

23

28



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

CARACTERIZACION Y REUTILIZACION DE LOS  
LIDOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE  
DESTINTE DE PAPEL PERIODICO

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERA QUIMICA**  
**P R E S E N T A :**  
**LAURA CABALLERO PALOMARES**



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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:**


Presidente: Prof. Jesús González Pérez  
Vocal: Profa. Georgina Fernández Villagómez  
Secretario: Profa. Alma Rosa García Charretón  
1er. Suplente: Prof. Rodolfo Torres Barrera  
2o. Suplente: Prof. Víctor Manuel Luna Pabello

**SITIO EN DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**


Departamento de Ingeniería Ambiental de la División de Estudios de  
Posgrado de la Facultad de Ingeniería  
U.N.A.M.

Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Química  
U.N.A.M.

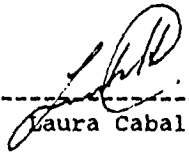
Asesor del tema: -----

  
Dra. Georgina Fernández Villagómez

Supervisor técnico: -----

  
Dra. Yolanda Caballero Arroyo

Sustentante: -----

  
Laura Caballero Palomares

## PROLOGO

Uno de los problemas más complejos que enfrentan actualmente muchas sociedades, es la generación de la enorme cantidad de desechos que día con día se deben disponer de manera adecuada. Esto es consecuencia de un desarrollo industrial caracterizado, hasta hace unos años, por el descuido hacia la preservación del medio ambiente.

Los expertos en materia ambiental señalan que la mejor manera de resolver el problema es mediante la participación de cada uno de nosotros en el plan llamado 3R's (Reducir, Reusar y Reciclar).

Reducir significa no usar más del mínimo material requerido para realizar aquellas actividades que se desea llevar a cabo, ya sea a nivel industrial o doméstico. Reusar significa volver a utilizar el mismo producto tantas veces como sea posible y, Reciclar quiere decir recuperar y reincorporar repetidamente todos los materiales valiosos a otros ciclos de producción, con el fin de reducir la demanda de materias primas y disminuir la generación de residuos.

Es por ello que, con el deseo de contribuir en la tarea de la búsqueda de soluciones, se elaboró este trabajo, esperando que sea de utilidad para quienes están concientes de que proteger el entorno es una prioridad que difícilmente se puede satisfacer a través del esfuerzo individual, y de que es necesario participar de manera colectiva y entusiasta para encontrar el camino que permita legar un mundo sano a las generaciones futuras.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento

A las Dras. Georgina Fernández Villagómez y Yolanda Caballero Arroyo por todo el apoyo brindado

A los Profesores Jesús González Pérez y Alma Rosa García Charretón por su valiosa revisión al presente trabajo

A la Maestra Gabriela Wunschmann del Instituto para la Fabricación del Papel en Darmstadt, Alemania por su información hemerográfica

Al Q. Jorge Vargas C. por su amable asesoría en la simulación del proceso de destinte

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería

Al Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Química

Al Centro Nacional de Prevención de Desastres

Al Laboratorio de Espectrometría de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Química

Al Laboratorio de Fisicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

Al Laboratorio de Nutrición de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia

A la Asociación Nacional de la Industria Química y al SETIQ

A todos quienes contribuyeron a la realización de este trabajo

## CONTENIDO

PROLOGO.....	5
AGRADECIMIENTOS.....	7
1. INTRODUCCION.....	15
2. OBJETIVOS GENERALES.....	19
3. MARCO REFERENCIAL	
3.1 Aspectos económicos relacionados con el reciclaje de papel.....	23
3.2 Principales problemas asociados con el uso de fibras secundarias.....	27
3.3 Alternativas de reutilización de los lodos de destinte.....	30
4. SIMULACION DEL PROCESO DE DESTINTE DE PAPEL	
4.1 Objetivo.....	37
4.2 Fundamentos teóricos.....	37
4.2.1. Generalidades sobre el proceso de destinte de papel.....	37
4.2.2. Principales operaciones involucradas en el proceso.....	38
4.2.3. Destinte por flotación.....	41
4.2.4. Destinte por lavado.....	43
4.2.5. Establecimiento de las fórmulas de destinte.....	45
4.2.6. Principales características de las tintas de impresión.....	46

4.3	Materias primas y equipo.....	48
4.4	Procedimiento experimental.....	49
4.5	Consideraciones al procedimiento.....	50
5.	METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACION DE LOS LODOS	
5.1	Objetivos.....	55
5.2	Presentación de la metodología.....	55
5.3	Fundamentos teóricos.....	56
5.3.1.	Métodos de administración.....	56
5.3.2.	Método para el establecimiento de la ruta crítica.....	58
5.4	Pruebas a efectuar y técnicas de análisis.....	65
5.5	Consideraciones previas.....	66
5.6	Programa general de actividades.....	67
5.7	Diagrama de Gantt.....	76
5.8	Red de ruta crítica.....	77
5.9	Control y seguimiento.....	78
5.10	Conclusiones y recomendaciones.....	81
6.	CARACTERIZACION DE LOS LODOS DE DESTINTE	
6.1	Objetivos.....	85
6.2	Consideraciones generales.....	85
6.3	Tablas de resultados y gráficas.....	87
6.4	Análisis de resultados.....	97
6.5	Conclusiones y recomendaciones.....	101
7.	REUTILIZACION DEL MATERIAL AGLUTINADO COMO ABSORBENTE EN DERRAMES DE ACEITES	
7.1	Objetivos.....	105
7.2	Fundamentos teóricos.....	105

7.2.1	Materiales para la limpieza de derrames...	106
7.3	Hipótesis.....	108
7.4	Materiales y equipo.....	108
7.5	Procedimiento experimental.....	108
7.6	Tablas de resultados y gráficas.....	109
7.7	Análisis de resultados.....	117
7.8	Conclusiones y recomendaciones.....	117
8.	PRUEBAS DE REUTILIZACION DEL LODO COMO ADSORBENTE DE METALES EN AGUAS RESIDUALES	
8.1	Objetivo.....	123
8.2	Fundamentos teóricos.....	123
8.2.1.	Principios generales de adsorción.....	123
8.2.2.	Relaciones de equilibrio.....	124
8.2.3.	Adsorción de líquidos sobre sólidos.....	125
8.2.4.	Las arcillas como adsorbentes.....	128
8.2.5.	Configuración de un proceso de adsorción.	128
8.3	Hipótesis.....	131
8.4	Materiales y equipos.....	131
8.5	Procedimiento experimental.....	132
8.6	Consideraciones al procedimiento.....	132
8.7	Tablas de resultados y gráficas.....	133
8.8	Análisis de resultados.....	141
8.9	Conclusiones y recomendaciones.....	142
9.	PRUEBAS DE REUTILIZACION DEL LODO COMO SOPORTE SECO DE INSECTICIDAS DE LIBERACION LENTA	
9.1	Objetivos.....	147
9.2	Fundamentos teóricos.....	147
9.2.1.	Clasificación de los plaguicidas.....	147



9.2.2.	Principales características de los piretroides.....	149
9.2.3.	Modo de acción de los piretroides.....	150
9.2.4.	Formas más comunes de aplicación de los piretroides.....	152
9.2.5.	Plaguicidas de liberación controlada....	153
9.2.6.	Cinética de migración de un plaguicida a partir de una matriz.....	155
9.2.7.	Principales características físicas y químicas de la cypermetrina.....	157
9.3	Hipótesis.....	159
9.4	Materiales y equipo.....	159
9.4.1	Acondicionamiento del insecticida.....	160
9.5	Procedimiento experimental.....	161
9.6	Tablas de resultados y gráficas.....	163
9.7	Análisis de resultados.....	170
9.8	Conclusiones y recomendaciones.....	179
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	183
ANEXOS		
A.	Técnicas instrumentales de análisis.....	187
B.	Digestión de muestras por microondas.....	195
C.	Normatividad.....	203
D.	Breve estudio comparativo entre los resultados obtenidos de la caracterización de los lodos de destinte y los lodos provenientes del proceso de reciclaje de papel tissue.....	211
E.	Análisis estadístico de los resultados de la caracterización.....	217
	REFERENCIAS.....	277

# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCION

El reciclaje de papel no es algo nuevo para la industria papelera; de hecho es tan antiguo como el proceso mismo de fabricación de papel. Hoy en día el interés en la recuperación de fibras secundarias ha aumentado notablemente debido en gran medida a razones de carácter económico y de protección al ambiente.

Si bien el reciclaje de papel provee numerosos beneficios, también conlleva una buena cantidad de problemas asociados, de los cuales quizás el más importante es la enorme cantidad de residuos sólidos que se generan. En el caso de las fábricas de papel que utilizan fibra secundaria, y en especial en aquellas donde se cuenta con un proceso de destinte, el problema es aún mayor.

Actualmente muchos de los productores de fibra destintada desechan sus lodos en tiraderos municipales o rellenos sanitarios, que frecuentemente no reúnen las características físicas apropiadas para garantizar que no se presentarán acumulaciones de materiales peligrosos en los cuerpos receptores, con los consiguientes efectos adversos en el entorno.

Algunos estudios realizados en diferentes países sobre las propiedades y características de los lodos de destinte, señalan que las concentraciones detectadas de metales, dioxinas y bifenilos policlorados no exceden los límites máximos establecidos en las regulaciones ambientales vigentes, y por tanto, no se consideran como residuos peligrosos, pudiendo incluso aprovecharse en el reacondicionamiento de terrenos y diversas aplicaciones novedosas.

La naturaleza de los lodos que se obtienen, sin embargo, está directamente relacionada con el tipo de papel que se alimenta al proceso, la composición de las tintas de impresión y los agentes

químicos que se emplean para favorecer el destinte, elementos que varían considerablemente de una planta a otra.

Lo anterior juega un papel muy importante en la determinación de la peligrosidad de los residuos; por ello resulta evidente la necesidad de contar con una metodología para la caracterización rápida de este tipo de desechos, que permita establecer si los lodos deben considerarse como residuos peligrosos o bien, si se encuentran dentro de los límites permisibles y es posible su reutilización.

En la primera parte del presente trabajo se expone una propuesta de la metodología citada, y se ensaya para un lote de 42 muestras de lodo preparadas en el laboratorio mediante la simulación del proceso industrial de destinte por flotación.

La segunda parte del trabajo abarca el estudio de tres alternativas de reutilización de los lodos sintetizados, considerando que no se excede ninguno de los parámetros contemplados en la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-001-ECOL/93.

Se muestra además un breve estudio comparativo entre los resultados obtenidos de la caracterización de los lodos de destinte, con los que se obtuvieron en un trabajo realizado con los lodos provenientes del reciclaje de papel tissue.

## CAPITULO 2

## 2. OBJETIVOS GENERALES

Al finalizar este trabajo habrán de cumplirse los siguientes objetivos:

1. Exponer brevemente los conceptos básicos que giran en torno al reciclaje y destinte de papel.
2. Presentar un panorama general sobre los principales problemas que enfrenta la industria del reciclaje de papel tanto en México como a nivel mundial.
3. Mencionar las diferentes alternativas de reutilización con que se cuenta actualmente para los residuos que se generan en los procesos de reciclaje de papel.
4. Proponer una metodología de caracterización rápida para los lodos de destinte que sirva de apoyo al industrial en el cumplimiento de las requisiciones federales en la materia.
5. Realizar la caracterización de los residuos sólidos generados en el laboratorio partiendo de la simulación del proceso industrial de destinte de papel.
6. Determinar, de acuerdo a la normatividad vigente, si estos residuos deben considerarse como peligrosos con base en la caracterización efectuada en el laboratorio.
7. Efectuar algunas pruebas que permitan visualizar si es posible la reutilización de los lodos de destinte.

**CAPITULO 3**

### **3. MARCO REFERENCIAL**

#### **3.1 Aspectos económicos relacionados con el reciclaje de papel**

En México, el motor principal del reciclaje de papel es definitivamente el económico. La sustitución de fibras vírgenes por fibras secundarias busca responder a las necesidades de los productores de papel de reducir costos y poder así acceder a mayores niveles de competitividad, al mismo tiempo que coadyuvan al mejoramiento del medio ambiente.

Nuestro país se ha colocado entre los líderes mundiales del reciclaje de papel, llegando a manejar un promedio en la mezcla global de material fibroso de 74% fibra secundaria y 26% fibra virgen. (CNICP, 1994)

Sin embargo, la industria de la celulosa y el papel enfrenta actualmente una fuerte crisis, misma que se ha venido agudizando desde 1993, debido a la difícil situación financiera nacional y a la recesión global. El mercado interno mexicano se ha visto afectado con un crecimiento notorio en las importaciones de papel en todos sus tipos, provenientes en su gran mayoría de los E.U. y Canadá, potencias mundiales en la producción de celulosa y papel. (CNICP, 1994)

La fibra secundaria tiene desde hace tiempo una gran importancia como materia prima en México, sin embargo, la proporción de recuperación de ésta no ha mostrado un crecimiento relevante en los últimos años. En 1994, las importaciones crecieron hasta un volumen de 749,215 toneladas, lo que significa una participación relativa de las importaciones de celulosa, pastas y fibras secundarias de un 45.1%. (CNICP, 1995)



**Tabla 1. Volumen del consumo de materias primas fibrosas en la producción de papel (toneladas).**

AÑO/TIPO	1991	1992	1993	1994
Fibra secundaria	2 176 500	2 288 548	2 252 396	2 547 179
Color natural	1 302 648	1 427 989	1 419 852	1 568 349
Periódico impreso	319 927	285 182	268 379	354 779
Tarjeta tabular	9 316	2 896	45 007	43 332
Blanco	453 106	460 386	339 065	478 537
Periódico sin impresión	47 283	64 049	61 764	35 837
Gris	49 630	48 046	58 329	66 345

(Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel. "Memoria Estadística", México, 1995, pág. 41)

**Tabla 2. Volumen y participación relativa de las importaciones de celulosa, pasta y fibras secundarias (toneladas).**

AÑO/TIPO	1993	1994
Fibras secundarias	685 772 44.1%	749 215 45.2%
Papel periódico para destintar	287 825 18.5%	332 802 43.0%

(Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel. "Memoria Estadística", México, 1995, pág. 46.)

**Tabla 3. Consumo esperado y posibilidad de recolección nacional de fibra secundaria (miles de toneladas).**

CONCEPTO	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Consumo de fibra secundaria.	2 299	2 523	2 586	2 655	2 732	2 796
Recolección Nacional.	1 422	1 456	1 499	1 549	1 610	1 675
Índice de Recolección	43%	43%	43%	43%	43%	43%

Nota: Considera un índice de crecimiento de 4.6% para 1997.

(Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel. "Memoria Estadística", México, 1995, pág. 32)

Es importante señalar que el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica no es una de las causas del incremento en las importaciones, puesto que este sector se encontraba abierto al comercio internacional desde el año de 1986. (CNICP, 1994)

Con la apertura comercial, la industria papelera mexicana se encuentra obligada a incrementar su productividad y eficiencia, así como a buscar una participación más dinámica en los mercados internacionales.

Algunos factores que caracterizan el mercado mundial del papel reciclado son los siguientes: (Patrick, 1991)

- A. La decisión de algunos países de forzar la recuperación y el consumo de papel de desperdicio, con el consiguiente impacto sobre la oferta y la demanda del mismo.
- B. La determinación de los precios del papel de desperdicio a partir de una combinación de la demanda y la facilidad de abastecimiento. Los fabricantes deberán estar dispuestos a pagar más cuando se requiera generar cantidades adicionales de papel reciclado, pero podrían pagar menos cuando los requerimientos son bajos.
- C. La principal característica de los precios del papel de desperdicio es su inestabilidad. Sigue el comportamiento de la industria del papel y del cartón a nivel mundial.
- D. La fuerte competencia entre los países productores de fibra secundaria y papel reciclado provoca que el mercado dependa cada vez más de la mayor calidad que los productores puedan proporcionar.
- E. En general, la situación en la cual se obtiene materia prima a bajo costo y el producto final se vende a precio elevado, crea un ambiente favorable para la inversión en plantas de destinte y tratamiento de fibra secundaria.

### **3.2 Principales problemas asociados con el uso de fibras secundarias.**

Pese a los numerosos beneficios del uso de fibras secundarias para la elaboración de papel reciclado, las implicaciones que éste representa para los productores de papel y cartón a lo largo del mundo son diversas.

En términos generales, el creciente uso y aceptabilidad de la fibra reciclada hace que las fábricas reduzcan sus costos de producción, pero se requiere una fuerte inversión en equipo para el manejo del papel de desperdicio, su limpieza, destinte y el equipo de blanqueo que representa un costo adicional. (Patrick, 1991)

Por otra parte se tiene el inconveniente de que la calidad de la materia prima varía mucho y en ocasiones contiene contaminantes que pueden causar severas restricciones en la operación. La variación es tan grande, que debe tenerse especial cuidado en diseñar el sistema para trabajar en la peor situación.

Aunado a lo anterior, en la mayoría de los países no se tiene una infraestructura suficientemente fuerte para el sistema de abastecimiento de papel. Sin una buena infraestructura de recolección, puede presentarse un grave descenso en la calidad del papel que se recicla. (Patrick, 1991)

Para resolver el problema, algunas compañías están comenzado a construir su propio sistema de abastecimiento; otras están haciendo contratos con recolectores de papel de desperdicio y otras más, están tratando con las municipalidades y compañías dedicadas a la compra-venta de papel de desperdicio.

La edad del papel periódico usado es otro aspecto importante que debe considerarse puesto que una buena parte de la fibra que lo compone es pulpa mecánica, la cual se degrada en cuanto se expone a los rayos ultravioleta y al calor.

El papel periódico puede tornarse amarillento en unas cuantas horas al contrario del papel proveniente de oficinas que está hecho de pulpa química y varía muy poco su coloración.

La humedad provoca la aparición de mohos y un deterioro acelerado del papel, particularmente cuando está almacenado.

Otros problemas que también enfrentan los productores de papel y que limitan el uso de la fibra reciclada son: (Patrick, 1991)

- A. La alta brillantez que se requiere en el papel de impresión hace que se tengan costos muy altos para el blanqueo de grados reciclados.
- B. La baja resistencia del papel reciclado es un problema que puede aumentar conforme las fibras largas comienzan a escasear debido al reciclaje.
- C. La presencia de etiquetas provoca una gran incidencia de problemas mecánicos en las máquinas de papel. Esto puede bajar las eficiencias de operación e incrementar los costos.
- D. Los problemas ambientales que causan los efluentes de destinte incluyen la presencia de metales pesados, bifenilos policlorados, dioxinas, etc.

- E. Los costos asociados con el abatimiento de la contaminación de las fábricas de papel pueden ser muy altos.
- F. Los metales pesados de las tintas de impresión de ciertos colores.
- G. La disposición de los lodos de destinte y otros rechazos del proceso.
- H. La disposición de las cenizas de incineración y la posible contaminación del agua subterránea.

### 3.3 Alternativas de reutilización de los lodos de destinte

Muchos investigadores alrededor del mundo se han dedicado a buscar aplicaciones para los lodos de destinte, así como diversas maneras de recuperar los materiales reutilizables a partir de éstos, puesto que, en cierta forma, es posible considerarlos como materia prima para la elaboración de otros productos. Actualmente se cuenta con un buen número de alternativas que ya se están utilizando.

A continuación se presenta una breve descripción de algunas de ellas:

#### A. Incineración con recuperación de calor

En algunos países, los costos de asentamiento, diseño y operación de un sitio de disposición pueden hacer económicamente atractiva la combustión de los lodos.

El acondicionamiento de los lodos de destinte para enviarse a un quemador es un método de disposición de lodos que permite a la fábrica recuperar calor y a su vez, reducir el volumen de lodos que van a los basureros.

El calor que se recupera al quemar los lodos con un contenido entre 40 y 50% de sólidos es de hasta 6978 kJ/kg dependiendo de su contenido de inorgánicos. Para alcanzar una eficiencia de combustión razonable es necesario disminuir la cantidad de agua de los lodos, para lo cual se requieren equipos de filtración al vacío y prensas. (Patrick, 1991)

El volumen del sitio que se requiere para disponer las cenizas es de 20 a 30% menor del que se necesita para los lodos. (Diehn, 1990)

En los estudios de factibilidad económica de una compañía estadounidense, se muestra que es posible incorporar a las fábricas de papel, un servicio de generación de vapor utilizando el lodo como combustible. Este servicio es capaz de quemar 130 toneladas por día de lodos y proveer una fuente estable de vapor de proceso. (Diehn, 1990)

#### B. Composteo

Desde hace varios años se desarrollan productos de composteo comercializables a partir de los lodos provenientes de los procesos de destinte de papel. Una de las compañías que se dedican a esto es "The Resource Conservation Services" en Brunswick, Maine.

El lodo de destinte se mezcla con una gran variedad de lodos orgánicos, incluyendo desperdicios municipales y residuos del procesamiento de carnes y pescados. La composta resultante se vende a granel para usos comerciales tales como proyectos de reforestación, abono para campos de golf y jardinería comercial. (Usherson, 1992)

#### C. Usos en Agricultura

Los lodos de destinte encuentran algunas aplicaciones en agricultura. Actúan como agentes acondicionadores de suelos, ya que su elevado contenido de celulosa reduce la compactación y ayuda a crear condiciones propicias para que las plantas puedan absorber los nutrientes.

En suelos excesivamente permeables, compuestos por arenas deslizables, o bien, en aquellos con declives pronunciados, la aplicación de los lodos favorece la retención del agua y el desarrollo de la raíz de las plantas. (Patrick, 1991)



Existe, sin embargo, un problema relacionado con la dispersión de los lodos: la inmovilización del nitrógeno del suelo.

Conforme la celulosa se degrada, el nitrógeno del suelo se inmoviliza temporalmente por la acción de las bacterias que descomponen los residuos, por lo que se hace necesario adicionar nitrógeno suplementario a los lodos en forma de nitrato de amonio. Es posible prevenir el agotamiento del nitrógeno del suelo adicionando aproximadamente un 1% de éste compuesto en el lodo seco. (Diehn, 1990)

La aplicación de los lodos de destinte puede resultar desfavorable sobre otros tipos de suelos, donde las arcillas finas y rellenos del papel provocan un drenado pobre. (Patrick, 1991)

#### D. Otras Aplicaciones

La empresa "Granular Technologies Inc.", subsidiaria de la compañía Fort Howard en Norteamérica, aglutina el lodo de las fábricas de papel para usarlo como soporte inerte de plaguicidas y herbicidas. La tecnología que se emplea no produce subproductos residuales; el lodo se aglutina sin la adición de otros materiales. (Usherson, 1992)

Otros productos potenciales que se desarrollan incluyen la fabricación de camastros para gatos y materiales absorbentes de aceites y grasas.

En el futuro se espera que los lodos de destinte con alto contenido de arcilla se puedan utilizar como materiales para el recubrimiento de tiraderos y rellenos sanitarios. Se han hecho pruebas en celdas experimentales usando los lodos como material aislante que muestran resultados prometedores, de acuerdo con las publicaciones del "National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement". (Usherson, 1992)

Una práctica común, es el reuso de las cenizas que se obtienen de la incineración de los lodos para la manufactura de concreto. La ceniza que se utiliza para estos fines requiere poseer bajas concentraciones de carbono quemado, y además que el costo de transporte no resulte prohibitivo. Las cenizas también se utilizan como fertilizante. (Patrick, 1991)

## CAPITULO 4

#### **4. SIMULACION DEL PROCESO DE DESTINTE DE PAPEL PERIODICO**

El punto de partida de este trabajo es la obtención de las muestras de lodo mediante la simulación en el laboratorio del proceso industrial de destinte de papel periódico.

Si bien la síntesis de las muestras por el método que a continuación se describe representa la principal limitante del estudio, las técnicas, procedimientos y métodos que se plantean son completamente aplicables para los lodos de destinte de las fábricas de papel reciclado en general.

##### **4.1 Objetivo:**

Obtener un lote de por lo menos 30 muestras de lodo de destinte preparadas todas ellas por separado, en condiciones similares de proceso y con la misma formulación destintante.

##### **4.2 Fundamentos teóricos:**

###### 4.2.1 Generalidades sobre el proceso de destinte de papel

El destinte de papel puede definirse de manera muy general como "la acción de eliminar la tinta y materiales no fibrosos del papel de desperdicio, con el fin de obtener una pasta celulósica útil".

(Jaime, 1975)

El destinte se considera como el corazón del proceso de reciclaje, por lo que hoy en día es una de las operaciones más sensitivas y protegidas por la industria papelera.

El proceso de destinte no solo remueve la tinta contenida en el papel; es un proceso complejo mediante el cual se elimina todo tipo de materiales ajenos a la fibra, tales como recubrimientos, adhesivos, rellenos, arcilla, basura, grasa, etc. Consiste

básicamente en dos pasos: a) la dispersión de las tintas por medios físicos y químicos y b) su eliminación mediante el lavado mecánico.

Es importante remarcar que en ambos casos resulta primordial la eliminación efectiva de los contaminantes presentes, ya que en ocasiones éstos crean dificultades mayores que las tintas mismas en la formación del papel reciclado. (Perales, 1988)

#### 4.2.2 Principales operaciones involucradas en el proceso

En general, un sistema de destinte comprende las siguientes etapas: (Perales, 1988)

##### A. Desintegración:

En ésta etapa se lleva a cabo la desintegración del papel y la operación de desprendimiento de las tintas de las fibras recicladas en presencia de productos químicos, generalmente NaOH. El desprendimiento de las tintas es la clave para su eliminación posterior.

##### B. Pre-depuración:

Esta operación está destinada a eliminar los contaminantes de mayor peso y tamaño. En ésta etapa es donde se eliminan contaminantes plásticos de superficie pequeña, adhesivos, etiquetas, etc.

Para obtener una mayor eficiencia en la depuración es necesario que los contaminantes no se dividan durante la desintegración.

Los rechazos de los depuradores se tratan en un equipo auxiliar y los contaminantes se desalojan al exterior en un ciclo automatizado.

#### C. Eliminación de tintas:

Una vez que se desprendieron las tintas de las fibras, se tienen dos métodos para su eliminación: a) flotación y b) lavado.

#### D. Depuración fina:

La implementación de una etapa de depuración fina está relacionada con la calidad de las fibras y las exigencias del papel a fabricar.

Los equipos asociados a esta etapa suelen ser una combinación de hidrociclones para partículas pesadas e hidrociclones para partículas ligeras.

Para la eliminación de adhesivos y gomas se emplean depuradores a presión con tamices finamente ranurados.

#### E. Dispersión:

La gran diversidad en cuanto a los tipos de tintas y técnicas de impresión, así como los contaminantes grasos, crean el riesgo de una aparición residual.

