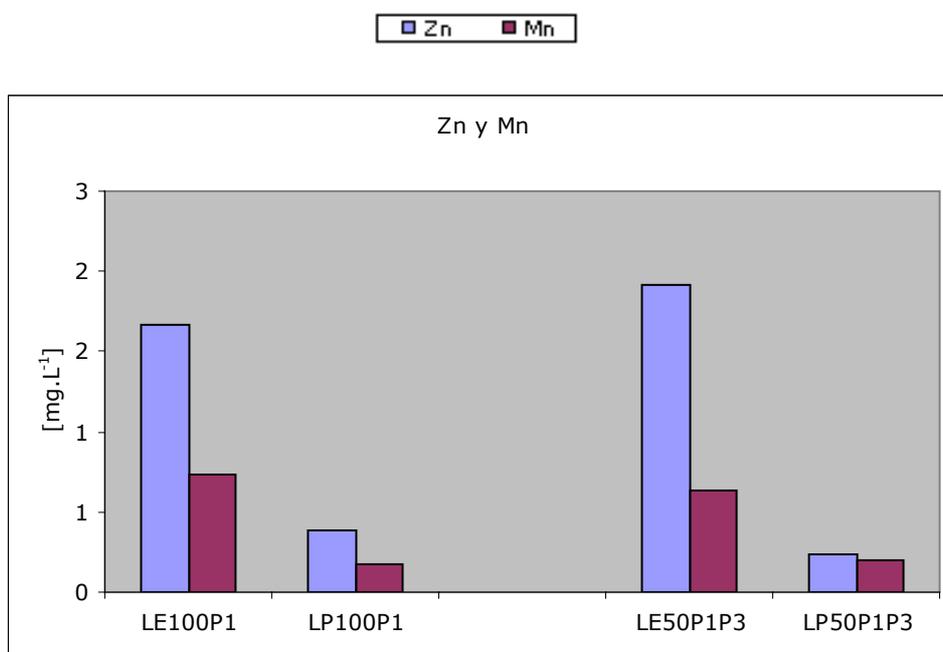


Figura 4.60. Reducción de metales pesados Zn y Mn. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P1, mezcla 50% P1 y 50% P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios

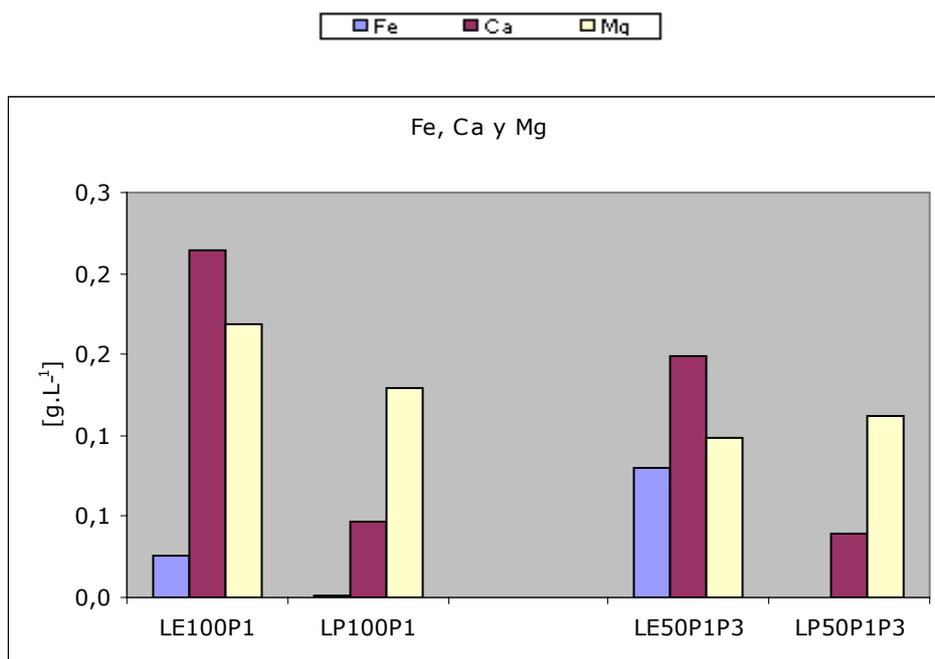


Figura 4.61. Reducción de Elementos Fe, Ca y Mg. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P1, mezcla 50% P1 y 50% P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios

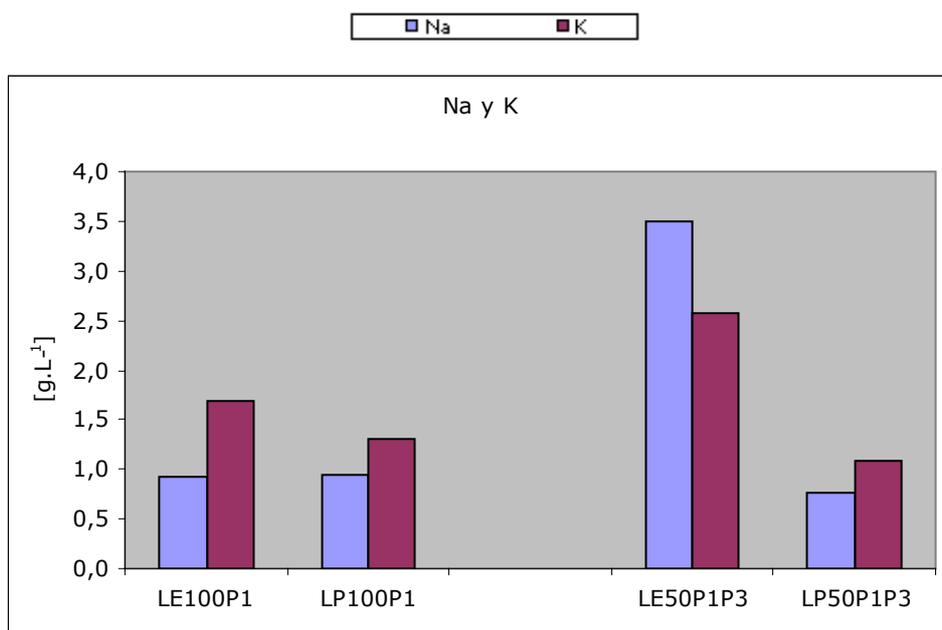


Figura 4.62. Reducción de Elemento Na y K. Tratamiento MBR sin decantación. Comparación lixiviado entrante y permeado. Diferentes tipos de lixiviados: 100% P1, mezcla 50% P1 y 50% P3; y sus permeados correspondientes. Valores medios

Los diferentes resultados obtenidos en todas las fases del tratamiento se adjuntan en las tablas correspondientes.

