



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

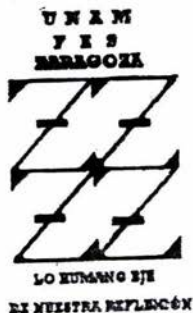
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES
GENERADAS EN LOS TALLERES DEL SECTOR DE SERVICIOS
PARA EVALUAR SU CONTENIDO DE COMPUESTOS
XENOBIOTICOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G O
P R E S E N T A :
LIDIA YOLANDA SALAZAR DAVILA

ASESOR DE TESIS: MA. DEL CARMEN DURAN DOMINGUEZ DE BAZUA
PROF. TITULAR "C" T.C. FACULTAD DE QUIMICA, UNAM

ASESOR INTERNO: ELOISA ADRIANA GUERRA HERNANDEZ
PROF. ASOC. "B" T.C. FES ZARAGOZA UNAM



México, D. F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado según el tema:

Presidente	Biól. Raúl Arcos Ramos
Vocal	Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa
Secretario	Biól. Eloísa Adriana Guerra Hernández
Suplente	Biól. Maricela Arteaga Mejía
Suplente	M. en C. Justo Salvador Hernández Avilés

Sitio donde se desarrolló el tema

Facultad de Química, UNAM

Laboratorios y Talleres del Sistema de Transporte Colectivo

Sustentante: Lidia Yolanda Salazar Dávila _____

Director: María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa _____

Asesor interno (FES-Z): Eloísa Guerra Hernández _____

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la vida por permitirme tener una familia y realizar uno de mis deseos más anhelados.

Al Sistema de Transporte Colectivo (STC), "El Metro" y su Coordinación de Laboratorio.

A los Ingenieros José Manuel Jiménez Martínez y Manuel Dehesa Godina por haberme dado la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis.

A mi esposo Arturo y a mi hijo Arturito por su amor, motivación, apoyo, paciencia y porque son fundamentales en mi vida.

A mi padre Juan Salazar Peralta, porque en su momento tuvo fe en mí y por que sus recuerdos siempre son muy gratos.

A mi madre Ernestina Dávila por haberme dado la vida, por su nobleza humana, su alegría que la caracteriza y su optimismo hacia la vida.

A mis hermanos por su reconocimiento y su cariño.

A Lilia García, de la Facultad de Química, por su amistad y apoyo.

A mis compañeros del S.T.C., Felipe de Jesús Vázquez, José G. Moreno Becerra, Rubén Baeza, Alfonso Sánchez y Salvador Pérez por su gran ayuda.

A mis compañeras del S.T.C., Esther Morales González y Nora Mastache Arroyo por su amistad y apoyo.

A los profesores de la Facultad de Química y de la FES-Zaragoza por su apoyo y aportaciones.

A la Dra. Carmen Durán y a la Profa. Eloísa A. Guerra por la dirección de mi tesis.

ÍNDICE

	PÁGINA
Glosario	xii
Resumen	xiv
Capítulo 1 Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	5
1.2. Justificación	10
1.3. Objetivos	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos particulares	12
1.4. Hipótesis	12
Capítulo 2 Guías para pruebas de biodegradabilidad aerobia rápida para evaluar compuestos químicos disueltos o coloidales en aguas de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE)	13
2.1. Introducción	13
2.2. Principio general de las pruebas	14
2.3. Información sobre la sustancia de prueba	14
2.4. Selección y aplicación de métodos	15
2.5. Niveles apropiados	16
2.6. Compuestos de referencia	16
2.7. Reproducibilidad de las pruebas	16
2.8. Procedimientos generales y preparaciones de las pruebas	17
2.8.1. Agua	17
2.8.2. Medio mineral	18
2.8.3. Métodos de adición de las sustancias de referencia y de las de prueba	18
2.8.4. Inóculo	18

2.8.5.	Pre-acondicionamiento del inóculo	19
2.8.6.	Controles abióticos	19
2.8.7.	Número de frascos y muestras	19
2.9.	Datos y reportes	20
2.9.1.	Tratamientos de resultados	20
2.9.2.	Validación de las pruebas	21
2.9.3.	Reporte de las pruebas (informe final)	21

Capítulo 3 Metodología 24

3.1.	Muestreo	24
3.1.1.	Muestreo al inicio de la experimentación	25
3.2.	Análisis en el laboratorio	25
3.2.1.	Montaje de la metodología <i>ad hoc</i> para la demanda química de oxígeno	26
3.2.2.	Montaje de la metodología <i>ad hoc</i> del análisis elemental para determinar carbono total	26
3.2.3.	Montaje de la metodología <i>ad hoc</i> para la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida	27
3.2.4.	Montaje de la metodología <i>ad hoc</i> para el análisis de metales pesados	28
3.3.	Prueba de biodegradabilidad aerobia rápida	29
3.3.1.	Análisis microbiológico	30
3.3.2.	Presentación de resultados	31
3.4.	Trabajo de gabinete	32
3.4.1.	Manejo estadístico de los datos del análisis fisicoquímico del agua residual	32

Capítulo 4 Resultados y discusión

4.1.	Caracterización de las aguas residuales generadas en los turbuladores y el cárcamo	34
4.2.	Manejo estadístico de los datos resultantes de la caracterización	38
4.3.	Resultados de la aplicación de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida OECD 301-A	44
4.4.	Análisis microbiológico de las soluciones preparadas para	45

	la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida	
4.5.	Comparación entre los resultados de la demanda química de oxígeno (DQO) y del análisis elemental (Carbono total, CT)	47
Capítulo 5	Conclusiones y recomendaciones	50
5.1.	Conclusiones	50
5.1.1.	Caracterización física y química de las aguas residuales en estudio	50
5.1.2.	Caracterización microbiológica (Aplicación de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida OECD 301-A)	47
5.1.3.	Propuesta de metodología analítica para caracterizar aguas residuales altamente contaminadas con metales pesados y grasas	51
5.2.	Recomendaciones	52
	Referencias bibliográficas	53
	ANEXOS	56
	Anexo A.1. Muestreo de aguas residuales (NMX-AA-003-1980)	56
	Anexo A.2. Metodologías analíticas	60
A.2.1.	Prueba de biodegradabilidad aerobia rápida OECD 301 A-1992	60
A.2.2.	Determinación del valor de pH. Método potenciométrico (NMX-AA-008-SCFI-2000)	67
A.2.3.	Determinación de temperatura. Método visual con termómetro (NMX-AA-007-SCFI-2000)	68
A.2.4.	Determinación de sólidos. Sólidos totales, sólidos totales volátiles y fijos (APHA, 1992;NMX-AA-034-2000)	68
A.2.5.	Determinación de sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles y fijos	69
A.2.6.	Determinación de sólidos disueltos totales, sólidos disueltos volátiles y fijos	71
A.2.7.	Determinación de sólidos sedimentables por el método volumétrico (NMX-AA-004-SCFI-2000)	72

A.2.8.	Determinación de materia flotante (NMX-AA-006-2000)	72
A.2.9.	Determinación de grasas y aceites (APHA, 1992;NMX-AA-005-SCFI-2000)	73
A.2.10.	Determinación de demanda química de oxígeno. Método volumétrico con dicromato de potasio (APHA, 1992;NMX-AA-030-SCFI-2000)	75
A.2.11.	Metales. Método por absorción atómica (APHA, 1992;NMX-AA-051-2001)	76
A.2.12.	Carbono total. Análisis elemental	77
A.2.13.	Determinación de oxígeno disuelto. Método del electrodo de membrana (APHA, 1992)	78
A.2.14.	Técnica microbiológica empleada. Método para la cuenta total de bacterias mesófilicas aerobias en placa (NOM-092-SSA1-1994)	79
Anexo A.3.	Análisis físico-químicos de las aguas residuales en estudio	82
A.3.1.	Concentraciones promedio de los parámetros físico-químicos más representativos	82
A.3.2.	Concentraciones promedio de los metales totales más representativos	83
A.3.3.	Resultados físico-químicos del turbulador 1 (T1) al inicio y al final del proceso de lavado	84
A.3.4.	Resultados físico-químicos del turbulador 2 (T2) al inicio y al final del proceso de lavado	85
A.3.5.	Resultados físico-químicos del turbulador 3 (T3) al inicio y al final del proceso de lavado	86
A.3.6.	Resultados físico-químicos del turbulador 4 (T4) al inicio y al final del proceso de lavado	87
A.3.7.	Resultados físico-químicos del cárcamo 7 del primero y segundo muestreo	88
A.3.8.	Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados totales del turbulador 1 (T1) al inicio y al final del proceso de lavado	89
A.3.9.	Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados totales en el turbulador 2 (T2) al inicio y al final del proceso de lavado	90
A.3.10.	Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados totales en el turbulador 3 (T3) al inicio y al final del proceso de lavado	91

A.3.11.	Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados totales en el turbulador 4 (T4) al inicio y al final del proceso de lavado	92
A.3.12.	Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados totales del cárcamo 7 del primero y segundo muestreo	93
A.3.13.	Determinaciones del contenido de DQO y de CT del agua residual (proveniente del cárcamo 7, previas al manejo de la prueba de biológica)	93
Anexo A.4. Análisis estadístico de los resultados de la caracterización de las aguas residuales		94
A.4.1.	Comparación entre los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al inicio del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físico-químicos	94
A.4.2.	Comparación entre los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al final del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físico-químicos	94
A.4.3.	Comparación entre los niveles superior (N1), medio (N2) y superior (N3) de cada sistema (T1, T2, T3, T4 y C) al inicio del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físico-químicos	95
A.4.4.	Comparación entre los niveles superior (N1), medio (N2) y fondo (N3) de cada sistema (T1, T2, T3, T4 y C) al final del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físico-químicos	96
A.4.5.	Análisis de varianza de Kruskal-Wallis	97
Anexo A.5. Reporte de los resultados de acuerdo con el formato propuesto por la prueba OECD 301-A (1992)		98
Anexo A.6. Datos experimentales preliminares		101
A.6.1.	Demanda química de oxígeno total, DQO _t	101
A.6.2.	Determinación de metales pesados	102
Anexo A.7. Acervo fotográfico		103
A.7.1.	Área de turbuladores	103
A.7.2.	Muestreo de los turbuladores	103

A.7.3.	Área del cárcamo 7	104
A.7.4.	Muestreo del cárcamo 7	104
A.7.5.	Área del laboratorio físico-químico del S.T.C. Análisis de grasas y aceites	105

Índice de Cuadros y Figuras

Cuadro 1.1.	Limites máximos permisibles para contaminantes básicos y metales pesados de cuerpos receptores (CNA, 2002)	4
Cuadro 1.2.	Caracterización del agua residual tomada de uno de los turbuladores en marzo de 1998, antes de vaciarlo al cárcamo, con base en las normas NOM-031-ECOL-1993 y NOM-002-ECOL-1996	11
Cuadro 2.1.	Métodos de prueba aplicables a diferentes sustancias (OECD, 1992)	15
Cuadro 2.2.	Condiciones de las pruebas (OECD, 1992)	17
Cuadro 3.1.	Composición química de las soluciones preparadas para la aplicación de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida OECD 301-A (1992)	31
Cuadro 4.1.	Los promedios generales, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los parámetros físicos y químicos más representativos, considerando el inicio y final del proceso de lavado	35
Cuadro 4.2.	Los promedios generales, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los metales totales más representativos, considerando el inicio y final del proceso de lavado	37
Cuadro 4.3.	Resultados obtenidos del monitoreo durante la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida OECD 301-A	46
Cuadro 4.4.	Resultados del análisis microbiológico de las soluciones preparadas para la aplicación de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida	47
Cuadro A.3.1.	Concentraciones promedio de los parámetros físico-químicos más representativos	82
Cuadro A.3.2.	Concentraciones promedio de los metales pesados más representativos	83
Cuadro A.3.3.	Resultados físico-químicos del turbulador 1 (T1) al inicio y al final del proceso de lavado	84
Cuadro A.3.4.	Resultados físico-químicos del turbulador 2 (T2) al inicio	85

	y al final del proceso de lavado	
Cuadro A.3.5.	Resultados físico-químicos del turbulador 3 (T3) al inicio y al final del proceso de lavado	86
Cuadro A.3.6.	Resultados físico-químicos del turbulador 4 (T4) al inicio y al final del proceso de lavado	87
Cuadro A.3.7.	Resultados físico-químicos del cárcamo 7 del primero y segundo muestreo	88
Cuadro A.3.8.	Valores finales del análisis de metales pesados totales del turbulador 1 (T1) al inicio y al final del proceso de lavado	89
Cuadro A.3.9.	Valores finales del análisis de metales pesados totales del turbulador 2 (T2) al inicio y al final del proceso de lavado	90
Cuadro A.3.10.	Valores finales del análisis de metales pesados totales del turbulador 3 (T3) al inicio y al final del proceso de lavado	91
Cuadro A.3.11.	Valores finales del análisis de metales pesados totales del turbulador 4 (T4) al inicio y al final del proceso de lavado	92
Cuadro A.3.12.	Valores finales del análisis de metales pesados totales del cárcamo 7 del primero y segundo muestreo	93
Cuadro A.3.13.	Determinación del contenido de DQO y CT del agua residual (proveniente del cárcamo 7, previa al montaje de la prueba biológica)	93
Cuadro A.4.1.	Comparación entre los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al inicio del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físicoquímicos	94
Cuadro A.4.2.	Comparación entre los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al final del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físicoquímicos	94
Cuadro A.4.3.	Comparación entre los niveles superior (N1), medio (N2) y fondo (N3) de los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al inicio del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físicoquímicos	95
Cuadro A.4.4.	Comparación entre los niveles superior (N1), medio (N2) y fondo (N3) de los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al final del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físicoquímicos	96

Cuadro A.4.5	Análisis de varianza de Kruskal-Wallis	97
Figura 1.1	Croquis del conjunto del Taller de Zaragoza (STC, Metro, 1988)	8
Figura 1.2	Ubicación de los turbuladores (T1, T2, T3, T4 y C) en el área de "lavado de órganos" del Taller de Mantenimiento Mayor Zaragoza (STC, Metro, 1988)	9
Figura 4.1	Diagramas de cajas múltiples con muesca para la demanda química de oxígeno (DQO) de los sistemas (turbuladores y el cárcamo) al inicio del proceso de lavado	39
Figura 4.2	Diagramas de cajas múltiples con muesca para la demanda química de oxígeno entre los sistemas (turbuladores y el cárcamo) al final del proceso de lavado	40
Figura 4.3	Diagramas de cajas múltiples con muesca para los sólidos disueltos entre los niveles N1, N2 y N3 de los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al inicio del proceso de lavado	41
Figura 4.4.	Diagramas de cajas múltiples con muesca para el contenido de aluminio total entre los niveles (N1,N2 y N3) de los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al final del proceso de lavado	43

Glosario

ANDEVA	Análisis de varianza
Cárcamo	Captador de agua residual
$C_{bl(t)}$	Concentración promedio en el blanco inoculado en el medio mineral al tiempo t (mg COD/L)
$C_{bl(0)}$	Concentración inicial promedio de COD en el blanco inoculado en el medio mineral (mg COD/L)
C_o	Concentración inicial promedio de COD en el medio de cultivo inoculado conteniendo la sustancia de prueba (mg COD/L)
CO ₂ T	Bióxido de carbono teórico
COD	Carbono orgánico disuelto
Cople	Pieza metálica utilizada para unir ductos
COT	Carbono orgánico total
CT	Carbono total
C_t	Concentración promedio de COD en el medio de cultivo inoculado conteniendo la sustancia de prueba al tiempo t (mg COD/L)
Cuerpo receptor	Sistema de agua que recibe o capta el agua residual. Como por ejemplo: ríos, lagos, mares, etc.
DO	Demanda de oxígeno
D_t	% de degradación al tiempo t,
DOT	Demanda de oxígeno teórica
DQO	Demanda química de oxígeno
D_t	Porcentaje de degradación primaria en el tiempo t, normalmente 28 días
Emulsificado	Producto de sustancias insolubles entre sí
Epóxico	Material que evita la corrosión
$F_{máxima}$	Prueba estadística para determinar la existencia de homocedasticidad en grupos de datos, en donde se comparan las varianzas máxima y mínima
gl	Grados de libertad
Ha	Hipótesis alternativa o hipótesis de diferencia
Ho	Hipótesis nula, conocida también como hipótesis de no diferencia
Mineralización	Proceso de descomposición química de sustancias complejas que termina en la formación de moléculas simples (como el CO ₂ , el N ₂ , etc.)

Muestreador	Dispositivo metálico integrado por un frasco y una abrazadera, utilizado para tomar muestras de agua a diferentes profundidades
OCDE	Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD, por sus siglas en inglés)
OD	Oxígeno disuelto
Removedor	Sustancia química empleada para quitar pintura, grasas y carbón
S	Varianza
S _a	Cantidad residual de la sustancia química de prueba en el medio inoculado al final de la prueba (mg)
S _b	Cantidad residual de la sustancia química de prueba en el control abiótico al final de la prueba (mg)
SDF	Sólidos disueltos fijos
SDT	Sólidos disueltos totales
SDV	Sólidos disueltos volátiles
SSF	Sólidos suspendidos fijos
SST	Sólidos suspendidos totales
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
ST	Sólidos totales
STF	Sólidos totales fijos
STV	Sólidos totales volátiles
Turbulador	Equipo de limpieza pesada con temperatura y agitación controladas
Subíndices	
error	Varianza debida al error
max	Se refiere a la varianza máxima
min	Se refiere a la varianza mínima
tratamiento	Varianza debida al tratamiento
a	Cantidad residual de la sustancia química al inicio de la prueba
b	Cantidad residual de la sustancia química al final de la prueba

RESUMEN

El Taller de Mantenimiento Mayor de la estación Zaragoza del Sistema de Transporte Colectivo (STC), Metro, tiene un área de lavado en la que se encuentran ubicados cuatro equipos de limpieza llamados "turbuladores", los cuales son generadores de aguas residuales con alto contenido de sustancias tóxicas que son vertidas al drenaje sin ningún tratamiento. Como antecedente se tiene una caracterización realizada en marzo de 1998, la cual señaló que los parámetros de grasas y aceites y algunos metales como: Pb, Cd, Cu, Ni y Zn están fuera de lo especificado por la normatividad vigente de ese tiempo. Dado que es de importancia cumplir con la preservación del ambiente y con la legislación, este trabajo propuso como objetivo principal una caracterización actualizada y más exhaustiva del agua residual generada en los turbuladores y el cárcamo, para determinar la existencia de diferencias en su composición química y, finalmente, la realización de una prueba de biotratabilidad aerobia rápida para determinar sus posibles efectos al ser vertidos al drenaje. La caracterización del agua residual fue realizada con base en la NOM-002-ECOL-1996, a las normas mexicanas y a los métodos estandarizados internacionales. Se realizó la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida de acuerdo con la metodología propuesta por la prueba 301-A de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD, 1992). De la caracterización se obtuvieron los datos promedio de los contaminantes más representativos, siendo los siguientes: Grasas y aceites (36,876 mg/L), los sólidos disueltos totales (132,000 mg/L), Cu (93.68 mg/L), Cr (8.81 mg/L), Zn (54.94 mg/L), Pb (28.29 mg/L), Al (688.13 mg/L), Cd (29 mg/L), Sn (16.3 mg/L), Fe (95.08 mg/L) y material orgánico medido como demanda química de oxígeno (59,407 mg/L); todos ellos rebasan de los límites máximos permisibles. Se obtuvieron los coeficientes de variación de estas concentraciones promedio, siendo altos y por lo mismo se determinó un incremento elevado durante todo el proceso de lavado. Para el manejo estadístico de los datos de la caracterización se aplicó inicialmente un análisis exploratorio de datos mediante cajas múltiples con muestra y posteriormente, un análisis de varianza de Kruskal Wallis. Con ello se determinó la existencia de diferencias significativas en la composición química entre los turbuladores y el cárcamo, se determinó, además, que no existen diferencias significativas entre los niveles de cada turbulador y el cárcamo. Los datos obtenidos del estudio biológico indican que el agua residual estudiada puede ser considerada como "biodegradable", pero no como "rápidamente biodegradable", según lo establecido por la OECD 301-A, debido a que se obtuvo más del 50% de remoción de materia orgánica medida como carbono total en 28 días y se observó que más del 50% de la remoción lograda, se consiguió a los 14 días de incubación y no a los 7 días como se especifica. Esto debe ponderarse con el hecho de que la sustancia de prueba se diluyó previamente con agua destilada (lote A, 1:10,000 y lote B, 1:5,000). Por lo tanto, de esta investigación se concluye que las muestras de agua residual tomadas inicialmente y al final del proceso de lavado de los turbuladores y del cárcamo no cumplen con las especificaciones establecidas por la NOM-002-ECOL-1996. Los turbuladores y el cárcamo presentan entre sí diferencias significativas ($p = 0.05$) en cuanto a su composición química. Los niveles superior (N1), medio (N2) y fondo (N3) de cada turbulador y el cárcamo no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$). Con base en la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida realizada, el tratamiento propuesto podría ser de tipo biológico, pero con las limitantes de que si al verter esta agua residual al alcantarillado sin ningún tratamiento, su dilución con otras aguas residuales existentes alcance niveles de dilución de 1:10,000 y 1:5,000 para que puedan degradarse en un 50% después de 7 días. Obviamente, las probabilidades de que esto ocurra son nulas, por lo que se requiere de un pretratamiento antes de verterlas al drenaje de tipo anaerobio y hacerlo antes de que alcance las condiciones que presentan actualmente (DQO, de 350,000 mg/L y de 300,000 mg/L, medidas como carbono total). Por lo tanto, se proponen las recomendaciones siguientes: a) Adquirir una planta de tratamiento para depurar el agua residual proveniente de los talleres, siendo indispensable para remover los contaminantes tóxicos y asimismo dar cumplimiento a la norma correspondiente; b) Tener un mejor control en la preparación de las soluciones de lavado y en los cambios de las mismas, ya que es evidente que si el tiempo de limpieza se prolonga más de lo programado los contaminantes aumentan su concentración y su remoción se complica; c) Sustituir el agua potable por agua tratada en aquellos casos donde no se requiera y d) Utilizar agentes limpiadores biodegradables, lo que reducirá los requerimientos de agua, reduciendo asimismo la carga de contaminación impuesta por los residuos del proceso.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Cualquier comunidad es generadora de desechos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismos - aguas residuales - es esencialmente el agua que fluye de la comunidad una vez contaminada por los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. De acuerdo a su origen se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos procedentes, tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales, comerciales y de servicios, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Durán-de-Bazúa, 1994).

Si se permite la acumulación y estancamiento del agua residual, la descomposición de la materia orgánica que contiene debido a los procesos anaerobios principalmente, puede concluir con la generación de grandes cantidades de gases malolientes. A este hecho hay que agregar la frecuente presencia en el agua residual bruta, de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el tracto intestinal humano o sustancias tóxicas que pueden estar presentes en ciertos residuos industriales. También suele contener nutrientes, que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas e incluir también compuestos tóxicos. Es por todo ello que la evacuación inmediata y sin molestias del agua residual de sus fuentes de origen, seguida de su tratamiento es, no solo deseable sino también necesaria en toda sociedad moderna (Metcalf y Eddy, 1996).

En los últimos años se ha prestado mucha atención al tratamiento de las aguas residuales industriales generadas debido al progreso de las actividades sociales, generalmente asociado a la industrialización y la urbanización. Esto obedece, por una parte a la escasez de agua potable en diversas regiones de nuestro país y del mundo y, por la otra al problema que representa su disposición no controlada en el entorno (aguas superficiales y suelos donde son vertidas) (Durán-de-Bazúa, 1994).

En este nuevo Siglo XXI las aguas residuales de la mayoría de las comunidades se siguen vertiendo directamente a ríos y corrientes mediante alcantarillado unitario; lo que ha traído como consecuencia la acumulación y descomposición de la materia orgánica originando problemas sanitarios. Para resolver tal situación, se está tratando de introducir la evacuación separada de las aguas residuales y de las pluviales y también la legislación del vertimiento de aguas residuales al sistema de alcantarillado.

El diseño estándar clásico de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no consigue degradar muchos de los productos químicos que se han inventado en los siglos XIX y XX que ahora aparecen en las aguas residuales industriales y domésticas. Se deben desarrollar nuevas o mejores tecnologías capaces de utilizar procesos biodegradadores basados en microorganismos, ya que su costo es menor que el de los procesos físico-químicos (Romero, 1999).

Los objetivos, que hay que tomar en consideración en el tratamiento de aguas residuales (Hernández, 1992) y que traerán beneficios son los siguientes:

1. La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico y general.
2. La prevención de enfermedades.
3. El mantenimiento de aguas limpias para el baño y otros propósitos recreativos.
4. La limpieza de aguas que se usan para la propagación y supervivencia de los peces y la vida acuática, en general.
5. La conservación del agua para usos industriales y agrícolas.
6. La prevención del azolve de los canales navegables.

Los sistemas municipales de captación y tratamiento, por reglamentación, deben controlar y protegerse contra las sustancias nocivas contenidas en las aguas residuales industriales. Destacan, entre ellas:

- a) Materiales de desecho inflamables o tóxicos,
- b) Ácidos corrosivos y otros productos químicos,
- c) Fluidos calientes que debiliten las juntas de los tubos que los transportan y aceleren reacciones químicas indeseables,
- d) Lodos pesados y grasas que reduzcan el flujo y creen problemas de taponamiento,
- e) Contenido elevado de compuestos orgánicos,
- f) Sustancias tóxicas que interfieran con el tratamiento biológico municipal y
- g) En relación con los cuerpos receptores, residuos de éstas o de otras sustancias no removidas en las plantas de tratamiento (Gordon, 1996).

La mayoría de las industrias y empresas de servicios, desean estar conectadas a los sistemas municipales de aguas residuales, ya que por un costo nominal se evitan la necesidad de instalar plantas de tratamiento de aguas residuales. Pero, para conectarse, requieren de un pre-tratamiento que puede ser simple o elaborado, dependiendo de los contaminantes y que puede convertir sus aguas residuales en aceptables por el sistema municipal receptor (CNA, 2001).

En algunas municipalidades se aceptan los flujos elevados o cargas excesivas de sólidos en suspensión, fácilmente separables por procesos físicos. También se aceptan contaminantes orgánicos, medidos como DBO, que es una variable que indica la biodegradabilidad de esas sustancias (demanda bioquímica de oxígeno), a un cargo extra sobre la tarifa normal impuesta sobre el uso del sistema (Gordon, 1996).

El pretratamiento puede ser una operación sencilla como la neutralización de bases y ácidos, el desnatado de los aceites y grasas, el cribado de los sólidos gruesos o de sedimentación de los que son finos y del enfriado de los líquidos calientes. Aún cuando se necesitan técnicas más complicadas, el costo de la purificación, a menudo, es menor que el de la descarga directa en las corrientes naturales de agua o en los suelos (CNA, 2001).

Desde el punto de vista industrial, los desechos que cada entidad produce son de su responsabilidad y por ello deberá procurar disponer de ellos lo más rápidamente posible y al menor costo (Distrito de Sanidad del Estado de Nueva York, 1996). En general, la disposición de los residuos acuosos significa descargarlos en algún tipo de corriente de agua, como un río, canal, estuario o el mar o en algún cuerpo receptor, como suelos (Winkler, 1986).

Las descargas líquidas que provienen de la industria, en ocasiones no contienen agua (en algunos casos, por ejemplo, se vierten solventes). En la industria, el tratamiento del agua residual tiene dos objetivos: abatir, en lo posible, la contaminación admisible en las plantas que tratan el agua del drenaje y cumplir con los estándares de calidad, que en México están dados por las Condiciones Particulares de Descarga o la Norma Oficial Mexicana correspondiente (Jiménez-Cisneros, 2001).

Sin embargo, es importante que las empresas comprendan que el control de la contaminación del agua en la industria (Rigola, 1999) implica más allá del tratamiento e incluye:

- 1) La separación de circuitos
- 2) El reciclaje de la mayor cantidad de agua posible
- 3) La recuperación de elementos valorizables

En México, se elaboró en 1988, la Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Medio Ambiente (LGEEPA), dentro de la cual se encuentran las bases que regulan la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos.

Las normas, en materia de agua, establecen los parámetros dentro de los cuales se garantizan las condiciones necesarias para el bienestar de la población, asegurando la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección del ambiente.

El Cuadro 1.1. presenta los criterios o especificaciones de calidad, empleados para la clasificación de las fuentes de agua, según los diferentes usos.

Actualmente, para el caso especial de descargas de aguas residuales al drenaje la norma correspondiente es:

NOM-002-ECOL-1996. "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal".

Cuadro 1.1. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos y metales pesados de cuerpos receptores.

PARÁMETROS (mg/L)	CUERPOS RECEPTORES								
	TIPO A			TIPO B				TIPO C	
	Ríos con Uso en riego agrícola; acuíferos	Aguas Costeras con explotación pesquera, navegación y otros usos	Suelo con Uso en riego agrícola	Ríos con Uso público urbano; acuíferos	Embalses naturales y Artificiales con uso en riego agrícola	Aguas Costeras con Uso en Recreación	Estuarios	Humedales Naturales	Ríos con Uso en protección de vida acuática; embalses naturales y Artificiales con uso público urbano, Acuíferos
P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.
Grasas y Aceites	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Sólidos Suspendidos Totales	150	150	N.A.	75	75	75	75	75	40
Demanda bioquímica de oxígeno	150	150	N.A.	75	75	75	75	75	30
Cadmio total	0.2	0.1	0.05	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Cobre total	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Cromo total	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
Mercurio total	0.01	0.01	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01	0.005	0.005
Níquel total	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Plomo total	0.5	0.2	5.0	0.2	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2
Zinc total	10	10	10	10	10	10	10	10	10

INDICACIONES: N.A.: No Aplica; P.M.: Promedio Mensual.
FUENTE: CNA, 2002.

Las descargas de aguas residuales provenientes de servicios, como es el caso de las aguas residuales generadas en las áreas de lavado de talleres de mantenimiento de equipos de transporte y de su pretratamiento, deben cumplir con las especificaciones que se indican en la norma ya mencionada.

En esta investigación se estudiará la problemática que presentan los talleres de mantenimiento de uno de los sistemas de transporte colectivo de la Ciudad de México.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Sistema de Transporte Colectivo (STC) de la Ciudad de México, conocido como el "Metro" por ser un transporte "Metropolitano", es un Organismo Público Descentralizado, construido e inaugurado el 19 de abril de 1967. Fue creado con la finalidad de llevar a cabo la construcción, mantenimiento y operación de trenes con recorridos subterráneos o superficiales para el transporte urbano en el D.F. y, principalmente, en la Ciudad de México (STC Metro, 1988).