Si la materia prima es de naturaleza variable y difícil de controlar, o bien si se desea una gran eficiencia en la obtención de fibras limpias, frecuentemente es necesario un tratamiento complementario de dispersión.

#### F. Blanqueo:

Consiste en "aclarar" las fibras destintadas. Los agentes blanqueadores que se usan comúnmente son el peróxido de hidrógeno y los hidrosulfitos. También se usa hipoclorito de sodio como agente químico, sin embargo su función no es tanto blanquear, sino decolorar las fibras teñidas.

Por lo general, los agentes anteriores se incorporan directamente en el hidrapulper al principio del proceso, durante la etapa de desintegración.

#### G. Circuito de aguas:

Estos circuitos tienen como misión impedir el avance de materia orgánica y otro tipo de materiales disueltos y coloidales hacia la descarga de los efluentes.

En ésta etapa se dá tratamiento a las espumas de flotación para clarificarlas y posteriormente reciclarlas al sistema.

Otra de las funciones del circuito de aguas es poner en contacto las fibras destintadas alcalinas con las aguas ácidas y retornarlas a la máquina de papel, lo cual origina numerosos efectos fisicoquímicos, siendo el más importante la precipitación y aglomeración de partículas disueltas y en suspensión.

En ésta etapa es donde se obtiene la mayor cantidad de lodos de destinte.

El equipo y sustancias químicas que se usan en un proceso de destinte dependen del tipo de tintas que contiene el papel de desperdicio. El tamaño de las partículas de tinta que van a removerse es la base para la elección del equipo apropiado.

#### 4.2.3 Destinte por flotación

Este método aprovecha las diferencias físicas como la densidad, y las fisicoquímicas como la tensión interfacial, para separar las tintas de las fibras. (Perales, 1988)

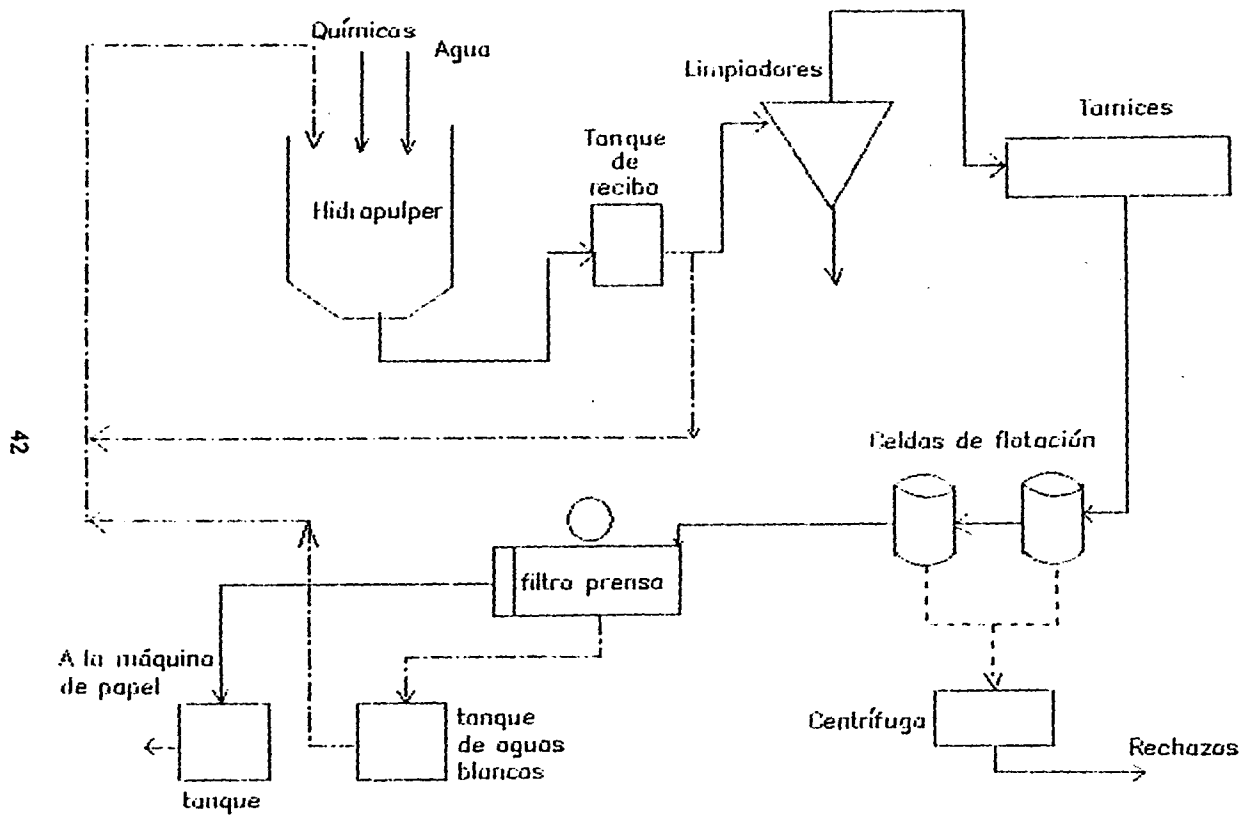
El principio del proceso de flotación consiste en provocar en el seno de las fibras la aparición de una espuma abundante que recoge la tinta y la arrastra a la superficie del líquido. La formación de espuma se obtiene introduciendo un surfactante en el sistema y aireando.

La espuma se retira de la suspensión fibrosa en la superficie, repitiendo la operación en celdas de flotación en serie, lo cual produce una alta eliminación de tintas.

La espuma que se retira contiene por lo general un 50% de cenizas y el otro 50% está formado por tintas, contaminantes ligeros, gomas y fibras.

Las pérdidas en las celdas de flotación están relacionadas con el porcentaje de cenizas en las fibras a la entrada de la primera celda. (Perales, 1988)





**Fig. 4.1 Proceso de destinte por flotación**

(Fuente: Patrick, K. Paper Recycling Strategies, Economics and Technology. 1a. ed. Editado por Tappi Co., Estados Unidos de Norteamérica, 1991, pág 157.)

#### 4.2.4 Destinte por lavado

El método de lavado está basado principalmente en las diferencias geométricas de los contaminantes con respecto a las fibras. Las fibras largas poseen longitudes de aproximadamente 1 mm, en tanto que las partículas de cargas y tintas son 30 veces menores en longitud. (Perales, 1988)

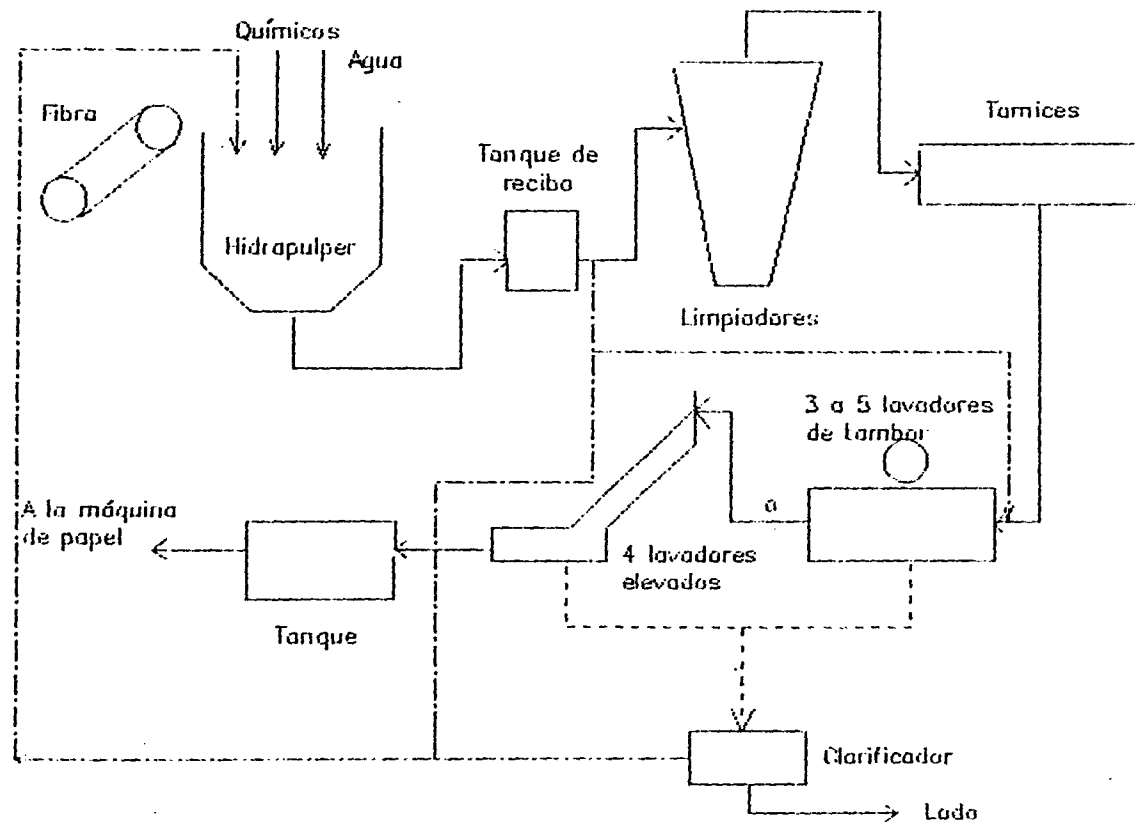
El lavado se lleva a cabo purgando el agua de la solución o eliminándola por presión para posteriormente retirarla mediante un depurador. El éxito de esta operación depende de que la tinta se encuentre bien dispersada.

Los lavadores típicos eliminan normalmente el 85% de la tinta presente, pero el proceso puede ocasionar una pérdida considerable de fibras finas.

Para remover las partículas de tinta más grandes se emplean lavadores centrífugos y tamices. Cuando las partículas son demasiado pequeñas como para removerse por medio de tamices, o muy grandes para eliminarse por lavado, es necesario emplear el sistema de flotación.

Actualmente, el desarrollo de nuevos tipos de tintas, así como la introducción de adhesivos y otros contaminantes, produce cambios constantes en los sistemas de impresión. Esto motiva el empleo de tecnologías que combinan los dos sistemas.

(Perales, 1988)



**Fig. 4.2** Proceso de destinte por lavado

(Fuente: Patrick, K. Paper Recycling Strategies, Economics and Technology. 1a. ed. Editado por Tappi Co., Estados Unidos de Norteamérica, 1991, pág. 156.)

#### 4.2.5 Establecimiento de las fórmulas de destinte

Considerando que las principales operaciones que deben llevarse a cabo para el proceso de destinte son la desfibración del material, la dispersión y la eliminación de las tintas, es necesario establecer fórmulas destintantes de acuerdo al tipo de proceso y las características específicas de las materias primas.

En general los agentes químicos que se emplean para favorecer el destinte se adicionan de manera simultánea durante el pulpeo y son fundamentalmente los siguientes: (Jaime, 1975)

- A. Un álcali para saponificar el vehículo de la tinta (NaOH, carbonato de sodio, hidróxido de calcio, etc.)
- B. Un agente tensoactivo para mantener las partículas de tinta suspendidas (jabones de sodio de ácidos grasos, silicatos de sodio, alcoholes alifáticos o sulfonados, etc.)
- C. Un agente dispersante para evitar la aglomeración de las partículas de pigmento separadas de las fibras y para emulsificar los aceites o ceras no saponificables presentes en las tintas (silicato de sodio, bentonita, sílica gel, etc.)
- D. Un agente ablandador para disolver las resinas sintéticas presentes en las tintas (solventes orgánicos, keroseno, etc.)
- E. Un modificador de los pigmentos residuales (sulfito de sodio).

En ocasiones se recomienda el uso de EDTA como agente ablandador del agua y como preservador de la actividad del peróxido de hidrógeno que se usa como blanqueador.

Durante la Conferencia Internacional de Biotecnología de la Industria de la Pulpa y el Papel en el año de 1983, Kirk propuso la aplicación de xilanasas en el tratamiento de la pulpa química para promover una interferencia en la capacidad de enlace entre las fibras, favoreciendo así la operación de pulpeo y el desprendimiento de tintas.

Las enzimas se están aplicando ya a escala comercial.  
(Say-Kyoun, 1992)

#### 4.2.6 Principales características de las tintas de impresión

Las tintas de impresión están hechas con base en una mezcla de pigmentos, barnices y solventes. Contienen además aditivos, tales como ceras, fluidizantes, plastificantes, etc., con el fin de impartirles algunas propiedades especiales; se diferencian de las pinturas por la mayor dispersión de sus pigmentos y porque el espesor de las películas que forman es mucho menor.

Las características de las tintas que se usan dependen de la técnica de impresión, la velocidad y el acabado que se requiera. El tipo de tinta también depende del papel por imprimir, su capilaridad, la calidad del relleno y su lisura.

En el caso específico del papel periódico, se requieren tintas de gran fluidez y secado rápido, ya que el papel por lo general no posee ningún recubrimiento o carga y además tiene una superficie áspera que facilita la penetración rápida de la tinta.  
(Jaime, 1975)

Las tintas empleadas para la impresión de papel periódico contienen fundamentalmente un pigmento, un vehículo (generalmente aceite de linaza), un solvente y una pequeña cantidad de fijador. Se caracterizan por un secado rápido debido a la evaporación del solvente y la adherencia mecánica al papel. (Jaime. 1975)

### 4.3 Materiales y equipo:

#### Fibras

Periódico impreso	80%
Revista	20%

#### Químicos

% (Base fibra seca)

Hidróxido de sodio al 50%	2%
Silicato de sodio al 35%	2%
Peróxido de hidrógeno	2%
EDTA	1.5%
Destintante (surfactante)	0.3%

#### Equipo

- 5 recipientes con capacidad de 5 litros c/u
- 2 recipientes con capacidad de 4 litros c/u para recolectar la espuma y el lodo de destinte
- 5 mangueras de látex selladas en uno de sus extremos y perforadas para permitir el burbujeo de aire a presión
- 5 pipetas de 10 ml.
- 1 balanza granataria
- 1 licuadora con vaso de 3 litros de capacidad
- 1 coladera con malla de plástico
- 1 tamiz para arena
- 50 bolsas de polietileno

#### 4.4 Procedimiento experimental:

##### A. Desintegración

- A.1 Pesar la cantidad de papel que se desea destintar
- A.2 Adicionar la cantidad necesaria de agua al hidrapulper para obtener una consistencia del 10% (el agua deberá calentarse previamente a 45°C.
- A.3 Agregar al agua el silicato de sodio, la sosa, el EDTA y el surfactante de acuerdo con los porcentajes establecidos. Agitar por 30 segundos.
- A.4 Adicionar lentamente el papel impreso previamente picado para facilitar su pulpeo. Terminada la adición, repulpear por 1 minuto más.
- A.5 Adicionar el peróxido de hidrógeno y continuar repulpeando durante 20 minutos.

##### B. Flotación

- B.1 Tomar la muestra desintegrada y diluirla con agua caliente (45°C) hasta obtener una consistencia de 1%.
- B.2 Iniciar la operación de flotación abriendo lentamente las llaves de aire y procurando que el burbujeo sea homogéneo.
- B.3 Recolectar la espuma de la superficie con la ayuda de la coladera y depositarla en un recipiente limpio. Repetir la operación tantas veces como sea necesario hasta observar que la pulpa de la celda esté relativamente limpia.



### C. Acondicionamiento de las muestras

- C.1 Una vez que ha finalizado el proceso de destinte, se vierte el contenido del recipiente en donde se recolectó la espuma sobre el tamiz para arena con objeto de eliminar el exceso de agua.
- C.2 El lodo húmedo de cada celda se guarda en bolsas de polietileno perfectamente etiquetadas y se conserva en refrigeración durante todo el tiempo necesario para su análisis.

### **4.5 Consideraciones al procedimiento:**

- A. La pulpa destintada no se sometió a ningún proceso de blanqueo, hiperlavado o determinación de blancura debido a que en este caso, el objetivo de la simulación fue únicamente obtener el lodo de destinte.
- B. La fórmula destintante empleada en la simulación fue similar a la que se utiliza actualmente en algunas plantas de destinte en México. Se conservaron las mismas proporciones tanto de materias primas como de reactivos en relación a las que se emplean a escala industrial.
- C. Para la implementación del sistema de destinte a nivel laboratorio, se utilizaron equipos sumamente sencillos, pero cuyo funcionamiento se basó exactamente en los mismos principios de operación que aquellos que se emplean en la industria. ( Ver tabla 4.1)
- D. Para facilitar la desintegración del periódico, se incorporó al inicio del proceso una operación de prepulpeo, en la que se efectuó únicamente la mezcla de la fibra y el agua necesaria para obtener una consistencia del 10%. Para ello se utilizó una

revolvedora para cemento de aproximadamente 1 metro cúbico de capacidad.

E. La revista se agregó a la mezcla antes de la adición de la fórmula destintante y enseguida se procedió con el pulpeo.

F. Dadas las condiciones en que se realizó la simulación, fue necesario seleccionar un surfactante apropiado. Se efectuaron pruebas con 4 surfactantes diferentes, con los siguientes criterios de selección:

- a) Tiempo necesario para remover la mayor cantidad de tinta
- b) Cantidad de fibra que se retira con la tinta
- c) Cantidad de espuma que se genera y la facilidad con que puede controlarse

Nota: Las cantidades de surfactante se mantuvieron constantes en todas las pruebas.

Se experimentó también con un detergente doméstico como surfactante.

El surfactante que se eligió fue el OJI 51. (Ver tabla 4.2)

**Tabla 4.1 Principales equipos empleados en el proceso de destinte**

EQUIPO INDUSTRIAL	EQUIPO DE LABORATORIO
Hidrapulpers	1. Revolvedora para cemento de 1 m <sup>3</sup> de capacidad 2. Licuadora de 3 litros
Celdas de flotación	Cubetas de plástico de 6 litros
Dispositivos de aereación de las celdas	Mangueras de látex selladas en su extremo inferior y perforadas para permitir el burbujeo de aire a presión
Sistema de recolección de espuma	Coladera con malla de plástico
Circuito de agua y depurador	Tamiz de malla fina para arena con marco de madera de 30 x 40 cm

**Tabla 4.2 Criterios de selección del surfactante**

SURFACTANTE	TIEMPO DE DESTINTE	CANTIDAD DE FIBRA REMOVIDA	CANTIDAD DE ESPUMA
OJI 51	< 60 min	regular	regular
OJI 150	< 60 min	alta	regular
OJI 200	< 45 min	alta	muy alta
DI 685	> 60 min	regular	regular
DETERGENTE	>120 min	baja	baja

## CAPITULO 5

## **5. METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACION DE LOS LODOS DE DESTINTE**

### **5.1 Objetivos:**

5.1.1 Proponer una metodología que permita la caracterización rápida y sistemática de los lodos de destinte de las fábricas de papel reciclado.

5.1.2 Proponer un programa general de actividades y la ruta crítica para la caracterización del residuo.

5.1.3 Establecer un sistema sencillo de control sobre el avance en la caracterización.

### **5.2 Presentación de la metodología:**

Ante la necesidad de los fabricantes de papel reciclado de tener completamente caracterizados sus efluentes, y la premura de tiempo con que en muchas ocasiones deben obtenerse estos datos, se propone una metodología basada en una de las principales herramientas de la ingeniería: la administración de proyectos.

Con esta metodología se pretende:

- A. Realizar la caracterización del residuo en un tiempo de ejecución mínimo, respetando los costos estimados.
- B. Desarrollar cada una de las actividades requeridas con la mayor calidad posible.

Para cumplir con los puntos anteriores, se sugiere el uso de un diagrama de Gantt y una red de ruta crítica. Con éstos documentos de control se podrá vigilar que el tiempo consumido, calidad y costo se mantengan dentro de límites razonables.

El porcentaje de avance de la caracterización se establecerá mediante una curva de avance que deberá construirse a medida que se van concluyendo las actividades programadas, teniendo como referencia una curva teórica.

Por otra parte, el seguimiento cuidadoso de los procedimientos y técnicas de análisis permitirá obtener la calidad requerida en las determinaciones que se efectúen.

Es necesario hacer notar que en este caso, el costo del análisis no se fijará en función del consumo de reactivos, sino en función del total de horas empleadas para efectuar la caracterización.

### **5.3 Fundamentos teóricos:**

#### **5.3.1 Métodos de administración**

Existen distintas herramientas que permiten administrar de manera efectiva un proyecto. Dos de estas técnicas tienen mucho éxito en la industria: El método de la ruta crítica y el PERT (siglas en inglés para evaluación de programas y técnicas de revisión).

El método de la ruta crítica y el PERT son armas poderosas para la administración de un proyecto cuando todo lo que se lleva a cabo se realiza por primera vez. Estos métodos son útiles también para la planeación de un proyecto, pues al no existir antecedentes, es necesario organizar el trabajo de tal manera que no tome ni más tiempo ni más dinero del estrictamente necesario. (Corzo, 1982)

El sistema PERT es una herramienta administrativa que permite determinar, de manera precisa, en cualquier punto de la vida de un proyecto, cual es el estatus del mismo y donde se hallan las áreas de problema. (Hajek, 1984)

El PERT se fundamenta en la división del proyecto en tareas independientes, detalladas y calendarizadas que se ilustran dentro de un diagrama en forma de red. Se requiere implementar además un sistema de reporte continuo que permita comparar el desarrollo actual de las actividades del proyecto con respecto al programa teórico. (Hajek, 1984)

La ruta crítica de un programa de trabajo PERT refleja la secuencia de actividades que requiere el período de tiempo más largo para su realización. (Hajek, 1984)

Por lo general se emplea el método de la ruta crítica en los proyectos en donde se ha tenido más experiencia y los tiempos para cada actividad ya están bastante definidos. El método PERT se emplea en aquellos proyectos donde no se conoce con certeza la duración de cada actividad y por tanto hay que hacer una estimación con cierto nivel de seguridad. (Corzo, 1982)

Hoy en día existe una tendencia para mezclar estos dos métodos y llamarlos de manera conjunta "métodos de planeación tipo PERT". (Hajek, 1984)

### 5.3.2 Método para el establecimiento de la ruta crítica

La ruta crítica es la secuencia de actividades y de eventos en donde el tiempo libre es mínimo. La duración de la ruta crítica es el tiempo mínimo requerido para terminar un proyecto; éste tiempo permite determinar con certeza la fecha de terminación del mismo.

Los términos más importantes relacionados con la ruta crítica son:  
(Corzo, 1982)

**ACTIVIDAD:** Es la parte individual de trabajo que hay que efectuar en un proyecto; es un trabajo único con una duración determinada.

Todas las actividades deben estar conectadas entre sí y dependen a su vez de una o más actividades. La actividad se representa por una flecha. El tiempo que dura la actividad se indica mediante números sobre las flechas.

**EVENTO:** Es el punto de partida de una actividad y sucede solo cuando todas las actividades que le preceden han llegado a su término. Se representan mediante círculos

**RED:** Es el conjunto de actividades y eventos que reflejan gráficamente el proyecto.

**ACTIVIDAD VIRTUAL:** Es una actividad que dura un tiempo igual a cero. Como cada actividad debe estar precedida por un evento y debe concluir con otro evento, a veces es necesario usar una actividad virtual para satisfacer la regla anterior. Esta actividad se indica mediante una flecha punteada.



TIEMPO LIBRE U      Es el tiempo que existe entre el final de una actividad y el principio de la siguiente.

HOLGURA:

El primer paso para la elaboración de una red de ruta crítica es la elaboración de la lista de actividades, en la cual se citan todas las actividades que deberán desarrollarse a lo largo del proyecto y sus correspondientes tiempos estimados de ejecución.

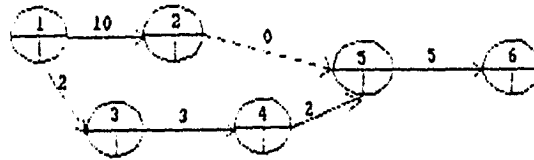
A continuación se presenta un ejemplo sencillo que ilustra la manera en que se construye una red de ruta crítica. (Corzo, 1982)

1.- Se genera una lista o programa general de actividades

CHEQUEO DEL EQUIPO DE ABSORCION ATOMICA

ACT.	DESCRIPCION DEL EVENTO	t
1-2	Encender el equipo para precalentamiento	10 min
2-3	Verificar la presión en el tanque de acetileno	2 min
3-4	Verificar que el quemador esté limpio	3 min
4-5	Verificar que no haya variaciones de voltaje	2 min
5-6	Preparar el material necesario para iniciar las determinaciones	5 min

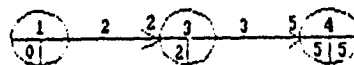
2.- Suponiendo que el chequeo termina cuando la lámpara está suficientemente caliente, se genera la red de la siguiente manera:



**Figura No.1**

Las actividades se representan mediante flechas y los eventos mediante círculos. Los números sobre las flechas corresponden al tiempo de duración de la actividad.

Para calcular el tiempo total que se requiere para efectuar el chequeo completo se hace una suma de los tiempos necesarios para cada actividad individual siguiendo la red. Por ejemplo, suponiendo que el chequeo consiste exclusivamente en verificar la presión en el tanque de acetileno y que el quemador se encuentre limpio, se obtiene la siguiente figura:



**Figura No. 2**

En la sección inferior izquierda del primer evento se encuentra un cero. Este es el tiempo en el que empieza la actividad que sigue. Se llama tiempo más remoto para empezar, puesto que la actividad debe empezar precisamente en ese instante y no después.

En la punta de la flecha hay un 2. Este es el tiempo más próximo para terminar. La actividad dura dos minutos y no menos.

En el evento 3 se encuentra nuevamente un 2. Este es el tiempo más remoto para iniciar la actividad 3-4. Se suman 3 minutos y se obtiene la duración total de las actividades equivalentes a 5 minutos. Este 5 se pasa a la sección inferior derecha del evento 4 para indicar que ese es el tiempo de terminación de las dos actividades.

Por medio de ésta técnica se puede calcular el tiempo total para la realización de un proyecto.

Es necesario aclarar que en la red de actividades de la primera figura se nota que la actividad 2-5 es una actividad virtual, se indica con línea punteada y el tiempo es equivalente a cero. También, en el evento 5 convergen dos flechas con tiempos de terminación más próximos distintos. Se usa el tiempo mayor ya que la actividad siguiente no puede iniciarse hasta que hayan terminado todas las actividades que le preceden.