Estudio Global de la instalación	OTROS PARÁMETROS			METALES PESADOS							ELEMENTOS				
	COT	N total	N-NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Na	K	Ca	Mg
LE100P1-LP100P1	98%	38%	8%	23%	28%	42%	13%	77%	69%	77%	96%	0%	23%	78%	23%
LE50P1P3-LP50P1P3	100%	82%	83%	45%	47%	86%	59%	88%	98%	68%	99%	78%	58%	73%	13%

Estudio del Físico-químico	OTROS PARÁMETROS			METALES PESADOS							ELEMENTOS				
	COT	N total	N-NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Na	K	Ca	Mg
LE100P1-FQ100P1	14%	13%	11%	20%	35%	31%	3%	49%	55%	156%	390%	7%	8%	5%	4%
LE50P1P3-FQ50P1P3	19%	6%	7%	4%	212%	4%	38%	100%	36%	173%	138%	14%	15%	23%	11%

Estudio de la Decantación	OTROS PARÁMETROS			METALES PESADOS							ELEMENTOS				
	COT	N total	N-NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Na	K	Ca	Mg
Rendimiento (FQ100P1-D100P3)	16%	1%	24%	25%	35%	1%	4%	26%	35%	73%	17%	22%	36%	41%	26%
Rendimiento (FQ50P1P3-D50P1P3)	19%	68%	78%	18%	70%	75%	18%	12%	98%	66%	42%	72%	44%	154%	55%

Estudio del Biológico	OTROS PARÁMETROS			METALES PESADOS							ELEMENTOS				
	COT	N total	N-NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Na	K	Ca	Mg
D100P1-SRB100P3	16%	19%	5%	54%	339%	205%	17%	379%	523%	39%	55%	12%	8%	90%	21%
D50P1P3-SRB50P1P3	32%	2%	20%	332%	226%	153%	78%	173%	760%	48%	123%	3%	0%	86%	30%

Estudio de la ultrafiltración	OTROS PARÁMETROS			METALES PESADOS							ELEMENTOS				
	COT	N total	N-NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Na	K	Ca	Mg
SRB100P1-LP100P3	97%	40%	21%	37%	75%	72%	23%	90%	89%	94%	99%	4%	9%	88%	34%
SRB50P1P3-LP50P1P3	100%	39%	28%	85%	51%	76%	55%	93%	78%	95%	100%	4%	11%	93%	37%

	Porcentaje de acumulación
	Rendimiento en la reducción

Tabla 4.66. Estudio global en la instalación, en el físico-químico, en la decantación, en el biológico y en la ultrafiltración, durante las dos pruebas: Lixiviado 100% P1; y lixiviado 50% P1 y 50%P3. Rendimiento en la reducción y porcentaje de acumulación

Como consecuencia de todo lo anterior y de las pruebas realizadas con un MBR sin decantación y con un MBR con decantación se pueden establecer una serie de consideraciones.

CONSIDERACIONES SOBRE EL LIXIVIADO DE ENTRADA Y EL PERMEADO.

En todas las pruebas realizadas, con independencia del lixiviado utilizado, se observa una importante reducción del COT con un MBR con decantación frente al que no presenta decantación, lo cuál es debido a la mayor reducción de SS y a la materia orgánica asociada a esos SS que se produce en los procesos de decantación. Esto sería de aplicación también a un mejor comportamiento en la reducción del N-total (llega a alcanzar el 82%) y al $N-NH_4^+$ (hasta un 83%). En cualquier caso, aún siendo mejores los rendimientos en el N-total y $N-NH_4^+$ en procesos de MBR con decantación, sería interesante la instalación de una zona anóxica diferenciada de la óxica en el reactor biológico para facilitar los procesos de nitrificación-desnitrificación y mejorar la reducción del $N-NH_4^+$.

Por lo que respecta a la eliminación de metales pesados, ésta se desarrolla principalmente en el tratamiento físico-químico, no siendo en consecuencia relevante la instalación de una decantación en la reducción de metales. De hecho, caso de no existir una decantación, en el propio depósito de floculación se acabará decantando el fango y precisará la habilitación de un sistema de purga de fangos.

Finalmente, en lo referente a la reducción de elementos, con el Na y K parece que hay un mejor comportamiento con un MBR con decantación frente a un MBR sin decantación. En el Ca, Mg y Fe el comportamiento sería similar a con uno y otro método, no siendo relevante la instalación de un decantador para conseguir una mayor reducción de estos elemntos. En general, lo más destacable es el bajo rendimiento obtenido, en todos los casos, con el Na y K, debido a que son muy pequeños (especialmente el Na), a diferencia del Fe y el Ca que presentan gran facilidad para formar coloides. El Mg, al ser más soluble que el Ca y Fe, presenta menor capacidad para la formación de coloides y, en consecuencia, menor rendimiento que éstos.

CONSIDERACIONES SOBRE EL LIXIVIADO DE ENTRADA Y EL LIXIVIADO A LA SALIDA DEL FÍSICO-QUÍMICO y LA DECANTACIÓN.

Es en el tratamiento físico-químico, donde se consigue desestabilizar las partículas y facilitar la formación de agregados, creando unas condiciones óptimas para su posterior decantación. En todas las pruebas realizadas, a la salida del físico-químico la reducción de metales pesados era muy importante, sin embargo en algunos casos llegó a encontrarse una acumulación de algunos metales con respecto a la entrada. Estas salvedades se encontraron en: Prueba LE100P2-FQ100P2 (únicamente con el Mn), Prueba LE50P2-FQ50P2 (Cd, Cu, Ni, Pb, Cr y Mn), Prueba LE100P1-FQ100P1 (únicamente el Mn) y Prueba LE50P1P3-FQ50P1P3 (Cd, Cu y Mn). En estos casos, esta acumulación pudiera ser atribuible a una incorrecta toma de muestra que recogería una gran concentración de flóculos en el lixiviado a la salida del físico-químico, lo cuál no hace sino confirmar la posterior reducción de metales, una vez decanten estos flóculos.

CONSIDERACIONES SOBRE EL LIXIVIADO A LA ENTRADA Y A LA SALIDA DEL MBR

Los rendimientos del COT no fueron todo lo interesantes que inicialmente parecieran ser para un reactor biológico (un 36%, 10%, 23%, 16% y 19% en cada uno de los 5 tipos de lixiviados). Ello pudiera ser atribuido a ciertos procesos de inhibición originados por los metales pesados, o a la inexistencia de una regulación de la carga másica del reactor debido al periodo de pruebas de la instalación. Esto último parecería ser lo más lógico, dado que la concentración de metales pesados en el reactor no es muy elevada.

Respecto a los metales pesados, en todas las pruebas realizadas se produjo una acumulación de metales pesados a la salida del MBR con decantación y sin decantación salvo en la prueba FQ100P2P3-SRB100P2P3 (Mn) y la prueba FQ50P2P3-SRB50P2P3 (Cd, Ni, Cr y Mn). Ello es bastante lógico, ya que el reactor biológico con el que se realizaron las pruebas no contaba con una purga de fangos, además el retenido de la ultrafiltración era recirculado al reactor biológico. Este reactor se sembró con el licor mezcla de la EDAR municipal de Aranda de Duero, que trabajaba con normalidad.

CONSIDERACIONES SOBRE EL LIXIVIADO DE ENTRADA EN LA ULTRAFILTRACIÓN Y EL PERMEADO

El rendimiento de la membrana ha sido excepcional en todas las pruebas, tanto para el COT como para los metales pesados, alcanzando rendimientos en algunos casos ciertamente espectaculares. Los máximos rendimientos alcanzados del Ni, Mn, Zn, Cr, Cd, Cu y Pb fueron del 99%, 97%, 97%, 89%, 85%, 75% y 57%, respectivamente. Con el COT se llegó a alcanzar el 100%.

Los rendimientos alcanzados con el N-total y el N-NH₄⁺, en líneas generales, fueron bajos, no superando el 49% y 28% respectivamente. Reafirma más la idea de habilitar un sistema de nitrificación-desnitrificación en la instalación.

Por último, los rendimientos de elementos como el Na y el K fueron muy bajos, llegando a al 3% y 9% respectivamente (niveles inferiores). El Ca llegó a obtener un rendimiento en la reducción del 93% y el Fe del 100%. El Mg no consiguió superar el 37%.