El STC cuenta con talleres de mantenimiento para darle servicio a los trenes. Existen dos tipos de talleres: El de Mantenimiento Mayor y el de Mantenimiento Menor. La diferencia entre ellos es que, en el primero, los trenes pasan por un mantenimiento correctivo (en donde se desarman y se lavan todas y cada una de las partes del tren) y, en el segundo, por un mantenimiento preventivo y de reparación de averías.

El Taller de Mantenimiento Mayor Zaragoza se ubica en la estación del mismo nombre de la línea 1 del Metro en el D.F., México. Este taller proporciona un mantenimiento regenerativo a cada uno de los carros que integran los trenes.

En el Taller de Mantenimiento Mayor Zaragoza (ver localización en la Figura 1.1), se atienden los carros de los modelos con equipos de control de tracción electromecánico y los modelos con equipos de control de tracción electrónico. Éste fue el primer taller de mantenimiento mayor y ha servido como modelo para el diseño y la construcción del segundo taller ubicado en la terminal Ticomán.

El Taller de Mantenimiento Mayor Zaragoza cuenta con un área de limpieza de órganos (piezas metálicas), en la que se encuentran ubicados cuatro equipos de lavado de acero inoxidable calentados con vapor hasta alcanzar temperaturas en un intervalo de 70 a 80°C denominados "turbuladores" (ver ubicación en la Figura 1.2). Estos equipos presentan las siguientes dimensiones:

- Turbulador 1. Tiene una capacidad de 4,993.3 litros y su nivel de operación es de 4,800 litros. Las dimensiones del equipo son de 2.3 m x 1.67 m x 1.3 m. Se utilizan 920 kg de un compuesto en polvo de tipo alcalino (Marca comercial: Turco 50-50-MET), especial para remover óxidos, residuos de carbón, grasa, aceite y pintura, de las piezas de acero, hierro y magnesio. Las piezas lavadas son: Puentes diferenciales, coples de motor de tracción y tubos de fijación de la suspensión secundaria.
- Turbulador 2. Tiene una capacidad de 3,138.2 litros y su nivel de operación es de 2,700 litros. Las dimensiones del equipo son 1.97 m x 1.18 m x 1.35 m. En este caso, los materiales empleados son: 230 kg del Turco 50-50-MET y 200 kg del agente desengrasante llamado Key LAP. Se introducen en este equipo

piezas de metales reactivos y ferrosos de mayor tamaño. Las piezas lavadas son: Regulador SAP completo desarmado, mazas de rueda guía, rodamiento del diferencial, coples desarmados y tornillería diversa.

- Turbulador 3. Presenta una capacidad de 18,110 litros y su nivel de operación es de 13,600 litros. Las dimensiones del equipo son 4.09 m x 1.38 m x 3.21 m. Para el lavado se emplean los productos desengrasantes: Turco 50-50-MET y Key Lap. Las piezas metálicas que se lavan son: Brazos de la suspensión, ejes portadores, chasis de "bogie", ruedas de seguridad, cajas de escobilla y sombreros chinos.
- Turbulador 4. Tiene una capacidad de 4,944 litros y su nivel de operación es de 4,800 litros. Las dimensiones del equipo son 2.27 m x 1.32 m x 1.65 m. Se emplean 920 kg del removedor en polvo marca Turco 50-50-MET. Las piezas lavadas son: Puentes diferenciales, coples de motor de tracción y tubos de fijación de la suspensión secundaria.

El cárcamo 7, empleado para captar el agua residual antes de pasar al sistema de alcantarillado, se ubica fuera de las instalaciones, en la parte oriente del taller de mantenimiento mayor. Las dimensiones del cárcamo son: 4.4 m x 5.4 m x 4 m y presenta una capacidad de 95,040 litros.

Una actividad de importancia en el proceso del mantenimiento mayor es la limpieza de cada una de las partes de los trenes, ya que éstas al final del lavado son inspeccionadas para ver si tienen fisuras y decidir su reemplazo.

Para el mantenimiento general se utilizan los siguientes productos químicos: Disolventes, aceites, grasas, aerosoles, descarbonizantes, desengrasantes, desoxidantes, desincrustantes, removedores de pintura, limpiadores de emulsión, acondicionadores y pinturas (Tudesa, 1987).

Para el lavado de las partes del tren se emplean específicamente descarbonizantes, solventes y desengrasantes (Tudesa, 1987).

El agua caliente con los productos químicos puede estar en los tanques que, como ya se dijo, son conocidos como "turbuladores", desde algunos días hasta meses dependiendo del trabajo desarrollado.

El proceso de lavado se realiza de igual forma para los cuatro turbuladores, lo único que cambia es la concentración de la disolución. De manera general a continuación se describe el proceso de lavado:

1. Se llena con agua de la llave el turbulador a temperatura ambiente a un nivel pre-establecido por el fabricante.
2. Se agrega lentamente la cantidad correspondiente de agentes desengrasantes, ya que la reacción provoca un incremento en la temperatura (reacción exotérmica).

3. Se eleva la temperatura a 70-80°C por el paso de vapor de agua, proveniente de la caldera, a través de un serpentín.
4. Se enciende la función de agitación (creando turbulencia).
5. Se sumergen las canastillas (controladas con grúa mecánica) conteniendo las piezas metálicas a limpiar.
6. Se dejan las piezas metálicas un tiempo de 45 a 60 minutos en el baño, dependiendo del grado de suciedad y de los agentes limpiadores existentes.
7. Al término se remueven del baño las canastillas y se colocan sobre unas rejillas metálicas ubicadas en un área con drenaje. Se sacan las piezas metálicas y se colocan en el mismo lugar.
8. A las piezas metálicas se les aplica agua a presión con un soplete neumático, para quitar el exceso de agentes limpiadores.
9. El baño es aprovechado varias veces hasta que su capacidad removedora se reduce, el tiempo es de aproximadamente de 15 a 20 días. Entre cada carga de lavado se van removiendo las capas de grasa y aceites y se va agregando el agente limpiador.
10. Cuando la capacidad removedora es nula se abre la válvula de salida para evacuar el agua residual a un captador denominado cárcamo y finalmente al sistema de alcantarillado.

Este tipo de aguas se consideran como "aguas residuales de los servicios", como ya se mencionó, porque son aguas que provienen de los servicios de reparación y mantenimiento de vehículos automotores y su descarga se basa en la norma NOM-002-ECOL-1996.

Los turbuladores son generadores de aguas residuales conteniendo restos de sustancias tóxicas, como, reactivos desengrasantes fuertemente básicos, agentes descarbonizantes y removedores, así como lodos generados durante la limpieza, ricos en limaduras de metales y carbón, entre otros.

Se realizaron, en marzo de 1998, unas caracterizaciones puntuales de los residuos líquidos generados en los turbuladores del Taller de Mantenimiento Mayor Zaragoza y éstas señalan que el contenido del agua residual en grasas y aceites, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn está fuera de lo especificado por la normatividad (Cuadro 1.2.) vigente en ese tiempo y que hay que verificar con más detalle en esta investigación, ya que las condiciones han cambiado.

Estas aguas residuales nada aceptables pasan por un cárcamo y son vertidas directamente al sistema municipal de alcantarillado sin recibir ningún pre-tratamiento. Tal situación dificulta la remoción de sus contaminantes en las plantas de tratamiento y ocasiona daños al sistema de drenaje.

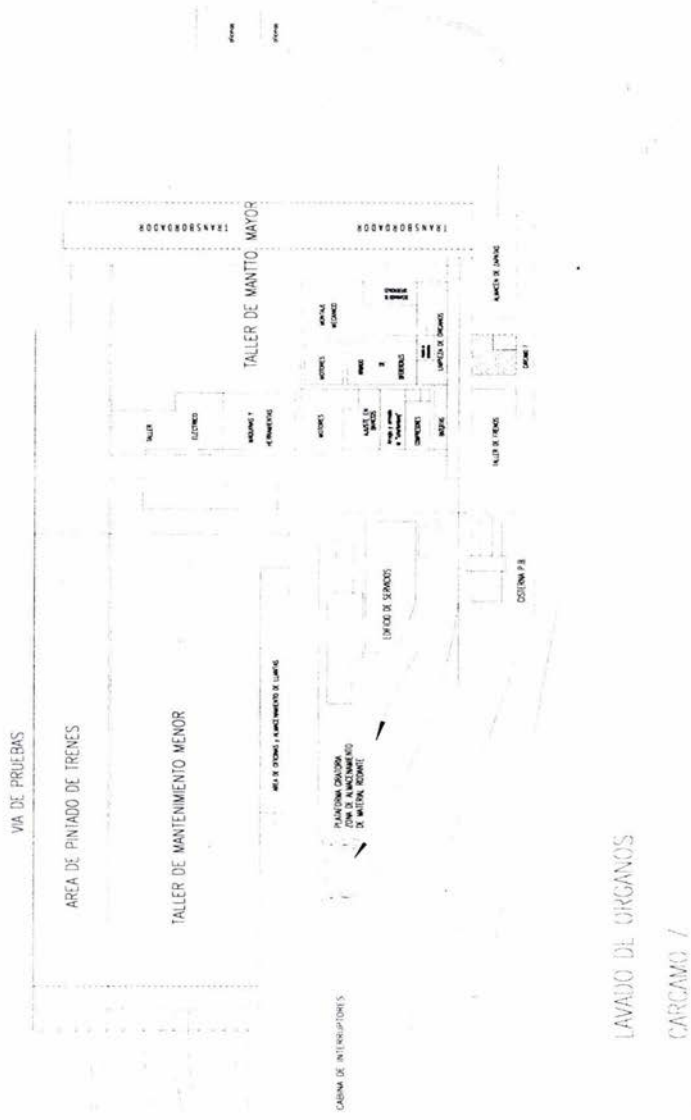


Figura 1.1. Croquis de conjunto del Taller de Mantenimiento Mayor Zaragoza del Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano (STC, Metro, 1988)

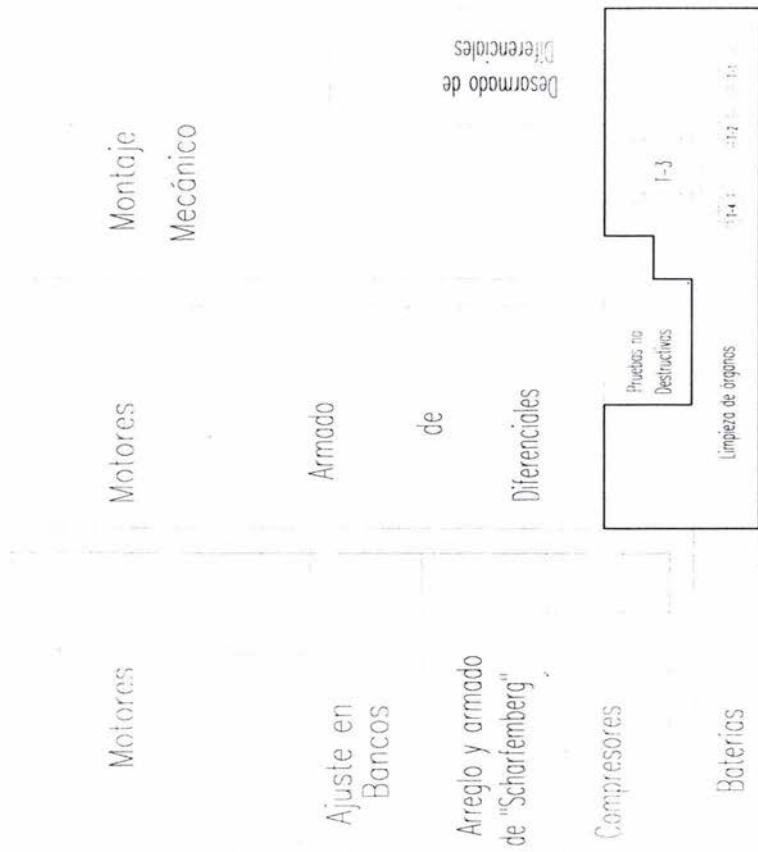


Figura 1.2. Ubicación de los turbuladores (T1, T2, T3, T4 y C) en el área de "lavado de órganos" del Taller de Mantenimiento Mayor Zaragoza (STC, Metro, 1988)

Con base en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente (LGEEPA), que entró en vigor el 1 de marzo de 1988 y fue modificada a la versión publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 1996 y a la NOM-002-ECOL-1996, se establece la necesidad de darle un pretratamiento a las aguas residuales industriales antes de descargarlas en el alcantarillado con el fin de garantizar un mejor tratamiento en las plantas operadas por el Gobierno del Distrito Federal y asimismo, proteger el ambiente y la salud de la población.

Por lo tanto, dado que es de importancia evitar el deterioro ambiental y cumplir con la legislación, esta investigación propone como objetivo último una caracterización actualizada y más exhaustiva de las aguas residuales generadas en el Taller de Mantenimiento Mayor de la estación Zaragoza del STC y, posteriormente, de acuerdo con sus características físico-químicas, proponer un pretratamiento para disminuir las sustancias xenobióticas (sintéticas), antes de verterlas a los colectores del drenaje ya que estos complican el tratamiento y reúso.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Ante la problemática mencionada, es necesario proponer un pretratamiento que permita reducir las sustancias químicas tóxicas (xenobióticas) que son vertidas en las aguas residuales generadas en el área de lavado del taller de mantenimiento mayor de la estación Zaragoza y asimismo poder cumplir con las especificaciones establecidas por la NOM-002-ECOL-1996.

Existen diversas opiniones con relación a si los microorganismos tienen la capacidad digestiva para degradar cualquier compuesto que genere el hombre. Indudablemente, la verdad se sitúa en dos puntos de vista extremos. No obstante, los microorganismos pueden degradar multitud de compuestos bajo condiciones distintas. Muchos de los compuestos xenobióticos o sintéticos pueden transformarse mediante el uso de bacterias, hongos, o de algún tipo de asociación microbiana (Levin y Gealt, 1997). Por ello en esta investigación se realizó una prueba de biotratabilidad, empleando un inóculo microbiano, para determinar los posibles efectos de estas aguas residuales con altas concentraciones de grasas y aceites, material disuelto y en suspensión en sistemas biológicos.

En el Cuadro 1.2, se presentan los datos obtenidos de las caracterizaciones puntuales y la contraparte representada por la norma. Como queda claro que es necesario corroborar estos datos, ya que las condiciones han cambiado y con ello el incremento de contaminantes tóxicos, mediante la medición periódica de estos parámetros y proponer una metodología de análisis.

Cuadro 1.2. Caracterización del agua residual tomada de uno de los turbuladores en marzo de 1998, antes de vaciarlo al cárcamo, con base en las normas NOM-031-ECOL-1993 y NOM-002-ECOL-1996

Parámetro (mg/L, excepto cuando se especifique)	Métodos de prueba	Valores obtenidos	Nivel máximo permisible				Observaciones
			Promedio diario NOM-031	Promedio diario NOM-002	Promedio instantáneo NOM-031	Promedio instantáneo NOM-002	
Sólidos sedimentables (mL/L)	NMX-AA-04	0.30	5.0	7.5	10.0	10.0	No rebasa
Grasas y aceites	NMX-AA-5	3900	60.0	7.5	100	100	Si rebasa
Temperatura (°C)	NMX-AA-7	20.0	---	NP	40.0	40.0	No rebasa
pH (unidades de pH)	NMX-AA-8	7.0	6 a 9	5.5 a 10	6 a 9	5.5 a 10	No rebasa
Substancias activas al azul de metileno (SAAM)	NMX-AA-39	16.68	30.0	NP	60.0	NP	No rebasa
Cromo VI	NMX-AA-44	0.001	0.50	0.75	1.0	1.0	No rebasa
Cromo total	NMX-AA-51	8.514	2.5	15.0	5.0	20	Si rebasa
Arsénico	NMX-AA-51	0.032	0.5	0.75	1.0	1.0	No rebasa
Fenoles	NMX-AA-50	0.829	5.0	NP	10.0	NP	No rebasa
Aluminio	D-857-89	0.527	10.0	NP	20.0	NP	No rebasa
Plata	D-3866-92	0.264	1.0	NP	2.0	NP	No rebasa
Plomo	NMX-AA-51	30.57	1.0	1.5	2.0	2.0	Si rebasa
Cianuros	NMX-AA-58	0.006	1.0	1.5	2.0	2.0	No rebasa
Cadmio	NMX-AA-51	7.985	0.50	0.75	1.0	1.0	Si rebasa
Mercurio	NMX-AA-51	0.011	0.01	0.015	0.02	0.02	No rebasa
Cobre	NMX-AA-51	37.19	5.0	15.0	10.0	20.0	Si rebasa
Níquel	NMX-AA-51	7.69	4.0	6.0	8.0	8.0	Si rebasa
Flúor	NMX-AA-77	1.363	3.0	NP	6.0	NP	No rebasa
Zinc	NMX-AA-51	6.477	6.0	9.0	12.0	12.0	Si rebasa
Demanda química de oxígeno (DQO)	NMX-AA-30	3469.28		700*		NP	No rebasa
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	NMX-AA-28	802.5		300*		NP	Si rebasa

* Norma de la Comunidad Europea (Tebbutt, 1994)

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- ❖ Caracterizar los efluentes líquidos generados en los cuatro turbuladores y el cárcamo del Taller de Mantenimiento Mayor Zaragoza y proponer una metodología analítica para utilizarla en todo el sistema, de manera periódica con algunos parámetros clave.

1.3. 2. Objetivos particulares

- ❖ Evaluar los parámetros físicos y químicos que establece la norma NOM-002-ECOL-1996, siendo los siguientes (ver técnicas analíticas en los Anexos A.2.1 al A.2.13):
 1. pH
 2. Temperatura
 3. Materia flotante
 4. Sólidos sedimentables
 5. Sólidos totales
 6. Sólidos totales fijos y volátiles
 7. Sólidos disueltos
 8. Sólidos disueltos fijos y volátiles
 9. Sólidos suspendidos
 10. Sólidos suspendidos fijos y volátiles
 11. Demanda química de oxígeno
 12. Grasas y aceites
 13. La concentración de Cr, Al, Ag, Pb, Cd, Hg, Cu, Ni, Fe y Zn totales por espectrofotometría de absorción atómica (realizado en el Laboratorio de Ingeniería Química Metalúrgica de la Facultad de Química de la UNAM)
- ❖ Determinar la existencia de diferencias en la composición química del agua en los turbuladores y el cárcamo y su variabilidad con respecto al tiempo
- ❖ Realizar una prueba de biotratibilidad aerobia rápida para tener un parámetro objetivo de sus posibles efectos al ser vertidos

1.4. HIPÓTESIS

Los efluentes líquidos generados en el Taller de Mantenimiento Mayor Zaragoza por su contenido de compuestos tóxicos no cumplen con la NOM-002-ECOL-1996 para que puedan ser vertidos al sistema de alcantarillado, por lo cual para proponer su pretratamiento deben ser caracterizados. Los parámetros relevantes deben ser su contenido de grasas y aceites, material disuelto y en suspensión (medido como DQO_T y con pruebas de biodegradabilidad).

CAPÍTULO 2

GUÍA PARA PRUEBAS DE BIODEGRADABILIDAD AEROBIA RÁPIDA PARA EVALUAR COMPUESTOS QUÍMICOS DISUELTOS O COLOIDALES EN AGUAS DE LA ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN ECONÓMICA Y EL DESARROLLO (OCDE)

2.1. INTRODUCCIÓN

En la guía desarrollada por la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo, OCDE, se describen los seis métodos que permiten la evaluación de compuestos químicos disueltos o coloidales presentes en medio acuoso mediante la llamada prueba de biodegradabilidad aerobia rápida (OECD, 1992). Estos seis métodos son:

- 301 A: De disminución del COD (carbono orgánico disuelto);
- 301 B: De evolución del CO₂;
- 301 C: MITI (I) (Del Ministerio de Industria y Comercio Internacional de Japón);
- 301 D: De botellas cerradas;
- 301 E: De selección modificado por la OECD;
- 301 F: Respirometría manométrica

El método 301 A es similar a la ISO estándar 7827-1984 y sustituye al método modificado AFNOR, que ha sido adoptado por los estándares ISO. Los métodos 301 B, 301 D y 301 E son versiones modificadas de la guía OECD anterior adoptada en 1981. El método 301 C es virtualmente idéntico con la guía anterior 301 C (MITI I). El método 301 F es nuevo y es similar al 301 C difiriendo solamente en el tipo de inóculo empleado.

A lo largo de los años, se ha acumulado mucha experiencia en el uso de los seis métodos, incluyendo un ejercicio de comparación interlaboratorios con el concurso de la OECD (denominada "prueba del anillo"), que se hizo en 1988.

La experiencia acumulada y esa prueba de intercalibración han confirmado que los métodos pueden usarse para la valoración de la biodegradabilidad rápida. Sin embargo, dependiendo de las características físicas de las sustancias que van a probarse, se debe elegir el método más idóneo.

En el documento de la OCDE (OECD, 1992) se dan algunas consideraciones generales, comunes para los seis métodos. Los detalles de los métodos individuales se dan bajo títulos separados. A través de todo el texto de ese documento hay referencias a los anexos, que contienen definiciones (Anexo I), fórmulas y material útil para cada guía.

2.2. PRINCIPIO GENERAL DE LAS PRUEBAS

- 2.2.1. Las soluciones o suspensiones de la sustancia o sustancias de prueba se inoculan e incuban en un medio mineral en condiciones aerobias bajo luz tenue o difusa. La cantidad de carbono orgánico disuelto (COD) en la solución de prueba debida al inóculo deberá mantenerse tan baja como sea posible comparada con la cantidad de carbono orgánico debida a la sustancia o sustancias de prueba. Se debe considerar la actividad endógena del inóculo corriendo paralelamente blancos o controles con inóculo, pero sin muestra de las sustancias en estudio, aunque debe tenerse claro que la actividad endógena de las células en presencia de algún compuesto químico no corresponderá exactamente a la del control endógeno. Se debe correr paralelamente un compuesto de referencia para verificar los procedimientos de operación.
- 2.2.2. En general, el curso de la degradación se sigue por medio de la determinación de parámetros tales como el COD, la producción de CO₂ y la captación de oxígeno. Las mediciones se toman a intervalos lo suficientemente frecuentes para permitir la identificación del inicio y el final de la biodegradación. Con respirómetros automáticos las mediciones pueden hacerse en forma continua. En ocasiones, el COD se mide adicionalmente al seguimiento de otros parámetros, pero esto se hace solamente al inicio y al final de la prueba. Pueden usarse otros análisis químicos específicos para evaluar la degradación primaria de la sustancia o sustancias de prueba y para determinar la concentración de algunos de los compuestos intermediarios formados, Esto es obligatorio en el método MITI (301 C).
- 2.2.3. Normalmente, la prueba dura 28 días. Sin embargo, las pruebas pueden finalizarse antes de 28 días, por ejemplo, tan pronto como la curva de la biodegradación haya alcanzado una meseta en al menos tres determinaciones analíticas. Las pruebas pueden asimismo prolongarse más allá de los 28 días cuando las curvas muestren que la biodegradación ha empezado pero no se ha alcanzado todavía esa meseta en el día 28, pero en tales casos el compuesto o compuestos químicos en estudio no pueden clasificarse como rápidamente biodegradables.

2.3. INFORMACIÓN SOBRE LA SUSTANCIA DE PRUEBA

- 2.3.1. Para seleccionar el método más apropiado, es esencial conocer las características del compuesto o compuestos químicos, como la solubilidad, la presión de vapor y la adsorción. Si se conoce la estructura química o fórmula pueden calcularse los valores teóricos de los parámetros de

demanda de oxígeno teórica, DOT, de bióxido de carbono teórico, CO₂T, de COD y de carbono orgánico total, COT. Es importante contar con información acerca de la pureza o las proporciones relativas de los mayores componentes del o los materiales de prueba para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos.

- 2.3.2. Si se tiene información sobre la toxicidad de la o las sustancias de prueba para las bacterias puede ser muy útil para seleccionar apropiadamente las concentraciones a probar y puede resultar esencial para la correcta interpretación de valores bajos de biodegradación.

2.4. SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE MÉTODOS

La sustancia o sustancias de prueba que son solubles en agua por lo menos hasta concentraciones de 100 mg/L pueden evaluarse usando cualquiera de los métodos siempre que no sean volátiles y que no se adsorban. Para aquellos compuestos químicos que son poco solubles en agua, que son volátiles o que se adsorben, en la Tabla 1 del texto de la OCDE (OECD, 1992), se presentan algunos métodos que son los más indicados, a través de experiencias previas (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1. Métodos de prueba aplicables a diferentes sustancias (OECD, 1992)

Prueba	Método analítico de seguimiento	Compuestos para los que es útil		
		Poco solubles	Volátiles	Fácilmente adsorbibles
De disminución del COD (301 A)	Carbono orgánico disuelto	-	-	+/-
De evolución del CO ₂ (301 B)	Respirometría: evolución del CO ₂	+	-	+
MITI (I) (301 C)	Respirometría: consumo de oxígeno	+	+/-	+
Botellas cerradas (301 D)	Respirometría: oxígeno disuelto	+/-	+	+
De selección modificado por la OECD (301 E)	Carbono orgánico disuelto	-	-	+/-
Respirometría manométrica (301 F)	Consumo de oxígeno	+	+/-	+

En el Anexo III de este mismo documento se describen los métodos aplicables para evaluar a aquellas sustancias que son poco solubles en agua o volátiles. Por ejemplo, con el método MITI no pueden evaluarse ni solventes ni agentes emulsificantes. Los compuestos químicos moderadamente volátiles pueden evaluarse con el método de medición de disminución de COD si existe suficiente espacio para la generación de gas en los recipientes de prueba (los cuales deben estar tapados adecuadamente). En este caso, debe tenerse un control abiótico que permita corroborar posibles pérdidas por volatilización.

2.5. NIVELES APROPIADOS

Los niveles a los que se considera que las pruebas de biodegradabilidad aerobia rápida son adecuados o apropiados son cuando se alcanza un 70% de remoción de COD o un 60% de metabolización de demanda de oxígeno teórico (DOT) o de generación de CO₂ teórico durante los métodos respirométricos. Estos últimos dos valores son más bajos en los métodos respirométricos, ya que parte del carbono que se tiene en la prueba se incorpora a nuevas células. Estos valores tienen que alcanzarse en un intervalo de 10-d dentro del período de 28 días de la prueba, excepto en los casos que se mencionan a continuación. El lapso de 10-d se inicia cuando la biodegradación alcanza un 10% del COD, ODT o CO₂ teórico y debe terminarse antes del día 28 de la prueba. Este concepto de intervalo de 10-d no se aplica para el método MITI. El valor que se obtiene a 14-d puede considerarse adecuado para el método de las botellas cerradas si se supone que el número de botellas necesarias para realizar la evaluación es demasiado difícil de manejar.

2.6. COMPUESTOS DE REFERENCIA

Para corroborar el procedimiento, se usan compuestos de referencia que cumplan con los criterios de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida seleccionada y se prueban en paralelo en el mismo tipo de recipientes. Los compuestos más recomendados son la anilina (recientemente destilada), acetato de sodio y el benzoato de sodio. Estos compuestos de referencia se degradan con estos métodos aún cuando no se adicione un inóculo deliberadamente. En algunas investigaciones se sugiere que se busquen compuestos de referencia que sean fácilmente biodegradables pero que requieran de la adición de un inóculo. El hidrogenofalato de potasio es uno de estos compuestos propuestos, pero es necesario contar con más evidencias antes de aceptarlo como compuesto de referencia.

2.7. REPRODUCIBILIDAD DE LAS PRUEBAS

Debido a la naturaleza de la biodegradación y de las poblaciones mixtas de microorganismos usados como inóculos, se recomienda que las determinaciones se corran por lo menos por duplicado. Experimentalmente se ha encontrado que mientras mayor sea la concentración de microorganismos que se inoculan inicialmente al medio de prueba, menor será la variación entre las réplicas. Las pruebas de intercalibración entre laboratorios muestran asimismo que se pueden tener grandes variaciones entre los resultados obtenidos por los diferentes laboratorios, pero que normalmente se obtiene un buen ajuste con compuestos fácilmente biodegradables.

2.8. PROCEDIMIENTOS GENERALES Y PREPARACIONES DE LAS PRUEBAS

Las condiciones generales aplicables a los seis métodos se presentan en la Tabla 2 del documento de la OCDE (OECD, 1992) (Cuadro 2.2). Los aparatos usados y las condiciones experimentales específicas de cada método individual se describen en la parte correspondiente.

Cuadro 2.2. Condiciones de las pruebas (OECD, 1992)

Prueba	301 A	301 B	301 C	301 D	301 E	301 F
Concentraciones de la sustancia de prueba:						
mg/L			100		2 - 10	100
mg COD/L	10 ⁷ - 40	10 - 20		10 - 40		
mg DOT/L			50 - 100		5 - 10	
Concentración del inóculo:						
mg/L SS	< 30					30
mL efluente/L	< 100			0.5	< 5	
Aprox. Células/L	10 ⁷ - 10 ⁸			10 ⁵	10 ⁴ - 10 ⁵	10 ⁷ - 10 ⁸
Concentración de elementos en el medio mineral (mg/L):						
P	116				11.6	29
N	1.3				0.13	1.3
Na	86				8.6	17.2
K	122				12.2	36.5
Mg	2.2				2.2	6.6
Ca	9.9				9.9	29.7
Fe	0.05 - 0.1				0.05-0.1	0.15
PH	7.4 ± 0.2					7
Temperatura °C	22 ± 2					25 ± 1 ^o

301 A: De disminución del COD (carbono orgánico disuelto); 301 B: De evolución del CO₂; 301 C: MITI (I) (Del Ministerio de Industria y Comercio Internacional de Japón); 301 D: De botellas cerradas; 301 E: De selección modificado por la OECD; 301 F: Respirometría manométrica
 COD: , ODT: , SS: Sólidos suspendidos

2.8.1. Agua

Se requiere de agua destilada o desionizada, libre de sustancias tóxicas en concentraciones inhibitorias (por ejemplo: Cu⁺²). No debe contener más de 10% del carbono orgánico introducido a la prueba. La pureza del agua para la prueba es necesaria para eliminar valores altos en los blancos o controles. Esta contaminación puede provenir de impurezas inherentes a los sistemas de resinas de intercambio iónico o a la lisis de bacterias o algas. Para cada serie de pruebas se recomienda usar un solo lote de agua, al que previamente se le haya determinado la concentración de carbono orgánico disuelto (COD). Este análisis no es necesario para el método de botellas cerradas, pero el consumo de oxígeno del agua debe ser bajo.