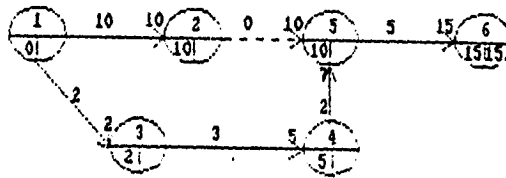


Figura No. 3

3. Para establecer la ruta crítica se hacen cálculos semejantes, con la única diferencia de que se harán en el sentido inverso, es decir, tomando el tiempo total del proyecto y restando los tiempos de cada actividad.

Se toma el evento 6 como punto de partida y el tiempo 15 como el tiempo más remoto para terminar todas las actividades precedentes.

El evento 5 puede regresar por 2 caminos: hacia el evento 4 y hacia el evento 2 usando las mismas operaciones.

Al llegar al evento 1 por dos caminos, se introduce el 0 porque es el tiempo más remoto para terminar las actividades que preceden, esto es, se requiere empezar en cero todas las actividades.

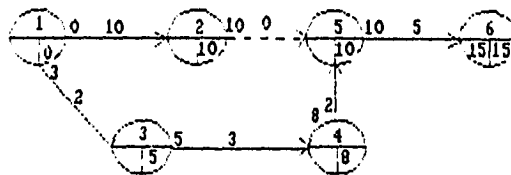
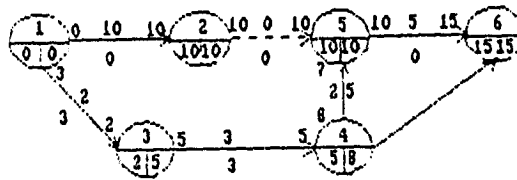


Figura No. 4

Combinando las figuras 3 y 4 se obtiene la ruta crítica en la que también se señala la holgura.

El cálculo de la holgura es fundamental para el establecimiento de la ruta crítica, que será aquella secuencia de actividades en que no hay tiempos libres. Esto se hace tomando el tiempo más remoto para terminar, menos el tiempo más próximo para terminar; es decir, el tiempo en que se puede terminar menos el tiempo en que la actividad termina realmente.



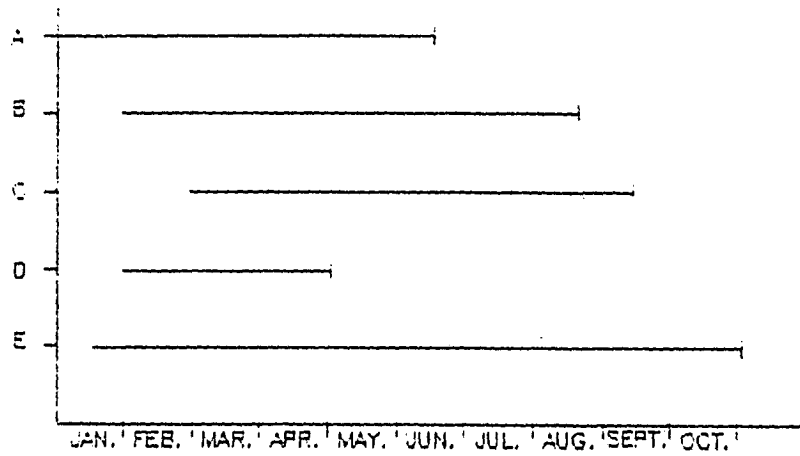
**Figura No. 5**

Se puede ver que la actividad 1-3 o la 3-4 pueden retrasarse 3 minutos sin afectar el tiempo total.

4. Además de usar un diagrama de redes para determinar la secuencia de actividades de un proyecto, se puede utilizar otro dispositivo visual que permite evaluar el progreso de un proyecto y calcular los recursos económicos o humanos que se deben asignar periódicamente al proyecto. Este dispositivo de programación de recursos se conoce como diagrama de barras o diagrama de Gantt.

En los diagramas de Gantt se indica igualmente la secuencia que se debe seguir para efectuar el proyecto, pero la interdependencia de las actividades no es tan clara como en el diagrama de redes de la ruta crítica. Sin embargo, estos diagramas permiten determinar por inspección visual, el número de personas que están trabajando simultáneamente en diferentes actividades. (Corzo, 1982)

Un ejemplo de diagrama de Gantt es el siguiente:



**Fig. 6 Diagrama de Gantt**

(Fuente: Koontz, E. Essentials of Management. 2a. ed., Editorial Mc. Graw Hill, Estados Unidos de Norteamérica, 1978, pág. 500.)

#### 5.4 Pruebas a efectuar y técnicas de análisis

La caracterización tiene como principal objetivo determinar la peligrosidad del residuo, sin embargo, se efectuarán las determinaciones de las propiedades físicas generales del mismo, que serán de utilidad en el momento de establecer su mejor forma de disposición y/o reutilización.

Las pruebas que deberán efectuarse son las siguientes:

1. % de humedad
2. % de sólidos secos
3. % de sólidos fijos ( % de cenizas o % de inorgánicos)
4. Densidad de la muestra húmeda
5. Densidad de la muestra seca
6. Poder calorífico superior
7. pH
8. Determinación del contenido de metales totales (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sn y Zn)
9. Determinación del contenido total de Na, K, Mn, y Ca
10. Prueba de extracción de constituyentes tóxicos (PECT) de acuerdo a la NOM-CRP-002-ECOL/93.

Las técnicas instrumentales que se requieren para la caracterización son:

1. Espectrofotometría de absorción atómica
2. Espectrofotometría de flama
3. Calorimetría

Con objeto de agilizar la preparación de muestras para el análisis, se recomienda el empleo del método de digestión ácida asistida por microondas.

Nota: En la sección de anexos se detalla cada una de las técnicas anteriores.

#### 5.5 Consideraciones previas

- A. Se parte del hecho de que el laboratorio donde se llevará a cabo la caracterización cuenta con todo el equipo, material y reactivos necesarios para efectuar cada una de las pruebas.
- B. El laboratorio cuenta con un laboratorista (independientemente del personal que realizará la caracterización) que se hará cargo de la preparación de soluciones, estándares, lavado de material y preparación de equipos.
- C. El personal responsable de la caracterización trabajará por lo menos 8 horas diarias y 5 días a la semana.
- D. El personal está perfectamente capacitado en el manejo de los equipos y técnicas de laboratorio que se requieren.
- E. El mismo personal que realizará la caracterización será el encargado de la evaluación de resultados y de emitir el reporte final.



### 5.6 Programa general de actividades

EVENTO (ACTIVIDAD)	DESCRIPCION	TIEMPO DE EJECUCION
A (1 - 2)	Acondicionamiento de las muestras de lodo para la caracterización	4 hrs
B (1 - 3)	Preparación del material a peso constante	10 hrs
C (3 - 4)	Determinación de % de humedad	10 hrs
D (4 - 5)	Determinación de % de inorgánicos	6 hrs
E (3 - 6)	Densidad de las muestras húmedas	53 hrs
F (6 - 7)	Densidad de las muestras secas	10 hrs
G (7 - 8)	Preparación de las muestras para la determinación de poder calorífico superior	10 hrs
H (8 - 9)	Determinaciones de NO <sub>x</sub> en los gases de combustión y poder calorífico superior	80 hrs
I (9 -10)	Determinación de % de azufre en las muestras	40 hrs
J (1 -11)	Lavado de material con HNO <sub>3</sub> para almacenamiento de las muestras digeridas	4 hrs
K (8 -17)	Digestión de las muestras por microondas para la determinación de metales y otros elementos totales	18 hrs
L (1 -12)	Determinación de % de sólidos secos	5 hrs

M (12-13)	Determinación del pH en las muestras	5 hrs
N (13-14)	Preparación de las muestras para PECT	5 hrs
O (14-15)	Obtención de los lixiviados de acuerdo con el PECT	90 hrs
P (15-16)	Filtración de los lixiviados para su digestión por microondas	5 hrs
Q (16-17)	Digestión de los lixiviados por microondas	18 hrs
R (17-18)	Determinación de sodio y potasio por espectrofotometría de flama	5 hrs
S (18-19)	Determinación de metales y otros elementos por espectrofotometría de absorción atómica	25 hrs
T (19-20)	Análisis de resultados	16 hrs
U (10-20)	Análisis de resultados	16 hrs
V (5-20)	Análisis de resultados	16 hrs
W (20-21)	Elaboración del reporte final	40 hrs
TOTAL DE HORAS ESTIMADO		491 hrs

A continuación se detalla cada una de las actividades mencionadas:

**A. Acondicionamiento de las muestras de lodo para la caracterización**

1. Homogeneizar perfectamente el contenido de cada una de las muestras de lodo.
2. Numerar y etiquetar las bolsas en las que permanecerá el lodo almacenado en refrigeración.

**B. Preparación del material a peso constante**

1. Lavar el material con agua y jabón y secarlo con un trapo limpio y seco.
2. Colocar el material en la mufla graduada a 650°C durante 15 minutos.
3. Apagar la mufla y esperar 30 minutos para que el material disminuya su temperatura
4. Pasar el material a una estufa precalentada a 100 °C y dejarlo por 15 minutos.
5. Colocar el material en un desecador por espacio de 90 minutos.
6. Registrar el peso del material seco y volverlo a introducir en el desecador

**C. Determinación del % de humedad**

1. Pesar 10 g. de muestra en cada crisol
2. Introducir los crisoles con muestra a la estufa por 24 horas
3. Extraer las muestras de la estufa y colocarlas en el desecador durante una hora.
4. Retirar los crisoles del desecador, pesarlos y regresarlos nuevamente al desecador.

**D. Determinación del % de inorgánicos**

1. Colocar las muestras secas en la mufla por 15 minutos
2. Apagar la mufla y esperar a que los crisoles se enfrien por espacio de 30 minutos.
3. Pasar las muestras al desecador y dejarlas enfriar por 1 hora.
4. Pesar los crisoles con las cenizas

**E. Densidad de las muestras húmedas**

1. Colocar los vasos de precipitado en la estufa a 100°C durante 1 hora.
2. Retirar los vasos de la estufa y pasarlos al desecador, donde deberán permanecer durante 1 hora.
3. Pesar los vasos vacíos
4. Llenar los vasos con muestra húmeda perfectamente homogeneizada y pesarlos

**F. Densidad de las muestras secas**

1. Secar la muestra en la estufa durante 24 horas
2. Retirar las muestras de la estufa y colocarlas en el desecador durante 1 hora.
3. Remover el sólido del vaso sin destruir el cilindro formado.
4. Pesar el cilindro de lodo seco.
5. Medir la altura y el diámetro de cada cilindro
6. Registrar el volumen de vaso ocupado por el lodo seco.

**G. Preparación de las muestras para la determinación de poder calorífico superior**

1. Pulverizar cada uno de los cilindros obtenidos en la determinación de la densidad de la muestra seca. Debe obtenerse un polvo fino con el cual puedan formarse pastillas para la determinación del poder calorífico.
2. Etiquetar perfectamente cada muestra.

**H. Determinación de NOx en los gases de combustión y poder calorífico superior**

1. Formar por lo menos 2 pastillas de lodo pulverizado de aproximadamente 1 cm. de alto.
2. Pesar las pastillas
3. Atar una de las pastillas con alambre de ignición y fijarla a los electrodos de la bomba calorimétrica
4. Adicionar 1 ml. de agua destilada a la bomba y cerrar cuidadosamente el vaso.
5. Llenar el vaso con oxígeno para garantizar una presión interna de 25 atm.
6. Colocar el vaso dentro del baño de agua y conectar los electrodos a la fuente de poder.
7. Colocar la tapa del calorímetro, colocar el termómetro en su sitio y accionar el motor del agitador.
8. Mantener el sistema agitado durante 5 minutos y posteriormente oprimir el botón de ignición.
9. Registrar la temperatura del baño de agua cada 30 segundos hasta obtener un valor máximo.
10. Desconectar la fuente de poder y abrir el calorímetro.
11. Sacar el vaso y ventear los gases contenidos en la bomba.
12. Destapar la bomba calorimétrica y lavarla con pequeñas cantidades de agua destilada hasta que no quede más ácido en ella.
13. Titular el agua de lavado con una solución de carbonato de sodio 0.0725 N usando anaranjado de metilo como indicador.
14. Medir el alambre de ignición residual.

#### I. Determinación del % de azufre en las muestras

1. Agregar 10 ml de hidróxido de amonio concentrado a la solución titulada de la actividad H y calentar hasta ebullición.
2. Filtrar con papel de filtración rápida enjuagando con agua caliente hasta recolectar aproximadamente 250 ml.
3. Neutralizar con HCl concentrado y agregar 2 ml. en exceso.
4. Agregar 10 ml. de agua de bromo saturada
5. Evaporar en la parrilla hasta concentrar 200 ml. y entonces agregar 10 ml de una solución de cloruro de bario al 10%.
6. Concentrar hasta 75 ml y dejar enfriar por una hora tapando el vaso de precipitados para evitar contaminación.
7. Filtrar la solución concentrada en papel analítico enjuagando con agua destilada y transferir el filtro con el precipitado a un crisol previamente tarado.
8. Introducir el crisol con el papel a la estufa a 50 °C para que se seque durante 15 minutos.
9. Pasar los crisoles a la mufla a 950°C durante 20 minutos.
10. Esperar 30 minutos a que se enfrie la mufla y transpasar los crisoles a la estufa por 15 minutos más.
11. Transpasar los crisoles al desecador y dejarlos allí por espacio de una hora.
12. Pesar los crisoles con las cenizas.

#### J. Lavado del material con HNO<sub>3</sub>.

1. Preparar una solución de HNO<sub>3</sub> al 10%
2. Lavar perfectamente todos los recipientes de plástico con jabón neutro. Enjuagar con agua destilada.
3. Lavar nuevamente cada recipiente con la solución de HNO<sub>3</sub>
4. Secar los recipientes en la estufa a 35 °C.

**K. Digestión de las muestras por microondas para la determinación de metales y otros elementos totales.**

1. Lavar y secar cuidadosamente los vasos de teflón.
2. Pesar 0.5 gramos de muestra pulverizada en cada vaso.
3. Adicionar los ácidos requeridos para efectuar la digestión.
4. Sellar los vasos y colocarlos en el horno de microondas.
5. Ejecutar el programa de digestión.
6. Una vez digeridas las muestras, aforar el contenido de cada vaso a 25 ml. y transferir el líquido a un envase etiquetado.

**L. Determinación del % de sólidos secos.**

1. Pesar 100 gramos de lodo húmedo
2. Filtrar el lodo a vacío hasta que quede seco
3. Medir y registrar el volumen del líquido

**M. Determinación del pH**

1. Pesar 5 gramos de lodo y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 100 ml.
2. Agregar 96.5 ml. de agua destilada
3. Agitar vigorosamente por 5 minutos con un agitador magnético.
4. Medir el pH con un potenciómetro. Registrar el valor obtenido.
5. Añadir 3.5 ml de HCl 1 N.
6. Calentar a 50 °C y mantener esta temperatura durante 10 minutos con agitación.
7. Medir y registrar el pH.

**N. Preparación de las muestras para PECT.**

1. Pesar 25 gramos del lodo seco obtenido en la determinación del % de sólidos secos y colocarlo en un recipiente del tamaño requerido por el equipo de lixiviación rotatorio.
2. Agregar la cantidad necesaria de "fluido de extracción" para cada muestra.
3. Sellar herméticamente cada recipiente para evitar escurrimiento de líquido durante la agitación.

**O. Obtención de los lixiviados.**

1. Colocar los recipientes que contienen el lodo de destinte con el "fluido de extracción" en el aparato rotatorio y dejarlo en operación durante 18 horas continuas.

**P. Filtración de los lixiviados para su digestión por microondas.**

1. Abrir lentamente cada uno de los recipientes que contienen el lodo y el lixiviado y filtrar el contenido al vacío.
2. Acidificar el líquido colectado hasta un pH de 1 con  $\text{HNO}_3$  al 10%.
3. Colectar 50 ml del lixiviado en un recipiente previamente lavado con ácido nítrico al 10% y etiquetarlo.

**Q. Digestión de los lixiviados por microondas**

1. Ver procedimiento para la actividad K



**R. Determinación de sodio y potasio por espectrofotometría de flama.**

1. Preparar las curvas de calibración para Na y K dentro de los rangos de concentración apropiados para los dos tipos de soluciones digeridas.
2. Leer el % de transmitancia para sodio y potasio en cada una de las muestras.

**S. Determinación de metales y otros elementos por absorción atómica.**

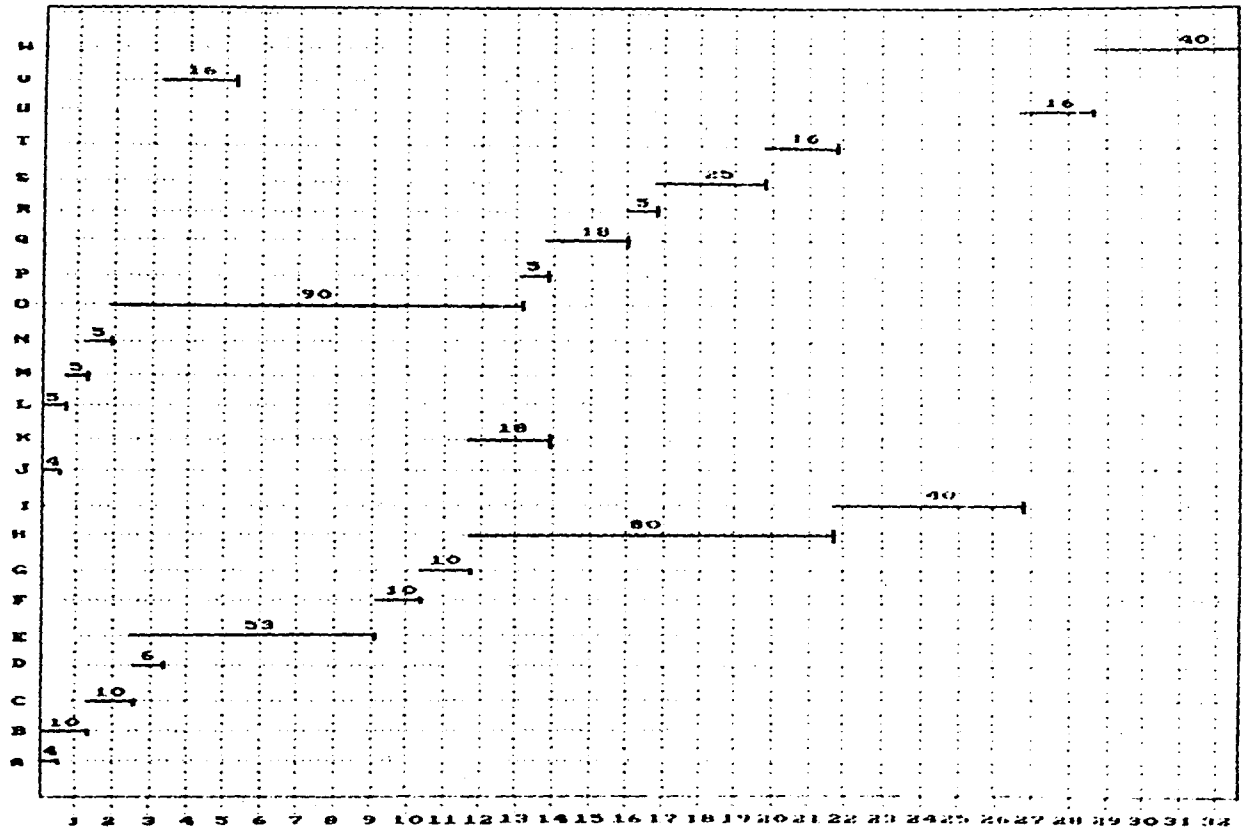
1. Preparar soluciones estándar de diferentes concentraciones para cada uno de los elementos que se desea determinar.
2. Encender y calibrar el equipo de absorción atómica de acuerdo a las condiciones requeridas para cada elemento por determinar.
3. Leer directamente la concentración en partes por millón del elemento que se desea determinar.

**T. U. V. Análisis de resultados**

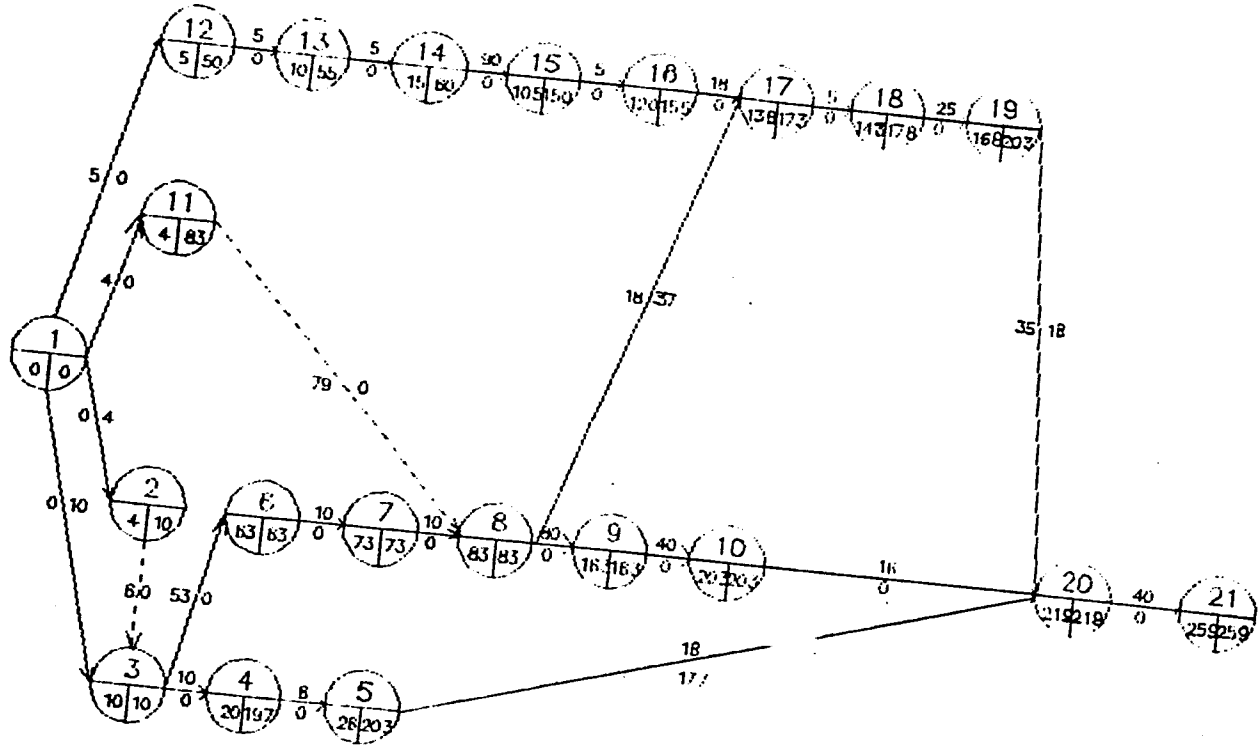
1. Realizar los cálculos necesarios para obtener el valor de los parámetros que se determinaron
2. Tabular y graficar los datos
3. Realizar un análisis estadístico de los datos
4. Comparar los resultados obtenidos con los valores máximos permisibles de contaminantes que marca la legislación ambiental vigente.

**W. Elaboración del reporte final**

1. Integrar un documento que muestre los resultados completos de la caracterización, el análisis de los mismos y los comentarios y observaciones pertinentes.



5.7 Diagrama de Gantt



5.8 Red de Ruta Crítica

### 5.9 Control y seguimiento

Con objeto de contar con un instrumento que permita dar seguimiento a la caracterización, se propone el uso de una curva de avance que deberá trazarse a medida que se van completando las actividades programadas. La curva real puede compararse con la curva teórica, que está basada en los tiempos estimados de ejecución.

El total de horas estimadas para completar la caracterización (en este caso 491 horas) corresponde al 100% de avance, de tal manera que para obtener el porcentaje de avance en un momento determinado, únicamente es necesario multiplicar el total de horas trabajadas por 100 y dividir entre 491.

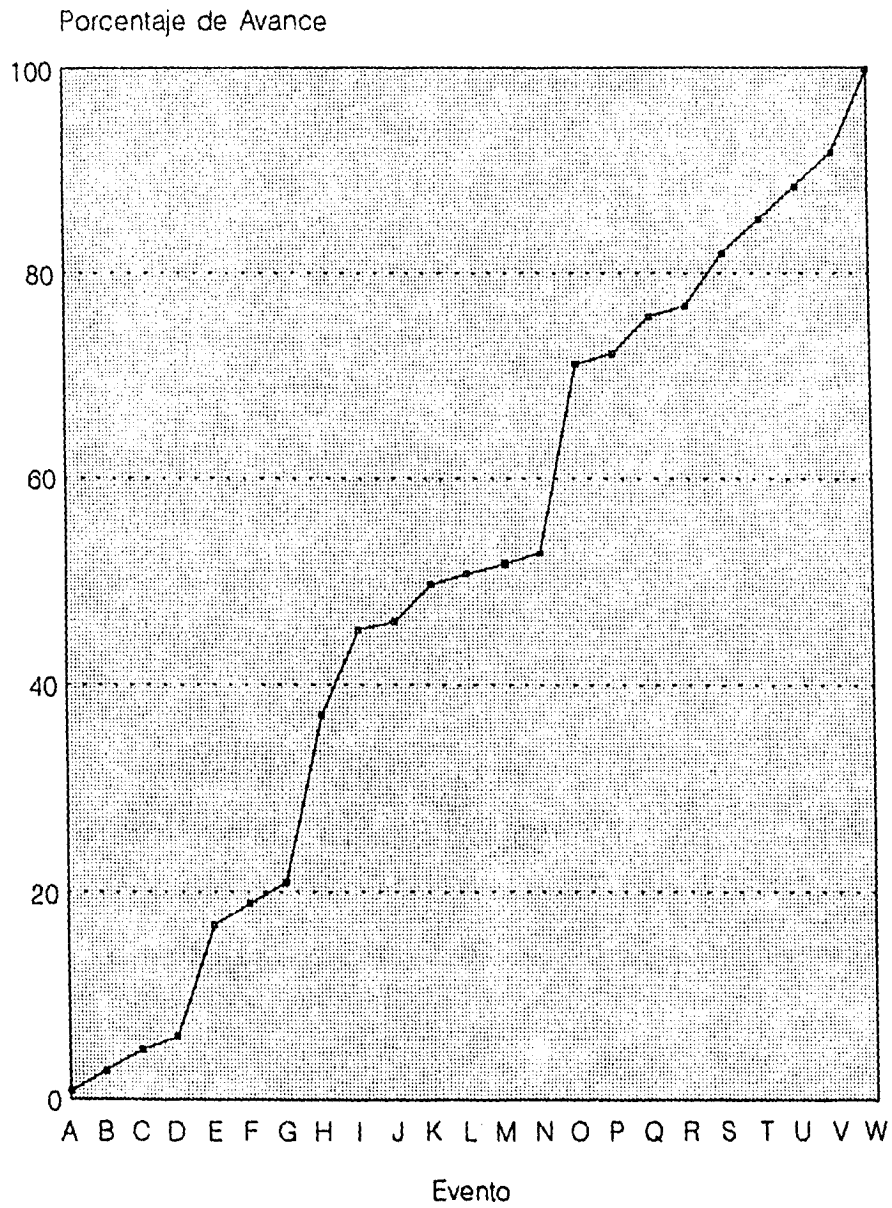
Tabla 5.1 Cálculo de la curva de avance teórica

ACTIVIDAD	TIEMPO DE EJECUCION	PORCENTAJE DE AVANCE
A	4 hrs	0.8147
B	10 hrs	2.0366
C	10 hrs	2.0366
D	6 hrs	1.2220
E	53 hrs	10.7943
F	10 hrs	2.0366
G	10 hrs	2.0366
H	80 hrs	16.1466
I	40 hrs	8.1466
J	4 hrs	0.8147
K	18 hrs	3.6660

L	5 hrs	1.0183
M	5 hrs	1.0183
N	5 hrs	1.0183
O	90 hrs	18.3299
P	5 hrs	1.0183
Q	18 hrs	3.6660
R	5 hrs	1.0183
S	25 hrs	5.0916
T	16 hrs	3.2586
U	16 hrs	3.2586
V	16 hrs	3.2586
W	40 hrs	8.1466
TOTAL	491 hrs	100.0 %

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

**Gráfica 5.9.1 Curva de Avance Teórica**



### 5.10 Conclusiones y recomendaciones

La ruta crítica o secuencia de actividades que requiere el mayor tiempo para su culminación es la que incluye las determinaciones del poder calorífico superior y de metales y otros elementos en las muestras totales.