CONSIDERACIONES SOBRE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL MBR

De lo aquí expuesto, y conociendo que partimos de una situación que obligaba a la realización de una inversión inicial (balsa de lixiviados y piscina de lixiviados) por importe de 100.000 €, y donde se contaba con el problema adicional que generaba la gestión de los lixiviados de la instalación, se procedió a realizar un pequeño estudio económico (tabla 4.67 y 4.68) para evaluar la viabilidad económica de la instalación de un MBR y comparar la situación actual con la futura (figura 4.63). Además se analizaron tres alternativas de explotación diferentes: situación actual (se gestiona la totalidad del lixiviado **P1** y **P3** con un gestor autorizado), alternativa nº1 (se gestiona el lixiviado **P3** y el 62% del **P1** con un gestor autorizado, recirculando el 38% del **P1** en la instalación) y alternativa nº 2 (se trata el lixiviado **P1** y **P3** con un **MBR** con decantación). La más viable tanto técnica como económicamente era la alternativa nº2.

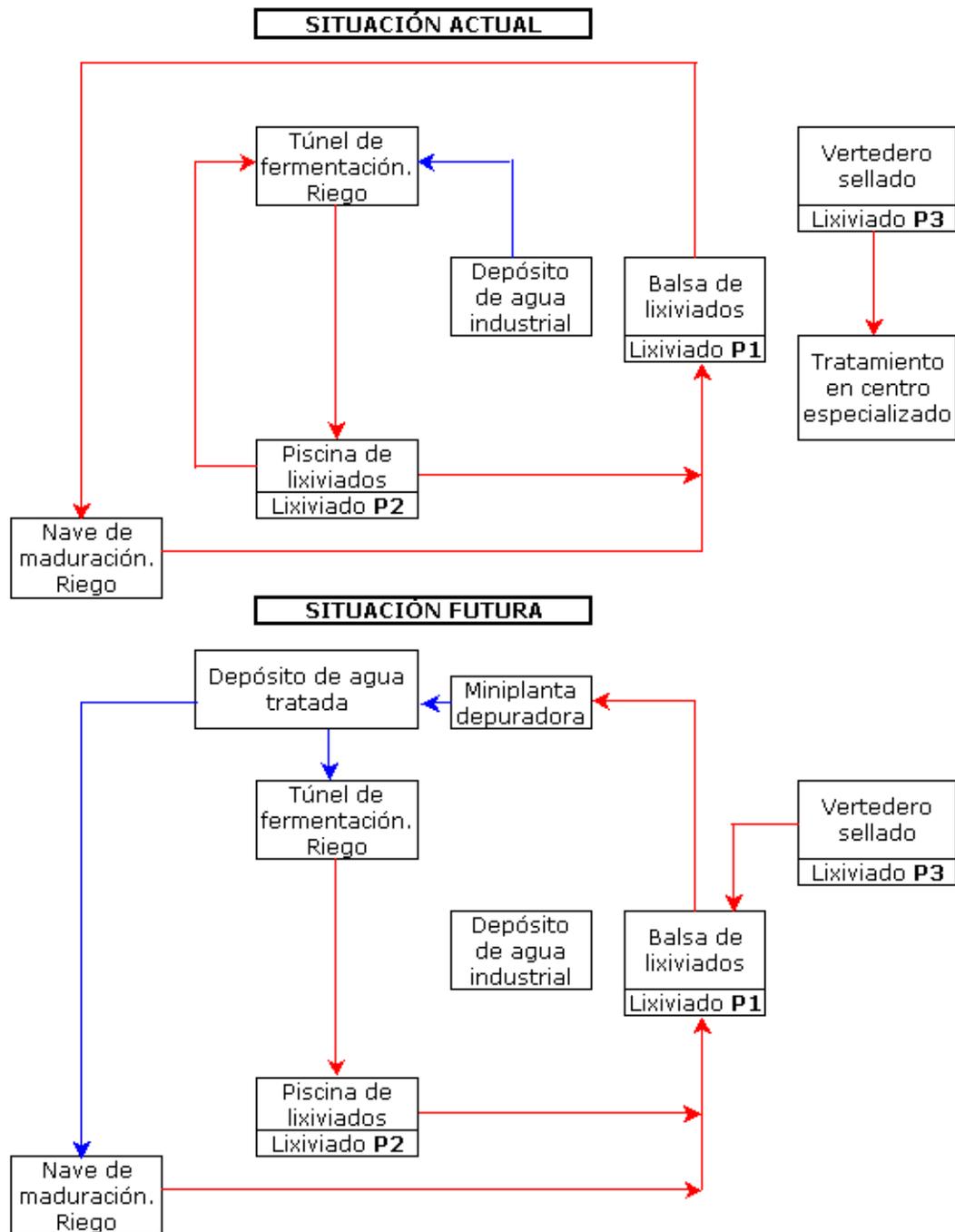


Figura 4.63. Diagrama de implantación del MBR. Situación actual y futura

CUADRO MACROECONÓMICO			
Inversiones inicial		100.000 €	
Inversión MBR		120.000 €	
Evolución estimada Ingresos		2,00%	
Evolución estimada Gastos		2,25%	
Estimación IPC anual		2,00%	

GESTIÓN LIXIVIADOS. SITUACION PREVIA	ud	€/ud	Total (€/año)
Personal	0,10	20.000,00 €	2.000,00 €
Vaciado de la balsa lixiviados y transporte a gestor autorizado (VACÍO 8 BALSAS)	1.200,00	75,00 €	90.000,00 €
Vaciado de lixiviados vertedero y transporte a gestor autorizado	170,00	90,00 €	15.300,00 €
TOTAL Ejecución material SITUACIÓN PREVIA			107.300,00 €
		GG+BI (16%)	17.168,00 €
		Coste contrata	124.468,00 €
		Baja (-13%)	-16.180,84 €
		Ingresos contratista	108.287,16 €

GESTIÓN LIXIVIADOS. ALTERNATIVA-1	ud	€/ud	Total (€/año)
Personal	0,15	20.000,00 €	3.000,00 €
Vaciado de la balsa lixiviados y transporte a gestor autorizado (VACÍO 5 BALSAS Y RECIRCULO 3)	750,00	75,00 €	56.250,00 €
Vaciado de lixiviados vertedero y transporte a gestor autorizado	170,00	90,00 €	15.300,00 €
TOTAL Ejecución material. ALTERNATIVA-1			74.550,00 €

GESTIÓN LIXIVIADOS. ALTERNATIVA-2	ud	€/ud	Total (€/año)
Personal	0,20	36.000,00 €	7.200,00 €
Reactivos químicos	2.387,49	5,00 €	11.937,46 €
Electricidad	85.848,00	0,12 €	10.301,76 €
Mantenimiento	1,00	3.000,00 €	3.000,00 €
TOTAL coste gestión lixiviados- ALTERNATIVA-2			32.439,22 €

Tabla 4.67. Estudio económico sobre la viabilidad de la instalación de un MBR. (I)

SITUACIÓN PREVIA [1]	año-1	año-2	año-3	año-4	año-5
Costes	100.000 €	107.300 €	109.714 €	112.183 €	114.707 €
Ingresos		108.287 €	110.453 €	112.662 €	114.915 €
Flujo	-100.000 €	987 €	739 €	479 €	208 €
SITUACIÓN PREVIA [1]	año-6	año-7	año-8	año-9	año-10
Costes	117.288 €	119.927 €	122.625 €	125.384 €	128.205 €
Ingresos	117.214 €	119.558 €	121.949 €	124.388 €	126.876 €
Flujo	-74 €	-369 €	-676 €	-996 €	-1.330 €
TIR [1]					
VAN [1]	-98.652 €				