2.8.2. Medio mineral

El medio mineral se prepara a partir de soluciones "MADRE" ("stock"), con concentraciones apropiadas de compuestos minerales, especialmente fosfatos de potasio y sodio, cloruro de amonio, cloruro de calcio, sulfato de magnesio y cloruro férrico, Fe(III). Igualmente, los inóculos contienen concentraciones de elementos traza y factores de crecimiento muy bajas, especialmente en el Método de selección modificado de la OECD (301 E). El medio para esta prueba puede necesitar fortificación con componentes adicionales. Los detalles de la solución madre de sales minerales, elementos traza y factores de crecimiento y las proporciones usadas están dadas en la descripción específica para cada prueba (OECD, 1992).

2.8.3. Métodos de adición de las sustancias de referencia y de las de prueba

El método usado para la adición de las sustancias de referencia y de prueba a la mezcla de reacción depende de su naturaleza química, especialmente de su solubilidad en agua. Para sustancias con solubilidades adecuadas, más de 1 g/L, se preparan soluciones madre con concentraciones apropiadas y se usan alícuotas para preparar la solución de prueba final. Se disuelven las sustancias menos solubles en el medio mineral para evitar la dilución de la solución amortiguadora ("buffer"). Se adicionan las sustancias que sean menos solubles directamente al medio mineral final. Finalmente, en el Anexo III del documento de la OCDE (OECD, 1992), se presenta la forma de manejar las sustancias insolubles o poco solubles, recordando siempre que para el método MITI (301 C) no pueden usarse ni solventes orgánicos ni agentes emulsificantes.

2.8.4. Inóculo

El inóculo puede provenir de varias fuentes: Lodos activados de plantas de tratamiento de aguas; aguas residuales domiciliarias sin cloro (albañales); aguas y suelos superficiales; o mezclas de éstos. Para los métodos de consumo de carbono orgánico disuelto, DOC (301 A), de evolución de CO₂ (301 B) y de respirometría manométrica (301 F), se usan los lodos activados, que se recomienda que provengan de una planta de tratamiento o de una unidad a escala de laboratorio que reciba principalmente aguas residuales domésticas. Los inóculos de otras fuentes tienen bajas densidades de células activas y los resultados que se obtienen pueden tener dispersiones muy altas. Para los métodos de selección modificado por la OECD (301 E) y de botellas cerradas (301 D), se recomienda un inóculo más diluido sin flóculos y se sugiere tomarlo de un efluente secundario de una planta de tratamiento de agua residual doméstica o de una unidad a escala de laboratorio. Para el método MITI (I), el inóculo puede obtenerse de diversas fuentes. Los detalles sobre fuentes y preparación de los inóculos para cada método están descritos en el libro citado (OECD, 1992).

2.8.5. Pre-acondicionamiento del inóculo

El inóculo puede preacondicionarse a las condiciones experimentales, pero no preadaptarse a la o las sustancias de prueba. El Pre-acondicionamiento consiste en la aireación de los lodos activados (en medio mineral) o efluente secundario de 5 a 7 días a la temperatura de prueba. El Pre-acondicionamiento puede mejorar la precisión de los métodos de prueba reduciendo los valores de los blancos o controles. Para el método MITI no es necesario preacondicionar el inóculo.

2.8.6. Controles abióticos

Cuando se considere pertinente debe corroborarse la posible degradación abiótica de la sustancia de prueba mediante la determinación de la remoción de carbono orgánico disuelto, consumo de oxígeno o la evolución del CO₂ de controles estériles sin inóculo. Puede realizarse la esterilización por filtración a través de una membrana (0.2-0.45µm) o por la adición de una sustancia tóxica apropiada a una concentración adecuada. Si se usa una filtración por membranas, deben tomarse las muestras asépticamente para mantenerlas estériles. A menos que la adsorción de la sustancia de prueba haya sido desechada de antemano, se recomienda incluir un control abiótico que sea inoculado y envenenado, especialmente cuando se tienen inóculos de lodos activados y que se use el COD como variable de control de la biodegradación.

A.2.8.7. Número de frascos y muestras

- (a) Se recomienda un mínimo de dos botellas o recipientes con la sustancia de prueba más el inóculo y un mínimo de dos botellas con inóculo únicamente. Para los compuestos de referencia más inóculo y para cuando se requieran controles para toxicidad, degradación abiótica y de adsorción es suficiente con una sola botella o recipiente. Los métodos de botellas cerradas y de MITI tienen requerimientos especiales para el número de frascos. Estos están señalados en la descripción específica de cada uno. Es obligatorio el seguimiento analítico del carbono orgánico disuelto y/o de los otros parámetros en las suspensiones de prueba y en los blancos o controles en paralelo. Es recomendable el análisis de carbono orgánico disuelto en los otros frascos en paralelo también. Esto no siempre es posible.
- (b) Aunque es necesario asegurar que se estén tomando suficientes muestras que permitan valorar el porcentaje de remoción en el intervalo de los 10-d, muchas veces no es posible especificar exactamente la frecuencia de muestreo debido al amplio margen de las fases de demora (adaptación) y las tasas de degradación. En el método MITI (301 C) y cuando se usa un respirómetro automático en el método de respirometría manométrica (301 F), el muestreo para los requerimientos de oxígeno no presentan problemas. En el segundo método, pueden tomarse lecturas diariamente cuando se emplean respirómetros no automáticos sin ningún problema. Se señalan sugerencias

específicas en los capítulos correspondientes sobre el muestreo de las otras cuatro pruebas.

2.9. DATOS Y REPORTE

2.9.1. Tratamientos de resultados

- (a) En el cálculo de D_t , que es el porcentaje de degradación, se usan los valores medios de las mediciones por duplicado del parámetro, tanto en recipientes de prueba, como en los blancos de inóculo. Las fórmulas se presentan en las secciones de los métodos específicos. El curso de la degradación se muestra gráficamente y el lapso de 10-d se indica cuando sea aplicable. Los cálculos y reportes de los porcentajes de remoción logrados y el valor en la meseta o al final de la prueba y/o al final del lapso de 10-d, cualquiera que sea el apropiado, se presentan en el documento. En los métodos respirométricos, los compuestos químicos que contienen nitrógeno pueden afectar el oxígeno captado o consumido debido a la nitrificación (ver Anexos IV y V del documento). Además, si la demanda de oxígeno teórica (DOT) no puede calcularse porque el material de prueba no está suficientemente definido, el valor del carbono orgánico disuelto (COD) puede usarse para calcular el porcentaje de degradación. De cualquier modo, se debe tenerse en mente que los valores de COD con frecuencia no son tan altos como los de la demanda de oxígeno teórica (DOT), ya que algunas sustancias químicas se oxidan muy poco en la prueba de demanda química de oxígeno, DQO, dando como resultado valores falsamente altos para el porcentaje de biodegradación.
- (b) Cuando se tiene disponibilidad de los datos analíticos de un compuesto químico específico, puede calcularse la biodegradación primaria como:

$$D_t = \frac{S_b - S_a}{S_b} \times 100 \quad (2-1)$$

donde:

- D_t = Porcentaje de degradación primaria en el tiempo t, normalmente 28 días;
 S_a = Cantidad residual de la sustancia química de prueba en el medio inoculado al final de la prueba (mg);
 S_b = Cantidad residual de la sustancia química de prueba en el control abiótico al final de la prueba (mg)

2.9.2. Validación de las pruebas

- (a) Se considera que la prueba es válida si la diferencia de los valores extremos de la remoción de las sustancias de prueba en la meseta, al final de la prueba o al final del lapso de 10 días es menor de 20% y si el porcentaje de degradación del compuesto de referencia ha alcanzado los niveles apropiados alrededor del día 14. Si ninguna de estas condiciones se cumple, la prueba debe repetirse. Debido a la severidad de estos métodos, los valores bajos no significan necesariamente que la sustancia de prueba no es biodegradable bajo condiciones ambientales, sino que indican que será necesario realizar más investigación para establecer la biodegradabilidad.
- (b) Si en una prueba de toxicidad, que contenga a ambas, la sustancia de prueba y un compuesto de referencia, se obtienen menos del 35% de degradación (basado en el COD total) o menos del 25% (basado en la demanda de oxígeno teórica total o CO₂ teórico total) en un período de 14 días, se puede suponer que la sustancia de prueba puede ser inhibidora (ver Anexo II del documento para otras pruebas de toxicidad). Las series de pruebas deberán repetirse, usando concentraciones más bajas de la sustancia de prueba (si esto puede hacerse sin dañar seriamente la exactitud de la determinación de COD) y/o concentraciones más altas de inóculo, pero no mayores de 30 mg de sólidos/L.
- (c) En la descripción específica de estos métodos se presentan otras condiciones para validar los resultados específicos de las pruebas.

2.9.3. Reporte de las pruebas (informe final)

El reporte de cada prueba debe incluir lo siguiente:

Sustancia de prueba:

- Datos relevantes de su naturaleza física y propiedades fisicoquímicas;
- Datos de identificación

Condiciones de prueba:

- Inóculo: Naturaleza y sitio(s) de muestreo, concentración y cualquier tratamiento de preacondicionamiento;
- Proporción y naturaleza de las aguas residuales en los drenajes, si conocen;
- Duración y temperatura de la prueba;
- En el caso de sustancias de prueba poco solubles, los métodos de preparación de las soluciones/suspensiones de prueba;

- Métodos de prueba aplicados; razones científicas y explicación para cualquier cambio de procedimiento.

Determinaciones de carbono:

Análisis de carbono:

	Frascos No.		COD después de n días (mg/L)				
			0	n ₁	n ₂	n ₃	n _x
Sustancia de prueba	1	b1					
		a2					
		media, C _{a(t)}					
	2	b1					
		b2					
		media, C _{b(t)}					
Blanco del inóculo	3	c ₁					
		c ₂					
		media, C _{c(t)}					
	4	d ₁					
		d ₂					
		media, C _{d(t)}					
	Media, C _{bl(t)} = $\frac{C_{c(t)} + C_{d(t)}}{2}$						

Evaluación de los datos:

Frascos no.	Cálculos de resultados	%degradación después de n días				
		0	n ₁	n ₂	n ₃	n _x
1	$D_1 = \left[1 - \frac{C_{a(t)} - C_{bl(t)}}{C_{a(0)} - C_{bl(0)}} \right] \times 100$	0				
2	$D_2 = \left[1 - \frac{C_{b(t)} - C_{bl(t)}}{C_{b(0)} - C_{bl(0)}} \right] \times 100$	0				
media*	$D_t = \frac{D_1 + D_2}{2}$	0				

*D1 y D2 pueden no estar promediados si hay una considerable diferencia.

Nota: Formatos similares pueden ser usados para los controles del compuesto de referencia y del de toxicidad.

Degradación abiótica (opcional)

	Tiempo (días)	
	0	t
COD conc. (mg/L) en el control estéril	$C_{s(0)}$	$C_{s(t)}$

$$\% \text{Degradación abiótica} = \frac{C_{s(0)} - C_{s(t)}}{C_{s(0)}} \times 100$$

Análisis químico específico (opcional)

	Cantidad residual de la prueba química al final	%degradación primaria
Control estéril	S_b	
Prueba del medio inoculado	S_a	$\frac{S_b - S_a}{S_b} \times 100$

Resultados:

- Presentar los datos en forma tabular;
- Indicar cualquier fenómeno de inhibición observado
- Indicar cualquier degradación abiótica observada
- Dar los datos analíticos específicos de las sustancias químicas, si están disponibles
- Dar los datos analíticos de compuestos intermediarios, si están disponibles
- Construir gráficas de porcentaje de degradación contra tiempo para las sustancias de prueba y de referencia, la fase de demora ("lag"), la fase de degradación, el lapso de 10-d y la pendiente (ver Anexo I del documento para las definiciones);
- Dar los porcentajes de remoción en la meseta, al final de la prueba y/o después del lapso de 10-d.

Discusión de resultados:

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1. MUESTREO

El muestreo se realizó durante los meses de mayo a octubre de 2002. Las muestras compuestas se tomaron de los cuatro turbuladores, ubicados en el área de lavado de órganos del Taller de Mantenimiento Mayor de Zaragoza y del cárcamo 7 ubicado fuera y al lado oriente del mismo taller.

Debido a que el cambio de soluciones de los turbuladores ocurrió en diferentes tiempos, se realizó el muestreo, se tomaron muestras compuestas y se procedió al análisis físico y químico para cada uno de ellos de acuerdo al programa preestablecido de cambios de soluciones y a la carga interna de trabajo.

Con base en el programa de cambio de soluciones y en la carga de trabajo de los turbuladores se consideraron dos tiempos para la toma de muestras: Al término laboral en los primeros días de preparada la solución (de 3 a 5 días) y al final de cada etapa de lavado justo antes del cambio de solución.

Con base en la NOM-AA-03 (Anexo A.1.) y a que los efluentes tienen grasas, sólidos suspendidos y material disuelto o emulsificado, la toma de muestras se realizó por triplicado a cada uno de los niveles de cada turbulador y del cárcamo: El fondo (N3), a la mitad (N2) y en la superficie (N1), antes de la agitación (para que selectivamente se evaluaran los contenidos de grasas y aceites y de sólidos sedimentables en cada fracción).

La toma de muestras representativas se realizó con un muestreador o dispositivo de hierro diseñado a semejanza de un modelo de aluminio de marca (empleado específicamente para muestrear agua potable), el cual es aceptado por la NMX-AA-003-1980, siempre y cuando se use de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Éste se cubrió de una pintura epóxica, para evitar la corrosión.

Se vaciaron las muestras del frasco muestreador a envases de polietileno, excepto para grasas y aceites, siendo éstas trasvasadas en frascos de vidrio. Después de cada toma de muestra se enjuagó el frasco muestreador con agua caliente, para quitar los restos del agua residual y grasas que pudieran afectar los análisis físicos y químicos.

3.1.1. Muestreo al inicio de la experimentación

Para la toma de muestras, inicialmente se pensó en diseñar un dispositivo para muestrear a semejanza de un modelo original (un muestreador de aluminio), pero como las soluciones analizadas eran corrosivas fue necesario cambiar de material de construcción. Se seleccionó el hierro y se pintó con pintura epóxica para evitar posibles interferencias en el análisis de metales.

Además, para evitar interferencias, la toma de muestras se realizó rápidamente y se enjuagó el muestreador y el frasco con agua caliente limpia, por lo que el contacto entre las soluciones fue mínimo.

Como el análisis de las soluciones era desde su preparación hasta que eran vertidas al drenaje fue necesario repetir muestreos y análisis de los turbuladores 2, 3 y 4, con objeto de tener las primeras muestras así como las finales de cada lote.

El primer muestreo del cárcamo se realizó cuando se encontró lleno. Para el segundo muestreo, solamente fue posible tomar muestras de dos niveles: A la mitad (N2) y el fondo (N3), ya que no estuvo lleno.

3.2. ANÁLISIS EN EL LABORATORIO

Para la caracterización de las aguas residuales generadas en los turbuladores y cárcamo, los análisis físicos y químicos se realizaron en el Laboratorio Físico-Químico del STC y en los de Química Ambiental y de Metalurgia pertenecientes a la Facultad de Química de la UNAM. La caracterización del agua residual generada en los turbuladores y el cárcamo se realizó de acuerdo a la NOM-002-ECOL-1996, a las normas mexicanas y a los métodos estándar (APHA, 1992) y se procedió a determinar algunos de los parámetros que se establecen para agua residual (Anexos A.2.2 al A.2.11).

Los parámetros físicos y químicos analizados fueron: Valor de pH, temperatura, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos totales volátiles y fijos, sólidos disueltos, sólidos disueltos volátiles y fijos, sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles y fijos, materia flotante, demanda química de oxígeno, grasas y aceites y la concentración de Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Hg, Al, Ag, Fe totales por espectrofotometría de absorción atómica (ver procedimientos en los Anexos A.2.2. al A.2.11).

También se realizó una prueba de biotratibilidad aerobia rápida para verificar la toxicidad de los diferentes contaminantes presentes en las muestras, siguiendo la metodología propuesta por la OECD (1992). En el Capítulo 2 y en el Anexo A.2.1 se presenta la metodología a seguir.

Con base en los resultados de la caracterización se procedió a evaluar la toxicidad potencial de los componentes de esta agua residual.

Esta caracterización servirá de base para una segunda etapa, no contemplada en este estudio, donde se prueben, a escala de laboratorio, sistemas de tratamiento "ad hoc" a las características de estas aguas residuales y se evalúe su bondad.

3.2.1. Montaje de la metodología *ad hoc* para la demanda química de oxígeno

El primer método aplicado fue el colorimétrico por reflujo cerrado, para lo cual se hicieron diluciones de la muestra de agua residual de 0.5:10 y 1:10 pero, por su alto contenido de grasas y aceites, se dificultó la medición de la demanda química de oxígeno. Posteriormente, se aumentó el tiempo de digestión y de centrifugado de la muestra diluida, para que las grasas se digirieran y no interfirieran en las lecturas de absorbancia. Sin embargo, continuó la variación en las lecturas por la presencia de materia orgánica suspendida. Por lo antes mencionado fue necesario cambiar al método estándar de reflujo abierto (APHA, 1992).

La determinación de la demanda química de oxígeno, por el método de reflujo abierto, fue realizada utilizando un equipo de digestión de Behr Labor-Technik 4000 (Dusseldorf, RFA), bajo condiciones de temperatura (150°C) y tiempo controlados (2 horas). El equipo digestor esta constituido de 24 tubos de vidrio de una capacidad de 150 mL y de 24 condensadores. Posteriormente, a cada uno de los tubos Behr empleados se les adicionaron 10 mL de muestra de una dilución de 1:50 o 0.1:50 de agua residual en agua destilada, 5 mL de solución de $K_2Cr_2O_7$ 0.25 N, 15 mL de solución de $H_2SO_4-AgSO_4$ y 0.2 g de $HgSO_4$. Enseguida se adaptó a cada tubo su condensador, después se agitó vigorosamente cada uno pero con precaución y fueron colocados en la plancha del digestor para conectarla y regular la temperatura de 150°C y el tiempo por 2 horas. Finalmente se dejaron enfriar los tubos (incluido el blanco), se pasaron a matraces de 250 ml y se adicionaron 40 mL de agua destilada más 2 gotas de indicador ferroína y se tituló con sulfato de amonio ferroso (FAS), 0.25 N, hasta un vire de azul a rojo. Para la titulación con el FAS se usaron matraces de 250 mL a los que se adicionaron 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0.25 N, 50 mL de agua destilada, 15 mL $H_2SO_4-AgSO_4$, 2 gotas de ferroína.

3.2.2. Montaje de la metodología *ad hoc* del análisis elemental para determinar el carbono total

La determinación de carbono total del agua residual en estudio se realizó utilizando un equipo de análisis elemental Fisons EA 1110 (CHONS, Carlo Erba, Italia), siguiendo el manual del usuario (CE Instruments, 1996).

La muestra, antes de ser analizada, se mezcló perfectamente en un sonificador, ya que por su alto contenido de grasas y aceites se dificultaba la medición y, por lo cual, se tuvieron que hacer varias repeticiones.

Se realizó el análisis de carbono total a partir de muestras de agua residual tomadas del cárcamo. El promedio de estas concentraciones, así como de las obtenidas para la demanda química de oxígeno fueron consideradas para la preparación de las soluciones de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida 301-A.

3.2.3. Montaje de la metodología *ad hoc* para la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida

A partir de la concentración de carbono total determinada, se consideró la cantidad de muestra necesaria para la preparación de las soluciones. Posteriormente, se procedió a preparar el medio mineral y el inóculo para las soluciones de prueba. Debe mencionarse que tuvieron que realizarse muchas determinaciones analíticas ya que había enormes diferencias entre los resultados debido a la presencia de las grasas y los sólidos en suspensión hasta encontrar un valor promedio que representara adecuadamente a las muestras.

El inóculo fue preparado a partir de lodos activados tomados de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad Universitaria. Los lodos fueron sedimentados en un cono Imhoff y decantados 100 mL en 1000 mL de solución isotónica (NaCl al 0.9%). Se mantuvieron en aireación hasta la preparación de las soluciones. Los lodos activados se prepararon a una concentración final de 3 a 5 mg/L de sólidos suspendidos siguiendo el método OECD 301-A (OECD, 1992).

Se prepararon 7.1 litros de medio mineral y se dejó en aireación de acuerdo con lo especificado por la norma OECD 301-A (ver Cuadro 3.1).

El análisis de biodegradación fue realizado en una incubadora orbital marca SEV (Sistemas, Equipos y Vidriería, S.A.), bajo condiciones de temperatura y agitación controladas en ausencia de luz. Se emplearon 24 botellas Winkler. A cada una de ellas se le agregaron 300 mL de la dilución preinoculada (ver Cuadro 3.1). El montaje de la prueba se realizó con base en la norma OECD 301-A (1992).

Antes de que las botellas fueran cerradas y colocadas en la incubadora se midieron los parámetros de seguimiento en todas las botellas y después a tiempos preestablecidos (7, 14 y 28 días) fueron retiradas momentáneamente y regresadas las botellas correspondientes para realizar las determinaciones de los siguientes parámetros fisicoquímicos: El valor de pH, el de oxígeno disuelto (OD) y se tomó una alícuota de 1 mL de cada botella para determinar la concentración de carbono total (CT). Para las mediciones de pH y de oxígeno disuelto (OD) se utilizó un

equipo de campo digital (Multímetro marca CORNING CHECK MATE II). Primeramente se midió el pH con el potenciómetro calibrado y ajustado con una solución amortiguadora de pH de 7, después se limpió con varios enjuagues de agua destilada el electrodo para evitar la posible contaminación de las botellas. Por último, se sumergió el electrodo en cada una de las botellas correspondientes utilizando un pedestal para que quedara fijo y se estabilizaran rápidamente para las lecturas. Para las mediciones del oxígeno disuelto, se cambió de electrodo el equipo instalando el de oxígeno y se calibró al contacto con el aire. De la misma manera se colocó sobre un pedestal y limpió antes de introducirlo en cada una de las botellas. Posteriormente, se procedió a la toma de las lecturas hasta su estabilización.

En cuanto a la medición del carbono total, se tomaron alícuotas de 1 mL de cada botella con una micro pipeta (se emplearon puntas nuevas y estériles) y se trasvasaron a viales. Posteriormente se dejaron en refrigeración hasta su medición. Esta medición especializada fue realizada, por duplicado, por integrantes del Programa de Ingeniería de Química Ambiental y de Química Ambiental (PIQA Y QA), de la Facultad de Química (UNAM).

3.2.4. Montaje de la metodología *ad hoc* para el análisis de metales pesados

Las muestras de agua residual se acidificaron con HNO_3 concentrado a un pH cercano a 2. Las muestras de agua residual por su alto contenido en sólidos, grasas y aceites se tuvieron que digerir previamente. La digestión se realizó inicialmente con mezclas de $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4$, pero esta combinación no fue la adecuada debido a la presencia de materia orgánica difícilmente oxidable proveniente de las grasas y aceites encontrados en estas muestras. Para este caso, se redujo la cantidad de muestra y se aumentó la cantidad de ácidos (no se usó la recomendada por la APHA sino que se estableció empíricamente hasta digerir el volumen de la muestra). Se empleó la combinación de $\text{HNO}_3\text{--HF}$, en proporciones de 4 y 10 mL por cada 25 mL de muestra, recomendada para muestras difícilmente oxidables (APHA, 1992). Se agregó el HNO_3 inicialmente y, posteriormente, se fue adicionando el HF calentando las muestras en una parrilla de calentamiento a una temperatura menor a la de ebullición hasta obtener un líquido transparente de color amarillo pálido. Se prepararon los blancos con los mismos ácidos y se sometieron al mismo procedimiento de digestión que las muestras. La digestión con $\text{HNO}_3\text{--HF}$ se realizó en vasos de precipitado de teflón, para lo cual fue necesario comprar el material adecuado, ya que el HF corroe el vidrio. Después de la digestión las muestras se enfriaron y diluyeron con 25 mL agua destilada, filtrándolas en un matraz volumétrico de 50 mL de plástico para aforarlas. Se trasvasaron las muestras filtradas a botellas de plástico con tapón de rosca para transportarlas hasta el Departamento de Ingeniería Química Metalúrgica de la Facultad de Química de la UNAM, en donde se realizó el análisis de metales totales. Esta fase, altamente especializada, fue llevada a cabo por el Ing. Ciro Márquez, jefe del Grupo de Análisis de Metales, de la Facultad de

Química de la UNAM, empleando los equipos marca Perkin Elmer 3100 (Espectrofotómetro de Absorción Atómica) y Perkin Elmer Optima 4300 DV ("Induced Coupled Plasma").

3.3. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD AEROBIA RÁPIDA

La prueba de biodegradabilidad aerobia rápida tiene como objetivo evaluar la facilidad con que una sustancia puede ser mineralizada bajo condiciones experimentales estrictas. Para su montaje pueden emplearse respirómetros y matraces con o sin agitación. Una sustancia se considera como rápidamente biodegradable cuando alcanza, ya sea un 70% de remoción de materia orgánica medida como carbono orgánico disuelto o bien un 60% del correspondiente al valor de demanda teórica de oxígeno o producción de dióxido de carbono, en un lapso de 28 días de evaluación. El curso de la biodegradación se sigue mediante técnicas analíticas que la cuantifican (Grady, 1985; OECD, 1992).

En esta investigación se realizó la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida en una serie de matraces de 300 mL, usados para medir demanda bioquímica de oxígeno. A continuación se mencionan las sustancias agregadas a cada uno:

1. Matraz con sustancia de prueba: Éste contiene la sustancia de prueba (agua residual del cárcamo diluida, 3.4 mL) y el inóculo (equivalente al 10% del volumen total del matraz empleado) y el resto del volumen es de medio mineral (lleno hasta el borde impidiendo dejar un espacio de aire).
2. Matraz para control de procedimiento: Contiene una sustancia química de referencia cuya biodegradabilidad se conoce, medio mineral y un volumen determinado de inóculo microbiano. La sustancia utilizada como referencia fue el acetato de sodio. El control positivo debe alcanzar al menos un 50% de eliminación de carbono orgánico disuelto para que la prueba sea válida.
3. Matraz para control de inóculo: También conocido como testigo, el matraz contiene el medio mineral y el inóculo. Es necesario en la obtención de los valores de biodegradación, ya que las mediciones posteriores deberán ser normalizadas con estos resultados.
4. Matraz para control de toxicidad: Éste contiene la sustancia de prueba, la sustancia de referencia, medio mineral y el inóculo. El porcentaje de eliminación de carbono orgánico disuelto debe ser al menos igual a la obtenida en el control positivo. En caso de obtener porcentajes de biodegradación más bajos o nulos se concluye que la sustancia de prueba es tóxica para los microorganismos o suprime su actividad. Si ello ocurre, se recomienda probar una menor concentración de la sustancia de prueba.

5. Matraz para control sin inóculo: Está constituido por medio mineral y sustancia de prueba. También sirve para evaluar la posible degradación abiótica de la sustancia de prueba.
6. Matraz para control estéril: Está constituido por medio mineral y la sustancia de prueba. Este control permite evaluar la posible degradación abiótica (foto degradación, oxidación química, dilución, etc.) de la sustancia de prueba.

En el Cuadro 3.1 se presenta la composición química de las soluciones preparadas para la aplicación de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida (Método OECD 301-A).

Se hizo un lote adicional de la sustancia de prueba en el que se duplicó el volumen del agua residual, ya que la dilución era muy grande (1 mL de agua residual cruda llevada a 100 mL de agua destilada) y luego 3.4 mL llevados a 300 mL (aproximadamente 1:10,000).

3.3.1. Análisis microbiológico

Como complemento, se realizó el análisis microbiológico de algunas de las soluciones preparadas para el montaje de la prueba de biodegradabilidad, así como para algunos de los matraces al inicio, a la mitad (14 días) y al final (28 días) del proceso de biodegradabilidad. Las soluciones estudiadas fueron el compuesto de referencia (acetato de sodio 1N), la solución de medio mineral (solución enriquecedora), el inóculo recolectado y una dilución de ese inóculo (1:100). Los matraces estudiados fueron los de la sustancia de prueba (A, agua residual diluida 1:100 y B, la misma agua residual diluida pero tomando el doble del volumen empleado para A) y del control de toxicidad (ver Cuadro 3.1).

Se midió la cuenta total de bacterias. La descripción más detallada de la metodología está en el Anexo A.2.14. El medio de cultivo que se preparó para detectar la presencia de bacterias mesofílicas aerobias fue un agar específico de nombre Cuenta Estándar (marca Merck). Este medio fue preparado de acuerdo a las indicaciones del fabricante. Posteriormente, fue inoculado con alícuotas de las diluciones del agua en estudio y las soluciones elaboradas. Se incubaron a 35°C durante 48 horas. Los microorganismos se multiplican durante el tiempo de la incubación, pudiéndose observar a simple vista las colonias en la superficie del medio.

Para la obtención de resultados, se contó el número de colonias bacterianas presentes en la superficie del medio de cultivo. Se calculó la cantidad de microorganismos por mL de muestra y se expresó el resultado como unidades formadoras de colonias (UFC/mL).