Se tienen 3 secuencias de actividades bien definidas, las cuales pueden llevarse a cabo de manera simultánea.

Aparentemente se requieren 3 personas para realizar la caracterización, sin embargo, la holgura total en las dos series de actividades paralelas a la ruta crítica dan tiempo suficiente para concluir el total de las actividades entre dos personas en un total de 259 horas.

La determinación de la peligrosidad del residuo, estrictamente como lo marca la NOM-CRP-002-ECOL/1993, cuando se realiza solo para compuestos inorgánicos, se reduce a la cuantificación de Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb y Se. Esta prueba tomaría un máximo de 224 horas y puede realizarse por una sola persona.

El avance de la caracterización en un momento dado, puede contabilizarse de manera efectiva a través del cálculo del porcentaje total correspondiente a las actividades que ya se han finalizado y comparando la curva resultante con la curva teórica.

Es necesario señalar que para que éste instrumento de control cumpla con el objetivo para el cual se propone, el trazado de la curva de avance real debe hacerse diariamente al finalizar las labores.

No se recomienda el cálculo del porcentaje de avance mediante la suma del total de horas trabajadas puesto que esto no garantiza que realmente exista un avance en el proyecto.

La metodología y los tiempos de ejecución están basados en la experiencia personal, por lo que pueden variar dependiendo de la experiencia y habilidad de quienes realicen la caracterización.

El diagrama de Gantt y el programa general de actividades son útiles también para determinar los tiempos estimados de ejecución y las secuencias de posibles para otras series de actividades que deseen realizarse de manera independiente.



## CAPITULO 6

## **6. CARACTERIZACION DE LOS LODOS DE DESTINTE**

### **6.1 Objetivos:**

6.1.1 Realizar la determinación de algunas propiedades físicas generales, calor de combustión y contenido de metales y otros elementos totales para los lodos obtenidos en el laboratorio a través de la simulación del proceso de destinte de papel periódico.

6.1.2 Establecer si los lodos de destinte se consideran como residuos peligrosos de acuerdo con la NOM-CRP-002-ECOL/1993.

6.1.3 Proponer diferentes alternativas de reutilización y disposición para los lodos de destinte con base en los resultados de la caracterización.

### **6.2 Consideraciones generales:**

En este capítulo se presentan los resultados de la caracterización de los lodos obtenidos en el laboratorio mediante el procedimiento citado en el capítulo 4.

Las pruebas que se efectuaron, así como las correspondientes técnicas de análisis son las mismas que se señalan en la metodología para la caracterización de los lodos que se propuso en el capítulo 5.

#### **Pruebas realizadas:**

- A. Determinación del % de humedad
- B. Determinación del % de sólidos secos
- C. Determinación del % de sólidos fijos

- D. Densidad de las muestras húmedas
- E. Densidad de las muestras secas
- F. Poder calorífico superior
- G. pH
- I. Determinación del contenido de metales y otros elementos totales
- J. Determinación del contenido de metales y otros elementos en los lixiviados (PECT).

Técnicas instrumentales:

- A. Espectrofotometría de flama
- B. Espectrofotometría de absorción atómica
- C. Calorimetría

Así mismo, la preparación de las muestras para el análisis de metales y otros elementos se llevó a cabo mediante el método de digestión ácida asistida por microondas.

Es necesario recordar que la caracterización se efectuó para un total de 30 muestras de lodo de destinte procedentes de 30 celdas de flotación distintas, empleando el surfactante clave OJI-51 en la formulación destintante.

Se incluyen también los resultados de la caracterización de algunas muestras cuya formulación destintante difiere únicamente en el tipo de surfactante utilizado (OJI-200 y detergente doméstico).

Nota: En el anexo E se incluye un análisis estadístico más detallado de los datos obtenidos.

Los resultados de la caracterización se muestran en una serie de tablas y gráficas donde, para fines prácticos se empleó la siguiente nomenclatura:

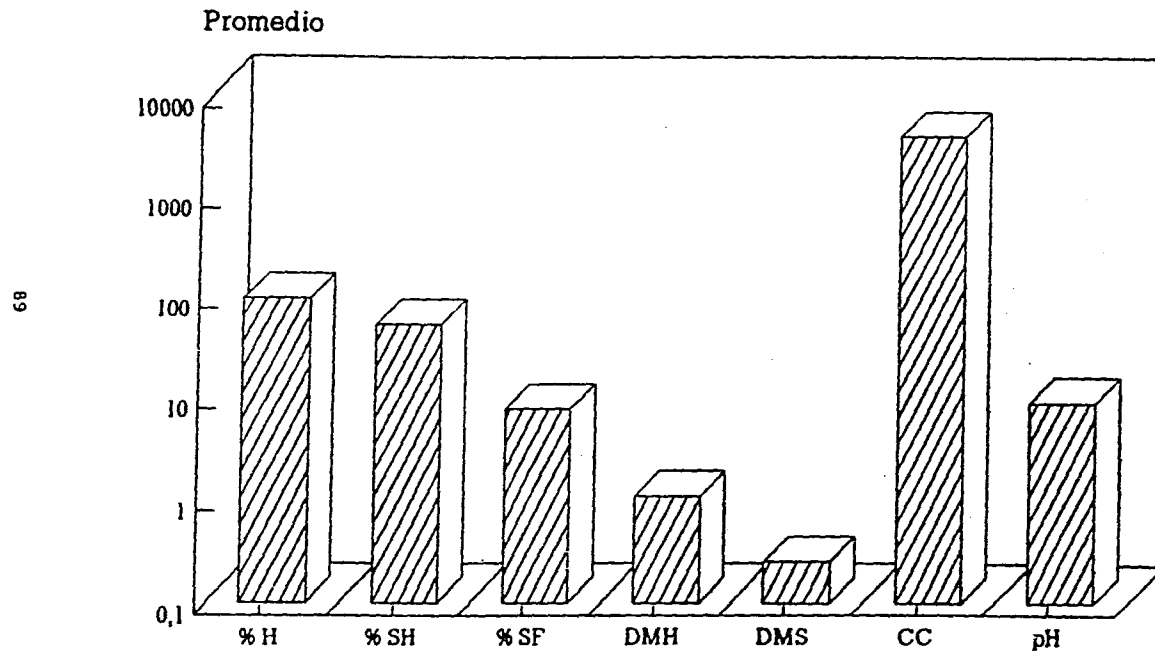
ABREVIATURA	SIGNIFICADO	OBSERVACIONES
% H	Porcentaje de humedad	% en peso
% SS	Porcentaje de sólidos secos	% en peso
% SF	Porcentaje de sólidos fijos	% en peso
DMH	Densidad de la muestra húmeda	g/cm <sup>3</sup>
DMS	Densidad de la muestra seca	g/cm <sup>3</sup>
CC	Calor de combustión	cal/g
pH	Potencial de hidrógeno	
Lixiv.	Lixiviado	
OJI 51	Surfactante clave OJI 51	
OJI 200	Surfactante clave OJI 200	
D.D	Detergente doméstico	
N.D	Concentración no detectada	
N.C	No calculable	

### 6.3 Tablas de resultados y gráficas:

Tabla 6.3.1 Resultados de la caracterización de los lodos de destinte.

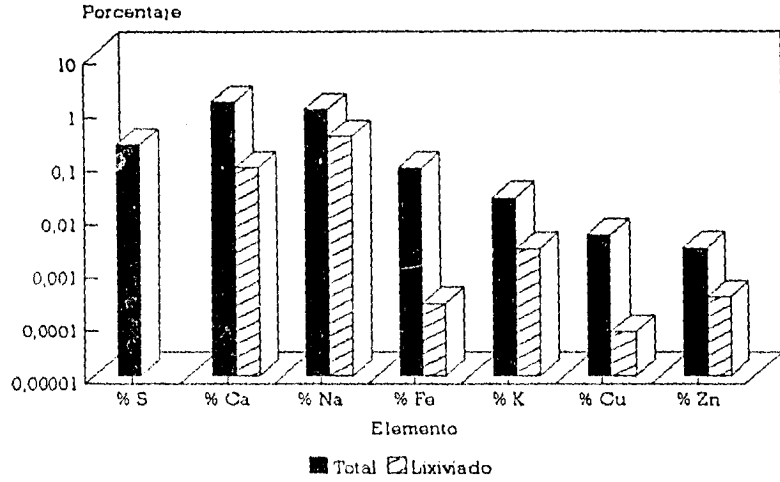
PARAMETRO	PROMEDIO
% de humedad	97.8636
% de sólidos húmedos	53.3333
% de sólidos fijos	7.6261
Densidad de la muestra húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.0712
Densidad de la muestra seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.2448
Calor de combustión (cal/g)	3939.6760
pH	8.8
% azufre total	0.2198
% cobre total	4.5210 E-3
% zinc total	2.5336 E-3
% níquel total	1.6326 E-3
% cromo total	2.2920 E-3
% plomo total	4.4821 E-4
% cadmio total	9.4969 E-5
% hierro total	7.8820 E-2
% manganeso total	1.1873 E-3
% selenio total	1.5766 E-3
% calcio total	1.3788
% aluminio total	9.3990 E-4
% potasio total	2.2183 E-2
% sodio total	1.0063
% cobre lixiviado	6.8143 E-5
% zinc lixiviado	3.1006 E-4
% níquel lixiviado	1.3900 E-4
% cromo lixiviado	1.8550 E-5
% plomo lixiviado	1.3646 E-4
% cadmio lixiviado	3.4493 E-5
% hierro lixiviado	2.3573 E-4
% manganeso lixiviado	1.1103 E-5
% selenio lixiviado	1.0853 E-4
% calcio lixiviado	0.0816
% aluminio lixivado	8.4695 E-4
% potasio lixiviado	2.4570 E-3
% sodio lixiviado	0.3136

Gráfica 6.3.1.1 Resultados generales  
Propiedades físicas y químicas



% H Porcentaje de humedad, %SH Porcentaje de sólidos húmedos, %SF Porcentaje de sólidos fijos,  
DMH Densidad de la muestra húmeda, DMS Densidad de la muestra seca  
CC Calor de combustión, pH Potencial de hidrógeno

**Gráfica 6.3.1.2 Resultados generales  
Metales y otros elementos 1a. parte**



**Gráfica 6.3.1.3 Resultados generales  
Metales y otros elementos 2a. parte**

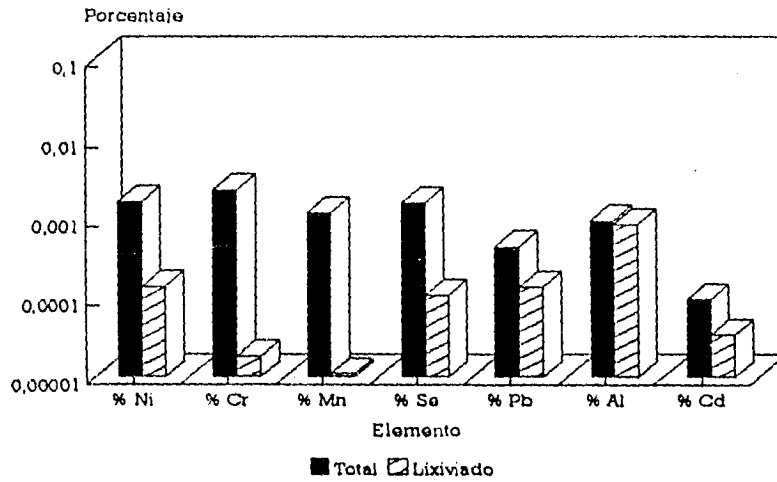
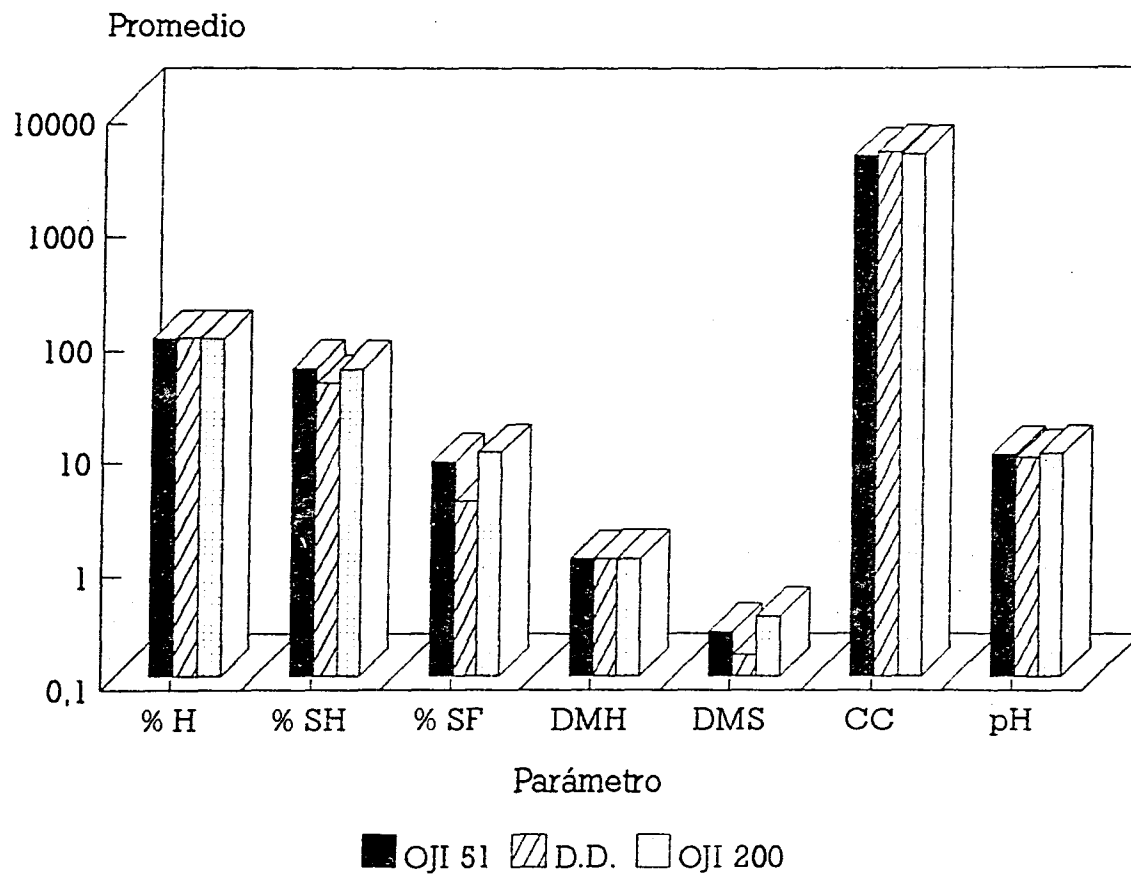


Tabla 6.3.2 Resultados de la caracterización.  
Diferentes surfactantes.

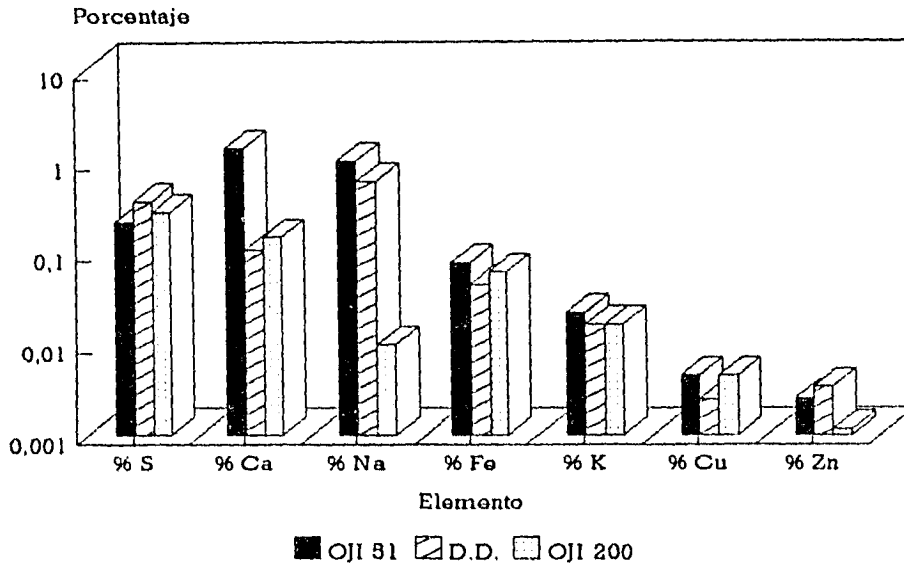
SURFACTANTE	OJI 51	D.D.	OJI 200
PARAMETRO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO
% de humedad	97.8536	98.5238	97.9434
% de sólidos húmedos	53.3333	39.7143	53.00
% de sólidos fijos	7.6261	3.5215	9.2164
Densidad de la muestra húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.0712	1.0825	1.0796
Densidad de la muestra seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.2448	0.1537	0.3398
Calor de combustión (cal/g)	3939.67	4234.78	4110.90
pH	8.8	8.25	8.9
% azufre total	0.2198	0.3668	0.2830
% cobre total	4.5210 E-3	2.4687 E-3	4.5050 E-3
% zinc total	2.5336 E-3	3.3537 E-3	1.7850 E-3
% níquel total	1.6326 E-3	1.1812 E-3	1.4575 E-3
% cromo total	2.2920 E-3	0.8237 E-3	1.3950 E-3
% plomo total	4.4821 E-4	17.505 E-4	6.3425 E-4
% cadmio total	9.4969 E-5	N.C.	N.C.
% hierro total	7.8820 E-2	4.5400 E-2	6.1275 E-2
% manganeso total	1.1873 E-3	0.8127 E-3	0.8165 E-3
% selenio total	1.5766 E-3	N.C.	N.C.
% calcio total	1.3788	0.1069	0.1516
% aluminio total	9.3990 E-4	N.C.	9.4775 E-4
% potasio total	2.2183 E-2	1.6575 E-2	1.66 E-2
% sodio total	1.0063	0.5082	1.0101
% cobre lixiviado	6.8143 E-5	15.807 E-5	10.390 E-5
% zinc lixiviado	3.1006 E-4	6.3185 E-4	2.8725 E-4
% níquel lixiviado	1.3900 E-4	0.9231 E-4	0.7425 E-4
% cromo lixiviado	1.8550 E-5	N.C.	N.C.
% plomo lixiviado	1.3646 E-4	N.C.	N.C.
% cadmio lixiviado	3.4493 E-5	1.4243 E-5	2.3875 E-5
% hierro lixiviado	2.3573 E-4	1.9957 E-4	2.1200 E-4
% manganeso lixiviado	1.1103 E-5	7.7585 E-5	7.1200 E-5
% selenio lixiviado	1.0853 E-4	N.C.	N.C.
% calcio lixiviado	0.0816	0.0288	0.0170
% aluminio lixivado	8.4695 E-4	N.C.	17.300 E-4
% potasio lixivado	2.4570 E-3	2.7300 E-3	3.9900E-3
% sodio lixivado	0.3136	0.273	0.3375



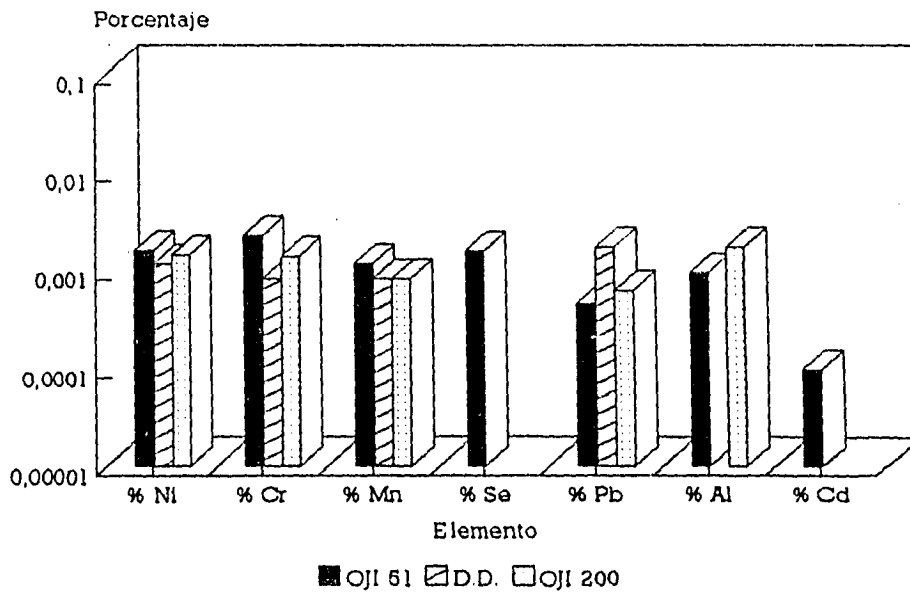
Gráfica 6.3.2.1 Diferentes surfactantes  
Propiedades físicas y químicas



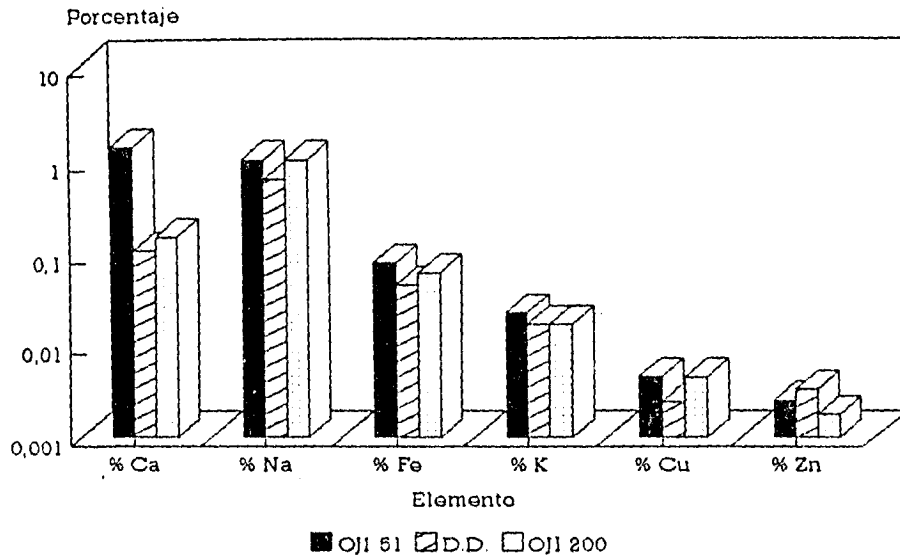
**Gráfica 6.3.2.2 Diferentes surfactantes  
Metales y otros elementos totales 1a.parte**



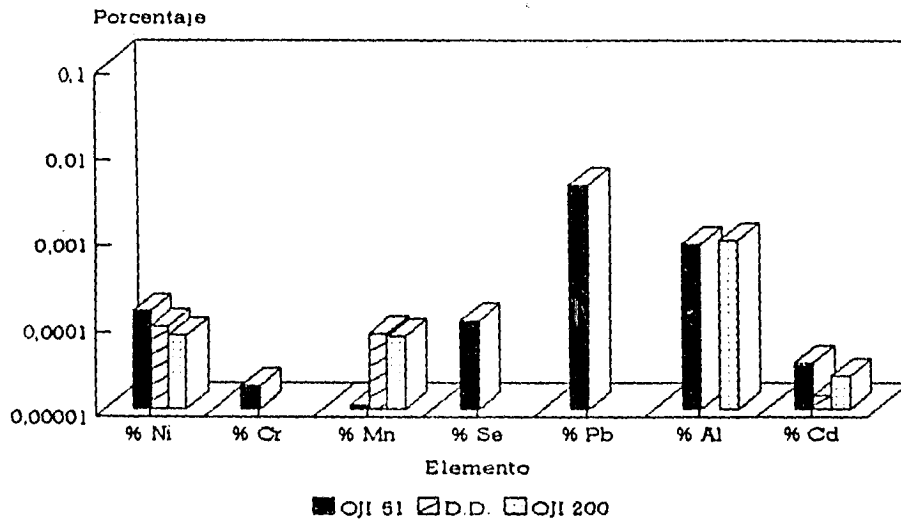
**Gráfica 6.3.2.3 Diferentes surfactantes  
Metales y otros elementos totales 2a. parte**



**Gráfica 6.3.2.4 Diferentes surfactantes  
Metales y otros elementos lixiviados 1a. parte**



**Gráfica 6.3.2.5 Diferentes surfactantes  
Metales y otros elementos lixiviados 2a. parte**



**Tabla 6.3.3 Porcentaje lixiviado con respecto al porcentaje en peso de los elementos en la muestra total.**

ELEMENTO	% EN PESO DEL ELEMENTO TOTAL	% EN PESO DEL ELEMENTO LIXIVIADO	% DEL LIXIVIADO RESPECTO AL % DEL ELEMENTO TOTAL
Cu	4.521 E-3	6.8143 E-5	1.51%
Zn	2.5336 E-3	3.1006 E-4	12.23%
Ni	1.6326 E-3	1.39 E-4	8.51%
Cr	2.292 E-3	1.855 E-5	0.81%
Pb	4.4821 E-4	1.3646 E-4	30.43%
Cd	9.4969 E-3	3.4493 E-5	36.32%
Fe	7.882 E-2	2.3573 E-4	0.29%
Mn	1.1873 E-3	1.1103 E-5	0.93%
Se	1.5766 E-3	1.0853 E-4	6.88%
Ca	1.3788	0.0816	5.92%
Al	9.399 E-4	8.4695 E-4	90.11%
K	2.2183 E-2	2.457 E-3	11.07%
Na	1.0063	0.3136	31.63%

**Tabla 6.3.4 Resultados de la caracterización  
Límites máximos de contaminantes  
(NOM-CRP-002- ECOL/1993).**

ELEMENTO	CONCENTRACION MAXIMA (ppm)	CONCENTRACION EN LOS LODOS DE DESTINTE (ppm)
Cr	5.0	0.0143
Cd	1.0	0.0266
Pb	5.0	0.0825
Se	1.0	0.0923

Tabla 6.3.5 Resultados comparativos entre los resultados de la caracterización de papel tissue y papel periódico.