ALTERNATIVA-1 [2]	año-1	año-2	año-3	año-4	año-5
Costes	100.000 €	74.550 €	76.227 €	77.942 €	79.696 €
Ingresos		108.287 €	110.453 €	112.662 €	114.915 €
Flujo	-100.000 €	33.737 €	34.226 €	34.719 €	35.219 €
ALTERNATIVA-1 [2]	año-6	año-7	año-8	año-9	año-10
Costes	81.489 €	83.323 €	85.198 €	87.115 €	89.075 €
Ingresos	117.214 €	119.558 €	121.949 €	124.388 €	126.876 €
Flujo	35.724 €	36.235 €	36.751 €	37.273 €	37.801 €
TIR [2]	32,03%				
VAN [2]	187.446 €				

ALTERNATIVA-2 [3]	año-1	año-2	año-3	año-4	año-5
Costes	220.000 €	32.439 €	33.169 €	33.915 €	34.678 €
Ingresos		108.287 €	110.453 €	112.662 €	114.915 €
Flujo	-220.000 €	75.848 €	77.284 €	78.747 €	80.237 €
ALTERNATIVA-2 [3]	año-6	año-7	año-8	año-9	año-10
Costes	35.459 €	36.257 €	37.072 €	37.906 €	38.759 €
Ingresos	117.214 €	119.558 €	121.949 €	124.388 €	126.876 €
Flujo	81.755 €	83.301 €	84.877 €	86.481 €	88.116 €
TIR [3]	33,30%				
VAN [3]	437.671 €				

Tabla 4.68. Estudio económico sobre la viabilidad de la instalación de un MBR. (II)

CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES

5.- CONCLUSIONES

5.1.- LIXIVIADOS P1, P2 y P3

- 1º.- El lixiviado P3, presenta un mayor contenido en ST que en P2, y éste a su vez que en P1. Además, de esos ST, el porcentaje de SV es mayor en P3, luego en P2 y, por último, en P1. Igual ocurre con la presencia del COT, el nitrógeno total y el amoniacal.
- 2º.- El Mn, Zn y Pb (especialmente los dos primeros), presentes en un residuo lixivian mejor en un ambiente oxidativo (proceso de compostaje) que en ambiente reductor (digestión anaerobia).
- 3º.- La presencia de ciertos metales como el Cd, Cr, Zn y Mn, está fuertemente relacionada con la presencia de Pb, Na, Mn, Ca y Fe.

Además, con una probabilidad del 99%:

- La concentración de Cd está relacionada en un 89% con la concentración de Pb.
- La concentración de Cr viene relacionada en un 89% por la concentración de Na.
- La concentración de Zn está relacionada con el Mn, Ca y Fe en un 83%, 78% y 74% respectivamente.
- La concentración de Mn está relacionada con el Ca y el Fe en un 78% y 70% respectivamente.

5.2.- LIXIVIADOS EN EL TÚNEL. RÉPLICAS A00062, A00063 y A00064

1º.- La concentración de ciertos metales pesados como el Mn, Pb y Ni se ve afectada por ciertas propiedades. Además, con una probabilidad del 99%:

- La concentración de Mn está relacionada con el N-orgánico, el COT y el C-total en un 81%, 71% y 60% respectivamente.
- La concentración de Pb está relacionado con la CE, el N-NH₄⁺ y el N-total en un 67%, 59% y 50% respectivamente.
- La concentración de Ni está relacionado con la CE en un 59%.

2º.- La concentración de ciertos elementos como el K, Na, Mg y Ca, también está relacionada por ciertas propiedades. Así, con una probabilidad del 99%:

- La concentración de K está relacionada en 70% con la CE.
- La concentración de Na, está relacionada en un 68% con la CE.
- La concentración de Mg está relacionada con el COT y C-total en un 64% y 57% respectivamente.
- La concentración de Ca está relacionada con el COT y el N-orgánico en un 61% y 60% respectivamente.

3º.- La concentración de ciertos metales pesados como el Mn, Ni, Cr y Cd, está relacionada por la de de ciertos elementos y otros metales pesados, con una probabilidad del 99%.

- La concentración de Mn está relacionada con el Ca en un 79%.
- La concentración de Ni está relacionada con el Na y K en 78% y 70% respectivamente.
- La concentración de Cr está relacionada con el Na, Ni, y K en un 70%, 60% y 59%, respectivamente.
- La concentración de Cd está relacionada con el Mn en un 54%.
- La concentración de los elementos Na y Ca está condicionada respectivamente con el K (en un 88%) y el Mg (en un 57%).

5.3.- MATERIAL BIOESTABILIZADO FINAL

1º.- La presencia de metales pesados en el material bioestabilizado final es mayor si se riegan los cordones de maduración con lixiviado que si se riegan con agua.

2º.- Hay una correlación entre ciertas propiedades del material bioestabilizado final y la concentración de metales pesados. Así, con una probabilidad del 99%:

- El pH está relacionado con el Mn, Cr y Cu (en un 84%, 60% y 56% respectivamente).
- El contenido de N-total está relacionado con el Cr en un 62%

Además, con una probabilidad del 95%:

- La CE viene relacionada por el Mn (en un 83%) y el Cu (en un 69%).
- El N-nítrico y el C-total están relacionados con el Cu en un 60% y 57% respectivamente.

3º.- Hay una gran correlación entre ciertos metales pesados presentes en el material bioestabilizado final. Así, con una probabilidad del 99%:

- La concentración de Cu, Cr y Cd está relacionada con el Mn en un 70%, 61% y 57% respectivamente.

5.4.- LIXIVIADOS TRATADOS EN UN MBR

1º.- Los resultados obtenidos mejoran sustancialmente introduciendo un decantador entre el tratamiento físico-químico y el reactor biológico.

2º.- La elección como técnica de membranas de la ultrafiltración ha resultado ser muy acertada, especialmente para la eliminación de metales pesados y el COT.

3º.- Los resultados para la eliminación del Na y K no son relevantes. Si se quiere optar por la eliminación de estos elementos habría que ir a técnicas de membranas con reducción del tamaño de poro (ósmosis inversa o nanofiltración)

4º.- La opción de introducción de un **MBR** con decantación si se quiere perseguir una mayor reducción del N-total y $N-NH_4^+$, debiera de ir acompañada con la introducción de una cámara anóxica en el reactor para facilitar los fenómenos de nitrificación-desnitrificación

5º.- Es técnica y económicamente viable el acometer esta inversión, al presentar una importante reducción de costes en su explotación, una recuperación de la inversión muy satisfactoria y un valor actual neto superior a si no se ejecutase la misma. Además, acorde a lo expuesto en las conclusiones sobre el material bioestabilizado final, la utilización del permeado obtenido en sustitución del lixiviado durante las fases de fermentación y maduración, mejorará la calidad de este producto.