Cuadro 3.1. Composición química de las soluciones preparadas para la aplicación de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida OECD 301-A (1992)

NÚMERO DE BOTELLAS	NOMBRE DE LA SOLUCIÓN	COMPOSICIÓN QUÍMICA				Volumen total de líquido en la botella
		Inóculo	Medio mineral	Agua residual diluida (1/100)	Acetato de sodio 1N	
1	SUSTANCIA DE PRUEBA A	3 mL	293.6 mL	3.4 mL	-----	300 mL
2	SUSTANCIA DE PRUEBA A	3 mL	293.6 mL	3.4 mL	-----	300 mL
3	SUSTANCIA DE PRUEBA A	3 mL	293.6 mL	3.4 mL	-----	300 mL
4	SUSTANCIA DE PRUEBA A	3 mL	293.6 mL	3.4 mL	-----	300 mL
5	SUSTANCIA DE PRUEBA B	3 mL	290.2 mL	6.8 mL	-----	300 mL
6	SUSTANCIA DE PRUEBA B	3 mL	290.2 mL	6.8 mL	-----	300 mL
7	SUSTANCIA DE PRUEBA B	3 mL	290.2 mL	6.8 mL	-----	300 mL
8	SUSTANCIA DE PRUEBA B	3 mL	290.2 mL	6.8 mL	-----	300 mL
9	CONTROL DE INÓCULO 1	3 mL	297 mL	-----	-----	300 mL
10	CONTROL DE INÓCULO 2	3 mL	297 mL	-----	-----	300 mL
11	CONTROL DE INÓCULO 3	3 mL	297 mL	-----	-----	300 mL
12	CONTROL DE INÓCULO 4	3 mL	297 mL	-----	-----	300 mL
13	CONTROL DE PROCEDIMIENTO 1	3 mL	296.5 mL	-----	0.5 mL	300 mL
14	CONTROL DE PROCEDIMIENTO 2	3 mL	296.5 mL	-----	0.5 mL	300 mL
15	CONTROL DE PROCEDIMIENTO 3	3 mL	296.5 mL	-----	0.5 mL	300 mL
16	CONTROL DE PROCEDIMIENTO 4	3 mL	296.5 mL	-----	0.5 mL	300 mL
17	CONTROL DE TOXICIDAD 1	3 mL	295.05 mL	1.7 mL (1/100)	0.25 mL	300 mL
18	CONTROL DE TOXICIDAD 2	3 mL	295.05 mL	1.7 mL (1/100)	0.25 mL	300 mL
19	CONTROL DE TOXICIDAD 3	3 mL	295.05 mL	1.7 mL (1/100)	0.25 mL	300 mL
20	CONTROL DE TOXICIDAD 4	3 mL	295.05 mL	1.7 mL (1/100)	0.25 mL	300 mL
21	CONTROL SIN INÓCULO 1	-----	296.6 mL	3.4 mL (1/100)	-----	300 mL
22	CONTROL SIN INÓCULO 2	-----	296.6 mL	3.4 mL (1/100)	-----	300 mL
23	CONTROL ESTÉRIL 1	-----	296.6 mL	3.4 mL (1/100)	-----	300 mL
24	CONTROL ESTÉRIL 2	-----	296.6 mL	3.4 mL (1/100)	-----	300 mL

3.3.2. Presentación de resultados

Los datos obtenidos de la prueba se informaran de acuerdo con el siguiente formato:

HOJA DE DATOS

Reporte de los resultados de acuerdo con el formato propuesto por la prueba OECD 301-A (1992)

PRUEBA DE DISMINUCIÓN DE COD (COT)

1. LABORATORIO: _____

2. FECHA DE INICIO DE LA PRUEBA: _____

3. SUSTANCIA DE PRUEBA:

Nombre: _____

Concentración de la solución original: _____

Concentración inicial en el medio, t_0 : _____

4. INÓCULO:

Fuente (origen): _____

Tratamiento proporcionado: _____

Pre-acondicionamiento (si hubo): _____

Concentración de sólidos suspendidos en la mezcla de reacción: _____

5. DETERMINACIONES DE CARBONO

6. Evaluación de los datos sin procesar ("crudos")

7. Degradación abiótica (opcional)

8. Conclusiones: _____

3.4. TRABAJO DE GABINETE

3.4.1. Manejo estadístico de los datos obtenidos de la caracterización del agua residual

Se realizó inicialmente un análisis exploratorio de datos mediante gráficas de cajas múltiples con muesca y bigote, en donde se compararon los parámetros fisico-químicos entre los 4 turbuladores y el cárcamo y los niveles de cada uno de ellos. Con esto se puede observar la existencia de posibles diferencias significativas y la tendencia de la distribución de los datos. Las muescas en las gráficas indican un intervalo de confianza alrededor de la mediana que ha sido ajustada para hacer

apropiada la comparación de dos o más cajas. Si los intervalos de cajas no se traslapan, con una confianza aproximada del 95% las dos poblacionales son diferentes (Salgado-Ugarte, 1992).

Se determinó la existencia de la homocedasticidad, en donde se comparan las varianzas, a través de la prueba de F máxima. Para su comprobación se realizó la prueba de F máxima en la que:

$$H_0: S_{\text{máxima}} = S_{\text{mínima}}$$

donde:

$$F = \frac{S_{\text{máxima}}}{S_{\text{mínima}}} = \frac{S_{\text{tratamiento}}}{S_{\text{error}}}$$

Los grados de libertad, gl, para un nivel de significancia del 95% son: gl tratamiento, gl error, a partir de los cuales se obtiene la F teórica (Montgomery, 2002).

Si los supuestos de normalidad y homocedasticidad no se cumplieran se realizará la transformación de los datos, dependiendo de las características de las variables para la aplicación de la prueba paramétrica de "ANDEVA" (análisis de varianza).

Las transformaciones de las variables que podrían realizarse serían las siguientes:

- Cuando existan valores o datos en "0" se transforman en arco seno,
- Cuando la varianza sea mayor que la media se transforman los valores a logaritmo y
- Cuando la varianza de una muestra sea igual o cercana a la media se transforman sacándoles raíz cuadrada (Fowler et al., 1998).

Si aún con las transformaciones realizadas, las variables continuaran con diferencias entre sus varianzas se aplicará el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis. Este análisis permite corroborar la existencia de diferencias significativas entre las medias de los parámetros físicos y químicos con un 95% de confianza entre los turbuladores y el cárcamo (Fowler et al., 1998).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LOS TURBULADORES Y EL CÁRCAMO

Los datos resultantes de los análisis físico-químicos de las aguas residuales generadas en los turbuladores y el cárcamo 7 del Taller de Mantenimiento Mayor de Zaragoza, se presentan en los Cuadros A.3.1 al 13 del Anexo A.3. En los Cuadros 4.1 y 4.2 se presentan los promedios generales, la desviación estándar y el coeficiente de variación de las concentraciones considerando el inicio y final del proceso de lavado, de los contaminantes más representativos.

Los resultados del análisis del agua residual generada en los turbuladores y de la captada por el cárcamo demuestran y corroboran que las concentraciones de los contaminantes como grasas y aceites, sólidos disueltos totales, metales pesados y material orgánico, medido como demanda química de oxígeno, exceden lo especificado por la norma NOM-002-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

El análisis físico-químico del agua residual tuvo complicaciones en su manejo por el alto contenido de grasas y aceites, por lo que se trató de homogeneizar las muestras con un sonificador. Aún con este equipo, al trasvasar las muestras se quedaban restos de grasas en las paredes de los recipientes dificultando las mediciones.

No fue posible realizar la determinación de sólidos sedimentables debido a que las muestras de agua residual, por su contenido de grasas y aceites, formaban una suspensión coloidal o emulsificada, especialmente porque la temperatura era elevada (75-80°C). Por ello, no se incluyó este parámetro en los cuadros de resultados físico-químicos, ni en el Anexo A.2. ni en este capítulo.

Las grasas y aceites (GYA) llegan a ser de 40,000 mg/L en los turbuladores y de más de 600,000 mg/L en el cárcamo, siendo el límite máximo permitido de 7.5 mg/L establecido por la norma. El Cuadro 4.1. muestra como todos los sistemas (turbuladores y cárcamo) presentaron una considerable variación de grasas y aceites (de 40 hasta 231%), es decir que la concentración se incremento considerablemente durante todo el proceso de lavado.

La demanda química de oxígeno total (DQO_T) en los turbuladores fue de 60,000 mg/L y el cárcamo presentó 43,000 mg/L, que son también valores muy altos. El coeficiente de variación no fue tan alto (de 6 hasta un 11%) en comparación con

las grasas y aceites. En todos los sistemas el incremento de las concentraciones de DQO se mantuvo casi igual (Cuadro 4.1).

En cuanto a los sólidos totales (ST), el valor promedio fue de 232,000 mg/L en los turbuladores y, para el cárcamo, de 26,000 mg/L. También el contenido de grasas y aceites afectó esta determinación ya que el filtro de fibra de vidrio se saturaba en ocasiones, hasta con 5 mL. Este contaminante se concentró más en el cárcamo que en los demás sistemas, siendo el coeficiente de 80.59%.

Cuadro 4.1. Los promedios generales, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los parámetros físicos y químicos más representativos, considerando el inicio y final del proceso de lavado

CARACTERÍSTICA	T - 1	T - 2	T - 3	T - 4	CÁRCAMO
DQO, (mg/L)					
Promedio*	56023	40453.33	38220	51653.33	37310
Desviación estándar	3349	2413.45	3559.36	5583.51	3265.19
Coef. de Variación	5.98	5.97	9.31	10.81	8.75
GRASAS Y ACEITES (mg/L)					
Promedio	23650	24205.56	3483.33	7017.61	125968.06
Desviación estándar	9990	12499.89	2986.28	2844.90	290993.47
Coef. de Variación	42.24	51.64	85.73	40.54	231.01
SÓLIDOS TOTALES (mg/L)					
Promedio	120476	180451.11	17528.17	68780.00	13095.56
Desviación estándar	46888	52767.59	1695.07	16348.20	10553.14
Coef. de Variación	38.92	29.24	9.67	23.77	80.59
SÓLIDOS DISUELTOS (mg/L)					
Promedio	95517	87653.33	14,678.89	55723.33	1838.89
Desviación estándar	29414	22932.42	595.37	22074.32	1109.35
Coef. de Variación	30.79	26.16	4.06	39.61	60.33
SÓLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L)					
Promedio	24959	18476.56	1307	4808.89	11961.67
Desviación estándar	19286	7597.72	1093.70	1262.26	11608.58
Coef. de Variación	77.27	41.12	83.68	26.25	97.05
pH (u)					
Promedio	14	13.09	10.88	11.27	9.57
Desviación estándar	0	0.26	0.50	0.61	0.62
Coef. de Variación	0	1.99	4.60	5.41	6.48
TEMPERATURA (°C)					
Promedio	77	82.50	75	80.00	23.5
Desviación estándar	2	7.72	0	5.14	1.52
Coef. de Variación	2.60	9.36	0	6.43	6.47

Indicaciones: * Promedio de las concentraciones del inicio y final del proceso de lavado

Para los sólidos disueltos totales (SDT), fue de 130,000 mg/L en los turbuladores. El cárcamo presentó mayor concentración de sólidos disueltos totales (SDT) y asimismo su coeficiente de variación, siendo de 60%.

Los sólidos suspendidos totales (SST), en los turbuladores presentaron valores de 52,000 mg/L y en el cárcamo de 24,000 mg/L, siendo el límite establecido por la norma de 125 mg/L. Sin embargo, el cárcamo presentó un coeficiente de variación mayor, acumulándose este contaminante hasta un 97%.

En cuanto a la materia flotante todos los turbuladores presentaron al final del proceso de lavado, como grasas en abundancia y basura. El cárcamo presentó materia flotante en los dos muestreos realizados.

El pH de los turbuladores fue muy alcalino, presentándose de 14 unidades y en el cárcamo disminuyó poco, siendo de 11 unidades, lo que excede el intervalo especificado por la norma, que es de 6 a 9 unidades. El T1 no presentó variación o cambio durante el proceso, se mantuvo casi constante la alcalinidad. Los demás sistemas presentaron una ligera variación (Cuadro 4.1).

La temperatura determinada en los turbuladores fue de 90°C y en el cárcamo de 25°C y el valor establecido en la normatividad es de 40°C. El T3 no presentó cambio alguno durante todo el proceso de lavado y los demás sistemas mostraron poca variación (Cuadro 4.1.).

Para la determinación de metales totales (Cuadro 4.2.) resulta interesante mencionar que, de manera general, los elementos presentaron en los turbuladores y el cárcamo un incremento considerable en sus concentraciones, observándose en sus coeficientes de variación.

El contenido de cobre (Cu), alcanzó en los turbuladores valores de 6.9 mg/L como mínimo y como máximo de 94 mg/L. El cárcamo en su segundo muestreo presentó mayor contenido de cobre, siendo de 84 mg/L. Como referencia se menciona que el establecido por la norma es de 20 mg/L. El T2 y el cárcamo presentaron mayor coeficiente de variación, siendo del 100%.

Los datos obtenidos para los elementos hierro (Fe), zinc (Zn), cromo (Cr), plomo (Pb) y estaño (Sn), mostraron que, tanto en los turbuladores como en el cárcamo, elevaron sus concentraciones durante todo el proceso de lavado y como consecuencia se vio reflejado en sus coeficientes de variación. Por lo que, sus valores quedaron fuera de lo especificado por la norma (Cuadro 4.2.)

En el caso del aluminio (Al), que se determinó aunque no lo pide la norma, se observó en el turbulador 1 un valor de 688 mg/L. Tal situación se ocasionó por elevar la concentración del detergente empleado en la preparación de la solución de lavado, lo que causó que se elevara la alcalinidad y que las partes de aluminio del motor (específicamente las juntas) se corroyeran. Este sistema presentó un incremento considerable en su concentración durante el proceso, siendo su

variación de 134%. Aunque, también los turbuladores 3 y 4 presentaron coeficientes de variación altas.

El cadmio (Cd) se incrementó en todos los turbuladores excediéndose del límite permisible y, en el segundo muestreo del cárcamo, no hubo presencia. Los sistemas presentaron un intervalo de coeficiente de variación de 0 a 68%.

Cuadro 4.2. Los promedios generales, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los metales totales más representativos, considerando el inicio y final del proceso de lavado

METALES (mg/L)	T - 1	T - 2	T - 3	T - 4	CÁRCAMO
Cobre (Cu)					
Promedio *	45.30	44.62	20.15	61.79	32.03
Desviación estándar	15.37	44.90	13.58	26.22	32.79
Coef. de Variación	33.93	100.63	67.39	42.43	102.37
Hierro (Fe)					
Promedio	98.20	47.81	35.33	23.72	247.98
Desviación estándar	75.68	30.82	27.13	4.44	317.43
Coef. de Variación	77.07	64.46	76.79	18.72	128.01
Zinc (Zn)					
Promedio	44.28	31.87	2.97	24.45	4.49
Desviación estándar	8.59	14.15	2.36	9.83	0.20
Coef. de Varianza	19.40	44.40	79.46	40.20	4.45
Cromo (Cr)					
Promedio	1.48	4.60	0.49	1.22	0.46
Desviación estándar	0.85	3.64	0.39	0.26	0.43
Coef. de Variación	57.43	79.13	79.59	21.31	93.48
Plomo (Pb)					
Promedio	6.52	25.42	3.08	4.49	1.52
Desviación estándar	3.27	3.28	2.19	0.20	1.26
Coef. de Variación	50.15	12.90	71.10	4.45	82.89
Aluminio (Al)					
Promedio	211.17	0.36	0.22	0.25	2.84
Desviación estándar	284.19	0.08	0.35	0.35	2.96
Coef. de Variación	134.58	22.22	159.09	140	104.23
Cadmio (Cd)					
Promedio	ND	4.66	0.16	16.56	0
Desviación estándar	ND	0.47	0.09	11.39	0
Coef. de Variación	ND	10.09	56.25	68.78	0
Estaño (Sn)					
Promedio	5.83	12.36	1.86	2.91	2.03
Desviación estándar	7.21	4.47	1.22	1.66	2.30
Coef. de Variación	123.67	36.17	65.59	57.04	113.30

Indicaciones: *Promedio de las concentraciones del inicio y final del proceso de lavado

De acuerdo con la bibliografía (Jiménez-Cisneros, 2001) los metales de mayor importancia por su toxicidad en el agua son: Cadmio, cromo, mercurio, cobre, plomo y níquel. En esta investigación se puede observar que algunos de estos metales se están generando por corrosión de las piezas metálicas en concentraciones altas, rebasando los límites máximos permisibles y ponen potencialmente en riesgo a cualquier organismo vivo, especialmente si se fueran a descargar a una planta de tratamiento de aguas residuales convencional.

4.2. MANEJO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS RESULTANTES DE LA CARACTERIZACIÓN

A partir del análisis exploratorio de datos mediante cajas múltiples con muesca se pudo observar la asimetría de los grupos de datos y se elaboraron cuatro cuadros de comparación del análisis fisicoquímico para los turbuladores (T1 al T4) y el cárcamo 7 (C) y, asimismo, entre los niveles de cada uno de éstos (Cuadros A.4.1 a 4), los cuales se encuentran en el Anexo A.4. A continuación se analiza cada uno de los cuadros:

Para el contraste entre los turbuladores y el cárcamo en los primeros días del proceso de lavado se observó que, en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos analizados, existieron diferencias significativas entre ellos.

En cuanto a la temperatura, el cárcamo difirió de los turbuladores, pero entre estos no hubo diferencias significativas. Esto se debe a que los turbuladores están funcionando constantemente a temperaturas elevadas y en cambio el cárcamo recibe aguas residuales de varias áreas, en donde se mezclan, y además continuamente se están vertiendo al drenaje municipal.

El contenido de grasas y aceites en los turbuladores 1 y 2 y el turbulador 4 no presentaron diferencias significativas entre ellos ni con el cárcamo, lo que indica que reciben más o menos la misma cantidad de grasas y aceites. Sus concentraciones son muy elevadas.

La concentración de sólidos totales volátiles (STV) del turbulador 2 con respecto a los turbuladores 1, 3 y 4 y el cárcamo y éste a su vez, con el turbulador 3 fue similar, por lo que no presentaron diferencias significativas. Como el mayor contenido de los turbuladores y el cárcamo son grasas y aceites, al ser materiales orgánicos, cuando se queman se volatilizan formando bióxido de carbono (CO_2).

En la Figura 4.1 se presenta el contenido de materia orgánica (medida como DQO) en los sistemas. A cada sistema le corresponde una caja y las únicas cajas que se traslapan son la del turbulador 3 con la del cárcamo, por lo que se consideran semejantes. Estos dos sistemas difieren significativamente de los turbuladores 1, 2 y 4 (Anexo A.4). Como se vio al inicio de este inciso, al ser tan variables los contenidos de contaminantes, varía también el valor de la DQO.

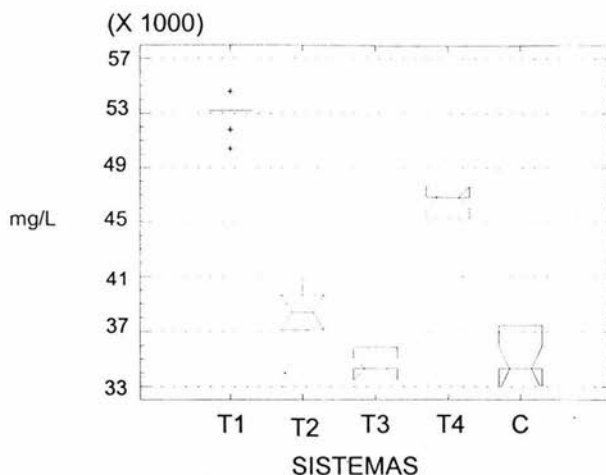


Figura 4.1. Diagramas de cajas para la demanda química de oxígeno (DQO) de los sistemas (turbuladores y cárcamo) al inicio del proceso de lavado

En cuanto a la comparación entre los turbuladores y el cárcamo al finalizar el proceso de lavado, se observó, en general, la existencia de diferencias para los turbuladores y el cárcamo. Para el caso del mercurio (Hg) no se detectó en ningún turbulador ni en el cárcamo.

En cuanto a los sólidos disueltos fijos (SDF), el turbulador 1 es similar a los turbuladores 3 y 4 y al cárcamo. Al evaluar entre sí los turbuladores 1 con el 2, el 2 con el 3, el 4 y el cárcamo, así como el 3 con el 4 y el cárcamo, presentaron diferencias significativas. Esto viene a reforzar lo ya mencionado de los usos y costumbres en la preparación de las soluciones de lavado. Existen diversas causas como: La falta de agentes limpiadores y su sustitución por otros, las cargas de trabajo, etc., que alteran significativamente la programación de los cambios de soluciones.

Como resultado del traslapamiento de las cajas correspondientes a los sistemas (turbuladores y cárcamo), para el contenido de materia orgánica (DQO), los turbuladores 2 y 3 junto con el cárcamo no presentaron diferencias significativas. En cambio estos sistemas difirieron con los turbuladores 1 y 4 (Figura 4.2 y Cuadro A.4.2).

La concentración del aluminio (Al) en el turbulador 1 mostró diferencias con los turbuladores 2, 3, 4 y el cárcamo, pero al comparar estos entre sí no presentaron diferencias significativas (Cuadro A.4.2).

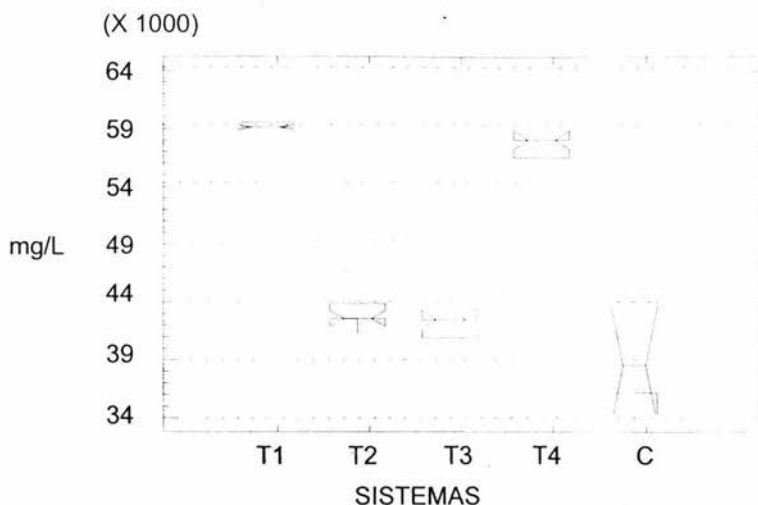


Figura 4.2. Diagramas de cajas múltiples con muesca para la demanda química de oxígeno entre los sistemas (turbuladores y el cárcamo) al final del proceso de lavado

De acuerdo con el contraste entre los niveles superior (N1), medio (N2) y el fondo (N3) de los turbuladores (1 al 4) y el cárcamo (C) al inicio del lavado, a grandes rasgos se pudo observar que existieron más semejanzas que diferencias entre los niveles. Esto indicaría que se puede tomar una muestra de cualquier parte del equipo y que no se incurrirá en problemas de confiabilidad de los resultados.

Para el contenido de grasas y aceites, el turbulador 1 presentó diferencias significativas entre sus tres niveles y también se observó que en el contenido de cobre (Cu) y de plomo (Pb) el nivel 3 difiere de los niveles 2 y 1. En cuanto a los sólidos totales fijos (STF) y a los sólidos disueltos fijos (SDF), los niveles 2 y 3 presentaron diferencias significativas.

En la Figura 4.3. es posible observar el traslapamiento de las cajas correspondientes a los niveles del turbulador 1 lo cual significa que no existen diferencias significativas entre ellos, en cuanto al contenido de sólidos disueltos (SD). Tuvieron este mismo comportamiento los demás sistemas (T2, T3, T4 y C).

Las grasas y aceites presentaron diferencias porque, por sus densidades, tienden a concentrarse en la superficie (N1). También los elementos de cobre (Cu) y plomo (Pb), por ser pesados se concentraron más en el fondo (N3), difiriendo entre los niveles 1 y 2.

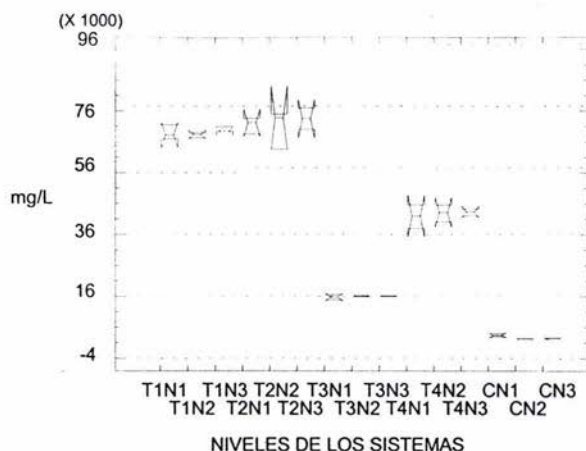


Figura 4.3. Diagramas de cajas para los sólidos disueltos (SD) en los niveles N1, N2 y N3 de los sistemas T1, T2, T3, T4 y C al inicio del proceso de lavado

En cuanto a los sólidos totales fijos (STF) y sólidos disueltos fijos (SDF), éstos se concentraron más en el fondo debido a que contienen principalmente partículas de metales y permanecen después de la calcinación.

En particular, para el contenido de cobre (Cu), el turbulador 2 presentó diferencias significativas en sus tres niveles. En las concentraciones de sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), sólidos totales fijos (STF), sólidos disueltos (SD), sólidos suspendidos (SS) y los metales zinc (Zn) y níquel (Ni), el nivel 1 difirió con los niveles 2 y 3. En su concentración de grasas y aceites (GYA) y sólidos suspendidos volátiles (SSV), el nivel 3 difiere con los niveles 1 y 2. En cuanto a los metales hierro (Fe) y cromo (Cr) existen diferencias significativas entre el nivel 2 con los niveles 1 y 3. La demanda química de oxígeno (DQO) difirió significativamente en los niveles 1 y 2. La razón por la que todos los sólidos y los metales Zn y Ni presentaron mayor contenido en sus niveles 2 y 3 se debe a que materiales son más densos causando esas diferencias con el nivel 1.

El turbulador 3 presentó pocas diferencias significativas entre sus niveles. La concentración de los sólidos suspendidos (SS) fue diferente entre el nivel 1 con respecto a los niveles 2 y 3 y el metal estaño (Sn) difirió entre los niveles 1 y 3.

En el contenido de grasas y aceites (GYA) y de sólidos suspendidos (SS), el turbulador 4 observó diferencias significativas entre el nivel 1 con respecto al nivel 2 y al nivel 3. En los sólidos suspendidos volátiles (SSV) y en el zinc (Zn), el nivel 3 mostró diferencias significativas con los niveles 1 y 2. En cuanto al cárcamo (C) se observó la existencia de muchas diferencias significativas entre sus niveles en casi todos los parámetros. En los que no hubo diferencias significativas fueron los sólidos disueltos (SD), sólidos disueltos fijos (SDF), la temperatura (T) y los metales mercurio (Hg) y estaño (Sn). Los sólidos totales fijos (STF), los sólidos

suspendidos (SS) y el aluminio (Al) presentaron diferencias significativas en los niveles 2 y 3. Los parámetros sólidos suspendidos (SS), el potencial de hidrógeno (pH) y el cobre (Cu) presentaron diferencias en los tres niveles (ver Cuadro A.4.4).

Con el análisis de los datos entre los niveles superior (N1), medio (N2) y el fondo (N3) de los turbuladores (1 al 4) y el cárcamo (C) al final del lavado, se observó, en general, que existen pocas diferencias significativas en el contenido químico de los niveles. Como ya se mencionó, se puede tomar una muestra de agua residual de cualquier punto del equipo de lavado y ser confiable.

En las concentraciones de sólidos disueltos volátiles (SDV) el turbulador 1 presentó diferencias significativas en sus tres niveles únicamente (ver Cuadro A.4.4). Para los sólidos totales (ST) y los sólidos totales fijos (STF) hubo diferencias significativas entre el nivel 3 con respecto al nivel 1 y al nivel 2. Los sólidos disueltos fijos (SDF) y los sólidos suspendidos fijos (SSF) fueron diferentes significativamente entre el nivel 1 con respecto al nivel 2 y al nivel 3. Los sólidos totales volátiles (STV) y el cadmio (Cd) fueron diferentes significativamente entre los niveles 1 y 2. Los sólidos suspendidos (SS) presentaron diferencias significativas únicamente entre los niveles 2 y 3.

La Figura 4.4. muestra el desplegado en paralelo de los diagramas de caja, los cuales se refieren a los niveles de cada sistema (T1, T2, T3, T4 y C). El traslape observado de las cajas significa que los niveles (N1, N2 y N3) no son significativamente diferentes, por lo que cada uno de los sistemas presentaron el mismo contenido de aluminio en sus 3 niveles.

En la demanda química de oxígeno (DQO), en los sólidos totales volátiles (STV) y en el níquel (Ni), el turbulador 2 observó diferencias significativas entre el nivel 1 con respecto al nivel 2 y al nivel 3. En el contenido de sólidos totales (ST) y sólidos disueltos volátiles (SDV) los niveles 1 y 2 tuvieron diferencias significativas. En los metales hierro (Fe) y zinc (Zn) se observaron diferencias significativas entre los niveles 1 y 3. En el contenido de demanda química de oxígeno (DQO), el turbulador 3 mostró diferencias significativas entre el turbulador 3 con respecto al nivel 1 y al nivel 2. El contenido de hierro (Fe) difirió entre el nivel 1 con respecto al nivel 2 y con el nivel 3. En el contenido de sólidos disueltos fijos (SDF), el turbulador 4 presentó diferencias significativas en los niveles 1 y 2; en las concentraciones de los metales estaño (Sn) y cadmio (Cd) los niveles 1 y 3 difieren significativamente; el contenido de zinc (Zn) presentó diferencias significativas entre el nivel 1 con respecto al nivel 2 y con el nivel 3 y los sólidos suspendidos volátiles (SSV) fueron diferentes significativamente en el nivel 2 con respecto al nivel 1 y al nivel 3 (ver Cuadro A.4.4).

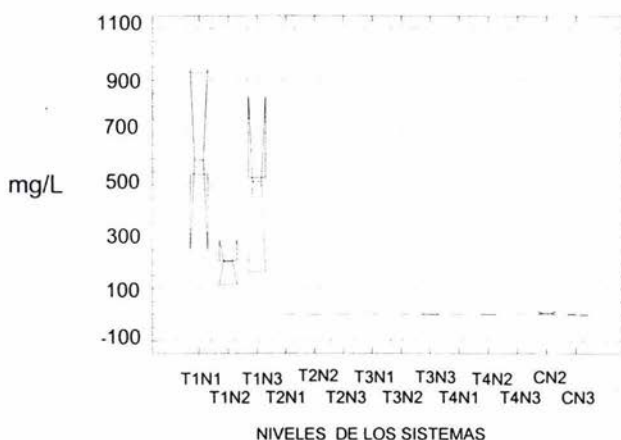


Figura 4.4. Diagramas de cajas para la concentración de aluminio en los niveles de los sistemas (turbuladores y cárcamo) al final del proceso de lavado

El cárcamo presentó en el segundo muestreo solamente 2 niveles: Los niveles medio (N2) y el fondo (N3). Por lo tanto, solamente se compararon estos. Las diferencias significativas resultantes fueron en las concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO), de grasas y aceites (GYA) y de los metales de hierro (Fe), cobre (Cu), cromo (Cr), zinc (Zn), níquel (Ni) y cadmio (Cd).

Las diferencias en GYA, fueron debido a que se concentran más en la superficie (N1) y éste como consecuencia aumenta la DQO. En cuanto a los elementos metálicos, la concentración de la mayoría fue considerablemente más alta en el fondo (N3), debido principalmente a sus densidades (ver Cuadro 4.2).

Con el análisis de varianza de Kruskal Wallis (ver Cuadro A.4.5) se determinó la posible existencia de diferencias significativas ($p=0.05$) entre los turbuladores y el cárcamo en todos los parámetros fisicoquímicos. Asimismo se determinó, que no existen diferencias significativas ($p>0.05$) para los niveles de cada turbulador y el cárcamo.