PARAMETRO	MEDIA (P. tissue)*	MEDIA (P.periódico)
% Humedad	67.899	97.854
% Inorgánicos	55.565	7.626
Densidad de la muestra húmeda	1.2180	1.0712
Densidad de la muestra seca	0.8490	0.2448
Calor de combustión (cal/g)	1740.651	3939.676
% Azufre total	0.0922	0.2198
% Selenio total	0.0279	0.0016
% Potasio total	0.00024	0.0222
% Sodio total	0.00018	0.3136
% Calcio total	2.6400	1.3788
% Cromo total	0.0086	0.0023
% Hierro total	0.1998	0.0788
% Cobre total	0.0335	0.0045
% Plomo total	0.0107	0.0005
% Aluminio total	0.1771	0.0008
% Cadmio	N.D.	0.0005

\* (Castillo, 1993)

#### 6.4 Análisis de resultados

En la tabla 6.3.1 se observa que el porcentaje de humedad de los lodos de destinte es de 98%. Este valor es aparentemente muy alto, sin embargo, puede variar de un proceso a otro dependiendo de la eficiencia de los filtros prensa que se utilizan comunmente antes de la disposición del residuo.

El valor del porcentaje de humedad para los lodos de destinte es mucho más alto que el que se obtuvo para los lodos de papel tissue, pero igualmente, ésto se relaciona con la eficiencia de los filtros prensa.

El porcentaje de sólidos húmedos, que en este caso es de 53% es un indicador del máximo de humedad que puede removerse de los lodos por medio de una operación de filtración al vacío.

La disposición de los lodos de destinte mediante incineración permite reducir considerablemente el volumen del residuo, ya que el porcentaje de cenizas es de 7.62%

El porcentaje total de inorgánicos en la muestra es de 7.62%, y la suma del contenido de los elementos analizados es únicamente de 2.50%. El 5.12% restante probablemente está constituido por arcillas y grafito.

El porcentaje de inorgánicos es más alto en el lodo de papel tissue debido a las altas cargas de arcilla que caracterizan éste tipo de papel.

La densidad de la muestra húmeda se encuentra directamente relacionada con el porcentaje de humedad; varía en función de la eficiencia de la operación de pre-secado.

La densidad de la muestra seca depende en gran medida del contenido de inorgánicos, mismos que provienen de las cargas y recubrimientos que caracterizan el papel de desperdicio.

El calor de combustión del residuo es de 3939.67 cal/g. Este es un valor alto en relación con los que se citan en la literatura para otros materiales (ver anexo D), sin embargo es necesario considerar que las determinaciones se realizaron para el sólido seco.

El calor de combustión, en los lodos de destinte es más alto que en el papel tissue debido a la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica.

Los lodos de destinte tienen un pH de 8.8. Este valor indica que el residuo no se considera como corrosivo, de acuerdo a la NOM-CRP-001-ECOL/1993. Por otra parte, el valor del pH es útil cuando se estudian las alternativas de reutilización de los lodos, por ejemplo si pueden auxiliar en la neutralización de algunos ácidos débiles.

El % de azufre en los lodos de destinte es de 0.2189%. Si bien éste porcentaje no es muy alto, resulta de suma importancia durante el proceso de incineración del residuo, pues se relaciona con la cantidad de óxidos de azufre en los gases de combustión.

En la tabla 6.3.5 se observa que el porcentaje de azufre es más alto para el lodo de destinte que para el lodo de papel tissue.

En la tabla 6.3.1 y en las gráficas que de ésta se derivan se muestran los contenidos (% en peso) de otros 13 elementos presentes en los lodos de destinte. Las determinaciones se realizaron para la muestra total y para los lixiviados obtenidos de acuerdo al procedimiento que señala la NOM-CRP-002-ECOL/1993.

Los elementos que presentan las concentraciones más altas en la muestra total son el sodio (1.0083%) y el calcio (1.3788%). Esto se debe a que la formulación destintante contiene elevadas cantidades de hidróxido de sodio. El calcio proviene principalmente de las cargas y recubrimientos de las revistas.

La presencia de metales como Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd, Fe, Mn, Al, K y Se se relaciona con la composición de las tintas de impresión, tanto del periódico como de las revistas.

Es importante destacar que, de los elementos citados anteriormente, algunos pueden lixiviar con mayor facilidad que otros, tal como se observa en la tabla 6.3.3. Por ejemplo, en el caso del aluminio, se encontró un 90.11% del contenido total de éste en el lixiviado, y para el cadmio, el lixiviado contiene un 63.66% del metal en la muestra total.

Otros elementos como el hierro y el cromo no lixivian con la misma facilidad. Del contenido total de hierro en la muestra, solamente se encontró un 0.30% en los lixiviados, y para el caso del cromo, únicamente lixivió el 0.80% del total.

En la tabla 6.3.2 se hace una comparación entre los resultados que se obtuvieron en la caracterización de los lodos usando tres tipos diferentes de surfactantes en el proceso de destinte.

Aún cuando el número de muestras que se promediaron para obtener los resultados no es el mismo en los tres casos, la tabla 6.3.2 y las gráficas correspondientes muestran que no se tienen diferencias significativas en las propiedades generales ni en las concentraciones de los elementos que se determinaron.

En la tabla 6.3.4 se observa que, de acuerdo con los resultados de la caracterización, las concentraciones de cadmio, cromo, selenio



y plomo, no exceden los límites máximos permisibles de contaminantes de acuerdo a la NOM-CRP-002-ECOL/93, por lo que el residuo no se considera como peligroso.

En este trabajo no se incluyen las concentraciones de Ag, As, Ba y Hg debido a que el contenido de estos elementos se encuentra por debajo de los límites de detección del equipo de absorción atómica, y por consiguiente no rebasan los valores que indica la norma correspondiente.

Cuando se realiza la prueba de extracción de compuestos tóxicos (NOM-CRP-002-ECOL/1993), se requiere determinar la concentración de 8 contaminantes inorgánicos en los lixiviados, sin embargo, en este trabajo se efectuó la determinación de 14 elementos, metales y no metales, tanto en la muestra total como en los lixiviados.

La importancia de conocer la concentración de contaminantes en las muestras totales radica en que, si se obtiene la diferencia entre este valor y la concentración en los lixiviados, es posible determinar la cantidad de contaminantes que permanece en el lugar donde se dispone el residuo, y por tanto se cuenta con un punto de partida para el estudio de los sistemas de remediación que pueden utilizarse en caso necesario.

Finalmente, es necesario destacar que las diferencias en las concentraciones de hierro, cobre, plomo, aluminio, cadmio, cromo, azufre, selenio y sodio entre los lodos de papel periódico y los lodos de papel tissue se deben fundamentalmente a las diferencias en la composición de las tintas de impresión utilizadas en cada caso.

El porcentaje de sodio total en los lodos de destinte es considerablemente mayor debido al uso de hidróxido de sodio como parte de la formulación destintante.

## 6.5 Conclusiones y recomendaciones:

Los residuos sólidos que se generan a partir del proceso de destinte de papel periódico no se consideran como residuos peligrosos.

Los resultados de la caracterización efectuada muestran que los lodos de destinte no contienen cantidades elevadas de contaminantes y, considerando sus propiedades tanto físicas como químicas pueden reutilizarse en las formas siguientes:

- A. Como combustible en sistemas de recuperación de energía
- B. Como material auxiliar en el reacondicionamiento de suelos
- C. Como material absorbente para la limpieza de derrames de aceites y otras sustancias.
- D. En combinación con otros materiales tales como resinas y plásticos, para la fabricación de plafones, recubrimientos etc.
- E. Las cenizas que se obtienen de la incineración de los lodos pueden utilizarse para la manufactura de concreto o bien como material de recubrimiento en las capas superiores de algunos rellenos sanitarios.
- F. Como material de trabajo en las artes plásticas.

Así mismo, los métodos de disposición para este tipo de residuos pueden ser:

- A. Incineración con o sin recuperación de energía
- B. Disposición en rellenos sanitarios con sistema de recolección y tratamiento de lixiviados

Con objeto de tener una caracterización más completa para este tipo de residuos se recomienda hacer las determinaciones de plata, mercurio, arsénico y bario aún cuando las concentraciones de estos elementos sean muy pequeñas.

A pesar de que es poco probable que se encuentren concentraciones altas de contaminantes orgánicos, es necesario ampliar la caracterización a este tipo de compuestos que pueden provenir de las gomas de encuadernación de las revistas que se adicionan al papel periódico que se recicla para aumentar el porcentaje de fibras largas, así como de los recubrimientos y algunas etiquetas.

## CAPITULO 7

## **7. REUTILIZACION DEL MATERIAL AGLUTINADO COMO ABSORBENTE EN DERRAMES DE ACEITES**

### **7.1 Objetivos:**

7.1.1 Determinar la capacidad de absorción del lodo de destinte seco y aglutinado en forma de esferas pequeñas, para aceites con diferentes propiedades físicas.

7.1.2 Establecer algunas ventajas y desventajas del uso del lodo de destinte como material absorbente en la limpieza de derrames.

### **7.2. Fundamentos teóricos:**

En general, los derrames de líquidos son acontecimientos más o menos frecuentes tanto a nivel industrial como de laboratorio e incluso doméstico.

La ocurrencia de derrames siempre crea riesgos de contaminación del aire, agua o suelo con sustancias que pueden ser potencialmente peligrosas para el hombre, animales y plantas. La percolación a las aguas subterráneas y superficiales puede hacer al terreno improductivo, dependiendo de la sustancia y la cantidad derramada, así como de las características del suelo. (Mueller, 1992)

Los derrames de hidrocarburos y otras sustancias peligrosas sobre cuerpos de agua producen igualmente daños importantes y el consiguiente desequilibrio de los ecosistemas.

### 7.2.1 Materiales para la limpieza de derrames

La limpieza del área afectada una vez controlado el derrame resulta de extrema importancia pues es necesario abatir de inmediato los riesgos de contaminación de la zona y los riesgos al personal derivados de la emergencia.

Existe una diversidad de materiales que pueden emplearse en las labores de limpieza, dependiendo del tipo de sustancia derramada. Estos se clasifican de la siguiente manera: (Woytowich, 1993)

- A. Convencionales: Absorbentes para usos particulares que se disponen una vez que se saturan.
- B. Exprimibles: Los líquidos pueden recuperarse antes de la disposición del absorbente gastado.
- C. Reutilizables: Los absorbentes pueden reutilizarse después de recuperar el líquido.

La arcilla es quizás el material más utilizado dentro del grupo de los materiales convencionales debido a sus propiedades absorbentes, su naturaleza inerte y su facilidad de aplicación, sin embargo, la inclusión de nuevos productos con propiedades absorbentes superiores y mayores ventajas en su forma de empleo y disposición, está desplazando rápidamente su uso. ( JM, 1993)

Otros materiales absorbentes de tipo convencional son: tierras diatomáceas (arcilla o greda), aluminosilicatos, vermiculita, dicálcico, olotes de maíz y aserrín de madera.

Los absorbentes exprimibles y reutilizables en general están fabricados de microfibras de polipropileno y materiales poliméricos similares, cuya forma de acción se basa en el fenómeno de

capilaridad. Estos materiales pueden absorber derrames de aceites, agua, disolventes y diversos productos químicos. ( 3M, 1993)

Se producen además, otro tipo de materiales absorbentes diseñados para contener y controlar fluidos derivados del petróleo; poseen la propiedad de repeler el agua, absorbiendo exclusivamente hidrocarburos, y se emplean para controlar y recuperar aceites y grasas de ríos, lagos y otros cuerpos de agua.

Existen otros polímeros que permiten neutralizar y solidificar ácidos minerales y orgánicos. ( 3M, 1993)

**Tabla 7.1 Comparación de las propiedades de los absorbentes poliméricos y las arcillas**

ABSORBENTES POLIMERICOS	ARCILLAS
1. Alta velocidad de absorción	1. Absorción lenta
2. Contenido de cenizas > 2%	2. Contenido de cenizas de aproximadamente 90%
3. No abrasivo	3. Abrasivo
4. Peso ligero	4. Material pesado
5. Incinerable (17445 KJ/kg)	5. No incinerable
6. Costos de disposición bajos	6. Costos de disposición altos
7. Se requieren 25 kg de polímero para absorber 122 litros de aceite	7. Se requieren 1144 kg de greda para absorber 122 litros de aceite

( Fuente: FIG, Corporation. Folleto promocional. Editado por Michelletti, Productos y Servicios de Calidad, S.A. de C.V., México, 1994, pág. 4.)

Los materiales poliméricos generalmente son autocontenidos, por lo cual no originan problemas de ensuciamiento alrededor de maquinaria o equipos y se eliminan las dificultades que presentan los absorbentes granulares, pues no se requiere barrer o palear. Además de su uso en derrames se emplean para limpiar salpicaduras y excesos de aceite de maquinaria. ( FIG, 1994 )

Las presentaciones más comunes para los absorbentes en general son: almohadillas, calcetines, toallitas, alfombras, material a granel y rollos del material laminado. ( PSIGSA, 1994 )

### **7.3 Hipótesis:**

Debido a las propiedades absorbentes de la celulosa, el lodo de destinte puede emplearse como material alternativo para la absorción de derrames de líquidos.

### **7.4 Materiales y equipo:**

30 cajas petri	4 kg de lodo de destinte
1 agitador de vidrio	500 ml del aceite elegido
1 pipeta pasteur	para la prueba.
1 pinzas para crisol	
1 balanza granataria	
1 balanza analítica	
1 estufa graduada a 80°C	

### **7.5 Procedimiento experimental:**

- A. Homogeneizar el lodo y desmenuzarlo.
- B. Colocar el lodo desintegrado en las charolas del tamizador y accionarlo por 5 minutos.
- C. Transferir las esferas húmedas a la estufa a 80 grados centígrados y dejarlas secar por 24 horas.



- D. Retirar las esferas de lodo de la estufa y esperar a que se enfrien.
- E. Pesar 30 cajas petri sin tapa. Registrar el peso de las cajas vacías y el peso de las cajas con una capa de esferas de lodo; las esferas deberán cubrir únicamente la superficie del recipiente.
- F. Agregar el aceite en estudio sobre las esferas hasta lograr la saturación del material.
- G. Pesar las cajas con el lodo saturado de aceite y posteriormente las cajas vacías con el líquido remanente.
- H. Determinar el porcentaje de aceite absorbido.

**7.6 Tablas de resultados y gráficas:**

El estudio se realizó con cuatro aceites orgánicos de diferentes densidades y viscosidades a saber: a) aceite quemado de motor, b) aceite comestible, c) diesel y d) glicerol.

**Tabla 7.2 Propiedades de los líquidos empleados**

SUSTANCIA	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	VISCOSIDAD (cP)
Aceite quemado de motor	0.9396	160
Aceite comestible de cártamo	0.911	50
Diesel	0.822	1.15
Glicerol	1.2617	874

Nota: Estos datos se obtuvieron experimentalmente.

Las esferas de lodo de destinte seco y aglutinado que se emplearon para esta sección presentan las siguientes características:

Diámetro promedio: 0.75 cm

Densidad promedio: 0.18 g/cm<sup>3</sup>

En la tabla siguiente se muestran los valores obtenidos para la capacidad de absorción de cada una de las sustancias estudiadas. Estos valores se refieren al porcentaje de líquido absorbido en relación al peso del material seco original.

**Tabla 7.3 Capacidad real de absorción de las sustancias estudiadas**

SUSTANCIA	CAPACIDAD REAL DE ABSORCION (%)
Aceite quemado de motor	163.23
Aceite comestible de cártamo	177.92
Diesel	175.14
Glicerol	283.97

Las tablas y gráficas con los resultados obtenidos para cada una de las 30 muestras evaluadas por sustancia se presentan a continuación.

Tabla 7.4 Capacidad de absorción del aceite quemado de motor

MUESTRA No.	PESO (g) MATERIAL	PESO (g) ACEITE AGREGADO	% ACEITE ABSORBIDO	CAPACIDAD DE ABSORCION (%)
1	7.9652	14.0656	99.29	175.33
2	6.8378	12.2461	99.71	178.57
3	7.548	13.511	99.84	178.71
4	8.0259	14.3251	99.68	177.91
5	7.121	13.0155	99.78	182.33
6	7.9135	14.1122	99.72	177.83
7	6.8047	19.3337	87.69	249.14
8	8.1989	14.4472	99.78	175.77
9	6.796	12.1093	99.88	177.62
10	7.7951	13.9758	99.38	178.14
11	7.7614	13.8161	99.48	177.04
12	8.1065	14.0123	99.32	171.67
13	7.5481	13.2611	99.7	175.15
14	8.274	14.6078	99.59	175.82
15	9.0846	16.0824	99.36	175.88
16	7.922	14.0533	99.65	176.76
17	8.6723	15.8183	99.56	177.49
18	9.2676	15.4727	99.54	166.18
19	7.3708	13.0753	99.52	176.53
20	7.9027	14.0482	99.59	177.03
21	9.0954	16.1196	99.6	176.51
22	7.805	11.9324	99.65	156.35
23	9.3295	16.5226	99.75	176.65
24	8.6273	15.1603	99.7	175.19
25	9.3464	16.5993	99.67	177.01
26	8.4942	15.026	99.67	176.3
27	9.348	16.2846	99.72	173.71
28	8.1794	14.7688	99.65	178.12
29	9.762	17.2642	99.47	175.91
30	9.3275	16.0317	99.4	170.83
AVG				177.916
STD				13.9693320289
VAR				195.14223733
MAX				249.14
MIN				156.35

Tabla 7.5 Capacidad de absorción del aceite comestible

MUESTRA No.	PESO (g) MATERIAL	PESO (g) ACEITE AGREGADO	% ACEITE ABSORBIDO	CAPACIDAD DE ABSORCION (%)
1	8.9857	14.4247	99.08	159.05
2	9.5222	15.2491	98.9	158.37
3	9.8635	15.8943	98.83	159.25
4	9.7663	14.0795	98.83	142.47
5	9.6084	15.6049	99	160.77
6	9.6933	15.6287	98.73	159.18
7	10.7191	15.3957	99.3	142.61
8	9.9408	16.1118	98.78	160.09
9	9.9348	14.8609	99.42	148.71
10	10.6262	17.0189	98.86	158.43
11	8.3485	13.6157	98.92	161.32
12	9.0803	15.2501	98.91	166.1
13	9.2457	15.0224	98.73	160.41
14	8.8881	14.2942	99.2	159.43
15	8.5247	13.5077	99.08	159.5
16	8.6965	14.0005	98.85	159.13
17	8.5593	14.7238	98.32	169.13
18	8.5518	20.0661	88.44	207.51
19	8.8268	19.7317	98.63	220.47
20	8.8013	15.5309	100	176.46
21	10.57	16.805	98.69	156.89
22	10.4346	16.8988	99.17	160.59
23	10.3884	16.7713	98.85	159.58
24	9.7064	19.7317	93.08	189.21
25	9.5631	15.273	99.3	158.58
26	10.009	15.9941	98.27	157.02
27	10.0523	15.687	98.92	154.36
28	9.7047	15.7149	98.47	159.45
29	10.4814	16.3648	98.94	154.47
30	9.8129	15.6863	99.1	158.41
AVG				163.23166667
STD				15.999820433
VAR				255.99425389
MAX				220.47
MIN				142.47

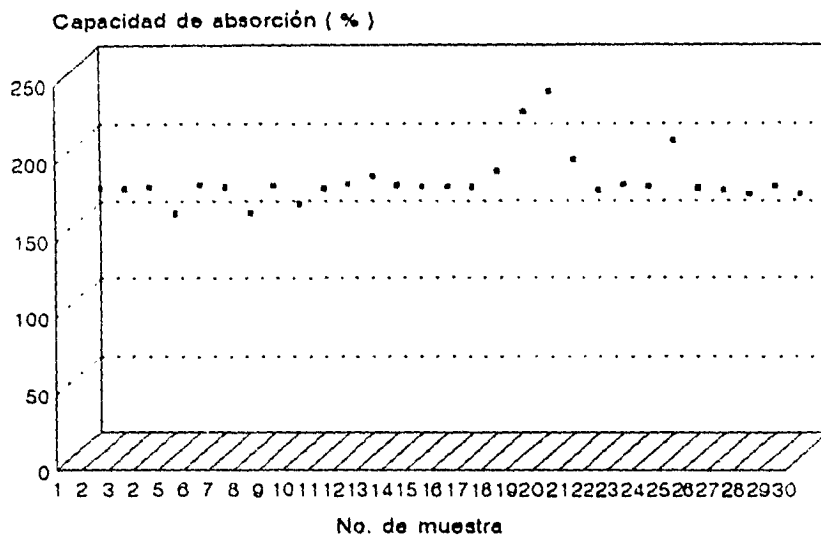
Tabla 7.6 Capacidad de absorción del diesel

MUESTRA No.	PESO (g) MATERIAL	PESO (g) ACEITE AGREGADO	% ACEITE ABSORBIDO	CAPACIDAD DE ABSORCION (%)
1	8.7077	15.335	99.45	175.14
2	7.9031	15.0416	97.74	186.01
3	7.942	13.4187	99.89	168.75
4	8.0746	14.7393	99.75	182.04
5	9.0434	15.7649	99.54	173.51
6	8.9567	15.7277	99.82	175.27
7	7.9856	14.0113	99.78	173.3
8	8.754	15.2195	99.84	173.57
9	7.5555	13.8402	99.66	182.55
10	7.5276	13.1003	99.19	172.62
11	9.4315	16.6724	99.72	176.27
12	7.8038	13.9813	99.59	178.42
13	8.2756	14.6133	99.85	176.31
14	8.6715	15.3124	99.64	175.94
15	7.4807	13.481	99.51	179.32
16	9.6027	16.7443	99.76	173.95
17	7.6644	13.6518	99.74	177.64
18	9.0782	16.6427	98.94	181.37
19	7.7908	13.6089	99.86	174.42
20	9.1785	17.2524	99.26	186.57
21	8.5375	14.5094	99.68	169.36
22	8.4678	14.7206	99.35	172.71
23	8.2352	14.3743	99.32	173.35
24	9.8631	17.3373	99.23	174.42
25	9.9751	17.4698	97.98	171.59
26	8.1193	12.5754	99.73	154.46
27	9.9285	17.2644	99.26	172.59
28	9.3927	16.3078	98.94	171.78
29	8.6621	15.0247	99.49	175.56
30	7.418	13.0903	99.57	175.7
AVG				175.14966667
STD				5.7362028575
VAR				32.904023222
MAX				186.57
MIN				154.46

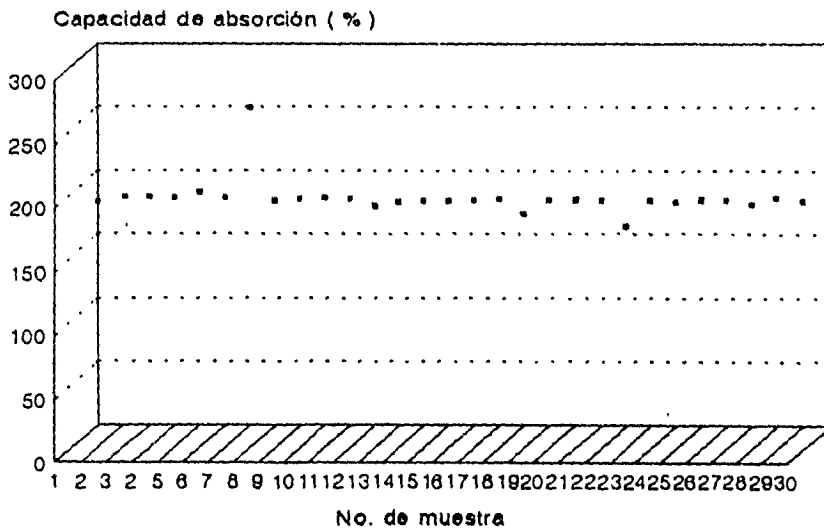
Tabla 7.7 Capacidad de absorción del glicerol

MUESTRA No.	PESO (g) MATERIAL	PESO (g) GLICEROL AGREGADO	%GLICEROL ABSORBIDO	CAPACIDAD DE ABSORCION ( % )
1	7.2583	21.3225	98.74	290.06
2	7.4635	21.7238	98.31	286.14
3	7.5135	22.0615	98.72	288.66
4	8.2109	25.3616	98.52	304.3
5	7.36	21.6526	98.78	290.6
6	8.5793	24.9333	98.85	287.27
7	7.9465	23.1542	98.97	288.37
8	6.9886	20.1339	98.49	283.74
9	7.2202	21.0861	98.58	287.89
10	7.251	20.713	98.3	280.79
11	7.2726	21.1086	98.46	285.77
12	8.0842	23.3313	98.14	283.23
13	7.7393	22.5286	98.5	286.72
14	7.5923	21.8318	97.53	280.44
15	8.892	25.7231	99.75	288.55
16	11.033	31.6512	84.45	253.73
17	7.2984	21.2045	98.57	286.37
18	8.6461	24.9711	98.96	285.48
19	7.5099	21.781	97.86	283.83
20	8.3434	24.1999	98.37	285.31
21	7.3713	21.2608	98.51	284.12
22	8.7949	24.6904	98.07	275.32
23	7.5125	21.8849	98.2	286.06
24	7.3512	21.3028	97.7	283.11
25	8.8075	25.1419	97.2	277.46
26	8.4008	24.5118	98.46	287.27
27	9.3648	26.9345	98.59	283.6
28	8.6954	25.0592	97.78	281.78
29	9.5629	27.3482	94.36	269.85
30	8.1679	23.6186	97.93	283.17
AVG				283.96633333
STD				7.92487791
VAR				62.803689889
MAX				304.3
MIN				253.73

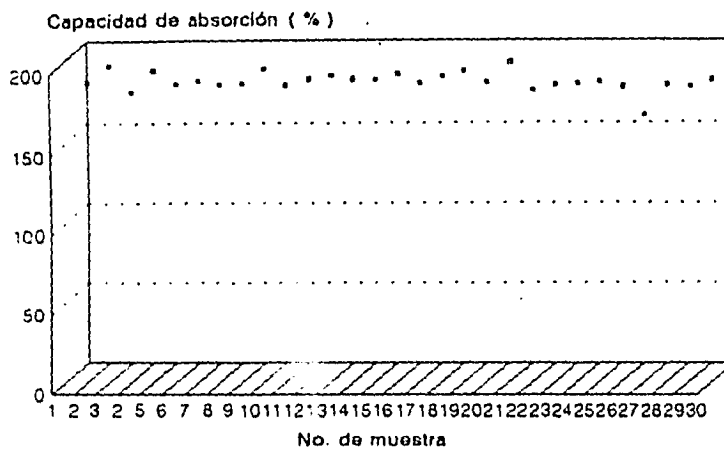
Gráfica 7.1 Capacidad de absorción del aceite quemado de motor  
No. de muestra vs. valor obtenido



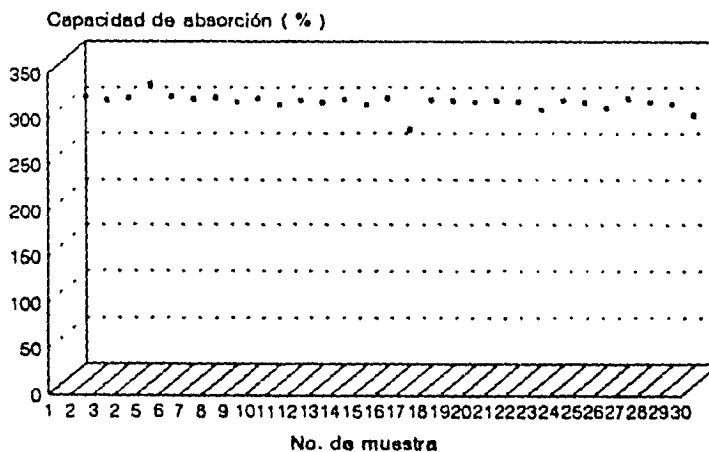
Gráfica 7.2 Capacidad de absorción del aceite comestible  
No. de muestra vs. valor obtenido



Gráfica 7.3 Capacidad de absorción del diesel  
No. de muestra vs. valor obtenido



Gráfica 7.4 Capacidad de absorción del glicerol  
No. de muestra vs. valor obtenido





### **7.7 Análisis de resultados:**

Como se observa en la tabla 7.3, el lodo de destinte presenta una capacidad de absorción mayor que el resto de las sustancias estudiadas (283.97%), sin embargo, esto puede estar relacionado con las propiedades humectantes del glicerol.