5.5.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Como continuación de esta línea de investigación se podría seguir trabajando en:

- Comprobación de la reducción de metales en el material bioestabilizado final utilizando el permeado.
- Profundizar en los contenidos de metales pesados en el material bioestabilizador, a lo largo de fases intermedias del proceso (entrada y salida de los túneles de fermentación).
- Extensión de estos trabajos al compost con la introducción del "cuarto contenedor"
- Comprobación de la instalación de la cámara anóxica en la reducción del N-total y $N-NH_4^+$.
- Profundizar en la obtención de un balance de masas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1].- W.Y. Ahn; M.S. Kang; S.K. Yim; K.H. Choi. 2.002. **Advanced landfill leachate treatment using an integrated membrane processes.** Desalation, 149, 109-114.
- [2].- F. Amlinger, B. Götz, P. Dreher, J. Getszti, C. Weissteiner. (2003). **Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability: a review.** European J. Soil Biol. 39 (3): 107-116.
- [3].- A. Amokrane; C. Comel; J. Veron. 1.997. **Landfill leachate pretreatment by coagulation-flocculation.** Water Res.. 31, 2775-2782
- [4].-I. Bachmann. (1.996). **Zum Abbauverhalten Chlorierter Organischer Verbindungen in Wässriger Lösung bei der UV/Oxidationsmittelbehandlung:** GWA, 155, Aachen.
- [5].- D.B. Badcock; P.C. Singer. 1.979. **Chlorination and coagulation of humic and fulvic acids.** J. Am. Water Works Assoc. 71, 149-152.
- [6].-D. Baderna, S. Maggioni, E. Boriani, S. Gemma, M. Molteni, A. Lombardo, A. Colombo, S. Bordonali, G. Rotella, M. Lodi, E. Benfenati. (2.011). **A combined approach to investigate the toxicity of an industrial landfill´s leachate: Chemical analyses, risk assessment and in vitro assays.** Environmental Research.
- [7].-J.H. Bae, K.W. Cho, S.J. Lee, B.S. Bum, B.H. Yoon.(1.998). **Effects of leachate recycle and anaerobic digester sludge recycle on methane production from solid wastes.** Water Sci. Technol, 38; 159-168.
- [8].-M.J. Bauer, R. Herrmann, A. Martin, H. Zellmann. (1.998). **Chemodynamics, transport behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachate.** Water Sci. Technol. 38, 185-192.
- [9].-G. Baumgarten, C.F. Seyfried. 1.996. **Experiences and new development in biological pre-treatment and physical post treatment of landfill leachate..** Water Sci. Technol. 34, 445-453.
- [10].-T. Beffa, M. Blanc, P.F. Lyon, G. Vogt, M. Marchiani, J.L. Fischer, M. Aragno. (1.996). **Isolation of Thermus strains from hot composts (60 to 80°C).** Appl. Environ. Microbiol.,62(5):1723-1727.
- [11].-Berrin Tansel, Banu Sizirici Yildiz. (2.011). **Goal-based waste management strategy to reduce persistence of contaminants in leachate at municipal solid waste landfills.** Environ Dev Sustain

- [12].-M. de Bertoldi. (1.999). The control of the process and compost quality. *Organic Recovery & Biological Treatment*, ORBIT 99 (eds. W. Bidlingmaier, M. de Bertoldi, L.F. Díaz, & E.K. Papadimitriou), Rombos Verlag, Berlín, Germany.
- [13].-M. de Bertoldi, L.F. Díaz, W. Bidlingmaier, E. Stentiford. (2.007). *Compost Science and Technology*. Waste Management Series 8.
- [14].-M. de Bertoldi, G. Vallini, A. Pera. (1.983). *The biology of composting: a review*. Waste Manage. Res., 1, 157-176.
- [15].- M. de Bertoldi, G. Vallini, A. Pera. (1.985). *Technological aspects of composting including modelling and microbiology*. Composting of Agricultural and Other Wastes (ed. J.K.R. Gasser). Elsevier Applied Science, London and New York.
- [16].-Bethann Parisian (1.996). *Ammonium and nitrate removal from Belle Isle landfill leachate in constructed wetland cells*. State University of New York College of Environmental Science and Forestry Syracuse, New York.
- [17].-Bilal Barakat Al-Bataina. (2.008). *Effects of compost age on the release of nutrients and metals*. Environmental Engineering of the University of California, Davis.
- [18].- T. Bilstad; M.V. Madland. 1.992. *Leachate minimization by reverse osmosis*. Water Sci. Technol. 25, 117-120.
- [19].- M. Bodzek.1.999. *Membrane techniques in wastewater treatment*. In Water Management Purification & Conservation in Aride Climate; Goosen, M.F.A., Shayya, W.H., Ed.; Technomic Publishing Company: Lancaster-Basel; 121-184
- [20].-Michal Bodzek and Joanna Surmacz-Gorska, Yung-Tse Hung. **Treatment of Landfill Leachate**.
- [21].-H. Bretschneider, K. Löcher. (Eds). (1.993). *Taschbuch der Wasserwirtschaft*; Paul Parey: Hamburg/Berlin.
- [22].-L.P. Brunt. (1.949). *Municipal composting*, Publication N°2a, Albert Howard Foundation of Organic Husbandry, London.
- [23].-P. Bueno Márquez, M.J. Díaz Blanco, F. Cabrera Capitán. (2.008). **Factores que afectan al proceso de compostaje. Compostaje**. Mundi-Prensa (Joaquín Moreno Carrasco, R. Moral Herrero, eds. Científicos).
- [24].-G. Busca, C. Pistarino. (2.003). *Abatement of ammonia and amines from waste gases: a summary*. J. Loss Prevent. Proc.; 16 (2): 157-163.
- [25].-V.R. Cahyani, K. Matsuyalla, S. Asakawa, M. Kimura. (2.004). *Succession and phylogenetic profile of methanogenic archaeal communities during the*

- composting process of rice straw estimated by PCR-DGGE analysis*. Soil Sci. Plant Nutr.,50(4):555-563.
- [26].-P. Castaldi, G. Alberti, R. Merilla, P. Melis. (2.005). **Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity**. Waste Manag., 25: 209-213.
- [27].-H.N.B. Cheung, G.H. Huang, H.Yu. (2.010). **Microbial-growth inhibition during composting of food waste: Effects of organic acids**. Bioresource Technology
- [28].- L.C. Chiang, J.E. Chang, T.C. Wen. 1.995. **Indirect oxidation effect in electrochemical oxidation treatment of landfill leachate**. Water Res. 29, 671-678.
- [29].- E.S.K. Chian; F.B. Dewalle. 1.976. **Sanitary landfill leachate and their treatment**. J. Environ. Eng. Div. 102, 411-431.
- [30].- S. Cho; W.C. Boyle; R.K. Ham. 1.974. **Chemical treatment of leachate from sanitary landfills**. J. Water Pollut. Fed. 46, 1776-1791.
- [31].-Matt Crowe, Kirsty Nolan, Cairtriona Collins, Gerry Carty, Brian Donlon, Merete Kristofferesen. (2.002). **Biodegradable Municipal waste management in Europe. Part 1: Strategies and instruments**. European Topic Centre on Waste. European Environment Agency.
- [32].- L. Dailliez. (1.981). **Les Templiers et l'agriculture: ou les composts templiers**. Pbl. Alpes Mediterranée-Impress Sud, Nice, France.
- [33].-Y. Deng. (2.009). Int. J. Environ. Waste Manage.4: 366-384
- [34].- Y.Deng. (2.007). J. Hazard Mater. 146: 334-340.
- [35].-J.S. Devinny, M. A. Deshusses, T.S. Webster. (1.999).**Biofiltration for air pollution control**. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- [36].- M.J. Díaz, L. Jiménez, F. Cabrera, M. de Bertoldo. (2.004). **Using a second order polynomials model to determine the optimum vinasse/grape marc ratio for in vessel composting**. Compost Sci. Util., 12 (3): 273-279.
- [37].-M. Diaz-Raviña, M.J. Acea, T. Carballas. (1.989). **Microbiological characterization of four composted urban refuses**. Biological Wastes, 30(2):89-100.
- [38].-F. Edeline. (1.987). **L'épuration des lixiviats de décharge**. Tribune de l'eau; 566(6), 57-65.