4.3. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD AEROBIA RÁPIDA OECD 301-A

La "hoja de datos" propuesta por la OECD para la prueba 301-A se muestra en el Anexo A.5. Esta hoja presenta los resultados obtenidos de la prueba biológica.

El Cuadro 4.3 presenta los datos obtenidos del seguimiento realizado durante el estudio biológico. A diferencia de la prueba oficial que usa matraces de 2L, se emplearon matraces de 300 mL (llenos hasta el borde), ya que la incubadora no tenía capacidad para matraces más grandes. De acuerdo con los resultados obtenidos, el agua residual estudiada con esa prueba en particular puede ser considerada como "biodegradable", pero no como "rápidamente biodegradable", según las especificaciones establecidas por la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida OECD 301-A (OECD, 1992), debido a que se obtuvo más del 50% de remoción de materia orgánica medida como carbono total en 28 días y se observó que más del 50% de remoción lograda, se consiguió a los 14 días de incubación y no a los 7 días como se especifica en dicha norma (ver Cuadro 6.3). Esto debe ponderarse con el hecho de que la sustancia de prueba se diluyó previamente con agua destilada (1 mL de agua residual llevada a 100 mL con agua destilada), se adicionó en 3.4 mL llevados a 300 mL en el lote A y en 6.8 mL llevados a 300 mL en el lote B, lo que da diluciones de casi 1:10,000 y 1:5,000, respectivamente.

Durante todo el proceso de evaluación de la biodegradabilidad, se observó que el valor de pH registrado se mantuvo cercano a la neutralidad, en un intervalo de 7.8-8.09, siendo una condición importante para el óptimo crecimiento microbiano. En cuanto a la temperatura, se mantuvo constante con un baño de agua, registrándose alrededor de 22°C, de acuerdo con lo especificado por la norma OECD 301-A (ver Cuadro 4.3).

Los valores obtenidos del oxígeno disuelto, muestran que la mayoría de las soluciones registraron concentraciones entre 3.49 a 4.78 mg/L, lo que demostró la existencia de condiciones aerobias durante todo el proceso. La biodegradación debe realizarse a una concentración de oxígeno disuelto de al menos de 2 mg/L y, de acuerdo con los resultados esta condición, se superó, lo cual propicia que los microorganismos inoculados sean bioquímicamente más eficientes y rápidos y generen productos secundarios simples y oxidados como: CO₂, H₂O y biomasa microbiana (Winkler, 1986).

Los resultados obtenidos del parámetro físico-químico carbono orgánico total, evaluado durante la aplicación de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida (OECD 301-A), muestran el porcentaje de remoción de la materia orgánica (medida como carbono total). Los datos registrados se muestran en el Cuadro 4.3. Las concentraciones del carbono orgánico total, fueron altas al inicio y se redujeron durante todo el proceso, precisamente gracias a las diluciones realizadas de las sustancias de prueba (1:10,000 y 1:5,000). La sustancia de

prueba B, como ya se dijo, tenía inicialmente el doble de concentración de COT que la sustancia A.

También puede decirse que, a esa enorme dilución, no es tóxica para los microorganismos usados como inóculo, ya que se obtuvo una degradación del 90% después de los 28 días.

Finalmente, puede verse que, por sí sola no puede degradarse (control sin inóculo y control estéril).

4.4. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS SOLUCIONES PREPARADAS PARA LA APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD AEROBIA RÁPIDA

En el Cuadro 4.4 se muestran los valores resultantes del análisis microbiológico de las soluciones preparadas para su aplicación en la prueba de biodegradabilidad y de algunos de los matraces de prueba, al inicio, a los 14 días y al final del proceso de biodegradabilidad, cuyo objeto consistió en la determinación de la cuenta total bacteriana para detectar la presencia o ausencia de microorganismos vivos presentes en el agua, los cuales son responsables del proceso de biodegradación y le dan continuidad.

La cuenta en placa a las 48 horas de incubación a 35-37°C, mostró excelente desarrollo de bacterias mesofílicas aerobias al inicio del proceso de biodegradabilidad en las soluciones del inóculo y del agua residual en estudio. Además, se confirmó que la solución de acetato de sodio y los controles del medio de cultivo y del ambiente no presentaron desarrollo bacteriano que pudiera interferir o alterar el proceso.

Posteriormente, a los 14 días se observó una disminución drástica en la abundancia de las colonias bacterianas en las soluciones de la sustancia de prueba A (1:10,000) y en la sustancia de prueba B (1:5,000). El control de toxicidad, el cual contiene agua residual, presentó buen desarrollo bacteriano.

Al final del proceso de biodegradabilidad (28 días), se observó la disminución continua en el número de colonias de bacterias mesofílicas aerobias en las soluciones. Con el agua residual cruda y el control de toxicidad disminuyeron ligeramente y con la sustancia de prueba tuvieron un severo descenso.

Cuadro 4.3. Resultados de los análisis físico-químicos durante la prueba OECD 301-A (1992)

Parámetro / solución	Valor de pH (u)						Oxígeno disuelto (mg/L)						Carbono orgánico total (mg/L)						% de Remoción de carbono total					
	7 días		14 días		21 días		28 días		7 días		14 días		21 días		28 días		7 días		14 días		21 días		28 días	
	Inicial	7.75	7.22	7.13	7.84	7.16	7.81	7.77	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26
Sustancia de prueba A	7.75	7.22	7.13	7.84	7.16	7.81	7.77	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43
Sustancia de prueba B	7.75	7.22	7.13	7.84	7.16	7.81	7.77	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43
Control de inóculo 1	7.87	7.23	7.16	7.85	7.16	7.85	7.77	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43
Control de inóculo 2	7.88	7.23	7.16	7.85	7.16	7.85	7.77	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43
Control de inóculo 3	7.92	7.23	7.16	7.85	7.16	7.85	7.77	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43
Control de inóculo 4	7.9	7.23	7.16	7.85	7.16	7.85	7.77	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43	7.26	7.43
Control de procedimiento 1	7.79	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.79	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13
Control de procedimiento 2	7.81	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.81	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Control de procedimiento 3	7.82	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.82	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08
Control de procedimiento 4	7.86	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.86	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44
Control de toxicidad 1	7.76	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.76	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16
Control de toxicidad 2	7.74	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.74	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16	7.16
Control de toxicidad 3	7.87	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.87	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44
Control de toxicidad 4	7.94*	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.94*	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41
Control sin inóculo 1	8.09*	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	8.09*	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
Control sin inóculo 2	8.06*	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	8.06*	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
Control estéril 1	8.03*	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	8.03*	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
Control estéril 2	8.03*	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	8.03*	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4

INDICACIONES: Sustancias de prueba A y B: Inóculo, medio mineral y agua residual diluida 1:100, una adicionada en 3.4 mL y la otra en 6.8 mL; control de inóculo: Inóculo y medio mineral; control de procedimiento: Inóculo, medio mineral y acetato de sodio 1N; control de toxicidad: Inóculo, medio mineral, agua residual y acetato de sodio 1N; control sin inóculo: Medio mineral y el agua residual diluida 1:100; control estéril: éste contiene lo mismo que el control sin inóculo pero se esteriliza a 120°C por 15 min en autoclave.

Nota: * Frascos esterilizados al inicio del montaje del experimento; -- No determinado

La disminución en el desarrollo de bacterias mesofilicas aerobias en las soluciones de sustancia de prueba A y en la B se observa como consecuencia del agotamiento de los sustratos disponibles existentes (Tebbutt, 1994). Al inicio del experimento hay alimento y nutrientes en exceso, razón por la que la cual la reproducción es ilimitada y su número aumenta a una tasa exponencial. Posteriormente, los nutrientes se hacen limitantes y el crecimiento de los microorganismos se restringe cada vez más (Winkler, 1986).

Cuadro 4.4. Resultados del análisis microbiológico de las soluciones preparadas para la aplicación de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida

Soluciones /tiempo	Inóculo recolectado	Inóculo diluido (1:100)	Sustancia de prueba A	Sustancia de prueba B	Control de toxicidad	Acetato de sodio 1N	Medio mineral	Control del medio ambiente	Control del medio de cultivo
0 días	>10 ³ UFC/mL	5500 UFC/mL V.E	>10 ³ UFC/mL	>10 ³ UFC/mL	280 UFC/mL	Sin crecimiento (Menos de 10 UFC/mL)	Sin crecimiento (Menos de 10 UFC/mL)	Sin crecimiento (Menos de 10 UFC/mL)	Sin crecimiento (Menos de 10 UFC/mL)
14 días	NC	NC	76 UFC/mL	115 UFC/mL	140 UFC/mL	NC	NC	Sin crecimiento (Menos de 10 UFC/mL)	Sin crecimiento (Menos de 10 UFC/mL)
28 días	NC	NC	41 UFC/mL	63 UFC/mL	136 UFC/mL	NC	NC	Sin crecimiento (Menos de 10 UFC/mL)	Sin crecimiento (Menos de 10 UFC/mL)

INDICACIONES: UFC/mL = Unidades formadoras de colonias en un mL; V.E = Valor estimado; NC= No considerado para el análisis

4.5. COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) Y DEL ANÁLISIS ELEMENTAL (CARBONO ORGÁNICO TOTAL, COT)

De la caracterización del agua residual generada en los turbuladores y captada por el cárcamo se obtuvieron valores muy elevados de demanda química de oxígeno (DQO). Los valores resultantes se encuentran en un intervalo de 34,000 a 60,000 mg/L de DQO, aunque como consecuencia de la gran cantidad de grasas y aceites contenidas en las aguas residuales se consideran no representativos, ya que las grasas se quedaban adheridas en las paredes de los recipientes.

Antes del montaje de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida, se realizaron varios análisis de DQO de muestras de agua residual tomadas del cárcamo 7. Se consideró este sitio de muestreo por ser el punto final antes del vertimiento del agua residual al drenaje.

La DQO medida de la muestra disuelta fue de 36,864 mg/L. Para tomar en cuenta la presencia de las grasas y aceites las muestras fueron agitadas vigorosamente con un sonificador. En estos casos los valores fueron de 364,800 mg/L. Por ello se considera que la DQO total de las muestras fue de 350,000 mg/L, aproximadamente.

También se realizó la determinación del carbono orgánico total (COT) de las mismas muestras de agua residual provenientes del cárcamo, para ver si correspondían con los valores de DQO. Las concentraciones resultantes de la muestra disuelta fue de 42,962.54 mg C/L y de la muestra con grasa emulsificada en el sonificador fue de 298,661 mg C/L (Cuadro A.3.13)

Por lo tanto, existe concordancia entre los valores de DQO y de COT medidos en muestras provenientes del cárcamo, indicando que el mayor contaminante orgánico de esta agua está representado por las grasas y aceites usados como lubricantes de las piezas limpiadas en los talleres.

Con base a la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida realizada, el tratamiento a proponer al personal de los Talleres de Mantenimiento del Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano podría ser de tipo biológico, pero con ciertas limitantes que deben considerarse, especialmente si al verter esta agua residual al alcantarillado sin ningún tratamiento, su dilución con otras aguas residuales existentes no alcanza niveles de 1:5,000 a 1:10,000 para que puedan degradarse en un 50% después de 7 días.

Obviamente, las probabilidades de que esto ocurra son escasas, por lo que deberá pensarse en un pretratamiento antes de verterlas al drenaje. El tratamiento podría ser de tipo anaerobio y hacerlo antes de que alcance las condiciones fisicoquímicas que presentan actualmente (con concentraciones de 350,000 mg/L DQO_t y de 300,000 mg COT/L).

Esto significa que es mejor recambiar el agua de lavado antes de que alcance estos valores extremos de suciedad, darle un tratamiento anaerobio y, posteriormente, uno aerobio y volverlas a recircular para una etapa de prelavado, haciendo una segunda etapa de lavado de la que las aguas residuales no salgan tan sucias.

En la Figura 4.5. se presenta un esquema de bloques que podría dar la pauta para que un grupo de ingeniería realizara la investigación conducente a definir la ingeniería conceptual del proceso de depuración.

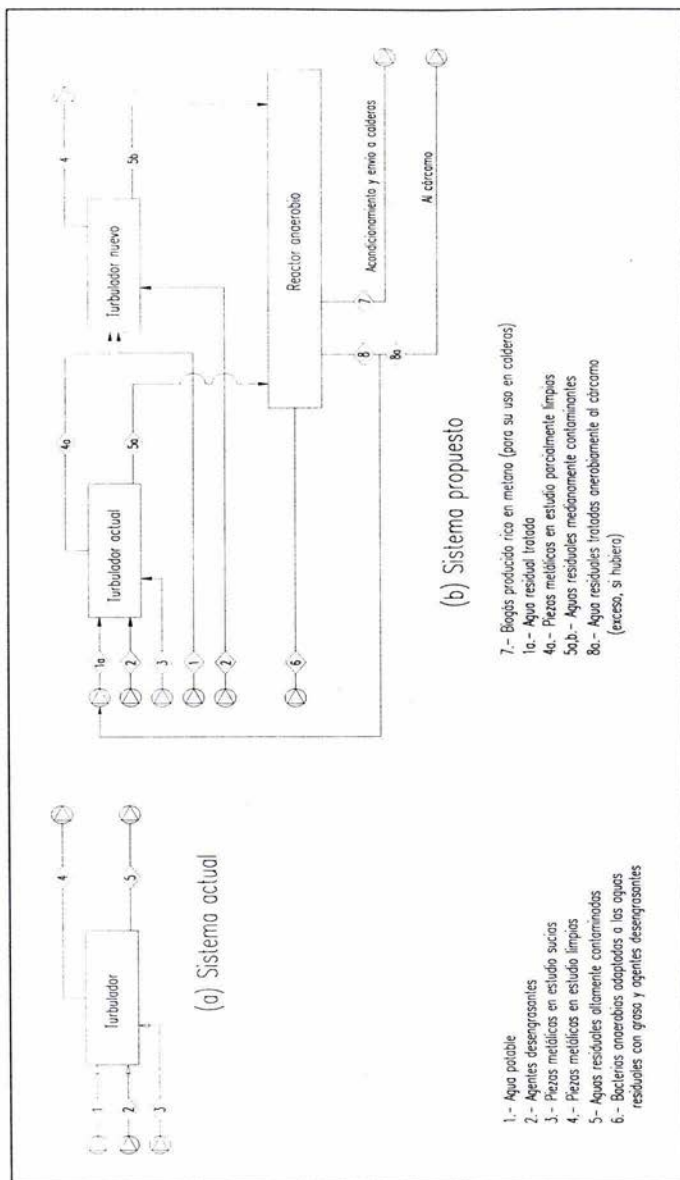


Figura 4.5. Propuesta de manejo de las aguas residuales generadas en los turbuladores de lavado de piezas metálicas del Taller de Mantenimiento Mayor de Zaragoza

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con el objetivo planteado en esta investigación, de caracterizar los efluentes líquidos generados en el Taller de mantenimiento Mayor Zaragoza del Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano y proponer una metodología analítica para utilizarla en todo el sistema, de manera periódica, con algunos parámetros clave, a continuación se presentan las conclusiones derivadas de ella. Para mayor claridad se presentan primeramente las conclusiones de la caracterización física y química y, después, la microbiológica (prueba de biodegradabilidad), terminando con las propuestas para mejorar las mediciones analíticas.

5.1.1. Caracterización física y química de las aguas residuales en estudio

- Las muestras de agua residual, tomadas al inicio del proceso de lavado de las piezas metálicas en cada uno de los turbuladores y del cárcamo captador de dichas aguas residuales, no cumplen con las especificaciones establecidas por la norma NOM-002-ECOL-1996, debido a que al vaciarse quedan impregnados de grasas y residuos y al volverlos a llenar con agua limpia ésta se contamina.
- La composición de las aguas residuales mostró un incremento considerable en las concentraciones de los parámetros medidos en esta investigación durante el proceso de lavado de las piezas metálicas.
- En cuanto a su composición química, como era de esperarse dado que los turbuladores reciben diferentes tipos de piezas mecánicas para su lavado y se usan diferentes sustancias limpiadoras, y el cárcamo que las recibe la mezcla, las aguas residuales de cada uno de ellos presentan entre sí diferencias significativas ($p = 0.05$).
- Los niveles superior (N1), medio (N2) y fondo (N3) de los turbuladores y el cárcamo no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

5.1.2. Caracterización microbiológica (Aplicación de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida OECD 301-A)

- Con base a la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida realizada, el tratamiento propuesto podría ser de tipo biológico, pero con ciertas limitantes que deben considerarse, especialmente si al verter estas aguas residuales al alcantarillado sin ningún tratamiento, su dilución con otras

aguas residuales existentes no alcanza niveles de 1:5,000 a 1:10,000 para que puedan degradarse en un 50% después de 7 días. Obviamente, las probabilidades de que esto ocurra son bastante escasas, por lo que deberá pensarse en un pre-tratamiento antes de verterlas al drenaje.

- El pre-tratamiento podría ser de tipo anaerobio, aunque debería hacerse antes de que las aguas residuales alcancen las condiciones físicas y químicas que presentan actualmente (con concentraciones de 350,000 mg DQO₁ /L y de 300,000 mg CT/ L). Esto implica un cambio en la metodología actual de lavado de las piezas metálicas.

5.1.3. Propuesta de metodología analítica para caracterizar aguas residuales altamente contaminadas con metales pesados y grasas

Los principales parámetros que deben considerarse para aguas residuales con estas características son la DQO₁, la determinación de grasas y aceites y la determinación de metales pesados.

Al tratar de aplicar los métodos aceptados por la norma para determinar estos parámetros se vio que debido a la alta concentración de grasas y aceites y a la presencia de metales pesados en suspensión, no era posible obtener resultados confiables. El primer paso, considerando esa gran cantidad de grasas y aceites y esa presencia de metales pesados, fue el de homogeneizar las muestras líquidas emulsificando las grasas con los metales en suspensión y la fase acuosa. Para alcanzar una emulsión durable se empleó la "sonificación2".

Una vez teniendo las muestras "homogéneas" se procedió a determinar cada uno de estos tres parámetros.

Las principales modificaciones que se le hicieron a la metodología para determinar DQO₁ fueron las siguientes: Homogeneizar la muestra mediante la emulsificación de las grasas para que sea representativa; diluirla de 1 a 0.1mL en 50 mL de agua destilada enjuagando la pipeta con los reactivos oxidantes para evitar en la medida de lo posible dejar residuos de grasa en ella que alteraran la medición; adicionar los reactivos remanentes y digerir durante las dos horas propuestas.

Para la determinación de grasas y aceites se modificó la cantidad inicial de muestra (de 1L a 5-100 mL, dependiendo del grado de contaminación).

Para evaluar los metales pesados se modificó el tipo y cantidad de ácido a usar en la digestión con objeto de facilitar la eliminación de la materia orgánica grasa (25 mL de muestra y mezclas de HNO₃ y HF en proporciones de 2 a 10 mL dependiendo del contenido de grasas y aceites).

5.2. RECOMENDACIONES

A la luz de los resultados obtenidos en esta investigación se plantea a las autoridades de los talleres lo siguiente:

- a) Adquirir una planta de tratamiento para las aguas residuales provenientes de los talleres, cuyo objetivo sea el de remover los contaminantes tóxicos para reducir las concentraciones que se obtuvieron en los resultados de esta investigación y así dar cumplimiento a la norma correspondiente.
- b) Tener un mejor control en la preparación de las soluciones de lavado y en los cambios de las mismas, ya que es evidente que si el tiempo de limpieza se prolonga más de lo programado, los contaminantes aumentan su concentración y su remoción se complica y aumenta considerablemente el costo de su tratamiento.
- c) Sustituir el agua potable por agua tratada en aquellos casos donde no sea necesario. Por ejemplo, podría darse un prelavado a las piezas con agua parcialmente depurada que estaría reciclándose y, darles después un segundo lavado que permita tenerlas limpias para su inspección. Las aguas residuales producto de ambos lavados ya no tendrán una concentración tan elevada como las actuales y podrán ser depuradas en un reactor anaerobio de alta tasa. Esta agua residual parcialmente tratada podría reciclarse al sistema de prelavado. Los excedentes podrían enviarse a un sistema aerobio de tratamiento que les permita tener una concentración similar a las de las aguas residuales estudiadas en la prueba de biodegradabilidad para vertirse al drenaje.
- d) Utilizar agentes limpiadores biodegradables, lo que reducirá los requerimientos de los sistemas de tratamiento de aguas propuestos.
- e) El uso excesivo y descuidado del agua de lavado no sólo representa un innecesario costo material, sino también un volumen adicional que pasa al sistema de tratamiento de aguas residuales del GDF a través de los drenajes. Esto puede reducirse con la instalación del nuevo sistema propuesto en la Fig. 4.5 del capítulo anterior y con el uso de inyección de aire comprimido para producir chorros de alta presión en vez de la presión del agua misma.
- f) Actualmente se emplea vapor de agua para transferir calor de una caldera a los turbuladores, lo cual requiere de una construcción más costosa por las altas temperaturas y presiones que debe soportar. Esto se podría sustituir con fluidos patentados para la transferencia de calor, los que se mantienen en estado líquido a altas temperaturas y pueden, por tanto, operar a más bajas presiones. Estos fluidos son costosos, pero su uso reducirá la carga sobre el sistema de pre-tratamiento del agua de alimentación de la caldera, además de que nunca están en contacto con los líquidos de los turbuladores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hambres, K. T. (2001). "Biodegradación aerobia de inhibidores de hidratación de arcillas" Tesis de maestría. UNAM, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Bioquímicas México D.F. México.
- APHA. (1992). American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santos S.A. Madrid, España.
- CNA. (2001). Ley de Aguas Nacionales. Comisión Nacional del Agua. Poder Ejecutivo Federal. México D.F. México.
- CNA. (2002). Ley Federal de Derechos en Materia de Agua. Comisión Nacional del Agua. México D.F. México.
- Distrito de Sanidad del Estado de Nueva York. (1996). Manual de tratamiento de aguas negras. Editorial Limusa. México D.F. México.
- Durán-de-Bazúa, C. (1994). Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria de proceso. Pub. UNAM. Facultad de Química. 4a. Edición. México. D.F. México.
- Fowler, J., Cohen, L. y Jarvis, P. (1998). "Practical Statistics for Field Biology". 2a. Ed. John Wiley and Sons. Baffin's Lane, Chichester, West Sussex P019 IUD Inglaterra.
- Gordon, M. (1996). Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Ediciones Ciencia y Técnica S.A. Volúmenes 1 al 4. Editorial Limusa S.A. de C.V.. México D.F. México.
- Grady, L. (1985). Biodegradation: Its measurement and microbiological basis. Biotechnol. Bioeng. 27
- Hernández M.A. (1992). Depuración de aguas residuales. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid, España.
- Jiménez-Cisneros, B.E. (2001). La contaminación ambiental en México. Causas, efectos y tecnología apropiada. Editorial Limusa S.A. de C.V. México D.F. México.

- Levin, M. y Gealt, M.A. (1997). Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos. Selección, estimación, modificación de microorganismos y aplicaciones. Editorial Mc. Graw-Hill/Interamericana de España, S.A. México D.F. México.
- Marques M. J., (1991). Probabilidad y estadística. Para ciencias Químico-Biológicas. Editorial Graw-Hill S.A. México D.F. México.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1996). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Editorial Mc Graw Hill. Tomo 1. México D.F. México.
- Montgomery D. C. (2002). Diseño y análisis de experimentos. Editorial Limusa S. A. México D. F. México
- NMX-AA-004-SCFI-2000. Determinación de sólidos sedimentables por el método volumétrico.
- NMX-AA-005-SCFI-2000. Determinación de grasas y aceites.
- NMX-AA-006-SCFI-2000. Determinación de materia flotante en aguas residuales. Método visual con malla específica.
- NMX-AA-008-SCFI-2000. Determinación de pH. Método potenciométrico.
- NMX-AA-030-SCFI-2001. Demanda química de oxígeno. Método volumétrico con dicromato de potasio.
- NMX-AA-034-SCFI-2001. Determinación de sólidos.
- NMX-AA-051-SCFI-2001. Metales pesados totales. Método por absorción atómica.
- NOM-092-SSA1-1994. Método para la cuenta total de bacterias aerobias en placa.
- NOM-001-ECOL-1996. "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales". Poder Ejecutivo Federal (www.economia.gob.mx)
- NOM-002-ECOL-1996. "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal". Poder Ejecutivo Federal (www.economia.gob.mx)
- NMX-AA-003-1980. "Aguas residuales. Muestreo". Poder Ejecutivo Federal. (www.economia.gob.mx).

- NMX-AA-31-ECOL-1993. "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales". Poder Ejecutivo Federal (www.economia.gob.mx)
- OECD. (1992). Guidelines for testing of chemicals. Ready biodegradability. 301 A. "DOC Die-away test". Organization for Economic Cooperation and Development. París, Francia.
- Romero R. J. A., (1999). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Editorial Alfaomega S.A. de C.V. México D.F. México.
- Rigola L. M., (1999). Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. Editorial Alfaomega S.A. de C.V. México D.F. México.
- Salgado-Ugarte, I.H. (1992). Análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y aplicaciones. Editorial Marc Ediciones. FES-ZARAGOZA UNAM México D.F. México.
- S.T.C. METRO. (1988). " Mantenimiento Mayor y Menor al Material Rodante del S.T.C." Sistema de Gobierno del Distrito Federal. México D.F. México.
- Tebbutt, (1994). Fundamentos de control de la calidad del agua. Editorial Limusa S.A de C.V. México D.F. México.
- Tudesa, (1987). Turco y Descalzi de México, S.A. Información técnica sobre los productos especiales para los procesos de mantenimiento en la industria. México D.F. México.
- Winkler M.A., (1986). Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa S.A. de C.V. México D.F. México.

ANEXOS

ANEXO A.1. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES (NMX-AA-003-1980)

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.

2. Aparatos y equipos

2.1 Recipientes para el transporte y conservación de las muestras

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las aguas residuales. Se recomiendan los recipientes de polietileno o vidrio.

Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes y se recomienda que sean de material afín al del recipiente. Se recomienda que los recipientes tengan una capacidad mínima de 2 L.

2.2 Muestreadores automáticos

Se permite su empleo siempre y cuando se operen de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo muestreador dándoles el correcto y adecuado mantenimiento, asegurándose de obtener muestras representativas de las aguas residuales.

2.3 Válvulas y accesorios

Cada toma de muestreo debe tener una válvula de cierre que permita el paso libre de las aguas residuales y de los materiales que puedan contener y proporcionar el cierre hermético de la toma. Esta válvula y los accesorios necesarios para su instalación, deben ser de materiales similares a los de las tomas y/o los conductos en que éstas se instalen.

2.4 Hielera o refrigerador

2.5 Material común de laboratorio

3. Identificación de las muestras

3.1 Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información:

Identificación de la descarga.

Número de muestra.

Fecha y hora de muestreo.

Punto de muestreo.

Temperatura de la muestra.

Profundidad de muestreo.

Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.

3.2 Hoja de registro

3.2.1 Se debe llevar una hoja de registro con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo.

3.2.2 Se recomienda que la hoja de registro contenga la siguiente información:

Los datos citados en el inciso 3.1.

Resultados de pruebas de campo practicadas en la descarga muestreada.

Cuando proceda, el gasto o flujo de la descarga de aguas residuales que se muestrea.

Descripción detallada del punto de muestreo de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar.

Descripción cualitativa del olor y el color de las aguas residuales muestreadas.

4. Procedimiento

4.1 Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir con los siguientes requisitos:

4.1.1 Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.

4.1.2 Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.

4.1.3 Al efectuarse el muestreo, deben anotarse los datos según los incisos 3.1 y 3.2.2.

4.2 Muestreo en tomas

4.2.1 Se recomienda se instalen tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para muestrear a cielo abierto con el objeto de caracterizar debidamente las aguas residuales. Las tomas deben tener un diámetro adecuado para muestrear correctamente las aguas residuales en función de los materiales que puedan contener; deben ser de la menor longitud posible y procurar situarlas de tal manera que las muestras sean representativas de la descarga. Se recomienda el uso de materiales similares a los del conducto, de acero al carbón o de acero inoxidable.

4.2.2 Se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llena el recipiente de muestreo.

4.3 Muestreo en descargas libres

4.3.1 Cuando las aguas residuales fluyan libremente en forma de chorro, debe emplearse el siguiente procedimiento:

4.3.1.1 El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces antes de efectuar el muestreo.

4.3.1.2 Se introduce el recipiente muestreador en la descarga o de ser posible, se toma directamente la muestra en su recipiente.

4.3.1.3 La muestra se transfiere del recipiente muestreador al recipiente para la muestra cuidando de que ésta siga siendo representativa.

4.4 Muestreo en canales y colectores

4.4.1 Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.

4.4.1.1 Si se va a evaluar el contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.

4.4.2 El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo.

4.4.3 El recipiente muestreador, atado con una cuerda y sostenido con la mano de preferencia enguantada, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra.

4.4.4 Si la muestra se transfiere de recipiente, se debe cuidar que ésta siga siendo representativa

4.5 Cierre de los recipientes de muestreo.

4.6 Obtención de muestras compuestas.

4.6.1 Se recomienda que las muestras sean compuestas (ver inciso 1.6), para que representen el promedio de las variaciones de los contaminantes.

El procedimiento para la obtención de dichas muestras es el siguiente:

4.6.1.1 Las muestras compuestas se obtienen mezclando muestras simples en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga medido en el sitio y momento del muestreo.

4.6.1.2 El intervalo entre la toma de cada muestra simple para integrar la muestra compuesta, debe ser el suficiente para determinar la variación de los contaminantes del agua residual.

4.6.1.3 Las muestras compuestas se deben tomar de tal manera que cubran las variaciones de la descarga durante 24 horas como mínimo.

4.7 Preservación de las muestras

Sólo se permite agregar a las muestras los preservativos indicados en las Normas de Métodos de Prueba.

4.8 Preservar la muestra durante el transporte por medio de un baño de hielo y conservar las muestras en refrigeración a una temperatura de 277 K (4°C).

4.9 Se recomienda que el intervalo de tiempo entre la extracción de la muestra y su análisis sea el menor posible y que no exceda de tres días.

5.- Apéndice

5.1 Observaciones

5.1.1 Es muy importante que se tomen las precauciones de seguridad e higiene en el muestreo en función del tipo de aguas residuales que se estén muestreando.