Para el diesel y el aceite comestible, los valores de capacidad de absorción que se obtuvieron son más o menos similares (175.14% y 177.92% respectivamente), aunque sus densidades y viscosidades difieren. Esto sugiere que la capacidad de absorción del residuo es independiente de estas dos propiedades.

La capacidad de absorción del aceite quemado de motor es ligeramente mas baja que la del diesel y la del aceite comestible (163.23%). Esto posiblemente está relacionado con la presencia de impurezas y contaminantes del aceite usado.

### **7.8 Conclusiones y recomendaciones:**

El lodo de destinte puede ser empleado efectivamente como material alternativo para la limpieza de derrames de líquidos. Las ventajas y desventajas que representa su uso son las siguientes:

#### **VENTAJAS:**

- A. El lodo de destinte seco es un material ligero y puede transportarse fácilmente hasta el sitio del derrame.
- B. Es un material no abrasivo, por lo cual no daña la superficie de las máquinas.
- C. En el caso de los absorbentes poliméricos, se necesitan 25 kg. de material para absorber 122 litros de aceite; si se usa lodo

de destinte seco se requieren alrededor de 214 kg y si se emplea arcilla como absorbente se requieren cerca de 1144 kg.

- D. El lodo de destinte puede resultar un absorbente de bajo costo por tratarse de un material de reutilización.
- E. El acondicionamiento del lodo de destinte como absorbente de derrames de líquidos consiste exclusivamente en una operación de secado.
- F. El lodo de destinte puede usarse como material absorbente de derrames de líquidos neutros y ácidos o bases débiles.
- G. Puede considerarse otra forma de reutilización del lodo de destinte después de su uso como absorbente de derrames a través del sistema de incineración con recuperación de energía.

DESVENTAJAS:

- A. No se recomienda la recuperación de la sustancia absorbida por el lodo de destinte seco debido a la presencia de metales traza y otros contaminantes.
- B. El lodo de destinte, aunque no se considera como residuo peligroso, puede llegar a serlo cuando se emplea como absorbente de derrames de materiales peligrosos. Por esta razón deberá observarse el método de disposición más adecuado de acuerdo al caso.
- C. No se recomienda el uso del lodo de destinte para la limpieza de derrames de ácidos fuertes debido a la inherente descomposición de la celulosa.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis planteada para ésta sección.

Con objeto de obtener mayor información sobre el comportamiento y las propiedades del lodo de destinte como absorbente de derrames, se sugiere:

- A. Realizar pruebas de capacidad de absorción para otros líquidos tales como ácidos y bases, tanto orgánicos como inorgánicos y grasas a diferentes valores de pH.
- B. Verificar la capacidad de absorción del lodo aglutinado en otras formas geométricas e incluso en la forma que toma naturalmente al secarse.

## CAPITULO 8

## 8. PRUEBAS DE REUTILIZACION DEL LODO COMO ADSORBENTE DE METALES EN AGUAS RESIDUALES

### 8.1 Objetivo:

Verificar si los lodos de destinte pueden aplicarse como material adsorbente en un sistema de tratamiento de aguas residuales en base a los principios de adsorción física.

### 8.2 Fundamentos teóricos:

#### 8.2.1 Principios generales de adsorción

La adsorción es un fenómeno complejo por medio del cual una sustancia se acumula en la interfase de cualquiera de los siguientes sistemas: líquido-líquido, líquido-sólido, y gas-sólido, debido a la acción de diferentes fuerzas moleculares superficiales.

La fase que adsorbe se conoce como adsorbente, y la sustancia que se adsorbe se denomina adsorbato.

Existe una diferencia entre la adsorción física, que involucra fuerzas intermoleculares relativamente débiles y la quimisorción, que implica la formación de un enlace químico entre la molécula de adsorbato y la superficie del adsorbente. (Kennet, et. al. 1992)

Las principales fuerzas que interactúan en la adsorción son las siguientes: (Kennet. et. al. 1992)

#### A. Fuerzas de dispersión:

La adsorción física en sólidos no polares se atribuye a fuerzas de interacción entre la superficie del sólido y las moléculas de adsorbato que son similares a las fuerzas de Van der Waals

(atracción-repulsión) entre moléculas.

#### B. Tensión superficial:

La tensión superficial se define como la fuerza por unidad de longitud que actúa sobre la superficie de un líquido y se opone a la expansión del área de la misma. (Daniels, et. al. 1984)

Los solutos con valores bajos de tensión superficial tienden a acumularse preferencialmente en la superficie y por tanto, existirá una mayor proporción de soluto en la interfase que en el resto de la solución.

La porosidad es otro aspecto de suma importancia en la adsorción, ya que las imperfecciones estructurales del adsorbente benefician la posibilidad de que se lleve a cabo la adsorción, pues incrementa el área superficial.

#### 8.2.2 Relaciones de equilibrio

Para poder describir adecuadamente el fenómeno de adsorción se requieren cuantificar algunas relaciones de equilibrio. Una de éstas es el potencial de adsorción, que se define como la cantidad de trabajo requerido para mover una molécula de un poro hacia el seno del líquido. (Kennet, et. al. 1992)

Se asume que el espacio de adsorción (volumen del poro) está compuesto por una gran cantidad de superficies energéticas equipotenciales que varían de un valor máximo en los poros hasta cero en el seno de la solución. Así, para un adsorbente dado, la superficie equipotencial debe ser la misma para cualquier adsorbato.

Consecuentemente, existe una gráfica del volúmen de adsorbato contra el potencial de adsorción para todos los adsorbatos en un adsorbente en particular. Esta teoría (teoría de Polanyi) sugiere que se puede predecir una relación de equilibrio, la isoterma, para cualquier adsorbente del cual se tiene una curva característica de adsorción. (Kennet, et. al. 1992)

Entre las relaciones de equilibrio se tienen además las isosteras y las isobaras.

La isostera es una gráfica de  $\ln P$  contra  $1/T$ , con una cantidad constante de vapor adsorbido. Su importancia radica en que la pendiente de la isostera corresponde al calor de adsorción.

La isobara es una gráfica de la cantidad de vapor adsorbido contra temperatura a presión constante. En general la cantidad adsorbida disminuye conforme se incrementa la temperatura.

La relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la presión o concentración de equilibrio a temperatura constante se denomina isoterma de adsorción. (Kennet, et. al. 1992)

### 8.2.3 Adsorción de líquidos sobre sólidos

La adsorción de una solución sigue generalmente los principios establecidos para la adsorción de gases y está sujeta a los mismos factores.

Algunos adsorbentes son específicamente más efectivos para atraer ciertas sustancias a la superficie que otros; un aumento en la temperatura hace disminuir el grado de adsorción, en tanto que un incremento en el área de la superficie lo eleva.

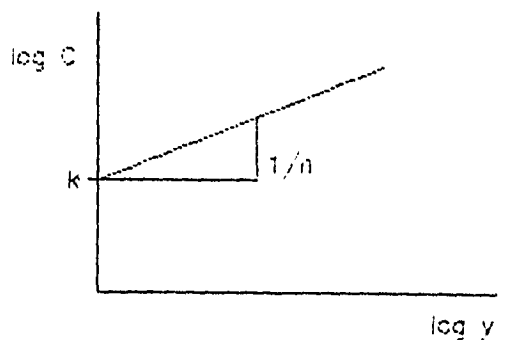
La adsorción líquido-sólido, al igual que la de gases implica el establecimiento de un equilibrio entre la cantidad adsorbida y la concentración de la sustancia en solución. (Maron, et. al. 1965)

La variación del grado de adsorción con la concentración del soluto suele representarse por la Ec. de Freundlich. Para este objeto, la ecuación se escribe en la forma:

$$y = k c^{1/n}$$

Donde  $y$  es la sustancia adsorbida por unidad de masa de adsorbente y  $c$  es la concentración al equilibrio de soluto que se adsorbe.  $k$  y  $n$  son constantes empíricas.

Si se toman logaritmos, la gráfica de  $\log y$  contra  $\log c$  debe ser lineal con pendiente igual a  $1/n$  y ordenada al origen igual a  $\log k$ . (Maron, et. al. 1965)



**Fig. 8.1 Variación del grado de adsorción con respecto a la concentración del soluto.**

(Fuente: Maron, S. Principles of Physical Chemistry, 4a. ed. Editorial Macmillan Co., 1965, Estados Unidos de Norteamérica, pág. 820.)



Es necesario considerar que los sólidos inorgánicos tienden a adsorber electrolitos. Esta tendencia de los adsorbentes de atraer ciertas sustancias con preferencia a otras, conduce ocasionalmente al fenómeno de adsorción negativa, es decir, la concentración de un soluto aumenta después del tratamiento con el agente adsorbente.

La explicación que se sugiere es que el disolvente (agua por ejemplo) se adsorbe de manera preferencial al electrolito, y como consecuencia se eleva la concentración del soluto. Sin embargo, a altas concentraciones del electrolito, éste se adsorbe preferencialmente. (Maron, et. al. 1965)

La adsorción en adsorbentes sólidos tiene un significado ambiental importante, puesto que puede remover contaminantes de manera efectiva de corrientes tanto líquidas como gaseosas.

Debido al alto grado de purificación que puede obtenerse, este proceso se utiliza frecuentemente al final de una secuencia de tratamiento.

La aplicación de la tecnología de adsorción para el control de la contaminación se relaciona comunmente con el control de compuestos orgánicos tales como VOC's, plaguicidas, bifenilos policlorados, fenoles y compuestos orgánicos sintéticos. El carbón activado es quizás el adsorbente más popular y se usa tradicionalmente para eliminar olores, sabores y colores debidos a contaminantes traza.

Se ha observado también que la mayoría de los compuestos orgánicos no biodegradables son buenos adsorbatos. Esto hace a la adsorción muy compatible con métodos de tratamiento de lodos activados. Además el proceso es aplicable para el control de ciertos compuestos inorgánicos como metales pesados, cloro y gases sulfurosos. (Kennet, et. al. 1992)

#### 8.2.4 Las arcillas como adsorbentes

Las arcillas minerales son el grupo sedimentario más abundante y predominan en las fracciones coloidales de los suelos, sedimentos, rocas y aguas. Se clasifican como filosilicatos (usualmente como hidroaluminosilicatos).

Industrialmente se usan como co-reactantes del papel de fotocopiado sin carbono y para la decoloración de aceites vegetales.

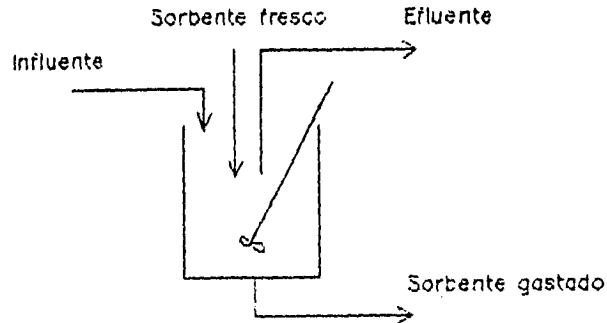
Estudios recientes muestran que en algunas circunstancias las arcillas y los complejos metálicos quirales soportados en arcilla pueden usarse en síntesis orgánicas asimétricas, es decir, pueden adsorber un enantiómero de una mezcla racémica. También se usan como soportes selectivos para cromatografía de gases.

Recientemente, la química de las arcillas incluye reacciones de óxido-reducción, generación de intermediarios de reacción como carbenos y el uso de las arcillas como soporte de sales metálicas y complejos. También se emplean como catalizadores, pues poseen espacios de reacción claramente definidos, rivalizando con las zeolitas en cuanto a estabilidad y selectividad. (Bruce, et. al. 1992)

#### 8.2.5 Configuración de un proceso de adsorción

La configuración más simple de una unidad de adsorción es el reactor discontinuo mezclado.

En este caso, el adsorbente se mezcla con la corriente contaminada y el sistema permanece operando hasta alcanzar el equilibrio.



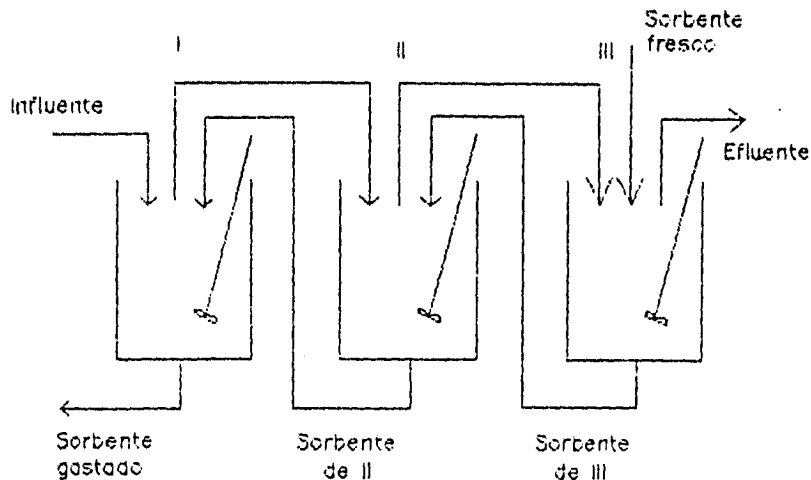
**Fig. 8.2 Reactor discontinuo**

(Fuente: Kennet, E. Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control. 1a. ed. Editorial Lewis Publishers Inc., Estados Unidos de Norteamérica, 1992, pág. 28.)

Al final se separan las dos fases para el subsecuente tratamiento o disposición. A menos que las condiciones de equilibrio sean extremadamente favorables, el uso de un reactor discontinuo único dará una eficiencia de remoción baja. El uso de dos o más reactores discontinuos en serie puede aumentar la eficiencia del proceso.

La adsorción con el modelo discontinuo se usa poco debido a su alta ineficiencia comparada con las configuraciones de flujo continuo, sin embargo, en algunos casos, es la única opción disponible.

El arreglo más eficiente para llevar a cabo las operaciones de adsorción es la configuración de flujo continuo en una columna, conocido como lecho fijo. En esta forma de adsorción, el reactor consiste en un lecho empacado con el adsorbente a través del cual pasa la corriente bajo tratamiento. Conforme la corriente contaminada pasa a través de este lecho, tiene lugar la adsorción de los contaminantes y el efluente purificado sale de la columna.



**Fig. 8.3 Reactores discontinuos en serie.**

(Fuente: Kennet, E. Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control. 1a. ed. Editorial Lewis Publishers Inc., Estados Unidos de Norteamérica, 1992, pág. 30.)

Cuando la concentración del efluente alcanza su máximo, que es teóricamente igual al del influente, el lecho se considera agotado.

Si la calidad del efluente se considera inaceptable después de un intervalo de tiempo predeterminado, se detiene la operación del sistema y el adsorbente se dispone o regenera.

El proceso discontinuo en serie puede simularse en el laboratorio usando reactores pequeños. Esto permite el estudio del efecto del tiempo de residencia, número de etapas y dosis de adsorbente necesarios.

En un lecho fijo, la evaluación de la cinética de reacción es más complicada y requiere experimentación a escala piloto.

(Kennet. et. al. 1992)

### 8.3 Hipótesis:

8.3.1 Los lodos de destinte pueden funcionar como adsorbentes de metales pesados en sistemas de tratamiento de aguas residuales debido a su importante contenido de arcilla y a las grandes áreas superficiales que se pueden generar teniendo el material dentro de un sistema agitado.

8.3.2 Los lodos de destinte, al usarse como adsorbentes presentan la ventaja de poder adsorber diferentes tipos de solutos de manera simultánea y en tiempos de residencia relativamente cortos.

### 8.4 Materiales y equipos:

- 5 Recipientes con capacidad de 5 litros c/u
- 5 Mangueras de látex selladas en uno de sus extremos y perforadas para permitir el burbujeo de aire a presión
- 1 Equipo completo de filtración al vacío
- 3 Pipetas volumétricas de 100, 50 y 2 ml respectivamente
- 1 Balanza granataria
- 50 Botellas de plástico de 60 ml perfectamente limpias para almacenar las muestras
- 1 Espectrofotómetro de absorción atómica

Acido nítrico destilado

Hidróxido de sodio en granallas

Papel pH

- 10 kg de lodo de destinte
- 1 solución patrón de 500 ppm de aluminio
- 1 solución de 250 ppm de cobre
- 1 solución de 300 ppm de zinc

### **8.5 Procedimiento experimental:**

- A. Preparar una solución que contenga 5 ppm de cobre, 10 ppm de aluminio y 6 ppm de zinc en 5 litros de agua destilada.
- B. Pesar 1 kg de lodo y adicionarlo en cada recipiente.
- C. Comenzar la agitación del lodo mediante el burbujeo de aire.
- D. Muestrear cada una de las soluciones en intervalos de 3 horas hasta completar 5 muestras por reactor. Se tomará un máximo de 30 ml. por muestra.
- E. Filtrar la muestra y acidificarla con  $\text{HNO}_3$  destilado. Etiquetar cada recipiente para su posterior análisis.
- F. Leer las concentraciones de Cu, Al y Zn de las muestras obtenidas en el espectrofotómetro de absorción atómica. Deberán leerse primeramente Cu y Zn ya que las muestras requerirán llevarse a un pH básico antes de iniciar las determinaciones de aluminio.

### **8.6 Consideraciones al procedimiento:**

- A. El experimento se llevará a cabo en un sistema de adsorción discontinuo.
- B. El parámetro a cuantificar será únicamente la variación de la concentración de los metales seleccionados en la solución con respecto al tiempo de reacción.
- C. Los metales que se cuantificarán serán Cu, Al y Zn.
- D. Las concentraciones de los metales en la solución son aquellas citadas como límites máximos permisibles en las descargas de aguas industriales, de acuerdo con la NOM-CCA-031-ECOL/93.
- E. El muestreo se efectuará en períodos de 3 horas a partir del inicio de la agitación y hasta completar 12 horas de operación. Se prepararán 10 celdas diferentes con objeto de garantizar la validez estadística de la prueba.

### **8.7 Tablas de resultados y gráficas:**

A continuación se muestran las tablas y gráficas de concentración contra tiempo de reacción para los tres metales en cada uno de los 10 reactores instalados:

Tabla 8.1 Variación de la concentración (en ppm) de cobre, zinc y aluminio con respecto al tiempo de residencia en un reactor discontinuo

	R E A C T O R									
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
COBRE A	2.3	1.6	1.7	2.7	2.2	1.4	2.9	2.6	2.4	1.9
COBRE B	2.0	2.1	0.9	2.5	1.2	1.3	2.7	2.3	2.4	1.8
COBRE C	1.8	2.0	0.7	2.3	0.9	1.2	2.6	2.1	2.3	1.7
COBRE D	1.7	1.8	0.6	2.0	0.7	1.1	2.4	1.7	2.1	1.5
COBRE E	1.4	1.7	0.4	0.5	1.9	0.9	2.4	1.5	2.1	1.3
ZINC A	4.9	4.5	4.4	---	---	---	5.0	4.7	4.6	4.4
ZINC B	4.6	4.5	3.7	---	---	---	4.8	4.7	4.7	4.3
ZINC C	4.4	4.6	3.5	---	---	---	4.8	4.4	4.7	4.3
ZINC D	4.3	4.5	4.4	---	---	---	4.9	4.3	4.7	4.3
ZINC E	4.2	4.6	3.4	---	---	---	4.9	4.2	4.8	4.3
Al A	1.9	4.9	3.9	9.3	7.8	5.4	6.4	1.4	2.4	1.4
Al B	2.9	4.4	2.4	3.9	3.4	N.D	3.9	3.4	2.4	0.9
Al C	2.9	3.9	2.9	3.9	4.4	1.4	6.3	0.4	1.9	0.9
Al D	9.3	2.9	N.D	1.9	N.D	N.D	3.4	N.D	3.4	3.9
Al E	N.D	0.9	N.D	N.D	1.9	N.D	3.9	0.4	1.9	2.9

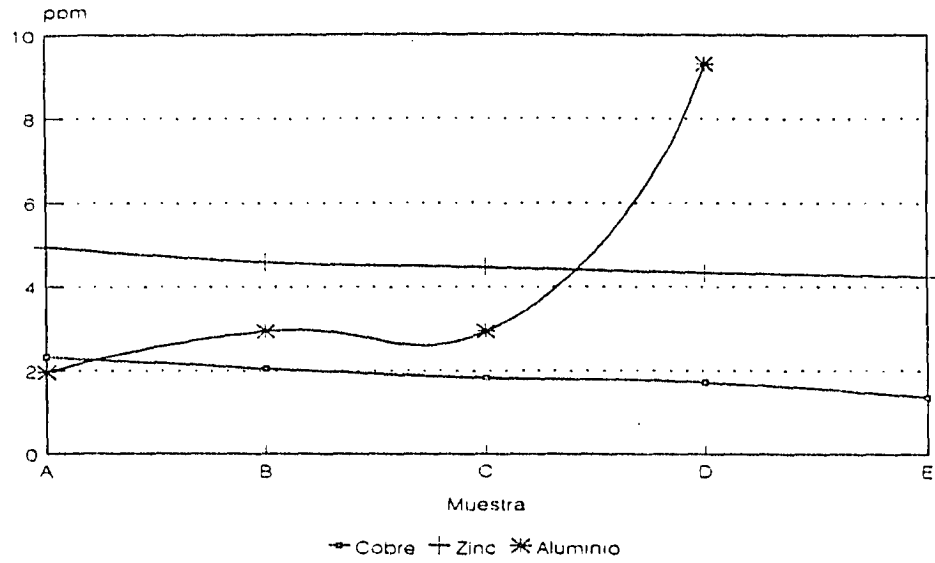


Nota 1: Para la tabla 8.1 los tiempos de residencia son los siguientes:

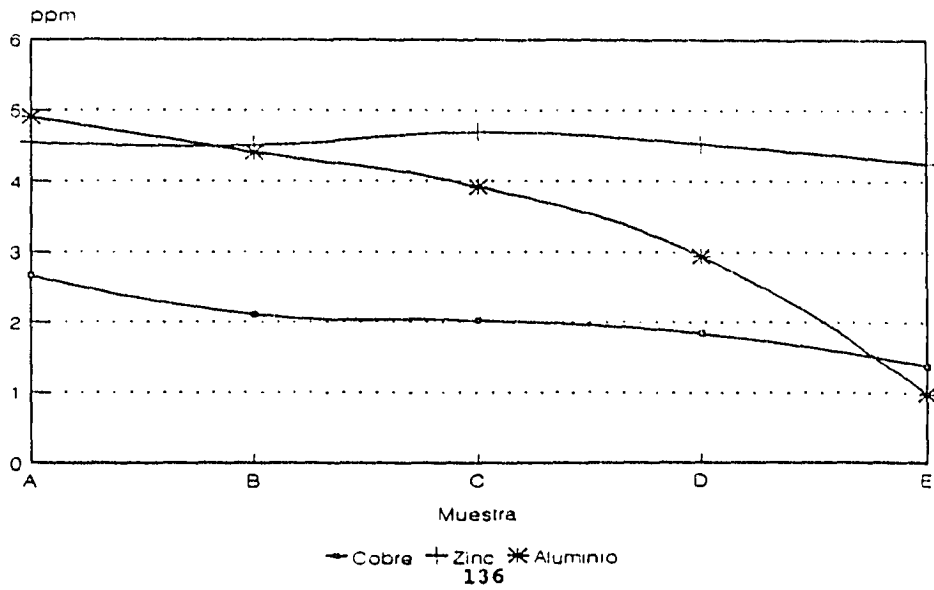
MUESTRA	TIEMPO DE RESIDENCIA
A	0.5 h.
B	3 h.
C	6 h.
D	9 h.
E	12 h.