- [39].- M. Elimelech; W.H. Chen; J.J. Waypa. 1.994. *Measuring the zeta (electrokinetics) potential of reverse osmosis membranes by streaming potential analyser*. Desalination. 95, 269-286.
- [40].-**End-of-waste criteria on Biodegradable waste subject to biological treatment. First Working Document.** (2.011)
- [41].-U.S. Energy Information Administration (EIA), Emissions of Greenhouse Gases in the United States (2.003)
- [42].- H.J. Erig. 1.984. *Treatment of sanitary landfill leachate. Biological treatment*. Waste Manage. Res. 2, 131-152.
- [43].-E. Ferrer, J. Blanco, R. Alonso, M. Martín. (1.996). *Inmobilized Cells: Basics and Applications*. Progress in Biotechnology (Vol 11). Elsevier Science, Amsterdam.
- [44].-M.S. Finstein, J. Cirello, S.T. MacGregor, F.C. Millar, D.J. Suller, P.F. Strom. (1980). *Discussion of Haug R.T. Engineering principles of sludge composting*. J. Water Poll. Control Fed., 52, 2.037-2.042.
- [45].-M.S. Finstein, F.C. Millar, P.F. Strom, S.T. MacGregor, K.M. Psarianos. (1.983). *Composting ecosystem management for waste treatment*. Biotechnology, 1, 347-353.
- [46].- S. Friöhlich. 1.995. *Removal of ecological damages with physical, chemical and biological methods. Examples of technological schemes of realized installations for treatment of soils, ground waters and landfill leachate*. Lecture on International Symposium Industrial and domestics wastes - strategies and methods; Miedzyzdroje, Poland (not published).
- [47].- C.G. Golueke. (1.954). *Investigations of manure composting at San Quentin*, made by the Sanitary Engineering Laboratory, University of California, and the Division of Sanitation , California State Board of Health (unpublished report)
- [48].-C.G. Golueke, B. Card, P.H. McGauhey (1.954). *A critical evaluation of inoculums in composting*. Appl. Microbiol. , 2, 45.
- [49].-C.G. Golueke, L.F. Díaz. (1.987). *Composting and the Limiting Factors Principle*. Biocycle, 28 (4): 22-25.
- [50].- C.G. Golueke, H.B. Gotass. (1.954). *Public health aspects of waste disposal by composting*, Amer. J. Publ. Health, 44, 339.

- [51].-A.M. Hansgate, P.D. Schloss, A.G. Hay, L.P. Walker. (2.005). *Molecular characterization of fungal community dynamics in the initial stages of composting*. FEMS Microbiol. Ecol., 51(2):209-214.
- [52].-D. W. Harrington, J.P. Maris. (1.986). *The treatment of leachate: a UK perspective*. Water Pollut. Control. 45-46.
- [53].-J.M. Harris, J.A. Gaspar. 1.988. *Management of leachate from sanitary landfills*. AIChE Symp. Series, 84, 171-184
- [54].-N.J. Horan, H. Gohar, B. Hill. (1.997). *Application of granular activated carbon-biological fluidised bed for the treatment of landfill leachate containing high concentrations of ammonia*. Water Sci. Technol. 36, 369-375.
- [55].-J. Hultman, T. Vasara, P. Partanen, J. Kurola, M.H. Kontro, L. Paulin, P. Auvinen, M. Romantschuk. (2.009). **Determination of fungal succession during municipal solid waste composting using a cloning-based analysis**. Applied Microbiology.
- [56].-Inventario de Gases de efecto Invernadero de España. Ministerio de Medio Ambiente. Marzo-2007
- [57].-IPCC´s Third Assessment Report (2001)
- [58].-N. Iwami, A. Imai, Y. Inamori, R. Sudo. 1.992. Treatment of landfill leachate containing refractory organics and ammonium nitrogen by the microorganisms attached activated carbon fluidised bed. Water Sci. Technol. 26, 1999-2002.
- [59].-P. Janos, I. Herzogová, J. Rejnek, J. Hodslavská. (2.004). *Assessment of heavy metals leachability from metallo-organic sorbent-iron humate-with the aid of sequential extraction test*. Talanta; 62: 497-501.
- [60].-D.L. Jensen, T.H. Christensen. (1.999). *Colloidal and dissolved metals in leachate from four Danish landfills*. Water Res, 33, 2.139-2.147.
- [61].-J.S. Jeris, R.W. Regan. (1.973). *Controlling Environmental Parameters for Optimun Composting*. Part II, Compost Sci., 14 (March-April): 8-15.
- [62].-J.S Jeris, R,W. Regan. (1.973). *Controlling Environmental Parameters fot Optimun Composting*. Part II, Compost Sci.,14 (March-April): 8-15.
- [63].-B.S. Jhorar, V. Phogat, E. Malik. (1.991). *Kitinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment*. Arid Soil Rest. Rehabil., 5: 297-306.
- [64].-E.C. Jowett. (1.999). *Bio-remedation of landfill leachate with remote monitoring and on-site disposal*. In Phytoremediation and Innovative Strategies

- for Specialized Remedial Applications; A. Leeson, B.C. Alleman, Ed.; Battelle Press: Columbus, Richland; 259-264.
- [65].- S.F. Kang, H.M. Chang. (1.997). *Coagulation of textile secondary effluents with Fenton's reagent*. Water Sci. Technol, 36; 215-222.
- [66].-H.K. Kang, H.S. Shin, H. Park. (2.002). *Characterization of humic substances present in landfill leachate with different landfills ages and its implications*. Water Res. 36, 4043-4032.
- [67].-J.D. Keenan; R.L. Steiner; A.A. Fungaroli. 1.983. *Chemical-physical leachate treatment*. J. Environ. Eng. 109, 1371-1384.
- [68].- F.J. Kiehl. (1.985). *Fertilizantes Orgánicos*. Editora Agronomica Ceres Ltda., Sao Paulo.
- [69].-S. M. Kim. (1.997).*Untersuchungen zur Abwasserreinigung mit Hilfe des Photo-Fenton-Prozesses*; CutecSchriftenreihe-31: Clausthal.
- [70].- S.M. Kim, S.U. Geissen, A. Vogelpohl. (1.997). *Landfill leachate treatment by a photoassisted Fenton reaction*. Water Sci. Technol. 35, 239-248.
- [71].-E. Klimiuk, D. Kulikowska. (1.999). *Biological treatment of landfill leachate by activated sludge in SBR reactors*. Biotechnologia, 2, 190-202.
- [72].-Teresa Kornilowicz-Kowalska, Justyna Bohacz. (2.009).**Dynamics of growth and succession of bacterial and fungal communities during composting of feather waste**. Bioresource Technology
- [73].- P. Kowalik, F.M. Slater, P.F. Randerson. (1.995). *Constructed wetlands for landfill leachate treatment*. In Ecotechnics for a Sustainable Society; L. Thofelt, A. Englund, Ed.; Londyn; 189-200.
- [74].-D. Kulikowska, E. Klimiuk. (2.008). Bioresour. Technol. 99: 5.981-5.985.
- [75].-W.G. Kuo. (1.997). *Decolorizing dye wastewater with fenton's reagent*. Water Res.26; 881-886.
- [76].-John James LaGorga. (1.996). *Composting Municipal Solid Waste Amended with Landfill Leachate: An Alternative Landfill Leachate Treatment Technique*. State University of New York College of Environmental Science and Forestry Syracuse, New York.
- [77].-R.J.A. L'amour, E. Bessa, S. Gomes, M. Dezotti. (2.008). Sep. Purif. Technol. 60: 142-146.