ANEXO A.2. METODOLOGÍAS ANALÍTICAS

A.2.1. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD AEROBIA RÁPIDA OECD 301-A-1992

Fundamento

Un volumen determinado del medio mineral preinoculado, conteniendo una concentración conocida de sustancia de prueba (entre 10 y 40 mg COD/L, donde COD es el carbono orgánico total) como única fuente de carbono se mantiene con aireación constante en la oscuridad o con luz difusa a $22\pm 2^{\circ}\text{C}$. La degradación se evalúa por medio del análisis de la concentración de COD a intervalos frecuentes de tiempo durante un período de 28 días. El grado de biodegradación se calcula a partir de la cantidad de COD removida (corregida por medio de un blanco de inóculo utilizado como control) como un porcentaje de la concentración inicialmente presente en el medio. También puede calcularse la biodegradación primaria del compuesto original por medio de análisis químicos suplementarios para los compuestos introducidos inicialmente (progenitores), realizados al principio y final del período de incubación.

Descripción de la metodología

Material y equipo

Material común de laboratorio y

- ◆ Botellas Winkler o matraces tipo Erlenmeyer de 250 mL a 2 L, dependiendo del volumen necesario para el análisis de COD. Los matraces o botellas deben limpiarse cuidadosamente con, por ejemplo, ácido clorhídrico con etanol, enjuagándose y secándose antes de cada prueba;
- ◆ Aparato de agitación mecánica para acomodar los matraces, ya sea con control automático de temperatura o usando un cuarto de temperatura constante y con suficiente potencia para mantener condiciones aerobias en todos los frascos (en este estudio se empleó una incubadora orbital con agitación mecánica y baño de temperatura controlada);
- ◆ Aparato de filtración con membranas adecuadas
- ◆ Analizador de COD (en este caso se usó un analizador elemental EA 1110 CHNS-O, de Fisons CE Instruments)
- ◆ Aparato para determinar oxígeno disuelto para corroborar que el contenido de los matraces o botellas sea aerobio (en esta investigación se usó un multimetro Corning Check Mate II de campo)
- ◆ Centrifuga

Agua

En el Capítulo 2 (inciso 2.8.1) se describe el uso de agua para esta prueba.

Soluciones de medio mineral

Para preparar las soluciones patrón deben usarse reactivos de grado analítico:

(a)

Fosfato monobásico de potasio, KH_2PO_4	8.50 g
Fosfato dibásico de potasio, K_2HPO_4	21.75 g
Fosfato dibásico de sodio dihidratado, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	33.40 g
Cloruro de amonio, NH_4Cl	0.50 g

Disolver en agua y aforar a 1 L. El pH de la solución debe ser 7.4.

(b)

Cloruro de calcio, anhidro, CaCl_2	27.50 g
o Cloruro de calcio dihidratado, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36.40 g

Disolver en agua y aforar a 1 L

(c)

Sulfato de magnesio heptahidratado, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	22.50 g
---	---------

Disolver en agua y aforar a 1 L

(d)

Cloruro de hierro (III) hexahidratado, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.25 g
--	--------

Disolver en agua y aforar a 1 L

Nota: En caso de no querer preparar la solución inmediatamente antes de su uso, añadir una gota de HCl concentrado o 0.4 g de EDTA por litro. Si se forma un precipitado en las soluciones patrón, reemplazarlas por soluciones recién preparadas.

Preparación del medio mineral

Mezclar 10 mL de solución (a) con 800 mL de agua, añadir 1 mL de solución (b), (c) y (d). Aforar a 1 L con agua.

Soluciones "madre" de sustancias de prueba

Cuando la solubilidad de la sustancia de prueba excede de 1 g/L, disolver 1-10 g, de sustancia de prueba o de referencia en agua y aforar a 1 L. Otra opción es preparar soluciones patrón en medio mineral o añadir la sustancia directamente al medio mineral, permitiendo su completa disolución antes de continuar con el

procedimiento montaje (en esta investigación, dadas las características del agua residual en estudio, se tomó 1 mL de agua homogeneizada para que contuviera grasas y aceites y material coloidal y se diluyó a 100 mL con agua destilada y para garantizar una mezcla homogénea se empleó un sonificador).

Inóculo

El inóculo puede obtenerse de una gran variedad de fuentes como: De lodos activados, de aguas residuales sanitarias, de aguas superficiales, de suelos o de una mezcla de éstos.

Inóculo a partir de lodos activados

Se colecta una muestra fresca de lodos activados de un tanque de aireación de una planta de tratamiento de aguas residuales o de un reactor a escala de laboratorio que trate principalmente aguas residuales domésticas. Si es necesario, remover las partículas gruesas por filtración a través de un tamiz fino y mantener el lodo bajo condiciones aerobias.

Alternativamente, después de retirar las partículas gruesas, dejar sedimentar o centrifugar (por ejemplo 1100 g por 10 minutos), eliminando el sobrenadante. El lodo puede ser lavado con el medio mineral preparado. Resuspender el lodo concentrado en medio mineral para obtener una concentración final de 3-5 g de sólidos suspendidos/L. Mantener en aireación hasta su uso.

El lodo debe tomarse de una planta que esté operando apropiadamente. Si proviniera de una planta de alta tasa o que contenga inhibidores, se recomienda lavarlo. Dejar sedimentar o centrifugar el lodo resuspendido después de un mezclado muy completo, eliminando el sobrenadante y resuspendiendo los lodos lavados en medio mineral. Repetir este procedimiento hasta que el lodo esté libre de exceso de sustrato o de inhibidor.

Determinar el peso seco del lodo una vez que se haya resuspendido, tomando una muestra representativa.

Una alternativa es homogeneizar el lodo en una licuadora por dos minutos a velocidad intermedia y dejarlo sedimentar por 30 min o hasta que se separe el líquido sobrenadante. Usar el lodo como inóculo a una tasa de 10 mL/L de medio mineral.

Otras fuentes de inóculo

El inóculo puede obtenerse del efluente secundario de una planta de tratamiento o de un reactor de laboratorio que trate principalmente aguas domésticas. Colectar una muestra fresca y mantenerla bajo condiciones aerobias durante el transporte. Dejar sedimentar por una hora o filtrar a través de un filtro de papel grueso. Guardar el sobrenadante decantado o filtrado aerobio hasta su uso. Este tipo de

inóculo puede utilizarse en una proporción de hasta 100 mL por litro de medio mineral. Otra fuente de obtención del inóculo es el agua superficial. En este caso, recolectar una muestra de agua superficial de un río, lago, etc., y mantenerla bajo condiciones aerobias hasta su uso. Si es necesario, concentrar el inóculo por filtración o centrifugación.

Pre-acondicionamiento del inóculo

El inóculo puede preacondicionarse a las condiciones experimentales, pero no preadaptarse a la sustancia de prueba. El pre-acondicionamiento consiste en mantener en aireación el lodo activado (en medio mineral) o el efluente secundario por 5-7 días a la temperatura de prueba. El pre-acondicionamiento en ocasiones mejora la precisión del método de prueba, disminuyendo los valores del "blanco" o control.

Preparación de los matraces

A modo de ejemplo, tomar 800 mL de medio mineral y colocarlos en matraces de 2 litros; añadir el volumen suficiente de solución patrón de la sustancia de prueba y de la de referencia, según sea el caso, para obtener concentraciones equivalentes entre 10 y 40 mg COD/L. Verificar los valores de pH y ajustarlos si fuera necesario a 7.4. Inocular los matraces con los lodos activados u otra fuente de inóculo para obtener una concentración final no mayor de 30 mg de sólidos suspendidos totales/L. Preparar también los controles del inóculo en el medio mineral pero sin la sustancia de prueba ni la de referencia.

De ser necesario, utilizar un matraz para verificar el posible efecto inhibitorio de la sustancia de prueba inoculando una solución que contenga concentraciones comparables de ambas, la sustancia de prueba y la de referencia en el medio mineral.

De igual manera, si se requiere verificar la degradación abiótica de la sustancia de prueba, utilizar un matraz conteniendo una solución estéril sin inóculo de ella. Dicha solución se esteriliza a través de filtración por membrana (0.2 – 0.45µm) o mediante la adición de una sustancia tóxica idónea a una concentración apropiada. Si se utiliza la filtración a través de membrana, tomar las muestras asépticamente para mantener condiciones de esterilidad.

Adicionalmente, si se sospecha que la sustancia de prueba puede ser absorbida en vidrio, lodo, etc., hacer pruebas preliminares para determinar el grado de adsorción y la validez de esta metodología para probar la sustancia en estudio. Incluir un matraz que contenga la solución de sustancia de prueba, el inóculo y un agente esterilizante.

Aforar todos los volúmenes a 1 litro con medio mineral y mezclar perfectamente. Tomar una muestra de cada matraz perfectamente mezclados para determinar la concentración inicial de COD por duplicado. Tapar los matraces con papel de

aluminio, de manera que se permita el libre intercambio de aire entre el matraz y la atmósfera circundante. Finalmente, colocar los matraces en la incubadora con agitación e iniciar la prueba.

Número de matraces y su composición química

En una corrida típica, se utilizan los siguientes matraces:

Matraces 1 y 2	contienen la sustancia de prueba y el inóculo (suspensión de prueba, una sola dilución);
Matraces 3 y 4	contienen solamente inóculo y medio mineral ("blanco" del inóculo)
Matraz 5	contiene el compuesto de referencia y el inóculo (control de procedimiento) y, cuando sea necesario, incluir también los matraces siguientes:
Matraz 6	contiene la sustancia de prueba y el agente esterilizante (control de degradación abiótico estéril)
Matraz 7	contiene la sustancia de prueba, el inóculo y el agente esterilizante (control de adsorción)
Matraz 8	contiene la sustancia de prueba, el compuesto de referencia y el inóculo (control de toxicidad).

Procedimiento

Cuantificación de COD

A lo largo del período de prueba, determinar las concentraciones de COD de muestras de cada matraz por duplicado a intervalos de tiempo conocidos. Es obligatorio cuantificar la concentración de COD en la suspensión de prueba y el blanco del inóculo al mismo tiempo. Se recomienda hacer el seguimiento de la concentración de COD en los demás matraces simultáneamente. Sin embargo, esto no siempre es posible.

Muestreo

Tomar una muestra compuesta de la suspensión de prueba con el mínimo volumen necesario para cada determinación. Antes de realizar el muestreo, para compensar cualquier pérdida debida a evaporación, adicionar agua en la cantidad necesaria para recuperar el volumen anterior. Mezclar perfectamente el medio de cultivo, para que el material adherido a la pared del matraz se redisuelva o resuspenda. Filtrar a través de membrana o centrifugar la muestra inmediatamente después de ser tomada. Analizar el filtrado o centrifugado el mismo día. De otra manera, almacenar a 2-4°C por un máximo de 48 horas o a -18°C para períodos más largos.

Frecuencia de muestreo

Asegurar que se tome un número suficiente de muestras para permitir evaluar el porcentaje de remoción del período de 10 días a ser valorado*. No se proponen tiempos de muestreo específicos ni un patrón de muestreo preciso. Si los análisis se realizan el mismo día del muestreo, programar el siguiente muestreo y medición considerando los resultados del análisis previo. Si son preservadas, tomar muestras diariamente o cada 2 días. Analizar primero las últimas muestras (28 días) y, paso a paso hacia atrás seleccionar las muestras apropiadas para análisis. Con esto, es posible obtener una buena descripción de la curva de biodegradación con un número relativamente pequeño de determinaciones. Por supuesto, si las últimas muestras (28 días) no muestran degradación, el experimento se da por terminado.

**Nota de la autora: Grady (1985) menciona que el nivel de aceptación para las pruebas de biodegradabilidad aerobia rápida es de 70% de remoción de COD. Éste debe alcanzarse en un periodo de 10 días dentro de los 28 días que dura la prueba. El periodo de 10 días inicia cuando el grado de biodegradación ha alcanzado un 10% de COD y debe terminar antes del día 28 de la prueba.*

Datos y reporte

Tratamiento de los resultados

Los datos obtenidos deberán organizarse en una hoja de datos.

El porcentaje de degradación (D_t) correspondiente a cada tiempo de muestreo, puede obtenerse de las determinaciones por duplicado de COD de cada matraz con sustancia de prueba y registrando el valor promedio para verificar la validez de la prueba. El cálculo se realiza aplicando la siguiente ecuación:

$$D_t = \left[1 - \frac{C_t - C_{bl(t)}}{C_0 - C_{bl(0)}} \right] \times 100$$

donde:

- D_t = % de degradación al tiempo t,
- C_0 = concentración inicial promedio de COD en el medio de cultivo inoculado conteniendo la sustancia de prueba (mg COD/L),
- C_t = concentración promedio de COD en el medio de cultivo inoculado conteniendo la sustancia de prueba al tiempo t (mg COD/L),
- $C_{bl(0)}$ = concentración inicial promedio de COD en el blanco inoculado en el medio mineral (mg COD/L),
- $C_{bl(t)}$ = concentración promedio en el blanco inoculado en el medio mineral al tiempo t (mg COD/L).

Todas las concentraciones se determinan experimentalmente.

Si la prueba ha cumplido con los criterios de validez, construir una gráfica para seguir el curso de la biodegradación, utilizando los valores promedio de los matraces con la sustancia de prueba. Calcular y reportar el porcentaje de remoción alcanzado en la meseta, al final de la prueba y/o en el período de diez días según sea apropiado.

Cuando se tenga la disponibilidad de datos de análisis químicos específicos, calcular la biodegradabilidad primaria.

Del Capítulo 2, epígrafe 2.9.1 se tiene la siguiente fórmula (ecuación 2-1):

$$D_t = \frac{S_b - S_a}{S_b} \times 100$$

donde:

- D_t = % de degradación primaria al tiempo t, normalmente 28 días,
- S_a = cantidad residual de la sustancia química en el medio inoculado al final de la prueba (mg),
- S_b = cantidad residual de la sustancia química en el control de degradación abiótico al final de la prueba (mg).

Cuando se incluye un control de degradación abiótica estéril, calcular el porcentaje de degradación abiótica a partir de:

$$\% \text{ Degradación abiótica} = \frac{C_{s(0)} - C_{s(t)}}{C_{s(0)}} \times 100$$

donde:

- $C_{s(0)}$ = concentración de COD en el control estéril al día 0,
- $C_{s(t)}$ = concentración de COD en el control estéril al día t.

Validez de la prueba

La prueba se considera como válida si la diferencia de los valores por duplicado de remoción de la sustancia química en la meseta, al final de la prueba o durante el período de 10 días, es menor de 20% y si el porcentaje de degradación del compuesto de referencia alcanza el nivel apropiado a los 14 días (ver incisos a y b del epígrafe A.2.9.2 del Anexo A.2).

Nota de la autora: De acuerdo con Grady (1985) pueden tomarse para la determinación de la meseta los siguientes lapsos:

- *Tiempo de retardo (lag, en inglés): En casi todas las curvas de degradación se puede observar esta fase. Se define normalmente como el tiempo desde la inoculación hasta que el porcentaje de degradación ha alcanzado al menos un 10% de remoción del contenido inicial de COD. El tiempo "lag" es altamente variable y poco reproducible. Se expresa en días.*
- *Fase de degradación: Se define como el intervalo de tiempo entre el final de la fase "lag" hasta que se alcanza aproximadamente un 90% de nivel máximo de degradación. Se expresa en días.*
- *Periodos de 10 días: Los 10 días posteriores a que se ha alcanzado un 10% de degradación.*

A.2.2. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE pH. MÉTODO POTENCIOMÉTRICO (NMX-AA-008-SCFI-2000)

Fundamento: El método se basa en que al poner en contacto dos soluciones de diferente concentración de iones hidrógeno, se establece una fuerza electromotriz. Si una de las soluciones tiene una concentración de iones conocida (pH), por medio de la fuerza electromotriz producida, se puede conocer el pH de la otra solución (solución problema), ya que esta fuerza electromotriz es proporcional al pH de la solución problema.

Material:

- Potenciómetro marca Sargent Welch
- Material común de laboratorio

Reactivos:

- Solución amortiguadora de 10
- Agua destilada

Procedimiento:

1. Se ajustó y calibró el potenciómetro con una solución amortiguadora de 10 y se lavó el electrodo con agua destilada quitando el exceso, sin friccionarlo.
2. Se efectúan las lecturas del valor de pH en las muestras de agua residual y soluciones a temperatura ambiente (25°C).

A.2.3. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA. MÉTODO VISUAL CON TERMÓMETRO (NMX-AA-007-SCFI-2000)

Fundamento: El método se basa en la dilatación o contracción que experimenta un gas o un líquido confinado, cuando se pone en contacto con un cuerpo caliente o frío.

Material y equipo:

- Termómetro
- Material común de laboratorio

Reactivos:

- Agua destilada

Procedimiento:

1. Se determinaron las temperaturas de las muestras por inmersión directa de un termómetro calibrado, esperando el tiempo necesario hasta la obtención de mediciones constantes; las lecturas se reportaron en °C.

A.2.4. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS (APHA, 1996;NMX-AA-034-SCFI-2001). SÓLIDOS TOTALES SECADOS A 103-105°C, SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES Y FIJOS INCINERADOS A 550°C

Fundamento: Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103-105°C, el aumento de peso sobre el de la placa vacía representa los sólidos totales. La técnica se basa en la evaporación del agua contenida en la muestra a la temperatura especificada.

Material y equipo:

- Cápsulas de porcelana
- Horno Fisher Scientific modelo 838 F
- Mufla
- Desecador
- Pinzas para crisol
- Balanza analítica marca Mettler AE166

Reactivos:

- Agua destilada

Procedimiento:

1. Se lavaron y secaron las cápsulas de porcelana.
2. En una estufa se introducen para que alcancen un peso constante a 103-105°C por 2 horas o en la mufla a 300°C durante 30 minutos.
3. Se sacan las cápsulas y se dejan enfriar en el desecador por 40 minutos.
4. Se pesan las cápsulas en la balanza y se comprueba su peso constante (peso A).
5. Se coloca una muestra de 5, 10, 20, 50 mL de agua residual correctamente mezclada en una cápsula de porcelana. Después se meten las cápsulas con las muestras en la estufa por dos horas a 103-105°C, dependiendo de la cantidad de muestra.
6. Se sacan las cápsulas y se enfrían en un desecador por 60 minutos.
7. Se pesan las cápsulas en la balanza hasta que las diferencias de las pérdidas de peso sea menor del 4 % (peso B).
8. Se introducen las cápsulas a la mufla a 550°C durante 15 minutos.
9. Se pasan las cápsulas al desecador para enfriar hasta 60 minutos.
10. Se pesan en una balanza analítica. Se repite nuevamente la incineración, el enfriamiento, la desecación y el pesado hasta obtener un peso constante (peso C).

Cálculos:

$$\text{Sólidos Totales (STT)} = \frac{(B - A)}{\text{muestra (mL)}} \times 100$$

$$\text{Sólidos Totales Volátiles (STV)} = \frac{(B - C)}{\text{muestra (mL)}} \times 100$$

$$\text{Sólidos Totales Fijos (STF)} = \frac{(C - A)}{\text{muestra (mL)}} \times 100$$

donde: A = peso inicial de la cápsula, B = peso final de la cápsula + residuo seco, C = peso de la cápsula + residuo calcinado

A.2.5. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, SUSPENDIDOS VOLÁTILES Y FIJOS

Fundamento: Es la diferencia aritmética entre sólidos totales y sólidos disueltos.

Material y equipo:

- Crisoles Gooch
- Filtros de fibra de vidrio
- Horno marca Fisher Scientific modelo 838 F
- Mufla
- Desecador

- Equipo de filtración
- Pinzas de crisol
- Balanza analítica marca Mettler AE 166

Reactivos:

Agua destilada

Procedimiento:

1. Se lavan y secan los crisoles
2. Se colocan los filtros con la cara rugosa hacia arriba en los crisoles.
3. Se conecta al equipo de vacío y filtrar agua destilada.
4. Se desecha el agua e introducen los crisoles en la estufa a 105°C por 1 hora.
5. Se dejan enfriar los crisoles en el desecador por 40 minutos.
6. Se pesan en la balanza analítica y se comprueba su peso constante (peso A).
7. Se colocan los crisoles al equipo de filtración y se filtran 5, 10, 20, 25 mL de muestra (dependiendo del contenido de grasa) correctamente mezclada.
8. Se meten en la estufa a 103-105°C por 1 hora.
9. Se dejan enfriar los crisoles en el desecador por 1 hora.
10. Se pesan en una balanza analítica (peso B). Se repite el proceso hasta obtener un peso constante.
11. Se introducen los crisoles en la mufla a 550°C durante 15 minutos.
12. Se pasan al desecador por 40-60 minutos.
13. Pesar en una balanza analítica (peso C). Se repite el proceso hasta obtener un peso constante.

Cálculos:

$$\text{Sólidos Suspendidos Totales (SST)} = \frac{(B - A)}{\text{muestra (mL)}} \times 100$$

$$\text{Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)} = \frac{(B - C)}{\text{muestra (mL)}} \times 100$$

$$\text{Sólidos Suspendidos Fijos (SSF)} = \frac{(C - A)}{\text{muestra (mL)}} \times 100$$

donde: A = peso del crisol + filtro, B = peso del crisol + filtro + residuo seco, C = peso del crisol + filtro + residuo calcinado

A.2.6. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES Y FIJOS

Fundamento: Evaporación del agua en una alícuota de muestra previamente filtrada con fibra de vidrio. El peso del residuo después de la evaporación en la cápsula representa los sólidos disueltos.

Material y equipo:

- Cápsulas de porcelana
- Pinzas
- Horno marca Fisher Scientific modelo 838 F
- Mufla
- Desecador
- Balanza analítica Mettler AE 166

Reactivos:

- Agua destilada

Procedimiento:

1. Se lavan y secan las cápsulas de porcelana.
2. En una estufa se introducen hasta alcanzar peso constante a 103-105°C por 2 horas o en la mufla a 300°C durante 30 minutos.
3. Se sacan las cápsulas y se dejan enfriar en el desecador por 40 minutos.
4. Se pesan las cápsulas en la balanza y se comprueba su peso constante (peso A).
5. El filtrado obtenido de los sólidos suspendidos fue aprovechado para el análisis de los sólidos disueltos.
6. Se coloca una muestra de 5, 10, 20, 50 mL de agua residual filtrada en una cápsula de porcelana. Después se meten las cápsulas con las muestras en la estufa por dos horas a 103-105°C, dependiendo de la cantidad de muestra.
7. Se sacan las cápsulas y se enfrían en un desecador por 60 minutos.
8. Se pesan las cápsulas en la balanza hasta que las diferencias en pérdida de peso sean menores del 4 % (peso B).
9. Se introducen las cápsulas a la mufla a 550°C durante 15 minutos.
10. Se pasan las cápsulas al desecador para enfriar hasta 60 minutos.
11. Se pesan en una balanza analítica. Se repiten nuevamente la incineración, el enfriado, el desecado y el pesado hasta obtener un peso constante (peso C).

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Sólidos Disueltos Totales (SDT)} &= \frac{(B - A)}{\text{muestra (mL)}} \times 100 \\ \text{Sólidos Disueltos Volátiles (SDV)} &= \frac{(B - C)}{\text{muestra (mL)}} \times 100 \\ \text{Sólidos Disueltos Fijos (SDF)} &= \frac{(C - A)}{\text{muestra (mL)}} \times 100 \end{aligned}$$

donde: A = peso de la cápsula, B = peso de la cápsula + residuo seco, C = peso de la cápsula + residuo calcinado

A.2.7. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO (NMX-AA-004-SCFI-2000)

Fundamento: se basa en la propiedad que tienen los materiales sólidos, de asentarse en niveles progresivos de acuerdo a sus diferentes densidades.

Material y equipo:

- Cono Imhoff
- Varillas de vidrio
- Material común de laboratorio

Reactivos:

- Agua destilada

Procedimiento

1. Se mezcla la muestra para homogeneizar los sólidos suspendidos.
2. Se llena inmediatamente el cono de sedimentación hasta aforar 1 litro y se deja reposar 45 min.
3. Se agitan suavemente las paredes del cono con un agitador para que los sólidos adheridos se sedimenten y se deja reposar otros 15 min.
4. Se mide directamente en el cono Imhoff en mL/L.

A.2.8. DETERMINACIÓN DE MATERIA FLOTANTE EN AGUAS RESIDUALES. MÉTODO VISUAL CON MALLA ESPECÍFICA (NMX-AA-006-SCFI-2000)

Fundamento: Se basa en que el agua residual se filtra a través de una malla de un poro medio y la materia sobrenadante que queda retenida se considera como materia flotante.

Material y equipo:

- Matiz o malla de acero inoxidable con abertura entre 2.8 mm y 3.3 mm
- Cuchara
- Botella con boca ancha no menor de 7 cm de diámetro de una capacidad de 3 L y 5 L

Procedimiento:

1. Se filtra a través de una malla dos terceras partes superiores de muestra, tratando de que la materia sobrenadante quede retenida.
2. Se arrastra con una cuchara toda la materia adherida a las paredes del recipiente y sobre la superficie de la muestra que se vacía.
3. Inmediatamente después se procede a la revisión a simple vista de la malla.
4. Se reportan los resultados como "ausente" o como "ninguna" materia flotante.

A.2.9. DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES (APHA, 1992;NMX-AA-005-SCFI-2000)

Fundamento: El método se basa en acidificar una muestra para extraer las grasas y aceites en la solución, la grasa es entonces separada por filtración y extraída con un solvente con ayuda del aparato Soxhlet, posteriormente se evapora el solvente y se cuantifica graviméricamente el material extraído.

Material y equipo:

- Embudo Buchner
- Papel filtro de 11 cm de diámetro
- Equipo de filtración a vacío
- Equipo de extracción Soxlet
- Cartuchos de extracción
- Estufa marca Fisher Scientific modelo 838 F
- Matraz bola de 500 mL
- Desecador
- Balanza analítica marca Mettler AE 166
- Material común de laboratorio

Reactivos:

- Suspensión de tierra de diatomeas (100 g en 1000 mL de agua destilada)
- Ácido clorhídrico concentrado (HCl)
- Hexano
- Agua destilada

Procedimiento:

1. Se sobrepone el disco de papel filtro en el embudo Buchner y se humedece con agua destilada.
2. Con ayuda del vacío, se filtran aproximadamente 100 mL de una suspensión de tierra de diatomeas (hasta completa saturación); se lava con un litro o menos de agua y se aplica el vacío hasta que el agua se filtre.
3. Aplicando vacío se filtran de 5, 10, 50 a 100 mL de la muestra acidificada a través del filtro, recibiendo en un matraz Kitasato de 2 L.
4. Con una pinza se transfiere al cartucho de extracción el papel filtro doblado y el material adherido al embudo. Se limpiaron las caras y el fondo del recipiente colector, la tapa y el embudo Buchner con pedazos de papel filtro remojado con el hexano, teniendo cuidado de transferir todas las capas de grasa formadas, y de recoger todo el material sólido, agregando los pedazos de papel filtro dentro del cartucho de extracción, evitando el manejo manual.
5. El líquido filtrado del Kitasato se mide con una probeta para cuantificar el "volumen de muestra".
6. Se colocan los cartuchos de extracción en vasos de precipitado, llevando a sequedad en una estufa eléctrica a 376 K (103°C) durante 30 minutos, colocando el cartucho en el aparato de extracción Soxhlet, con el matraz al cual previamente se le determina la masa.
7. Se agrega el solvente al matraz hasta la mitad de su capacidad, colocando 1 cm de altura de algodón en el refrigerante, dejando el reflujo de 3 a 4 horas a partir del primer ciclo de recirculación, controlando la temperatura hasta que dé un ciclo cada 3 min, aproximadamente. Posteriormente, se vierte y escurre el hexano que sobra en el extractor al matraz.
8. Se evapora el solvente en baño María a 358 K (85°C) y se pasa el matraz a la estufa de vacío a una temperatura de 333 K (60°C) durante 30 minutos.
9. Se deja enfriar el matraz en un desecador durante 30 min y se determina su masa.
10. Se deja correr una prueba testigo en las mismas condiciones que se mencionan para una muestra.

Cálculos

$$\text{Grasas Aceites} = \frac{(M_2 - M_1)}{V} \times 1000$$

donde:

M_1 = Masa del matraz vacío a masa constante (g)

M_2 = Masa del matraz con muestra (g)

V = Volumen de muestra (mL)

A.2.10. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL. MÉTODO VOLUMÉTRICO CON DICROMATO DE POTASIO (APHA, 1992;NMX-AA-030-SCFI-2001)

Fundamento: La mayor parte de la materia orgánica se oxida 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 de potasio. Después de la digestión, el dicromato de potasio no reducido restante se cuantifica con sulfato ferroso amoniacal para determinar la cantidad de dicromato de potasio consumido y calcular la cantidad de materia orgánica oxidable en términos de "equivalente de oxígeno".

Material y equipo:

- Equipo digestor Behr
- Matraces Erlenmeyer de 250 mL
- Bureta de 50 mL
- Material común de laboratorio

Reactivos:

- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y sulfato de plata (Ag_2SO_4): Disolver 22 g de sulfato de plata en 1 litro de ácido sulfúrico
- Solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0.25N
- Sulfato mercúrico ($HgSO_4$), en polvo
- Sulfato ferroso amoniacal (FAS) 0.25N
- Indicador 1, 10 Fenantrolina o ferroina
- Agua destilada

Procedimiento:

1. Se mezclan correctamente las muestras en un sonificador
2. Se diluye la muestra 0.1:50, 0.5:50 y 1:50 en agua destilada y se toma una alícuota de 10 mL a un tubo de Behr de 130 mL. Se agregan 0.2 g de sulfato de mercurio más 5 mL de la solución de dicromato de potasio 0.25 N y 15 mL de la solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata y se agita mediante un movimiento circular.
3. Se adaptan los tubos a los condensadores y se colocan en el equipo digestor.
4. Los tubos se dejan en reflujo por 2 horas a 150°C.
5. Después de la digestión se retiran y se dejan enfriar los tubos. Se trasvasan las soluciones a matraces Erlenmeyer de 250 mL. Se diluyen con 40 mL de agua destilada y se agregan 2 gotas de indicador 1,10 fenantrolina y se titula con la solución valorada de sulfato ferroso amoniacal 0.25 N hasta el cambio de color de azul-verdoso a café rojizo.

6. Se lleva simultáneamente un testigo preparado con 10 mL de agua y todos los reactivos utilizados en la muestra problema.

Cálculos:

$$DQO = \left[\frac{(V_1 - V_2) \times N \times 8}{V_3} \right] \times 1000$$

donde:

DQO = Demanda química de oxígeno (mg/L)

V_1 = Volumen de la solución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la titulación del testigo (mL)

V_2 = Volumen de la solución de sulfato ferrosos amoniacal requerido para la titulación de la muestra (mL)

V_3 = Volumen de la muestra (mL)

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal

8 = Equivalente del oxígeno

Normalidad del FAS. En un matraz de 250 mL se adicionaron 5 mL dicromato de potasio 0.25 N, 50 mL de agua destilada, 15 mL de solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata más 2 gotas de ferroína y se titula con el FAS. Los cálculos son: $N = \text{mL } K_2Cr_2O_7 \times N \text{ } K_2Cr_2O_7 / \text{mL FAS}$

A.2.11. METALES PESADOS TOTALES. MÉTODO POR ABSORCIÓN ATÓMICA (APHA,1996;NMX-AA-051-SCFI-2001)

Fundamento: Este método se basa en la medición de la cantidad de la luz monocromática absorbida por el elemento atomizado a determinarse en una flama, por medio de un detector, siendo dicha energía absorbida proporcional a la concentración del elemento.