Nota 2: Los valores de concentración de zinc para los reactores 4, 5 y 6 no aparecen debido a la presencia de irregularidades en el sistema de agitación durante la prueba.

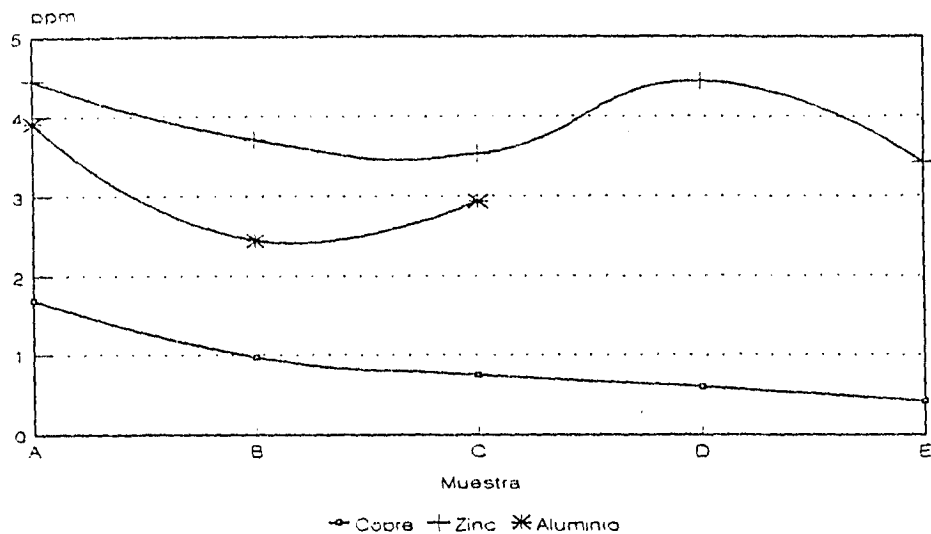
**Gráfica 8.1 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 1**



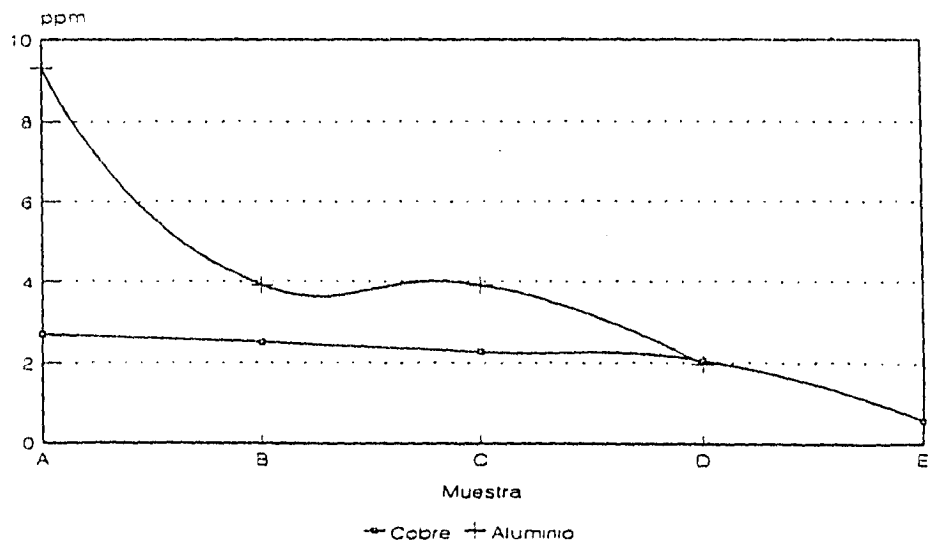
**Gráfica 8.2 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 2**



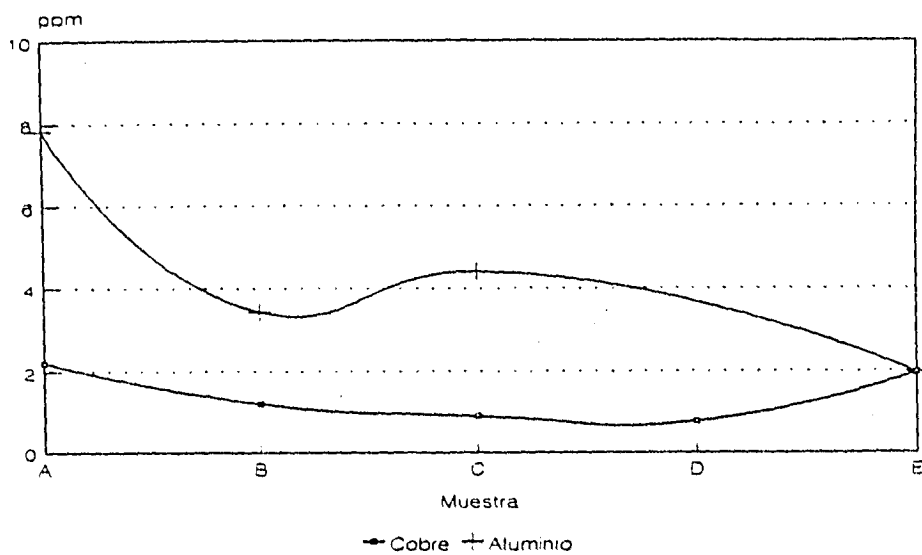
**Gráfica 8.3 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 3**



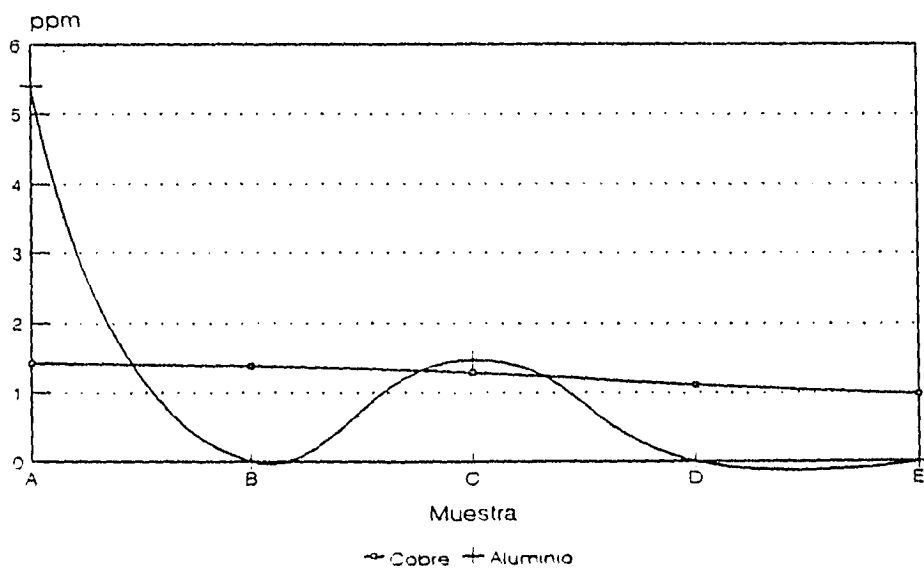
**Gráfica 8.4 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 4**



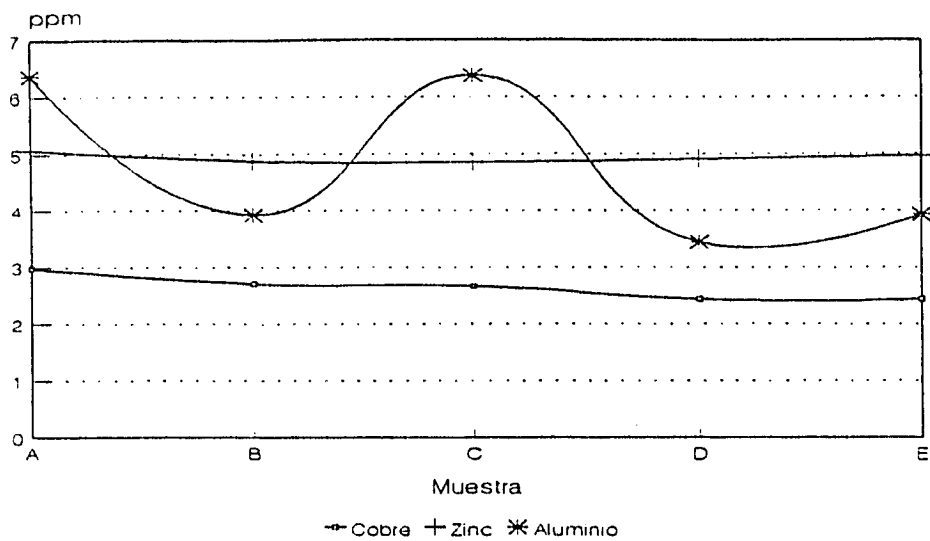
**Gráfica 8.5 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 5**



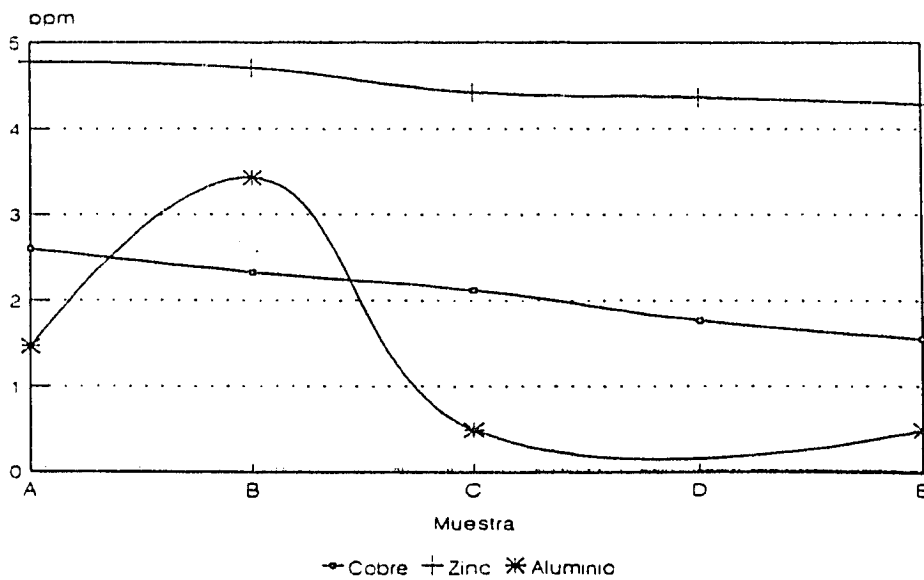
**Gráfica 8.6 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 6**



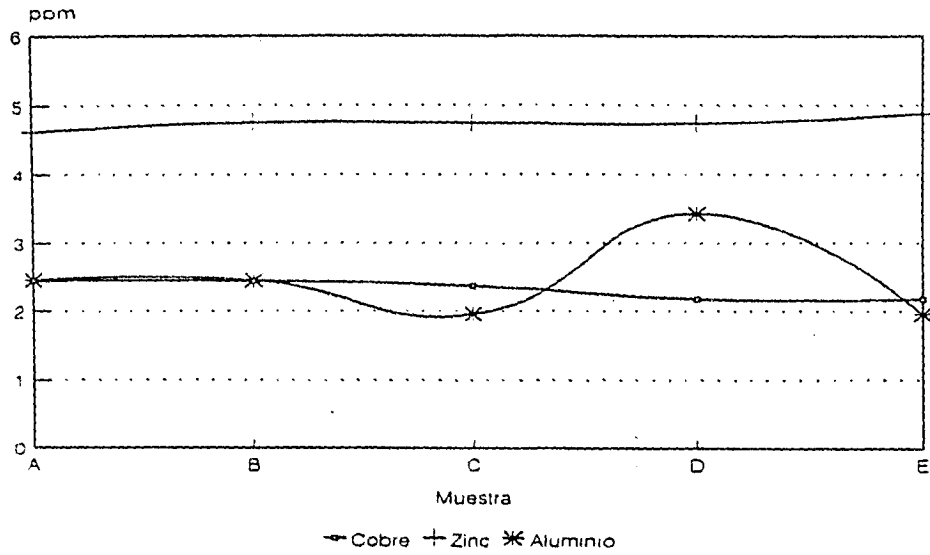
**Gráfica 8.7 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 7**



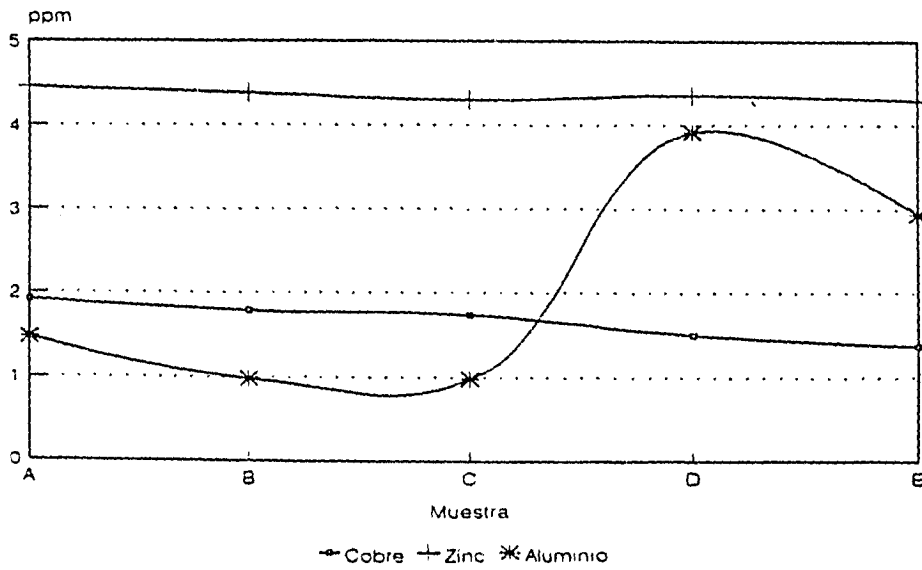
**Gráfica 8.8 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 8**



**Gráfica 8.9 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 9**



**Gráfica 8.10 Prueba de adsorción de metales  
Reactor 10**



### 8.6 Análisis de resultados

En la tabla 8.1 se muestran los valores que se obtuvieron para la concentración de cobre, zinc y aluminio para diez reactores discontinuos en muestras tomadas cada tres horas por un período de 12 horas de operación.

En el caso del cobre, la concentración inicial de la solución antes de adicionar el lodo al sistema fue de 5 ppm. Se observa que en general, en todos los reactores la concentración del metal con respecto al tiempo tiende a bajar desde la primera muestra y continúa bajando hasta la última.

Cabe recordar que la primera muestra (muestra A) en cada reactor se tomó 30 minutos después del inicio de la agitación del sistema.

El porcentaje más alto de adsorción de cobre que se obtuvo en los primeros 30 minutos fue de 72% para el reactor 6, y el porcentaje más bajo fue de 42% para el reactor 7.

El porcentaje de adsorción de cobre más alto que se obtuvo después de 12 horas de operación fue de 92% para el reactor 3, mientras que el más bajo en ese mismo intervalo de tiempo fue de 52% para el reactor 7.

Para el zinc, con una concentración inicial en la solución de 6 ppm, el comportamiento de la concentración con respecto al tiempo de residencia es igualmente descendente pero la adsorción de este metal es apreciablemente menor que la del cobre.

El porcentaje de adsorción de zinc más alto que se obtuvo en los primeros 30 minutos fue de 27% para el reactor 10, mientras que el valor mínimo fue de 17% para el reactor 7.

El porcentaje de adsorción máximo de zinc después de 12 horas fue de 44% para el reactor 3. Así mismo, el porcentaje mínimo fue de 19% en el reactor 7.

El aluminio, con una concentración inicial de 10 ppm presenta un comportamiento irregular. Se presentan altas y bajas en los valores de concentración con respecto al tiempo, por lo que no fue posible establecer una tendencia clara de los valores obtenidos. Es posible que esto se deba a la presencia de una elevada cantidad de aluminosilicatos como parte del contenido de inorgánicos del lodo de destinte.

### **8.9 Conclusiones y recomendaciones**

El uso del lodo de destinte como adsorbente auxiliar en tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados es una alternativa de reutilización del residuo de acuerdo con los resultados que se obtuvieron para cobre y zinc.

La adsorción de metales sobre el lodo se favorece mediante el empleo de un sistema agitado, pues esto permite obtener un área superficial mayor en relación a la que podría tenerse en un reactor de lecho fijo.

Los mayores porcentajes de adsorción de cobre y zinc se obtuvieron en los primeros minutos de operación del sistema, lo cual indica que el material posee la propiedad de adsorber rápidamente este tipo de contaminantes.



Como se observa en los resultados, el operar el sistema por períodos mayores de 30 minutos resulta ineficiente desde el punto de vista económico, sin embargo es necesario realizar pruebas para establecer el punto en donde el sistema alcanza el equilibrio y en consecuencia podrán trazarse las isotermas de adsorción correspondientes.

Las hipótesis planteadas al inicio de ésta sección se aceptan. Los lodos de destinte pueden utilizarse para la adsorción de metales en aguas residuales.

Con objeto de obtener una mayor cantidad de información acerca de la viabilidad del uso del lodo de destinte como adsorbente de metales en el tratamiento de aguas residuales se recomienda tomar en cuenta las siguientes sugerencias:

- A. Realizar pruebas de adsorción con diferentes metales y con concentraciones cada vez más altas del contaminante para determinar el punto de saturación del material.
- B. Efectuar pruebas de adsorción en reactores de lecho fijo y en reactores en serie con objeto de verificar la eficiencia de adsorción.
- C. Evaluar la capacidad de adsorción del lodo en diferentes tipos de efluentes industriales
- D. Establecer el grado de influencia que tienen otras variables tales como el mecanismo de agitación, pH, temperatura etc., sobre la capacidad de adsorción del lodo.

## CAPITULO 9

## 9. PRUEBAS DE REUTILIZACION DEL LODO COMO SOPORTE SECO DE INSECTICIDAS DE LIBERACION LENTA

### 9.1 Objetivos:

9.1.1 Establecer si es posible soportar un insecticida piretroide en esferas de lodo de destinte seco sin alterar el compuesto activo de la fórmula.

9.1.2 Establecer la viabilidad del uso del lodo de destinte como soporte de insecticidas de liberación lenta, mediante la obtención de una serie de gráficas que muestren la variación de la concentración del insecticida con respecto al tiempo de exposición.

### 9.2 Fundamentos teóricos:

#### 9.2.1 Clasificación de los plaguicidas

Los plaguicidas o agroquímicos son sustancias químicas diseñadas para combatir el ataque de diferentes plagas en la agricultura, horticultura y ganadería; estos incluyen: insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematocidas, rodenticidas y otros de carácter diverso como desinfectantes, molusquicidas, repelentes, defoliantes, acaricidas, etc. (Cremllyn, 1991)

Por su naturaleza, los plaguicidas se clasifican de la siguiente manera:

Químicos	Sintéticos	Organoclorados Organofosforados Carbamatos
	Naturales	Rontenonas Nicotenoides Piretroides

### Biológicos

(Martínez, 1986)

Los plaguicidas también se dividen por su forma de acción en dos tipos principales: a) de contacto o no sistémicos y b) sistémicos.

Los plaguicidas de superficie o de contacto no penetran apreciablemente en los tejidos de las plantas, y consecuentemente no entran al sistema vascular de éstas. Su desventaja es que son susceptibles a los efectos del clima (viento, lluvia y sol).

En los plaguicidas sistémicos el agente químico penetra en los tejidos de la planta, de manera que el insecto muere al alimentarse de una planta tratada con el insecticida. (Cremllyn, 1991)

Hasta hace algunos años, los plaguicidas más usados fueron los organoclorados, organofosforados y carbámicos debido a su bajo costo, eficiencia y amplitud de acción. (Martínez, 1986)

Entre los plaguicidas de tipo organoclorado se encuentran: DDT, paratión, dieldrín, aldrín, clordano, etc; entre los organofosforados, el malatión y entre los carbámicos el baygón. (Martínez, 1986)

El problema que presentan estos insecticidas es su persistencia, es decir, su lenta degradabilidad, lo que contribuye a agravar el problema de la contaminación debido a su uso abundante e indiscriminado.

Actualmente se está optando por insecticidas que posean una toxicidad mayor para los insectos y a su vez ofrezcan costos bajos y una toxicidad mínima para el resto de los animales.

(Martínez, 1986)

### 9.2.2 Principales características de los piretroides

La piretrina es un insecticida de contacto que se obtiene de las flores de *Chrysanthemum Cinerariaefolium* y se utiliza como tal desde tiempos antiguos.

Los piretroides se emplean para controlar plagas en alimentos almacenados y recientemente plagas caseras, industriales y agrícolas. Estas características los han hecho exitosos tanto comercial como ambientalmente. (Cremllyn, 1991)

La importancia de los piretroides radica en su rápida acción sobre insectos, combinada con una baja toxicidad para los mamíferos, debido a su rápido metabolismo hacia productos no tóxicos.

A diferencia de otros insecticidas como el DDT, la piretrina no es persistente y no deja residuos tóxicos, lo que significa que este producto no tiende a inducir el desarrollo de resistencia en las poblaciones de insectos. Sin embargo, la mayor desventaja de los piretroides, específicamente para su uso contra plagas agrícolas radica en su falta de persistencia debido a su inestabilidad en presencia de aire y luz. (Cremllyn, 1991)

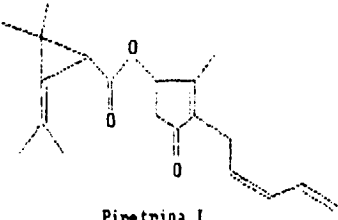
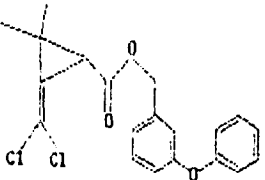
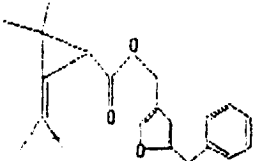
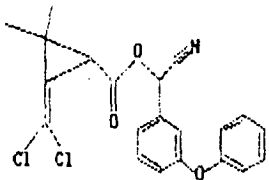
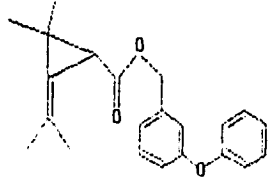
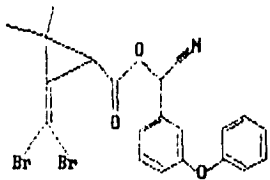
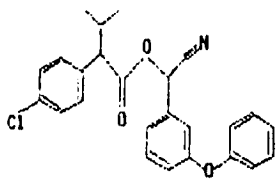
Recientemente se han desarrollado piretroides fotoestables, que están adquiriendo un papel importante en el control de insectos. Los compuestos fotoestabilizados se degradan en semanas, lo cual deja ver el gran potencial que representan para diversidad de aplicaciones prácticas. (Martínez, 1986)

Ver tabla 9.1 Estructuras de algunos piretroides importantes

### 9.2.3 Modo de acción de los piretroides

El efecto de los piretroides sobre el sistema nervioso central y periférico de los insectos, causa repetidas descargas seguidas por convulsiones. La aplicación de concentraciones altas de piretroides producen un bloqueo de la conducción nerviosa, mientras que la recuperación de los insectos tratados con dosis subletales se debe a una rápida detoxificación enzimática in vivo, probablemente por una mezcla de oxidasas microsómicas. (Cremllyn, 1991)

Tabla 9.1 Estructuras de algunos piretroides de importancia

INESTABLES	ESTABLES
 <p data-bbox="511 592 621 618">Piretrina I</p>	 <p data-bbox="914 592 1013 618">Permetrina</p>
 <p data-bbox="511 876 609 902">Resmetrina</p>	 <p data-bbox="907 876 1025 902">Cypermetrina</p>
 <p data-bbox="511 1164 601 1190">Fenotrina</p>	 <p data-bbox="907 1164 1017 1190">Decametrina</p>
	 <p data-bbox="907 1421 960 1447">S 562</p>

(Fuente: Martínez, H. "Pesticidas de tipo piretriode" Tesis Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pág 86.)

#### 9.2.4 Formas más comunes de aplicación de los piretroides

En las prácticas agrícolas, la forma de aplicación mas común es aquella donde el concentrado hidrofóbico del insecticida formulado en un solvente orgánico con la adición de ciertos emulsificantes se disuelve en una cantidad de agua y se esprea sobre las plantaciones o animales que se desea proteger. (Haug, et. al. 1990)

Para ciertas aplicaciones en el hogar se requiere una liberación lenta del ingrediente activo durante largos periodos de tiempo. Con este objeto se han desarrollado formulaciones sólidas de piretroides soportados en polimeros orgánicos que se usan a temperatura ambiente, tales como películas y tabletas. También es posible soportar el insecticida sobre sólidos inorgánicos como carbón o arcilla sin pérdida de la actividad del compuesto.

El método más difundido de aplicación de los piretroides es el esparado de una solución diluida del piretroide en un hidrocarburo u otro solvente orgánico volátil usando gas presurizado en el clásico envase pulverizador, que permite obtener un aerosol fino para el control de plagas caseras. (Haug, et. al. 1990)

También se utilizan métodos de evaporación en los cuales se ahorra un poco de ingrediente activo. Se trata de la evaporación directa del piretroide contenido en un soporte sólido poco flamable que se calienta de manera controlada. Esto puede hacerse por medio de una lámina de pulpa o celulosa impregnada con el piretroide opcionalmente estabilizada con un antioxidante.

En el mercado se encuentran calentadores eléctricos en miniatura especialmente diseñados como fuentes controladas de calor. El calor de una bombilla eléctrica puede usarse con el mismo fin. (Haug, et. al. 1990)



### 9.2.5 Plaguicidas de liberación controlada

Las formulaciones de liberación controlada se definen como sistemas depósito que liberan continuamente constituyentes tóxicos al ambiente por un periodo de tiempo determinado. Se emplean cuando se requiere una exposición prolongada de los componentes biológicamente activos.

Los plaguicidas de liberación controlada surgieron ante la necesidad de tener plaguicidas ecológicamente aceptables de gran efectividad y que permitan evitar la aplicación repetida, minimizando la contaminación de los sitios no afectados por la plaga.