- [78].-J.M. Lema, R. Mendez, R. Blasquez. 1.988. *Characteristics of landfill leachate and alternatives for their treatment: A review*. Water. Air Soil Pollution, 40, 223-250.
- [79].-Ley 10/98, de 21 de abril, de Residuos
- [80].- K. Linde, A.N. Jönsson, R. Wimmerstedt. 1.994. *Treatment of three different types of landfill leachate with reverse osmosis*. In Preprints of 7 th International Symposium Synthetic Membranes in Science and Industry; Töbingen, Germany. 488-491.
- [81].-K. Linde; A Jönsson; R. Wimmerstedt, 1.995. *Treatment of three types of landfill leachate with reverse osmosis*. Desalation, 101;21-30
- [82].- Y.H. Liu, X. Quan, Y.Z. Zhao, S. Chen, H.M. Zhao. (2.005). *Removal of ternary VOCs in air streams at high loads using a compost-based biofilter*. Biochem. Eng. J., 23(1): 85-95.
- [83].-E. Madejón, M.J. Díaz, R. López, F. Cabrera. (2.001). *Co-composting of sugarbeet vinasse: Influence of the organic matter nature of the bulking agents used*. Biores. Technol., 76: 275-278.
- [84].- T. Maehlum. (1.995). Treatment of landfill leachate in on-site lagoons and constructed wetlands. Water Sci. Technol. 32, 129-135.
- [85].-M. Martín, J. Fernández, J.L. Allende, G. Mengs, R. Alonso, E. Ferrer. (1.999). *Characterization of two nobel propachlor degradation pathways in two species of soil bacteria*. Appl. Environ. Microbiol., 65, 2: 802-806.
- [86].-Metcalf and Eddy. (1.991). *Wastewater Engineering: Treatment, Diposal and Reus*; McGraw-Hill, Inc.: New York.
- [87].- F.C. Michel, J.A. Pecchia, J. Rigot. (2.004). *Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw*. Compost Sci. Util., 12 (4): 323-334.
- [88].- F. Miyatake, K. Iwabuchi. (2.005). *Effect of high compost temperature on enzymatic activity and species diversity of culturable bacteria in cattle manure compost*. Bioresour. Technol.,96(16):1821-1825.
- [89].- J. Moreno, S. Mormeneo. (2.008). *Microbiología y bioquímica del proceso del compostaje. Compostaje*. Mundi-Prensa (Joaquín Moreno Carrasco, R. Moral Herrero, eds. Científicos).
- [90].- M. Mulder. 1.991. *Basic Principles of Membrane Technology*; Kluwer Academic Publisher: Dordrecht.

- [91].-M. Mulder. 1.994. *The use of membrane processes in environmental problems. An introduction.* In Membrane Processes in Separation and Purification; Crepsio, J.G.; Bøddeker, K.W., Ed.; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht-Boston-London. 229-262
- [92].-Timothy J. Murphy. (2.004). **A comparative evaluation of liquid infiltration methods for bioreactor landfills.** Environmental Science Graduate School of The Ohio State University.
- [93].- A. Noworyta. 1.995. *Opportunities and challenges in environmental problems with membrane, biotechnology and hybrid processes.* In Towards Hybrid Membrane and Biotechnology Solutions for Polish Environmental Problems. Howell, J.A., Noworyta A., Ed.; Wroclaw Technical University Press: Wroclaw, Poland; 7-27.
- [94].-Obuly P. Karthikeyan, M. Swati, R. Nagendran, Kurian Joseph. (2.006). *Performance of bioreactor landfill with waste mined from a dumpsite.* Environ Monit Assess. 135: 141-151.
- [95].-Obuli P. Karthikeyan, M. Swati, R. Nagendran, Kurian Joseph. (2.007). **Performance of bioreactor landfill with waste mined from a dumpsite.** Environ Monit Assess.
- [96].-E. Pagans, X. Font, A. Sanchez. (2.005). *Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases.* Chem. Eng. J., 113 (2-3): 105-110
- [97].-Pasi Partanen, Jenni Hultman, Iars Paulin, Petri Auvinen, Martin Romantschuk. (2.010). **Bacterial diversity at different stages of the composting process.** BMC Microbiology.
- [98].-N. Paxéus. (2.000). Organic compounds in municipal landfill leachate. Water Sci. Technol. 42, 323-333
- [99].-M. Pesavento, G. Alberti, R. Biesuz (2.009). *Analytical methods for determination of free metal ion concentration, labile species fraction and metal complexation capacity of environmental waters: a review.* Anal Chim Acta; 631: 129-41.
- [100].-T. Peters. 1.996. *Purification of landfill leachate with membrane technology.* Water Qual. Int. 9-10;18-22
- [101].-A. Peters. 1.998. *Purification of landfill leachate with membrane filtration.* Purification & Separation. Jan/Feb, 33-36
- [102].- A. Peters. 1.998. *Purification of landfill leachate with reverse osmosis and nanofiltration.* Desalination, 119; 289-293

- [103].- A. Peters. 1.995. *Purification of landfill leachate with reverse osmosis and DT-module*. In Membrane Technology: Application to Industrial Wastewater Treatment; Caetano, A. et al.; ed.; Kluwer Academic Publishers; 175-185
- [104].-S. Pfister, A. Ohse, J. Winter.(1.997). *Weitergehende Mischwasserbehandlung durch Fentons Reagenz*. Korrespondenz Abwasser, 1; 67-69.
- [105].-Plan Nacional Integrado de Residuos (2.008-2.015)
- [106].-R. Poblete, E. Otaol, L.F. Vilches, J. Vale, C. Fernández-Pereira. (2.010). *Photocatalytic degradation of húmica acids and landfill leachate using a solid industrial by-product containing TiO₂ and Fe*. Applied Catalysis B: Environmental.
- [107].-O. Primo, M.J. Rivero, I. Ortiz. (2.008). J. Hazard Mater. 153: 834-842
- [108].-C. Rad, D. Pérez-Alonso, M. Fernández-Peña, Casilda Olalla, Juan Manuel Bustillo, Salvador González-Carcedo.(2.008). *Utilización de un compost de residuos urbanos en la recuperación de las propiedades bioquímicas de un suelo forestal quemado*. Retema. Noviembre/Diciembre, 72-79.
- [109].- R. Rautenbach. 1.989. *Membrane Processes*; John Wiley and Sons: New York.
- [110].- R. Rautenbach; A. Gröschl. 1.990. *Separation potential of nanofiltration membranes*. Desalation, 77, 73-84.
- [111].-R. Rautenbach; R. Mellis. 1.993. *Erhöhter biologischer Abbaugrad durch Kombination einer biologischen Reinigungsstufe mit Membranverfahren*. Korrespondenz Abwasser, 40, 1138-1142.
- [112].-RD 1481/2001 de 27 de diciembre, por el que se elimina la eliminación de residuos mediante depósito en vertederos.
- [113].- D. Robert; A. Gauthier. (1.998). *Prospects for a supported photocatalyst in the detoxification of drinking water*. Water Qual. Int., November/December, 27-28
- [114].-H. Robinson.(1.992). Aerated lagoons. *In Landfilling of waste: Leachate*; T.H Christensen, R. Stegmann., Ed; Elsevier Applied Science: London and New York. 203-210.
- [115].-M. Rodenas Adam, R. Chismol, M. D. Arango Serna. (2.000). *Un enfoque sistemático para realizar la tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. Psicothema. Vol 12. Supl. Nº2,pp. 474-478.