Material y equipo:

- Parrilla de calentamiento
- Vasos de precipitado de plástico y de teflón 250 mL
- Matraz aforado de plástico 50 mL
- Baño María
- Papel filtro
- Embudo de plástico de talle corto
- Pipeta de plástico serológica de 25 mL

Reactivos:

- Ácido nítrico (HNO_3) concentrado
- Ácido fluorhídrico (HF) concentrado
- Solución HNO_3 al 10%, para enjuagar todo el materia

- Agua destilada

Procedimiento:

1. Las muestras de agua residual se acidifican con ácido nítrico concentrado como conservador ajustando el valor de pH a 2.
2. Se llevan con una pipeta de 25 mL de la muestra, bien mezclada, a un vaso de precipitado de plástico.
3. Se añaden 2 mL de HNO_3 concentrado y 2 mL de HF concentrado.
4. Se deja evaporar casi a sequedad en una parrilla de calentamiento hasta la aparición de humos blancos.
5. Posteriormente, se van agregando de 2 en 2 mL de HF hasta 10 mL.
6. Se deja que la solución se torne transparente y ausente de materia orgánica.
7. Por último se agregan 2 mL de HNO_3 .
8. Se deja enfriar y se diluye con H_2O destilada, lavando las paredes del vaso, hasta 25 mL aproximadamente.
9. Se calienta hasta ebullición para disolver las sales.
10. Se filtra la solución a través de un papel filtro sobreponiéndolo en un embudo de talle corto de plástico.
11. Se trasvasa el filtrado a un matraz volumétrico de 50 mL de plástico y se afora.
12. Se prepara un blanco con agua destilada y en las mismas condiciones.
13. Una vez trasvasadas las soluciones a botellas de plástico con tapón para facilitar su manejo, se llevan a la Facultad de Química (Departamento de Ingeniería Metalúrgica), los metales pesados son analizados. Estos son: Cr, Al, Ag, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn y Hg totales.

A.2.12. CARBONO TOTAL. ANÁLISIS ELEMENTAL (CE INSTRUMENTS, 1996)

Fundamento: El sistema analítico evalúa el contenido total de carbono en sus formas orgánica e inorgánica. Para determinar la cantidad de carbono orgánico, las moléculas deben descomponerse en unidades de carbono simples y convertirse a una forma molecular más sencilla que pueda medirse de manera cuantitativa.

La medición se hace por combustión del carbono total y su transformación en bióxido de carbono, el cual se detecta mediante infrarrojo.

Para el caso específico del equipo Analizador Elemental EAGER 200 CHONS, la técnica se basa en el análisis elemental para la determinación selectiva de carbono total en muestras de agua residual que contienen carbono mineral. Las muestras de agua son pesadas sobre un absorbente en cápsulas de estaño, las cuales se empaacan y posteriormente se ponen en el equipo. Se espera que el equipo alcance 1000°C para dar inicio al análisis. El dióxido de carbono producido por la combustión completa de la muestra se separa por una columna mediante

cromatografía de gases y se detecta a través de un detector TCD. Los resultados experimentales que se obtienen están directamente relacionados con el peso de la muestra.

Material y equipo:

- Analizador elemental EAGER 200 CHONS
- Balanza analítica de dos cabinas
- Pinzas especiales para doblar el estaño
- Material común de laboratorio

Procedimiento:

1. Se toman alícuotas de 1 mL de muestra de agua residual cruda y diluida (durante la prueba de biodegradabilidad) y se guardan en viales bajo refrigeración hasta su análisis.
2. El equipo se calibra primeramente con una sustancia llamada sulfanilamida, aunque también pueden emplearse otras sustancias, siempre y cuando sean estables y se conozca su porcentaje de carbono.
3. Los estándares y las muestras se pesan en cápsulas de estaño, las cuales se empaquetan o doblan perfectamente bien con unas pinzas y, posteriormente se colocan en el carrusel de alimentación del equipo.
4. Se espera a que el equipo alcance una temperatura de 1000°C para que se inicie el análisis.
5. Los pesos de los estándares y de las muestras se anotan en la computadora así como las claves de su identificación.
6. Las muestras, como son líquidas, se colocan sobre un absorbente en las cápsulas de estaño.
7. Se pesa primero el absorbente en polvo en una balanza analítica de doble cabina, después con una micro jeringa se agrega la muestra de agua residual y se pesa. Se doblan y se colocan en el carrusel, como ya se mencionó. El peso de los estándares como de las muestras debe ser de 1 a 3 mg.
8. Como el carbono se da en porcentajes de peso, se tiene que determinar la densidad de las muestras de agua residual cruda y de las diluciones para hacer la conversión a mg/L.

A.2.13. DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO. MÉTODO DEL ELECTRODO DE MEMBRANA (APHA,1996)

Fundamento: El método se fundamenta en la tasa de difusión del oxígeno molecular a través de una membrana. Los electrodos de membrana sensibles al oxígeno, del tipo polarográfico o galvánico, están compuestos por dos electrodos metálicos sólidos en contacto con un electrolito de soporte separado por una membrana selectiva, normalmente se utilizan de polietileno y fluorocarbono ya que son permeables al oxígeno molecular y a un cierto número de otros gases. En

todos los electrodos la corriente difusora es linealmente proporcional a la concentración de oxígeno molecular.

Material y equipo

- Equipo de campo, cuyas funciones son: Conductividad, pH y oxígeno disuelto
- Material común de laboratorio

Reactivos:

- Agua destilada

Procedimiento:

1. Se calibra el equipo contacto con el aire.
2. Se enjuaga el electrodo con agua destilada antes de sumergirlo en cada rasco casi lleno de solución.
3. Se determina la temperatura y se registra la lectura cuando se alcanza un estado estable.

A.2.14. TÉCNICA MICROBIOLÓGICA EMPLEADA. MÉTODO PARA LA CUENTA TOTAL DE BACTERIAS AEROBIAS EN PLACA (NOM-092-SSA1-1994)

Fundamento: El fundamento de la técnica consiste en contar las colonias que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación, presuponiendo que cada colonia proviene de un microorganismo de la muestra bajo estudio. El método admite numerosas fuentes de variación, algunas de ellas controlables, pero sujetas a la influencia de varios factores.

Material y equipo:

- Incubadora con termostato
- Estufa marca Fisher
- Autoclave
- Balanza granataria
- Pipetas serológicas de 1 mL
- Cajas Petri
- Tubos de cultivo con tapón de rosca
- Probeta graduada de vidrio de 500 mL
- Matraces Erlenmeyer de 500 mL
- Papel aluminio y kraftín
- Algodón

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Reactivos:

- Medio de cultivo deshidratado agar cuenta estándar marca Merck
- Agua destilada

Preparación y esterilización del material:

1. Lavar todo el material con una solución bactericida. Enjuagar con abundante agua corriente y después con agua destilada para remover los residuos del detergente.
2. Secar el material de vidrio a temperatura ambiente o en una estufa.
3. Poner en el extremo superior de las pipetas serológicas un poco de algodón dejando pasar libremente el aire a través de ellas.
4. Se esterilizan en seco, las pipetas con el algodón en pipeteros de acero inoxidable, con una estufa marca Fisher a 180°C por 2 horas.
5. Las cajas Petri se envuelven con papel aluminio en paquetes de 4 y se esterilizan por vía seca en una estufa marca Fisher a 180°C por 2 horas.
6. También se esteriliza todo el material requerido en la estufa bajo las mismas condiciones.

Preparación del medio de cultivo

1. Se pesan 5.62 g de medio de cultivo deshidratado agar cuenta estándar y se suspende en 250 mL de agua destilada, en un matraz Erlenmeyer. Se hierve hasta que se disuelva completamente.
2. Se distribuye en tubos de cultivo de vidrio con tapa de una capacidad de 20 mL y se envuelven con papel kraftin (en paquete) para su esterilización en autoclave a 115°C por 15 minutos (No se tapan completamente los tubos para que se igualen las presiones, de lo contrario se romperían). Posteriormente, se mantienen en refrigeración a 7°C hasta su uso.

Procedimiento:

1. Se marcan las tapas de las cajas Petri estériles con los datos necesarios previamente a la inoculación y la corrida se hace por duplicado.
2. Se distribuyen las cajas estériles en la mesa de trabajo para facilitar el manejo.
3. Se toma un mL de muestra con una pipeta estéril y agrega a la caja Petri.
4. Previamente se calienta en baño María el medio de cultivo contenido en los tubos, después se enfría a 45°C en un baño de agua y se mantiene a esta temperatura hasta su uso.
5. Después de la inoculación en las cajas, se agregan de 12 a 15 mL del medio de cultivo, se mezcla mediante movimiento ligeros de derecha a

- izquierda, 6 en el sentido de las manecillas del reloj, 6 en sentido contrario y 6 de atrás a adelante hasta la incorporación del medio con el inóculo; evitando que el medio moje la tapa de las cajas.
6. Se incluyen dos cajas adicionales sin inóculo (como testigos de esterilidad), una para el control del medio de cultivo y la otra para el control del ambiente. La del control del ambiente se mantiene destapada hasta el final del análisis.
 7. Se deja solidificar y se meten las cajas invertidas a la incubadora por 48 ± 2 horas a $35 \pm 2^\circ\text{C}$.
 8. Se contabilizan las colonias desarrolladas (excepto mohos y levaduras) en las placas, corridas por duplicado, promediadas y multiplicadas por la inversa de la dilución para obtener el número de UFC por mL.
 9. Se reportan los resultados como: Unidades formadoras de colonias, ___ UFC/mL de bacterias aerobias en placa.

ANEXO A.3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN ESTUDIO

En los Cuadros A.3.1 y A.3.2 se muestran las concentraciones promedio de los contaminantes más representativos de cada turbulador y del cárcamo 7 al inicio y final del proceso de lavado

Cuadro A.3.1. Concentraciones promedio de los parámetros físico-químicos más representativos

Característica	T-1		T-2		T-3		T-4		Cárcamo 7	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	1°	2°
DQOT, mg/L										
Nivel 1	53667	59407	40053	43520	35360	42120	46280	57200	37440	*
Nivel 2	52267	58800	37120	41813	34320	42120	46280	57200	34320	42640
Nivel 3	52733	59267	37973	42240	34840	40560	46280	56680	34320	35880
Grasas y aceites mg/L										
Nivel 1	23296	36876	13800	36480	590	6560	8820	9317	705800	*
Nivel 2	6783	31066	13140	35623	550	6473	2970	9197	2440	22127
Nivel 3	18976	24900	9520	36670	650	6077	3333	8469	2903	7650
Sólidos totales mg/L										
Nivel 1	74740	165400	163233	232173	15942	19307	52683	84399	8267	*
Nivel 2	75127	162667	115220	226200	15860	19107	52877	84641	900	19547
Nivel 3	75053	169867	118100	227780	15853	19100	53133	84947	1267	25880
Sólidos disueltos mg/L										
Nivel 1	67267	121000	68267	102800	14453	14680	40266.7	78933	1867	*
Nivel 2	66600	132000	69200	116666	14200	15207	41400	77666	733	1733
Nivel 3	68367	117867	71867	120066	14500	15033	41600	54473	933	3267
Sólidos suspendidos, mg/L										
Nivel 1	7473	44400	11683	25407	172	2540	3780	6020	6400	*
Nivel 2	8527	30667	9443	24047	296	2267	3490	6220	167	18873
Nivel 3	6686	52000	9430	24833	280	2287	3523	5820	333	24373
Valor de pH, u										
Nivel 1	14.00	13.6	13.34	12.87	11.28	10.51	11.8	10.74	8.96	*
Nivel 2	14.00	13.6	13.33	12.84	11.39	10.29	11.88	10.65	9.93	9.29
Nivel 3	13.97	13.6	13.33	12.81	11.38	10.43	11.89	10.68	10.63	9.3
Temperatura, °C										
Nivel 1	75	79	75	90	75	75	75	85	22	25
Nivel 2	75	79	75	90	75	75	75	85	22	25
Nivel 3	75	79	75	90	75	75	75	85	22	25

INDICACIONES: *nivel no analizado

Cuadro A.3.2. Concentraciones promedio de los metales pesados más representativos

Metales (mg/L)	T-1		T-2		T-3		T-4		Cárcamo 7	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	1°	2°
Cobre (Cu)										
Nivel 1	32.63	55.59	4.43	88.73	6.9	33.55	35.68	85.40	2.2	*
Nivel 2	35.81	55.18	2.59	93.68	6.88	32.89	35.88	88.81	0.50	42.06
Nivel 3	28.22	64.35	2.34	75.94	7.13	33.55	37.51	87.45	0.72	83.78
Hierro (Fe)										
Nivel 1	35.52	142.2	33.29	95.08	9.21	65.74	19.58	26.88	NP	*
Nivel 2	29.01	156.2	5.43	70.22	9.16	60.06	19.25	28.18	1.57	156.09
Nivel 3	29.11	197.13	32.85	49.98	8.86	58.96	20.49	27.94	2.25	833.29
Zinc (Zn)										
Nivel 1	38.5	48.39	21.55	40.22	0.68	5.31	13.26	32.56	4.16	*
Nivel 2	36.35	49.94	17.47	45.21	0.62	5.20	13.28	34.28	0.14	11.07
Nivel 3	37.5	54.97	17.14	49.61	0.75	5.24	18.76	34.54	0.20	47.92
Cromo (Cr)										
Nivel 1	0.74	1.99	1.35	8.81	0.12	0.86	0.95	1.44	0.30	*
Nivel 2	0.70	2.07	0.80	7.78	0.1	0.85	0.97	1.49	0.00	0.46
Nivel 3	0.77	2.59	1.23	7.62	0.12	0.89	0.98	1.46	0.01	1.17
Plomo (Pb)										
Nivel 1	5.19	2.76	21.02	28.29	0.96	5.17	4.23	4.53	0.97	*
Nivel 2	7.76	10.05	24.04	27.39	0.91	5.17	4.31	4.63	0.00	2.79
Nivel 3	2.03	4.88	24.92	26.86	0.99	5.25	4.52	4.72	0.00	2.63
Aluminio (Al)										
Nivel 1	0.2	688.13	0.33	0.43	NP	0.4	NP	0.13	1.43	*
Nivel 2	0.33	175.93	0.3	0.43	NP	0.2	NP	0.70	1.10	7.20
Nivel 3	0.27	402.13	0.27	0.40	NP	0.73	NP	0.67	0.43	2.17
Cadmio (Cd)										
Nivel 1	ND	1.90	4.12	5.19	0.087	0.25	5.55	25.37	ND	NP
Nivel 2	ND	1.43	4.36	5.05	0.077	0.24	5.58	29.00	ND	NP
Nivel 3	ND	2.67	4.40	4.86	0.05	0.25	5.68	28.16	ND	NP
Estaño (Sn)										
Nivel 1	NP	15.27	10.8	16.3	0.27	3.1	1.40	3.30	NP	*
Nivel 2	NP	8.60	9	15.9	0.57	2.93	1.93	4.20	NP	2.37
Nivel 3	NP	11.13	6.57	15.57	1.57	2.73	1.13	5.47	NP	5.73

INDICACIONES: * nivel no analizado, ND no determinado, NP no presentó

En los Cuadros A.3.3 a A.3.7 se presentan las concentraciones obtenidas del análisis físico-químico de cada uno de los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C7) y sus respectivos niveles (N1, N2 y N3) al inicio y final del proceso de lavado.

Cuadro A.3.3. Resultados físico-químicos del turbulador 1 (T1) al inicio y al final del proceso de lavado

FECHA DE MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL (mg/L)		GRASAS Y ACEITES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS (mg/L)	
INICIO	FINAL		INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
09/05/02	20/06/02	NIVEL 1	53200	59220	25405	34500	75780	164200	10360	38400	65420	125800	65350	125000
		NIVEL 1	53200	60200	26383	40630	74160	165400	5500	38600	68660	126800	66600	116000
		NIVEL 1	54600	58800	18100	35500	74280	166600	6620	38000	67660	128600	69850	122000
		NIVEL 2	50400	58800	5950	30100	78760	163200	10660	34800	68100	128400	67350	130000
		NIVEL 2	53200	58800	7390	32400	73400	161600	6760	35400	66640	126200	65650	130000
		NIVEL 2	53200	58800	7010	30700	73220	163200	6520	37200	66700	126000	66800	136000
		NIVEL 3	53200	60200	18500	23800	74860	169400	5020	41400	69840	128000	67850	111200
		NIVEL 3	53200	58800	18460	22900	75560	169800	6920	38200	68640	131600	67900	119200
		NIVEL 3	51800	58800	19970	28000	74740	170400	4960	37800	69600	132600	69350	123200
NOM-002-96			300		7.5		NP		NP		NP		NP	

INDICACIONES: N1, superior; N2, medio; N3, fondo

Continuación

SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (mg/L)		TEMPERATURA (°C)		VALOR DE pH (u)		MATERIA FLOTANTE PRESENCIA/AUSENCIA	
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
11900	19000	53450	106000	10430	39200	ND	19400	11970	19800	75	79	14	13.6	AUSENTE	PRESENTE
11600	19000	55000	97000	7560	49400	ND	19600	13660	29800	75	79	14	13.59	AUSENTE	PRESENTE
10800	17000	59050	105000	4430	44600	ND	21000	8610	23600	75	79	13.9	13.5	AUSENTE	PRESENTE
12850	15000	54500	150000	11410	33200	ND	19800	13600	113400	75	79	14	13.6	AUSENTE	PRESENTE
11550	15000	54100	150000	7750	31600	ND	20400	12540	111200	75	79	14	13.6	AUSENTE	PRESENTE
11900	15000	54900	150000	6420	27200	ND	22200	11800	111000	75	79	14	13.61	AUSENTE	PRESENTE
11700	15200	56150	152000	7010	58200	ND	26200	13690	112800	75	79	13.9	13.6	AUSENTE	PRESENTE
10000	16400	57900	164000	7660	50600	ND	21800	10740	115200	75	79	14	13.6	AUSENTE	PRESENTE
10550	16000	58800	160000	5390	47200	ND	21800	10800	116600	75	79	14	13.61	AUSENTE	PRESENTE
NP		NP		125		NP		NP		40		6 a 9		AUSENTE	

Cuadro A.3.4. Resultados físico-químicos del turbulador 2 (T2) al inicio y al final del proceso de lavado

FECHA DE MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL (mg/L)		GRASAS Y ACEITES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS (mg/L)	
INICIO	FINAL		INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
27/09/02	11/10/02	NIVEL 1	39600	43520	13780	36510	166400	234580	58860	80340	86060	175720	67000	73600
		NIVEL 1	40960	43520	13820	36460	145000	230100	58700	67040	82000	171400	72000	87560
		NIVEL 1	39600	43520	13800	36470	178300	231840	59760	85940	72360	172080	70600	73600
		NIVEL 2	37120	40960	13840	36500	118960	225620	17840	56240	107200	169380	62000	118200
		NIVEL 2	37120	42240	13780	33870	115680	228540	16960	53140	107600	175400	72200	116600
		NIVEL 2	37120	42240	11800	36500	111020	224440	11800	54440	101600	170000	73400	115200
		NIVEL 3	37120	42240	9000	36990	133740	225860	32820	55080	108400	170780	68400	116200
		NIVEL 3	38400	42240	9760	36510	110440	228620	12420	54440	111800	174180	75400	120200
		NIVEL 3	38400	42240	9800	36510	110120	228860	11020	54160	112200	174700	71800	123800
NOM-002-96			300		7.5		NP		NP		NP		NP	

INDICACIONES: N1, superior; N2, medio; N3, fondo

Continuación

SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (mg/L)		TEMPERATURA (°C)		VALOR DE pH (u)		MATERIA FLOTANTE PRESENCIA/AUSENCIA	
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
5000	7330	62000	82000	16030	29340	7800	10120	4060	19220	75	90	13.36	12.94	AUSENTE	PRESENTE
6200	5560	65960	77960	16000	25820	7810	10080	4040	15740	75	90	13.4	12.77	AUSENTE	PRESENTE
5600	7330	68000	53000	16110	26020	7804	10060	19360	15960	75	90	13.26	12.9	AUSENTE	PRESENTE
6400	11000	55600	101120	9540	23220	7840	9900	6080	13320	75	90	13.4	12.83	AUSENTE	PRESENTE
6000	9000	66200	98700	9400	26980	7831	10360	8900	16620	75	90	13.3	12.85	AUSENTE	PRESENTE
8000	13600	65400	99220	9388	21940	7844	14220	2380	11600	75	90	13.3	12.83	AUSENTE	PRESENTE
6600	7800	61800	100920	9600	21700	7580	9660	7480	12040	75	90	13.4	12.77	AUSENTE	PRESENTE
6600	8400	68800	98020	9100	27260	7490	11200	13780	16060	75	90	13.3	12.81	AUSENTE	PRESENTE
6400	11600	65400	99100	9590	25540	7550	10380	13100	15160	75	90	13.29	12.85	AUSENTE	PRESENTE
NP				125		NP		NP		40		6 a 9		AUSENTE	

Cuadro A.3.5. Resultados físico-químicos del turbulador 3 (T3) al inicio y al final del proceso de lavado

FECHA DE MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL (mg/L)		GRASAS Y ACEITES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS (mg/L)	
INICIO	FINAL		INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
27/09/02	17/10/02	NIVEL 1	34320	42120	610	6600	15977	19140	1978	3068	14000	16080	14920	15000
		NIVEL 1	35880	42120	540	6600	15930	19240	1928	3420	14010	15820	14200	14960
		NIVEL 1	35880	42120	620	6480	15920	19540	1930	3460	13990	16080	13400	14920
		NIVEL 2	34320	42120	330	6510	15810	19080	1750	3420	14060	15650	14400	14480
		NIVEL 2	34320	42120	690	6510	15870	19280	1794	2980	14080	16300	14440	14800
		NIVEL 2	34320	42120	630	6400	15900	18960	1980	3360	13920	15600	14760	15900
		NIVEL 3	35880	40560	640	6510	15950	19100	1980	3360	13970	15740	14400	14900
		NIVEL 3	34320	40560	620	6500	15780	19080	1840	3380	13940	15700	14500	14900
		NIVEL 3	34320	40560	690	5220	15830	19120	1860	3380	13970	15740	14600	15300
NOM-002-96			300		7.5		NP		NP		NP		NP	

INDICACIONES: N1, superior; N2, medio; N3, fondo

Continuación

SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (mg/L)		TEMPERATURA (°C)		VALOR DE pH (u)		MATERIA FLOTANTE PRESENCIA/AUSENCIA	
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
2080	3200	11800	12840	164	2400	120	580	44	1820	75	75	11.41	10.54	AUSENTE	PRESENTE
2120	2800	11400	12840	180	2540	205	520	99	2020	75	75	11.04	10.6	AUSENTE	PRESENTE
1960	2200	11200	12960	172	2680	211	660	100	2020	75	75	11.39	10.4	AUSENTE	PRESENTE
1880	3800	10600	12600	296	2270	212	560	105	1710	75	75	11.39	10.41	AUSENTE	PRESENTE
1880	2600	12200	12560	297	2270	210	660	103	1610	75	75	11.38	10.24	AUSENTE	PRESENTE
2120	2700	12640	13200	296	2260	201	560	104	1710	75	75	11.39	10.23	AUSENTE	PRESENTE
2200	2800	11600	12700	295	2280	190	770	105	1510	75	75	11.39	10.39	AUSENTE	PRESENTE
2300	2900	11600	12600	296	2300	199	590	105	1710	75	75	11.37	10.4	AUSENTE	PRESENTE
1950	2800	11800	13350	250	2280	200	670	102	1610	75	75	11.38	10.5	AUSENTE	PRESENTE
NP				125						40		6 a 9		AUSENTE	

Cuadro A.3.6. Resultados físico-químicos del turbulador 4 (T4) al inicio y al final del proceso de lavado

FECHA DE MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL (mg/L)		GRASAS Y ACEITES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS (mg/L)	
INICIO	FINAL		INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
27/09/02	15/10/02	NIVEL 1	46800	57720	8840	9200	52890	84590	7580	8580	45310	72010	36400	78000
		NIVEL 1	46800	56160	8810	8780	52510	83990	7090	8090	45420	75900	44000	78800
		NIVEL 1	45240	57720	8810	9970	52650	84616	7560	8560	45090	76050	40400	80000
		NIVEL 2	45240	57720	2920	9140	53220	83899	7560	8560	45660	75330	38600	77600
		NIVEL 2	46800	56160	3170	8760	52510	85445	7560	8480	44950	76965	41600	77600
		NIVEL 2	46800	57720	2820	9690	52900	84580	7480	8451	45420	76129	44000	77800
		NIVEL 3	46800	57720	3370	8020	52890	85210	7451	8120	45440	77090	42600	77800
		NIVEL 3	45240	56160	3370	8760	52890	85010	7120	8450	45590	76560	40400	77620
		NIVEL 3	46800	56160	3360	8627	53620	84620	7640	8550	45980	76070	41800	8000
NOM-002-96			300		7.5		NP		NP		NP		NP	

INDICACIONES: N1, superior; N2, medio; N3, fondo

Continuación

SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (mg/L)		TEMPERATURA (°C)		VALOR DE pH (u)		MATERIA FLOTANTE PRESENCIA/AUSENCIA	
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
3400	7400	33000	70600	3840	6020	3340	3520	500	2500	75	85	11.64	10.85	AUSENTE	PRESENTE
6600	6600	37400	72200	3600	6220	3290	3800	500	2420	75	85	11.88	10.71	AUSENTE	PRESENTE
5000	7000	35220	73000	3900	5820	3300	3400	490	2420	75	85	11.89	10.67	AUSENTE	PRESENTE
5000	7000	33600	70600	3480	6020	3060	4000	420	2020	75	85	11.88	10.65	AUSENTE	PRESENTE
5600	7600	36000	70000	3500	6220	3310	4000	480	2220	75	85	11.87	10.66	AUSENTE	PRESENTE
12800	7800	31200	70000	3490	6420	3300	4000	500	2420	75	85	11.89	10.63	AUSENTE	PRESENTE
6000	7400	36600	70400	3560	5620	2980	3000	580	2620	75	85	11.89	10.7	AUSENTE	PRESENTE
2800	7620	37600	70000	3500	6020	2999	3600	520	2420	75	85	11.88	10.65	AUSENTE	PRESENTE
4200	7400	37600	72600	3510	5820	3090	3400	540	2420	75	85	11.9	10.69	AUSENTE	PRESENTE
NP				125		NP		NP		40		6 a 9		AUSENTE	

Cuadro A.3.7. Resultados físico-químicos del cárcamo 7 del primero y segundo muestreo

FECHA DEL MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL (mg/L)		GRASAS Y ACEITES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS TOTALES FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS (mg/L)	
1o.	2o.		1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.
26/08/02	02/10/02	NIVEL 1	37440	*	803400	*	8600	*	7400	*	1200	*	1400	*
		NIVEL 1	37440	*	610000	*	8200	*	7400	*	800	*	1800	*
		NIVEL 1	37440	*	704000	*	8000	*	7400	*	800	*	2400	*
		NIVEL 2	34320	43680	2790	23310	900	18440	600	13280	300	5160	700	2000
		NIVEL 2	34320	43680	1720	21550	900	23960	600	17560	300	6400	800	1800
		NIVEL 2	34320	40560	2810	21520	900	16240	600	11800	300	5440	700	1400
		NIVEL 3	34320	35880	2940	7510	1200	23600	700	17680	500	5920	900	3200
		NIVEL 3	34320	35880	2970	8100	1300	30480	900	23440	600	6040	1000	1800
		NIVEL 3	34320	35880	2800	7340	1300	23560	600	17800	700	5760	900	4800
NOM-002-96			300		7.5		NP		NP		NP		NP	

INDICACIONES: * Nivel no determinado; NP No presenta

Continuación

SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (mg/L)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (mg/L)		TEMPERATURA (°C)		VALOR DE pH (u)		MATERIA FLOTANTE PRESENCIA/AUSENCIA	
1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
1200	*	200	*	7200	*	6200	*	500	*	22	*	9.04	*	PRESENTE	*
1600	*	200	*	6400	*	5800	*	600	*	22	*	8.91	*	PRESENTE	*
1600	*	600	*	5600	*	5800	*	200	*	22	*	8.93	*	PRESENTE	*
500	2000	200	1600	200	16420	100	5300	100	3560	22	25	9.96	9.29	PRESENTE	PRESENTE
500	1600	200	1700	100	17840	100	10660	100	4600	22	25	9.85	9.3	PRESENTE	PRESENTE
400	3000	200	1600	200	22360	200	11780	100	3840	22	25	9.98	9.29	PRESENTE	PRESENTE
500	4600	400	1400	300	16220	200	10160	100	4520	22	25	10.69	9.29	PRESENTE	PRESENTE
400	2800	400	1410	300	16180	500	10040	200	4630	22	25	10.56	9.31	PRESENTE	PRESENTE
400	5400	500	1500	400	40720	200	17540	200	4260	22	25	10.63	9.29	PRESENTE	PRESENTE
NP		NP		125		NP		NP		40		6 a 9		AUSENTE	

Los Cuadros A.3.8 a A.3.12 muestran los resultados del análisis de metales totales de los sistemas T1, T2, T3, T4 y C y sus niveles N1, N2 y N3 al inicio y final del proceso de lavado.

Cuadro A.3.8. Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados del turbulador 1 (T1) al inicio y final del proceso de lavado

FECHA DE MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	Cu (mg/L)		Fe (mg/L)		Zn (mg/L)		Cr (mg/L)		Pb (mg/L)		Ag (mg/L)	
INICIO	FINAL		INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
09-05-02	20-06-02	N1	32.82	46.93	37.57	116.1	39	41.02	0.72	1.57	5.09	7.76	0	0
		N1	32.91	59.15	27.53	153.8	38.5	51.16	0.54	2.22	5.43	9.81	0	0
		N1	32.16	60.71	41.47	156.7	38	52.98	0.95	2.18	5.05	10.07	0	0
		N2	33.29	36.06	19.07	86.5	28.54	40.75	0.55	1.26	5.21	9.38	0	0
		N2	36.22	66.95	42.05	176.7	41	55.06	0.9	2.27	8.23	9.53	0	0
		N2	37.93	62.53	25.91	205.4	39.5	54.02	0.64	2.69	9.85	11.24	0	0
		N3	28.14	64.87	30.99	220.9	37	57.4	0.89	2.85	2.5	9.14	0	0
		N3	28.32	62.27	29.01	214.1	40.5	55.84	0.87	2.74	1.91	2.57	0	0
		N3	28.2	65.91	27.34	156.4	35	51.68	0.55	2.19	1.68	2.94	0	0
NOM-02-ECOL1996			20		8		12		1		2		NP	

INDICACIONES: N1, superior; N2, medio; N3, fondo

Continuación

Al (mg/L)		Ni (mg/L)		Cd (mg/L)		Hg (mg/L)		Sn (mg/L)	
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
0.5	595.4	0.71	0.9	ND	1.94	ND	0	0	9.1
0	540.8	0.57	1.14	ND	1.89	ND	0	0	10.8
0.1	928.2	0.56	2.68	ND	1.88	ND	0	0	25.9
0.4	114.4	0.52	0.97	ND	1.4	ND	0	0	4
0.2	205.4	0.49	1.13	ND	1.43	ND	0	0	11.3
0.4	208	0.57	1.19	ND	1.45	ND	0	0	10.5
0.3	166.4	0.54	1.49	ND	1.43	ND	0	0	11.4
0.4	527.8	0.51	1.41	ND	1.41	ND	0	0	11.2
0.1	512.2	0.52	1.03	ND	5.18	ND	0	0	10.8
NP		2		1		0.02		NP	

Cuadro A.3.9. Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados del turbulador 2 (T2) al inicio y al final del proceso de lavado

FECHA DE MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	Cu (mg/L)		Fe (mg/L)		Zn (mg/L)		Cr (mg/L)		Pb (mg/L)	
INICIO	FINAL		INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
27-09-02	11-10-02	N1	4.33	79.53	27.23	85.47	22.22	35.93	1.21	7.62	16.03	25.12
		N1	4.55	88.99	29.59	109.45	21.72	40.44	1.38	9.72	22.64	31.24
		N1	4.4	97.68	43.06	90.31	20.72	44.29	1.47	9.09	24.4	28.51
		N2	2.56	97.79	7.67	88	17.47	44.29	0.9	9.15	23.33	29.33
		N2	2.62	86.35	3.88	60.83	17.72	39.45	0.72	6.9	24.09	25.34
		N2	2.59	96.91	4.74	61.82	17.22	51.88	0.79	7.3	24.7	27.5
		N3	2.32	94.6	32.7	47.41	16.22	50.34	1.24	7.73	24.15	24.87
		N3	2.38	98.23	32.61	62.92	16.47	47.92	1.2	7.67	24.99	28.92
		N3	2.33	34.98	33.24	39.6	18.72	50.56	1.26	7.47	25.62	26.79
NOM-02-ECOL1996			20		8		12		1		2	

INDICACIONES: N1, superior; N2, medio; N3, fondo

continuación

Ag (mg/L)		Al (mg/L)		Ni (mg/L)		Cd (mg/L)		Hg (mg/L)		Sn (mg/L)	
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
0	0.05	0.4	0.5	1.32	1.89	3.62	5.37	0	0	11.3	14.2
0	0.08	0.3	0.4	1.32	1.95	4.19	5.2	0	0	11.1	17.2
0	0.06	0.3	0.4	1.21	1.88	4.54	5	0	0	10	17.5
0	0.06	0.3	0.4	0.91	1.21	4.58	5.08	0	0	9	18.2
0	0.08	0.2	0.4	0.88	0.97	3.89	4.98	0	0	8.4	14.2
0	0.05	0.4	0.5	0.97	1.1	4.6	5.08	0	0	9.6	15.3
0	0.03	0.3	0.4	0.87	0.99	4.49	4.86	0	0	9.2	16.2
0	0.04	0.2	0.4	0.88	1.21	4.21	5.09	0	0	10.5	15.3
0	0.03	0.3	0.4	0.94	1.65	4.5	4.64	0	0	0	15.2
NP		NP		2		1		0.02		NP	

Cuadro A.3.10. Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados del turbulador 3 (T3) al inicio y final del proceso de lavado

FECHA DE MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	Cu (mg/L)		Fe (mg/L)		Zn (mg/L)		Cr (mg/L)		Pb (mg/L)	
INICIO	FINAL		INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
27-09-02	17-10-02	N1	7.13	33.99	10.01	67.76	0.78	5.57	0.14	0.87	1.01	5.27
		N1	6.79	33.66	9.56	64.13	0.64	5.24	0.12	0.87	0.96	5.08
		N1	6.78	33	8.07	65.34	0.61	5.13	0.1	0.84	0.9	5.17
		N2	6.6	33	8.16	60.72	0.6	5.24	0.1	0.83	0.86	5.16
		N2	6.99	32.45	9.77	59.18	0.62	5.13	0.1	0.86	0.87	5.16
		N2	7.05	33.22	9.54	60.28	0.63	5.24	0.1	0.87	1.01	5.2
		N3	7.71	34.54	10.04	59.84	0.76	5.35	0.13	0.87	1.03	5.46
		N3	7.42	33.99	8.97	61.05	0.91	5.35	0.13	0.93	1.07	5.02
		N3	6.27	32.12	7.58	55.99	0.58	5.02	0.09	0.87	0.86	5.27
NOM-02-ECOL-1996			20		8		12		1		2	

INDICACIONES: N1, superior; N2, medio; N3, fondo

Continuación

Ag (mg/L)		Al (mg/L)		Ni (mg/L)		Cd (mg/L)		Hg (mg/L)		Sn (mg/L)	
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
0	0.02	0	0.3	0.2	0.33	0.1	0.27	0	0	0	2.8
0	0	0	0.3	0.14	0.44	0.08	0.25	0	0	0.4	3.3
0	0.01	0	0.6	0.18	0.44	0.08	0.23	0	0	0.4	3.2
0	0	0	0.5	0.16	0.45	0.08	0.24	0	0	0	3.4
0	0	0	0.1	0.19	0.48	0.06	0.24	0	0	0.8	2.1
0	0	0	0	0.19	0.55	0.09	0.24	0	0	0.9	3.3
0	0	0	0.1	0.2	0.77	0.06	0.27	0	0	1.6	2.4
0	0.01	0	1	0.21	0.44	0.02	0.24	0	0	1.5	3.1
0	0.02	0	1.1	0.17	0.44	0.06	0.25	0	0	1.6	2.7
NP		NP		2		1		0.02		NP	

Cuadro A.3.11. Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados del turbulador 4 al inicio y final del proceso de lavado

FECHA DE MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	Cu (mg/L)		Fe (mg/L)		Zn (mg/L)		Cr (mg/L)		Pb (mg/L)		Ag (mg/L)	
INICIO	FINAL		INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
27-09-02	15-10-02	N1	35.07	86.13	18.77	32.23	12.86	32.63	0.97	1.43	4.24	4.45	0	0.06
		N1	35.36	83.16	20.42	24.31	12.62	31.97	0.94	1.42	4.33	4.55	0	0.03
		N1	36.62	86.9	19.55	24.09	14.31	33.07	0.95	1.46	4.13	4.6	0	0.03
		N2	36.7	90.42	18.18	27.94	13.85	34.72	0.96	1.5	4.27	4.63	0	0.05
		N2	35.51	88.44	19.64	28.71	13.15	34.28	0.99	1.52	4.42	4.73	0	0.06
		N2	35.42	87.56	19.92	27.88	12.84	33.84	0.96	1.44	4.23	4.53	0	0.04
		N3	36.75	88.44	20.69	29.37	18.43	35.05	1.01	1.49	4.41	4.82	0	0.06
		N3	38.37	85.69	20.41	27.39	19.47	34.17	0.98	1.5	4.48	4.63	0	0.04
		N3	37.4	88.22	20.38	27.06	18.39	34.39	0.96	1.4	4.68	4.71	0	0.05
NOM-02-ECOL-1996			20		8		12		1		2		NP	

INDICACIONES: N1, superior; N2, medio; N3, fondo

Continuación

Al (mg/L)		Ni (mg/L)		Cd (mg/L)		Hg (mg/L)		Sn (mg/L)	
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
0	0.2	0.49	0.99	5.44	25.81	0	0	1.6	2.7
0	0.1	0.44	0.49	5.69	25.04	0	0	1	3.5
0	0.1	0.52	0.77	5.51	25.26	0	0	1.6	3.7
0	0.5	0.33	0.53	5.59	32.96	0	0	1.7	3.6
0	0.4	0.47	0.55	5.51	27.24	0	0	1.3	4.6
0	1.2	0.5	0.77	5.65	26.8	0	0	2.8	4.4
0	0.6	0.55	0.65	5.82	28.67	0	0	0.8	5.3
0	0.7	0.55	0.66	5.63	28.89	0	0	1.3	5.4
0	0.7	0.62	0.66	5.6	26.91	0	0	1.3	5.7
NP		2		1		0.02		NP	

Cuadro A.3.12. Concentraciones obtenidas del análisis de metales pesados del cárcamo 7 del primero y segundo muestreo

FECHA DE MUESTREO		NIVELES DE PROFUNDIDAD	Cu (mg/L)		Fe (mg/L)		Zn (mg/L)		Cr (mg/L)		Pb (mg/L)		Ag (mg/L)	
1o.	2o.		1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.
26-08-02	02-10-02	N1	2.35	*	0	*	4.26	*	0.31	*	1.16	*	0.01	*
		N1	2.12	*	0	*	4.1	*	0.3	*	0.95	*	0	*
		N1	2.13	*	0	*	4.11	*	0.3	*	0.8	*	0.01	*
		N2	0.54	41.69	0	4.18	0.16	11.07	0	0.47	0	2.73	0	0.05
		N2	0.5	43.34	2.47	242.99	0.13	11.18	0	0.42	0	2.87	0	0.08
		N2	0.47	41.14	2.25	221.1	0.12	10.96	0	0.48	0	2.76	0	0.07
		N3	0.71	81.51	2.26	901.23	0.2	48.91	0	1.24	0	2.46	0	0.07
		N3	0.71	74.03	2.21	735.57	0.21	43.96	0.01	1.01	0	3.25	0	0.02
		N3	0.73	95.81	2.29	863.06	0.19	50.89	0.02	1.25	0	2.19	0	0.1
NOM-02-ECOL-1996			20		8		12		1		2		NP	

INDICACIONES: N1, superior; N2, medio; N3, fondo

Continuación

Al (mg/L)		Ni (mg/L)		Cd (mg/L)		Hg (mg/L)		Sn (mg/L)	
1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.	1o.	2o.
1.9	*	0.49	*	ND	*	ND	*	0	*
1.4	*	0.5	*	ND	*	ND	*	0	*
1	*	0.5	*	ND	*	ND	*	0	*
1.1	4.4	0.05	0.77	ND	1.06	ND	0	0	1.6
1.1	12.6	0.04	1.32	ND	1.05	ND	0	0	2.1
1.1	4.6	0.03	1.43	ND	1.06	ND	0	0	3.4
0.4	1.6	0.05	4.29	ND	3.69	ND	0	0	4.1
0.4	2.5	0.04	4.18	ND	3.41	ND	0	0	5.7
0.5	2.4	0.07	4.29	ND	3.79	ND	0	0	7.4
NP		2		1		0.02		NP	

El Cuadro A.3.13. presenta los resultados del análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) y del carbono total de las muestras de agua residual tomadas del cárcamo 7, considerado este sitio por ser el captador del agua antes del vertido al sistema de drenaje, para el montaje de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida.

Cuadro A.3.13. Determinaciones del contenido de demanda química de oxígeno (DQO) y carbono total (CT) del agua residual (proveniente del cárcamo 7, previas al montaje de la prueba biológica)

Muestra	Demanda química de oxígeno (mg/L)		Carbono total (mg/L)	
	Disuelta	Con grasa	Disuelta	Con grasa
Agua residual del cárcamo 7	36,864	364,800	42,962.54	298,661

ANEXO A.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Mediante el análisis exploratorio de datos (cajas múltiples con muesca y bigote) se hicieron los Cuadros A.4.1 y A.4.2 para mostrar las semejanzas y diferencias significativas de los parámetros fisicoquímicos, presentes entre los turbuladores (T1, T2, T3, T4) y el cárcamo 7 (C) al inicio y final del proceso de lavado.

Cuadro A.4.1. Comparación entre los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al inicio del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros fisico-químicos

CONTRASTES TURBULADORES Y CARCAMO	PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS																								
	DQO	GYA	ST	STV	STF	SD	SDV	SDF	SS	SSV	SSF	T	pH	Fe	Cu	Cr	Zn	Ag	Hg	Sn	Al	Pb	Ni	Cd	
T1-T2	**	/	**	/	**	**	**	**	**	ND	/	/	**	/	**	**	**	**	/	ND	**	/	**	**	ND
T1-T3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ND	**	/	**	**	**	**	**	**	**	ND	**	**	**	**	ND
T1-T4	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ND	**	/	**	**	**	**	**	**	/	ND	**	**	/	/	ND
T1-C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ND	**	/	**	**	**	**	**	**	/	ND	/	**	**	**	ND
T2-T3	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**	**	/	**	/	**	**	**	**	/	ND	**	**	**	**	**
T2-T4	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**	**	/	**	/	**	**	**	**	/	ND	**	**	**	**	**
T2-C	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	ND	**	**	**	**	**
T3-T4	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**	/	ND	/	**	**	**	**
T3-C	/	**	**	/	**	**	**	**	**	/	/	/	**	**	**	**	**	**	/	ND	**	**	**	**	**
T4-C	**	/	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	ND	**	**	**	**	**

INDICACIONES: Demanda química de oxígeno (DQO); grasas y aceites (GYA); sólidos totales (ST); sólidos totales volátiles (STV); sólidos totales fijos; sólidos disueltos (SD); sólidos disueltos volátiles (SDV); sólidos disueltos fijos (SDF); sólidos suspendidos (SS); sólidos suspendidos volátiles (SSV); sólidos suspendidos fijos (SSF); temperatura (T); valor de pH y los símbolos químicos de los metales totales analizados; **Diferencias significativas ($p = 0.05$); / No existen diferencias significativas ($p > 0.05$); ND No determinado

Cuadro A.4.2. Comparación entre los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C) al final del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros fisico-químicos

CONTRASTES TURBULADORES Y CARCAMO	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS																								
	DQO	GYA	ST	STV	STF	SD	SDV	SDF	SS	SSV	SSF	T	pH	Fe	Cu	Cr	Zn	Ag	Hg	Sn	Al	Pb	Ni	Cd	
T1-T2	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	/	**	**	**	/	**
T1-T3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**
T1-T4	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**
T1-C	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	/	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**
T2-T3	/	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**
T2-T4	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**
T2-C	/	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**
T3-T4	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**
T3-C	/	/	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**
T4-C	**	/	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**

INDICACIONES: Demanda química de oxígeno (DQO); grasas y aceites (GYA); sólidos totales (ST); sólidos totales volátiles (STV); sólidos totales fijos; sólidos disueltos (SD); sólidos disueltos volátiles (SDV); sólidos disueltos fijos (SDF); sólidos suspendidos (SS); sólidos suspendidos volátiles (SSV); sólidos suspendidos fijos (SSF); temperatura (T); valor de pH y los símbolos químicos de los metales totales analizados; **Diferencias significativas ($p = 0.05$); / No existen diferencias significativas ($p > 0.05$)

Mediante el análisis exploratorio de datos (cajas múltiples con muesca y bigote) se realizaron los Cuadros A.4.3 y A.4.4 para mostrar las semejanzas y diferencias significativas, de los parámetros físico-químicos, presentes en los niveles (N1, N2 y N3) de cada turbulador (T1,T2,T3,T4) y del cárcamo 7 (C) al inicio y final del proceso de lavado

Cuadro A.4.3. Comparación entre los niveles superior (N1), medio (N2) y superior (N3) de cada sistema (T1, T2, T3, T4 y C) al inicio del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físico-químicos

CONTRASTES		PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS																								
TURBULADOR	NIVELES	DQO	GYA	ST	STV	STF	SD	SDV	SDF	SS	SSV	SSF	T	pH	Fe	Cu	Cr	Zn	Ag	Hg	Sn	Al	Pb	Ni	Cd	
1	N1-N2	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	ND	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	ND
1	N1-N3	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	ND	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	**	/	ND
1	N2-N3	/	**	/	/	**	/	/	**	/	ND	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	**	/	ND	
2	N1-N2	**	/	**	**	**	**	/	/	**	/	/	/	/	**	**	**	**	/	/	/	/	/	**	/	
2	N1-N3	/	**	**	**	**	**	/	/	**	**	/	/	/	**	**	**	**	/	/	/	/	/	**	/	
2	N2-N3	/	**	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	**	**	**	**	/	/	/	/	/	/	/	/	
3	N1-N2	/	/	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
3	N1-N3	/	/	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	
3	N2-N3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
4	N1-N2	/	**	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
4	N1-N3	/	**	/	/	/	/	/	/	**	**	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	
4	N2-N3	/	/	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	
C	N1-N2	**	**	**	**	**	/	**	/	**	**	**	/	**	**	**	**	**	**	/	/	/	**	**	ND	
C	N1-N3	**	**	**	**	/	/	**	/	**	**	/	/	**	**	**	**	**	**	/	/	**	**	**	ND	
C	N2-N3	/	/	/	/	**	/	/	/	**	/	/	/	**	/	**	/	/	/	/	/	**	/	/	ND	

INDICACIONES: Demanda química de oxígeno (DQO); grasas y aceites (GYA); sólidos totales (ST); sólidos totales volátiles (STV); sólidos totales fijos; sólidos disueltos (SD); sólidos disueltos volátiles (SDV); sólidos disueltos fijos (SDF); sólidos suspendidos (SS); sólidos suspendidos volátiles (SSV); sólidos suspendidos fijos (SSF); temperatura (T); valor de pH y los símbolos químicos de los metales totales analizados; **Diferencias significativas ($p = 0.05$); / No existen diferencias significativas ($p > 0.05$); ND No determinado

Cuadro A.4.4. Contraste entre los niveles superior (N1), medio (N2) y superior (N3) de cada sistema (T1, T2, T3, T4 y C) al final del lavado por medio del análisis de cajas múltiples con muesca para los parámetros físico-químicos

CONTRASTES		PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS																							
TURBULADOR	NIVELES	DQO	GYA	ST	STV	STF	SD	SDV	SDF	SS	SSV	SSF	T	pH	Fe	Cu	Cr	Zn	Ag	Hg	Sn	Al	Pb	Ni	Cd
1	N1-N2	/	/	/	**	/	/	**	**	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**
1	N1-N3	/	/	**	/	**	/	**	**	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
1	N2-N3	/	/	**	/	**	/	**	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	N1-N2	**	/	**	**	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**
2	N1-N3	**	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**	/	/	**	/	/	/	/	/	/	**
2	N2-N3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	N1-N2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	N1-N3	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	N2-N3	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4	N1-N2	/	/	/	/	/	/	/	**	/	**	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/
4	N1-N3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**	/	/	**	/	/	/	**
4	N2-N3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
C	N1-N2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C	N1-N3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C	N2-N3	**	**	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**	**	**	**	/	/	/	/	/	/	**

INDICACIONES: Demanda química de oxígeno (DQO); grasas y aceites (GYA); sólidos totales (ST); sólidos totales volátiles (STV); sólidos totales fijos (STF); sólidos disueltos (SD); sólidos disueltos volátiles (SDV); sólidos disueltos fijos (SDF); sólidos suspendidos (SS); sólidos suspendidos volátiles (SSV); sólidos suspendidos fijos (SSF); temperatura (T); valor de pH y los símbolos químicos de los metales totales analizados; **Diferencias significativas ($p = 0.05$); / No existen diferencias significativas ($p > 0.05$); ND No determinado; N1 Nivel superior; N2 Nivel medio; N3 Nivel inferior

El Cuadro A.4.5 muestra el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis para cada parámetro físico-químico, mediante el cual se determinaron las diferencias significativas presentes entre los sistemas (T1, T2, T3, T4 y C).

Cuadro A.4.5. Análisis de varianza de Kruskal-Wallis

Parámetro físico-químico	Prueba estadística K	Nivel de significancia
DQO 1	39.54	5.39×10^{-8}
DQO 2	35.20	4.23×10^{-7}
GYA 1	27.77	1.38×10^{-5}
GYA 2	35.99	2.91×10^{-7}
ST 1	42.29	1.45×10^{-8}
ST 2	38.10	1.07×10^{-7}
STV 1	34.07	7.2×10^{-7}
STV 2	39.30	6.02×10^{-8}
STF 1	42.28	1.46×10^{-8}
STF 2	39.30	6.05×10^{-8}
SD 1	41.44	2.17×10^{-8}
SD 2	36.43	2.35×10^{-7}
SDV 1	38.40	9.27×10^{-8}
SDV 2	36.81	1.96×10^{-7}
SDF 1	41.49	2.12×10^{-8}
SDF 2	32.86	1.27×10^{-6}
SS 1	35.33	3.97×10^{-7}
SS 2	37.43	1.46×10^{-7}
SSV 1	24.10	2.38×10^{-5}
SSV 2	37.99	1.12×10^{-7}
SSF 1	37.08	1.73×10^{-7}
SSF 2	39.26	6.14×10^{-8}
T 1	44.00	6.41×10^{-9}
T 2	41.00	2.68×10^{-8}
pH 1	42.49	1.31×10^{-8}
pH 2	39.40	5.75×10^{-8}
Cu 1	40.99	2.69×10^{-8}
Cu 2	23.56	9.78×10^{-5}
Fe 1	31.52	2.39×10^{-6}
Fe 2	18.42	3.6×10^{-4}
Cr 1	36.78	1.99×10^{-7}
Cr 2	37.05	1.76×10^{-7}
Zn 1	39.04	6.82×10^{-8}

ANEXO A.5. REPORTE DE LOS RESULTADOS DE ACUERDO CON EL FORMATO PROPUESTO POR LA PRUEBA OECD 301-A (1992)

Los datos obtenidos de la prueba biológica se informan de acuerdo con el siguiente formato:

HOJA DE DATOS

PRUEBA DE DISMINUCIÓN DE COD (COT)

1. LABORATORIO: Laboratorios del STC y de la Facultad de Química de la UNAM

2. FECHA DE INICIO DE LA PRUEBA: El 27 de junio de 2003

3. SUSTANCIA DE PRUEBA:

Nombre: Agua residual generada en el Área de lavado del Taller de Mantto. Mayor Zaragoza.

Concentración de la solución original: 300,000 mg COT/L

Concentración inicial en el medio, t_0 : Sustancia A 3,000 mg COT/L y sustancia B 9,000 mg COT/L

4. INÓCULO:

Fuente (origen): Planta de tratamiento de aguas residuales de C.U.

Tratamiento proporcionado: Sedimentación y decantación en un cono Imhof

Pre-acondicionamiento (si hubo): Aeración en una solución isotónica de cloruro de sodio (NaCl).

Concentración de sólidos suspendidos en la mezcla de reacción: 10 mg/L

5. DETERMINACIONES DE CARBONO:

Analizador de carbono orgánico total:

Muestra	Fracos No.	Medias	COT después de n días (mg/L)				
			0	7	14	21	28
Sustancia de prueba A	1	$C_{a(t)}$	3354	1819	-	-	-
	2	$C_{b(t)}$	4650	-	1437	-	-
	3	$C_{c(t)}$	4105	-	1750	1614	-
	4	$C_{d(t)}$	5122	-	1870	1764	1664
Sustancia de prueba B	5	$C_{e(t)}$	6800	2858	-	-	-
	6	$C_{f(t)}$	9000	-	1086	-	-
	7	$C_{g(t)}$	9419	-	2446	1742	-
	8	$C_{h(t)}$	9323	-	3445	3423	3374
Control de inóculo	9	$C_{i(t)}$	2915	2008	-	-	-
	10	$C_{j(t)}$	4425	-	3939	-	-
	11	$C_{k(t)}$	3571	-	1832	1626	-
	12	$C_{l(t)}$	3408	-	1516	1398	157
		Media, $C_{bl(t)} = \frac{C_{c(t)} + C_{d(t)}}{2}$	3489.5	-	1674	1512	-

Nota: - No determinado

6. Evaluación de los datos sin procesar ("crudos"):

Muestra	Fracos no.	Cálculo de resultados	%degradación después de n días				
			0	7	14	21	28
Sustancia de prueba A	3	$D_{3(14,21)} = \left[1 - \frac{C_{a(t)} - C_{bl(t)}}{C_{a(0)} - C_{bl(t)}} \right] \times 100$	-	-	87.65	-	-
			-	-	-	83.42	-
	4	$D_{4(14)} \text{ y } D_{4(21)}$	-	-	87.99	-	-
			-	-	-	84.56	-
Sustancia de prueba B	7	$D_{7(14)} \text{ y } D_{7(21)}$	-	-	86.90	-	-
			-	-	-	96.12	-
	8	$D_{8(14)} \text{ y } D_{8(21)}$	-	-	69.64	-	-
			-	-	-	67.24	-

Nota : - No determinado

7. Degradación abiótica (opcional)

	Tiempo (días)	
	0	21
CT (mg/L) del control estéril	2517	2050

$$\% \text{ Degradación abiótica} = \frac{C_{s(0)} - C_{s(t)}}{C_{s(0)}} \times 100 = \frac{2517 - 2050}{2517} \times 100 = 18.55$$

8. Conclusiones:

Las muestras de agua residual analizadas son "biodegradables" pero no como "rápidamente biodegradables" de acuerdo a la norma OECD 301-A (1992). Pero, esto se debe poner en consideración, ya que la sustancia de prueba se tuvo que diluir 1:10,000 y 1:5,000 para poder obtener el carbono total requerido por la norma para el montaje de la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida. Por lo que difícilmente tal dilución ocurrirá en la realidad para que se pueda realizar la biodegradación.

ANEXO A.6. DATOS EXPERIMENTALES PRELIMINARES

A.6.1. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Se tomaron muestras de los niveles superior (N1), medio (N2) e inferior (N3) de cada turbulador y del cárcamo 7. De acuerdo con la metodología, se iniciaron los ensayos presentándose siguiente:

(a) Dilución de 10 mL de muestra en 30 mL de agua destilada.

Los resultados de estas muestras fueron negativos ya que a pesar de digerir 2 h no se obtenía una solución transparente de color verde pálido, era de un color verde oscuro.

(b) Dilución de 10 mL de muestra en 50 mL de agua destilada.

Los resultados de estas muestras seguían siendo negativos ya que a pesar de digerir 2 h no se obtenía una solución transparente de color verde pálido, siendo lo esperado.

(c) Dilución de 5 mL de muestra para aforar a 50 mL de agua destilada.

De algunas muestras no muy concentradas de grasas y aceites se obtuvieron resultados positivos, puesto que después de digerir 2 h se obtuvo una solución transparente de color verde pálido.

d) Diluciones de 0.1 y 0.5 mL de muestra para aforar en 50 mL de agua destilada.

Los resultados de las muestras analizadas, muy concentradas de grasas y aceites, fueron positivos observándose después de 2 h de digestión una solución transparente de color verde pálido. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Muestra sin diluir (cruda) (mL)	Normalidad del FAS	Valor de DQO (mg/L)
10	0.099	13,090.9
10	0.098	17,018.18
5	0.101	25,000
0.1	0.104	350,000

A.6.2. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

De acuerdo con la metodología, se iniciaron las mediciones (ensayos) de las muestras de agua residual con alto contenido de grasas y aceites, por lo que la digestión tuvo sus dificultades, siendo las siguientes:

- a) La muestra de agua residual sin diluir fue de 25 mL

La digestión se realizó con una mezcla de 10 mL de ácido nítrico (HNO_3) y 10 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4), pero no se obtuvieron resultados positivos, por que la solución se observó oscura con presencia de grasas.

- b) La muestra de agua residual sin diluir fue de 25 mL

La digestión fue realizada con 5 mL de ácido nítrico (HNO_3) y 5 mL ácido fluorhídrico (HF) hasta la obtención de una muestra clara. Esto resultó bien para muestras no tan grasosas.

- c) La muestra de agua residual sin diluir fue de 25 mL

La digestión fue realizada agregando 2 mL de HNO_3 y 2 mL de HF, inicialmente. Después se adicionaron pausadamente de 2 a 2 mL de HF hasta 10 mL, conforme la solución se tornaba transparente. Por último se agregaron 2 mL de HNO_3 al final de la digestión. Este proceso resultó bien para el análisis de muestras muy concentradas de grasas.

ANEXO A.7. ACERVO FOTOGRAFICO



FIGURA A.7.1. ÁREA DE TURBULADORES



FIGURA A.7.2. MUESTREO DE LOS TURBULADORES



FIGURA. A.7.3. ÁREA DEL CÁRCAMO 7

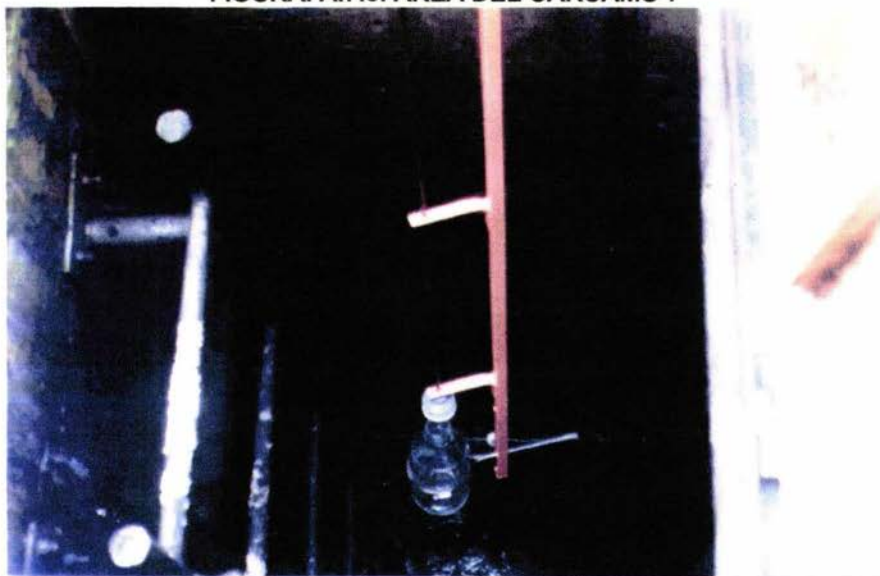


FIGURA. A.7.4. MUESTREO DEL CÁRCAMO 7



FIGURA. A.7.5. DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN EL LABORATORIO FÍSICO-QUÍMICO DEL S.T.C.