- [116].-A. Roig García-Ferrández, A. Sánchez-Ferrer, et al.(2.008). ***Control de la emisión de gases y olores***. Compostaje. Mundi-Prensa (Joaquín Moreno Carrasco, R. Moral Herrero, eds. Científicos).
- [117].-Cz. Rosik-Dulewska. 1.999. ***Principle of Waste Management***; Ekoizynieria Press: Lublin (in Polish).
- [118].-J. Ryckeboer, J. Mergaert, K. Vaes, S. Klammer, D. De Clercq, J. Coosemans, H. Insam, J. Swings. (2.003). ***A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes***. Ann. Microbial., 53(4):349-410.
- [119].-M.A. Sánchez-Monedero, A. Roig, C. Paredes, M.P. Bernal. (2.001). ***Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures***. Biores Technol., 78(3): 301-308.
- [120].-P.D. Schloss, A.G. Hay, D.B. Wilson, J.M.Gossett, L.P. Walker. (2.005). ***Quantifying bacterial population dynamics in compost using 16S rRNA gene probes***. Appl. Microbial. Biotechnol.,66(4):457-463
- [121].- M.L. Semmens; T.K. Field. 1.980. ***Coagulation: experiences in organics removal***. J. Am. Water Works Assoc. 72, 476-483.
- [122].- C. Slater; R. Ahlert; C. Uchrin. 1.983. ***Treatment of landfill leachate by reverse osmosis***. Environ. Progress, 2; 251-256.
- [123].- C.S. Slater; R.C. Ahlert; G. Uchrin. 1.983. ***Physico-chemical pretreatment of landfill leachate using coagulation***. J. Environ. Sci. Hlth. 18, 125-134.
- [124].-M. Steensen. (1.997). ***Chemical oxidation for the treatment of leachate-process comparison and results from full-scale plants***.Water Sci. Technol. 35, 249-256.
- [125].- R. Stegmann; H.J. Ehrig. 1.980. ***Operation and design of biological leachate treatment plant***. Prog. Water Technol., 12, 919-947.
- [126].-E.I. Stentiford. (1.993). ***Diversity of composting systems***. Science and Engineering of Composting (eds. H.A.J. Hoitink, H.M. Keener). The Ohio State University, USA.
- [127].-Steve Simmons, Stuart Mollard. (2.003). ***The development of a new low cost leachate treatment system for closed landfill site management communities supported by different organic materials with sulphate reduction in metal-rich landfill leachate***. Science Direct.

- [128].-D.J. Suler, S. Finstein. (1.977). *Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ Formation in Beach-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste*. Appl. Environ Microbiol., 33 (2): 345-350.
- [129].-J. Surmacz-Gorska. 2.001. *Degradation of Organic Compounds in Municipal Landfill Leachate*; Publishers of Environmental Engineering Committee of Polish Academy of Sciences: Lublin (in Polish).
- [130].-J. Surmaez-Gorska. (2.001). *Degradation of Organic Compounds in Municipal Landfill Leachate*; Publishers of Environmental Engineering Committee of Polish Academy of Sciences: Lublin (in Polish).42-46.
- [131].-A. C. Syzdek; R.C. Ahlert. 1.984. *Separation of landfill leachate with polymeric ultrafiltration membranes*. J. Hazardous Mater, 9, 209-220.
- [132].-R. Szpadt. (1.988). *Municipal waste landfills, leachate characteristics*. Civil Engng Municipal Mgmt, 4, 72-76.
- [133].-G. Tchobanoglous, H. Theisen, S.A. Vigil, (1.994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. McGraw-Hill
- [134].-R.J. Thorton; F.C. Blanc. 1.973. *Leachate treatment by coagulation and precipitation*. J. Environ. Eng. Div. 99, 535-544.
- [135].-Cristina Trois, Giulia Pisano, Laurent Oxarango (2.010). **Alternative solutions for the bio-denitrification of landfill leachates using pine bark and compost**. Journal of Hazardous Materials
- [136].- C.T. Tsai; S.T. Lin; Y.C. Shue; P.L. Su. 1.997. *Electrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills*. Water Res.. 31, 3073-3081.
- [137].-M. Tuomela, M. Vikman, A. Hatakka. (2.000). *Biodegradation of lignin in a compost environment: A review*. Bioresour. Technol., 72(2):169-183.
- [138].-S. F. Tyrrel, P.B. Leeds-Harrison, K.S. Harrison. (2.002). *Removal of ammoniacal nitrogen from landfill leachate by irrigation onto vegetated treatment plannes*. Water Res., 36:291-299.
- [139].-University of California, Sanitary Engineering Research Project (1.953) *Reclamation of municipal refuse by composting*. Berkeley, California, USA, Technical Bulletin N° 9.
- [140].-B. Van der Bruggen, L. Lejon, C. Vandecasteele. 2.003. *Reuse, treatment and discharge of the concentration of pressure driven membrane processes*. Environ. Sci. Technol. 37, 3733-3738
- [141].-D.T. Villarreal, R.F. Turco, A. Konopka. (1.991). *Propachlor degradation by a soil bacterial community*. Appl. Environ. Microbiol., 57: 2135-2140.

- [142].- B. Weber, F. Holz. 1.991. *Landfill leachate treatment by reverse osmosis*. In Effective Industrial Processes: Benefits and Opportunities; Tuner, M.K., Ed.; Elsevier Applied Science: London-New York, 143-154.
- [143].-D. Weichgrebe. (1.994). *Beitrag zur Chemisch-Oxidativen Abwasserbehandlung*; Cutec-Schriftenreihe-12: Clausthal.
- [144].-L.P. Weng, E.J.M. Temminghoff, S. Lofts, E. Tipping, W.H. Van Riemsdijk.(2.002) *Complexation with dissolved organic matter and solubility control of heavy metals in a sandy soil*. Environ Sci Technol; 36: 4.804-10.
- [145].-J.K. White, R.P. Beaven, W. Powrie, K. Knox. (2.010). **Leachate recirculation in a landfill: Some insights obtained from the development of a simple 1-D model**. Waste Management.
- [146].-Yanyu Wu, Shaoqi Zhou, Dongyu Chen, Rong Zhao, Huosheng Li, Yiming Lin. (2.011). **Transformation of metals speciation in a combined landfill leachate treatment**. Science of the Total Environmental.
- [147].-J. Yoon, S. Cho, Y. Cho, S. Kim. (1.998). *The characteristics of coagulation of Fenton reaction in the removal of landfill leachate organics*. Water Sci. Technol. 38; 125-133.
- [148].-N.W. Zhu. (2.006). *Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilote-scale aerated static bin system*. Biores. Technol., 97 (15): 1.870-1.875)
- [149].-F. Zucconi M. de Bertoldi. (1.987). *Specifications for solid waste compost*. Biocycle, 28 (5/6): 56-61.