Las ventajas de las formulaciones de liberación controlada son:  
(Haug, et. al. 1990)

- A. Reducción de la toxicidad para los mamíferos
- B. Reducción de la fitotoxicidad
- C. Reducción de pérdidas del constituyente activo por evaporación y escurrimientos.
- D. Reducción de la degradación de la sustancia activa en la matriz
- E. Reducción de la contaminación al medio ambiente
- F. Prolongación del periodo de actividad

Las desventajas más importantes de esta tecnología son:  
(Haug, 1990)

- A. Aunque la toxicidad de las sustancias aplicadas en esta forma se reduce considerablemente, cuando se aplica incorrectamente se corre el riesgo de una intoxicación crónica de otros organismos que no se desea eliminar

- B. La liberación controlada de sustancias activas requiere la aplicación de cantidades grandes en algunos casos (por ejemplo para el control de mosquitos). En estos casos puede propiciarse el desarrollo de resistencias en algunas especies.
- C. En algunas sustancias se presenta co-migración de las sustancias activas del plaguicida de la matriz soporte como en el caso del PVC junto con los plastificantes (como dietilhexilftalato), algunas de las cuales se sospecha son causantes de enfermedades severas.
- D. La mayoría de los polimeros usados como matriz se degradan pobremente bajo condiciones ambientales, y en muchos de los casos, los productos de degradación son desconocidos.
- E. Las formulaciones de plaguicidas de liberación controlada, comparadas con las formulaciones convencionales no son económicamente competitivas en todos los casos.

Existe una gran variedad de formulaciones comerciales para los plaguicidas de liberación controlada, siendo los soportes más comunes las matrices poliméricas como el PVC, PVC/poliéster, polimeros vinil/acrílicos, poliamidas, poliurea, goma natural, goma de neopreno y copolímeros de etileno y propileno.

Las estructuras más comunes son: microcápsulas, pastillas, láminas, platos y polvos. (Haug, et. al. 1990)

### 9.2.6 Cinética de migración de un plaguicida a partir de una matriz

La migración de sustancias biológicamente activas de las matrices donde han sido físicamente incorporadas tiene lugar a través de la difusión como resultado de un gradiente de concentración entre el interior de la matriz y el medio que la rodea. (Haug, et. al. 1990)

Cuando las sustancias activas están químicamente ligadas a la matriz, la reacción química de ruptura del enlace precede al fenómeno de difusión.

La difusión del plaguicida a partir de la matriz sigue la primera y segunda ley de Fick:

$$J_i = \frac{dM}{dt F} = -D_0 \frac{dc}{dx} \quad (\text{Primera ley}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\delta c}{\delta t} = \frac{\delta^2 c}{\delta x^2} \quad (\text{Segunda ley}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$J_i$ = Flux molar

$dM/dt$ = Variación de la cantidad de sustancia activa con respecto al tiempo

$F$ = Area a través de la cual pasa la sustancia activa

$D_0$ = Coeficiente de difusión de la sustancia activa

$dc$ = Gradiente de concentración

$x$ = longitud

La Ec. (1) se utiliza para describir la difusión desde un sistema bajo condiciones estacionarias, mientras que la Ec. (2) se usa en el estado no estacionario.

El transporte se lleva a cabo a través de tres tipos básicos de membranas:

- a) Membranas macroporosas (diámetro de poro de 0.05 a 1.0 micrómetro)
- b) Membranas microporosas (diámetro de poro de 100 a 500 amstrongs)
- c) Membranas no porosas (orden de magnitud molecular)

En el caso específico de las membranas no porosas, se adiciona un coeficiente de partición K que describe el rango de equilibrio de la partición en el polímero o en el medio ambiente bajo condiciones de saturación.

La Ec. (1) queda:

$$J_i = D_o K \frac{c}{l} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

- c = Gradiente de concentración en ambos lados de la membrana
- l = Espesor de la membrana

Para calcular la cantidad de sustancia que ha migrado al tiempo t se integra la Ec. (1) considerando la geometría de la matriz

$$J_i = \frac{dM_t}{dt F}$$

Para una esfera:  $M_t = \frac{(D_o K 4\pi r_i^2 c)}{(r_a - r_i)/(r_a * r_i)} * t \dots \dots \dots (4)$

(Haug, et. al. 1990)

9.2.7 Principales características físicas y químicas de la  
cypermetrina

**Nombre:** 3-(2,2-Dicloroetenil)-2,2-dimetil ácido  
ciclopropanocarboxílico ciano (3-fenoxifenil)-metil ester

**Nombre común:** Cypermetrina

**Nombres comerciales:**

NRDC 149	Arrivo	Cypersect	Nurelle
FMC 30980	Barricade	Demon	Polithrin
PD 383	Cymbush	Dysect	Ripcord
Agrothrin	Cypercare	Fastac	Rycopel
Ammo	Cyperkill	Flecton	Sherpa

**Peso molecular:** 416.30

**Composición:** C 63.47% H 4.60% Cl 17.03% N 3.37% O 11.53%

**Número de isómeros:** 8

**Contenido % de isómeros activos:** 18 - 25

**Estado físico:** Semi-sólido viscoso

**Solubilidad en agua (ppm):** 0.1

**Presión de vapor mmHg/20° C:** 2 E-8

**Institución inventora:** Rothamsted

**Usos:** Insecticida, ectoparasiticida

(The Merck Co, 1989)

La cypermctrina formulada en el producto comercial distribuido por Ciba Geigy con el nombre de Alfadex tiene las siguientes características: (Ciba Geigy, 1994)

**Fórmula:** Cada 100 ml contienen:

R,S -Alfa-cyano-3-phenoxy-bencyl  
1R,1S -cis/trans-3-(2,2, dichlorovinyl)-2,2-dimethyl-  
ciclopropane carboxilato.....21.29 g

Emulsionantes y solventes cbp.....100 ml

**Estabilidad:**

A diferentes grados de acidéz (78% a pH 2; 94% a pH 4; 67% a pH 6)  
Estable a la luz solar  
Resiste el lavado por lluvia  
Estable hasta 220 °C  
Estable por más de 6 meses a 37 °C

**Toxicidad:**

No es tóxico para las aves  
Poseé baja toxicidad para animales y humanos  
Es tóxico para peces y abejas

**Usos:** Control de plagas domésticas y ectoparásitos

mosca	ácaros	mosquito	hormiga
cucaracha	pulga	araña	escarabajo
garrapata	chínche	alacrán	

### 9.2.5 Plaguicidas de liberación controlada

Las formulaciones de liberación controlada se definen como sistemas depósito que liberan continuamente constituyentes tóxicos al ambiente por un periodo de tiempo determinado. Se emplean cuando se requiere una exposición prolongada de los componentes biológicamente activos.

Los plaguicidas de liberación controlada surgieron ante la necesidad de tener plaguicidas ecológicamente aceptables de gran efectividad y que permitan evitar la aplicación repetida, minimizando la contaminación de los sitios no afectados por la plaga.

Las ventajas de las formulaciones de liberación controlada son:  
(Haug, et. al. 1990)

- A. Reducción de la toxicidad para los mamíferos
- B. Reducción de la fitotoxicidad
- C. Reducción de pérdidas del constituyente activo por evaporación y escurrimientos.
- D. Reducción de la degradación de la sustancia activa en la matriz
- E. Reducción de la contaminación al medio ambiente
- F. Prolongación del período de actividad

Las desventajas más importantes de esta tecnología son:  
(Haug, 1990)

- A. Aunque la toxicidad de las sustancias aplicadas en esta forma se reduce considerablemente, cuando se aplica incorrectamente se corre el riesgo de una intoxicación crónica de otros organismos que no se desea eliminar

- B. La liberación controlada de sustancias activas requiere la aplicación de cantidades grandes en algunos casos (por ejemplo para el control de mosquitos). En estos casos puede propiciarse el desarrollo de resistencias en algunas especies.
- C. En algunas sustancias se presenta co-migración de las sustancias activas del plaguicida de la matriz soporte como en el caso del PVC junto con los plastificantes (como dietilhexilftalato), algunas de las cuales se sospecha son causantes de enfermedades severas.
- D. La mayoría de los polímeros usados como matriz se degradan pobremente bajo condiciones ambientales, y en muchos de los casos, los productos de degradación son desconocidos.
- E. Las formulaciones de plaguicidas de liberación controlada, comparadas con las formulaciones convencionales no son económicamente competitivas en todos los casos.

Existe una gran variedad de formulaciones comerciales para los plaguicidas de liberación controlada, siendo los soportes más comunes las matrices poliméricas como el PVC, PVC/poliéster, polímeros vinil/acrílicos, poliamidas, poliurea, goma natural, goma de neopreno y copolímeros de etileno y propileno.

Las estructuras más comunes son: microcápsulas, pastillas, láminas, platos y polvos. (Haug, et. al. 1990)



- 9.4.1.6 Transferir el líquido a un frasco de vidrio obscuro eliminando el sulfato de sodio por decantación. Dejar evaporar el éter.
- 9.4.1.7 Repetir la operación hasta separar todo el insecticida del frasco original.

#### 9.5 Procedimiento experimental:

##### 9.5.1 Integración de la cypermetrina a las esferas de lodo seco

- 9.5.1.1 Pesar 0.1 g de cypermetrina en un vaso de precipitados de 50 ml.
- 9.5.1.2 Diluir con aprox. 20 ml de éter de petróleo.
- 9.5.1.3 Transferir la solución a un matraz de 50 ml y aforar con éter.
- 9.5.1.4 Pesar 20 g de esferas de lodo seco previamente neutralizado y colocarlas en un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- 9.5.1.5 Verter la solución de cypermetrina en éter sobre las esferas de lodo procurando que se impregnen del líquido de manera homogénea.
- 9.5.1.6 Esperar a que se evapore totalmente el éter y transferir las esferas impregnadas con el insecticida a la caja Petri procurando que las esferas no queden unas sobre otras. Tomar la primera muestra de 20 esferas de lodo.
- 9.5.1.7 Extraer el insecticida de las esferas de lodo en aproximadamente 5 ml de éter de petróleo. Decantar y transferir la solución a un vaso de precipitados de 10 ml filtrando previamente.
- 9.5.1.8 Dejar que se evapore el éter y sellar el vaso de precipitados.

- 9.5.1.9 Tomar una muestra de lodo con intervalos de tiempo de 24 horas hasta completar 8 muestras. Las esferas deberán mantenerse bajo la luz de una bombilla eléctrica de 100 watts durante todo el tiempo necesario para los 8 muestreos.
- 9.5.1.10 Leer los 8 extractos en el espectrómetro de U.V. para obtener las gráficas de longitud de onda contra absorban-  
cia.
- 9.5.1.11 Determinar la longitud de onda de máxima absorción para el compuesto y observar el comportamiento de la absorbancia con respecto al tiempo.
- 9.5.1.12 Obtener espectros de I.R. del producto comercial en su forma original y del producto sin solvente y sin emulsifi-  
cante antes y después de efectuar las pruebas para verificar que no se ha alterado la fórmula del piretroide.

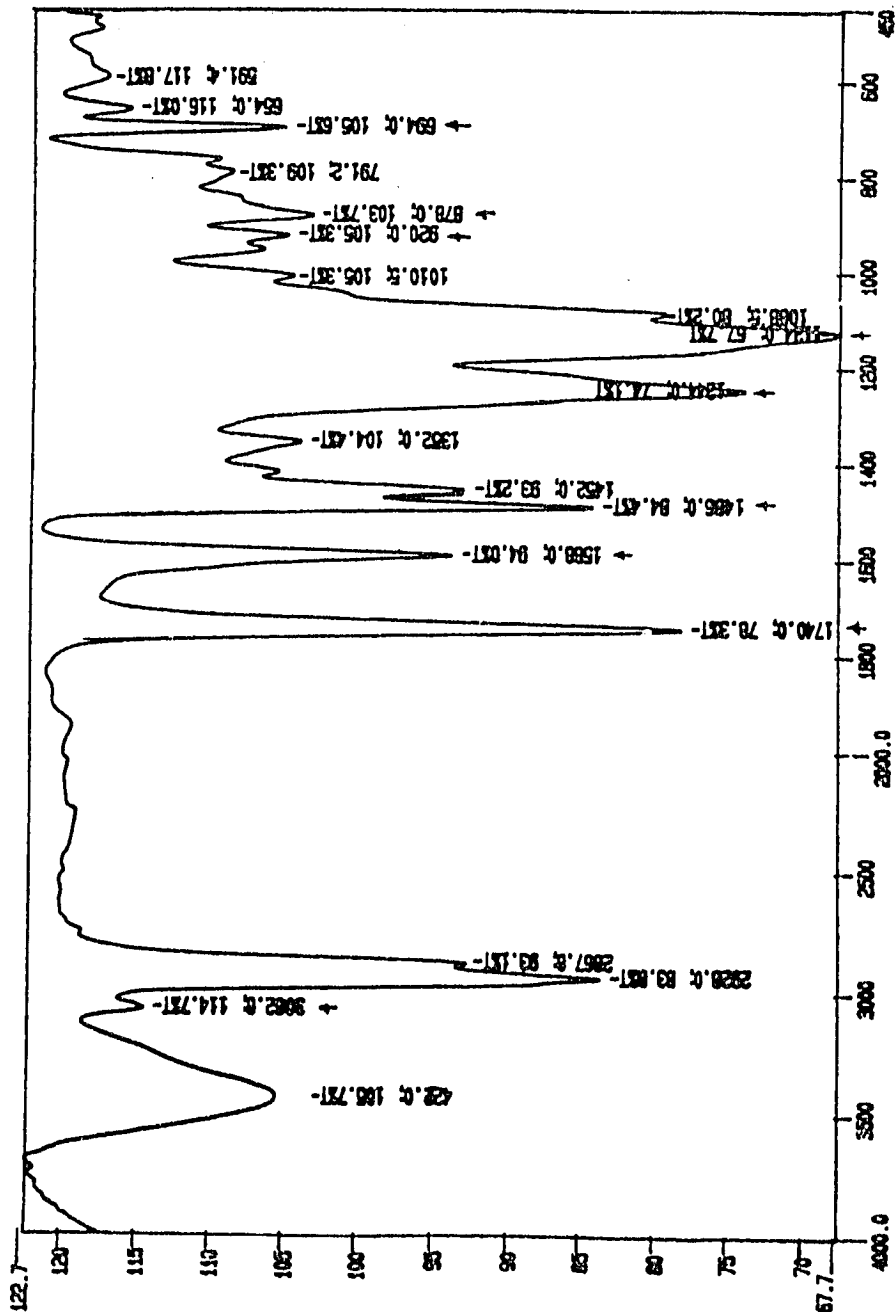
## 9.6 Tablas de resultados y gráficas

Tabla 9.2 Valores de absorbancia para la longitud de onda de máxima absorción a partir de los espectros de ultravioleta.

MUESTRA	1a. DERIVADA		2a. DERIVADA
	Longitud de onda de máxima absorción	Valor de la primera derivada	Longitud de onda de máxima absorción
1	280.1 nm	4.505	281.3
2	280.1 nm	9.631	281.8
3	280.3 nm	8.856	281.0
4	288.0 nm	6.743	280.9
5	280.1 nm	10.766	280.9
6	280.1 nm	12.116	280.8
7	280.0 nm	9.257	280.8
8	280.0 nm	8.051	280.7

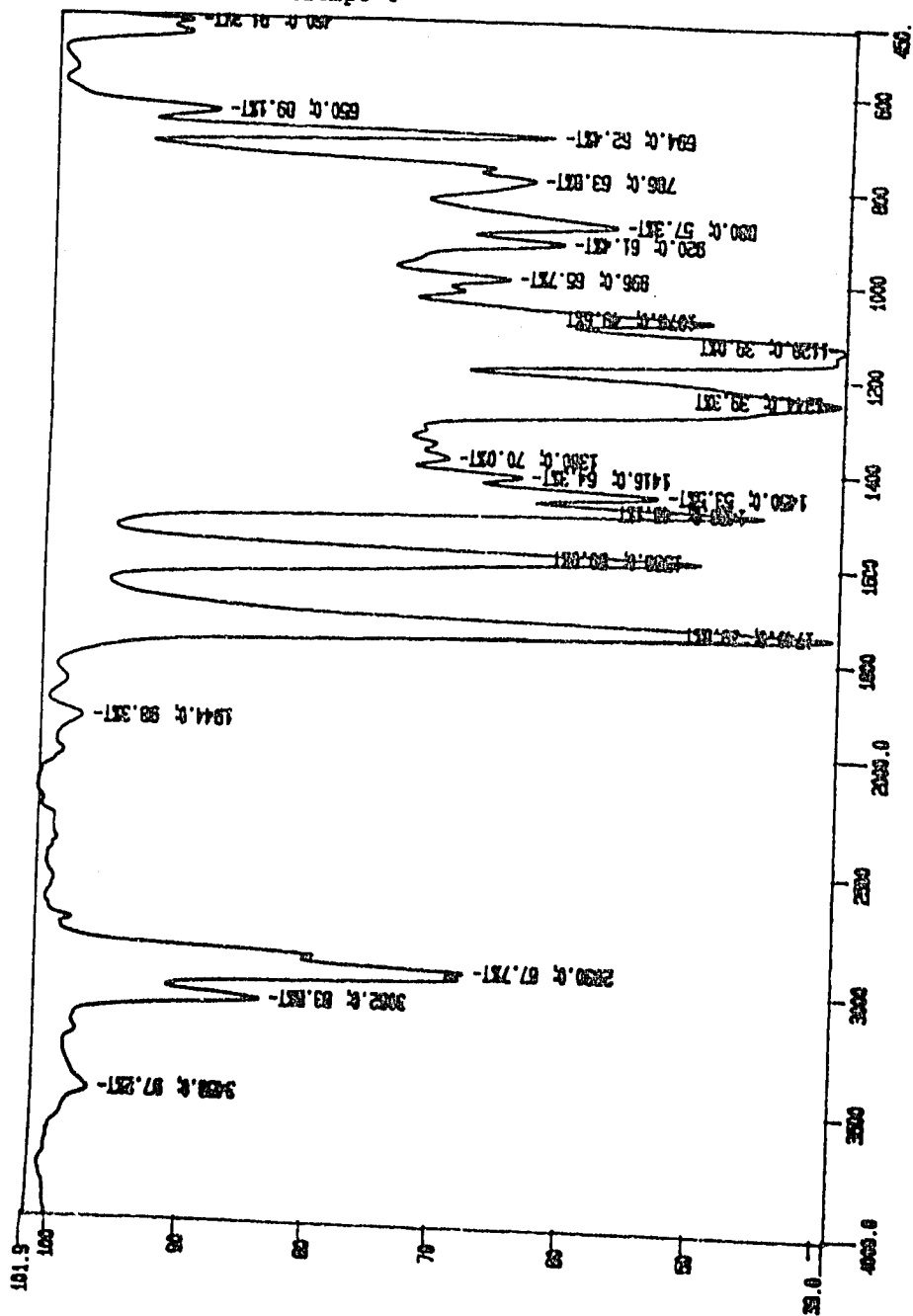
A continuación se presentan los espectros de infrarrojo y ultravioleta que se obtuvieron en las diferentes etapas del procedimiento.

A. Espectro de I.R. Cypermetrina libre de solventes y emulsificantes



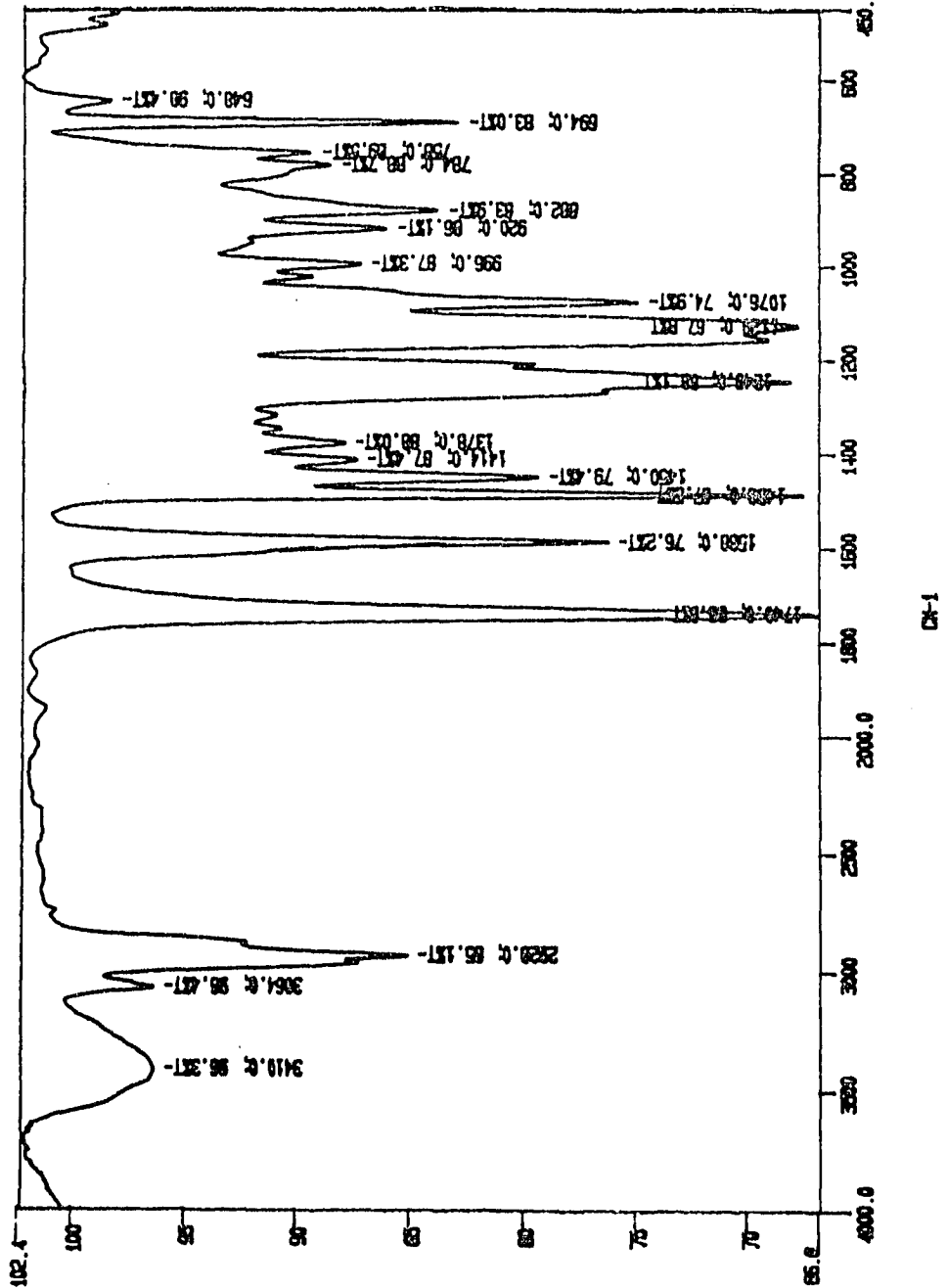
1-40

B. Espectro de I.R. Extracto de cypermetrina soportada sobre lodo de destinte al tiempo 0

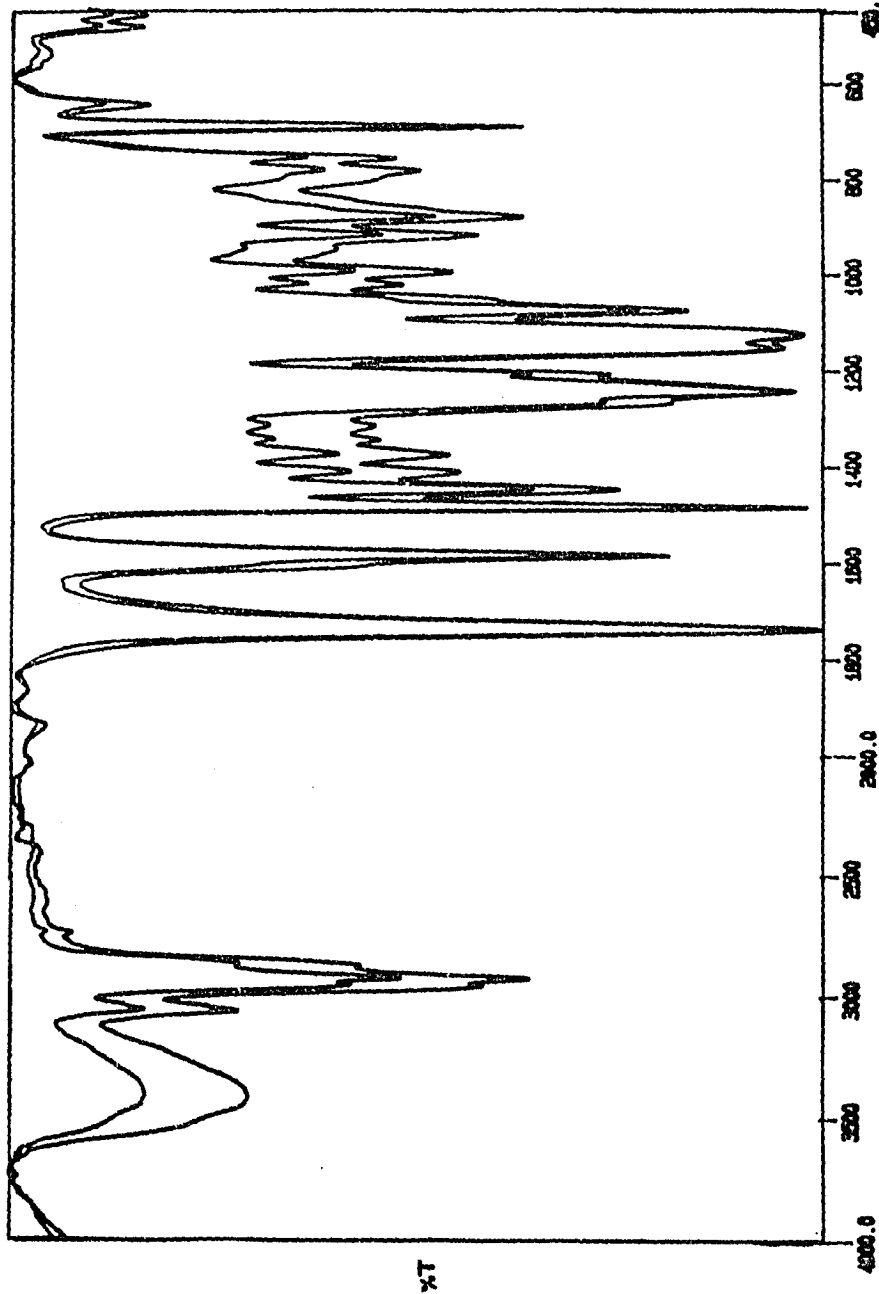


1-40

C. Espectro de I.R. Extracto de cypermetrina soportada sobre lodo de destinte después de 156 horas de exposición

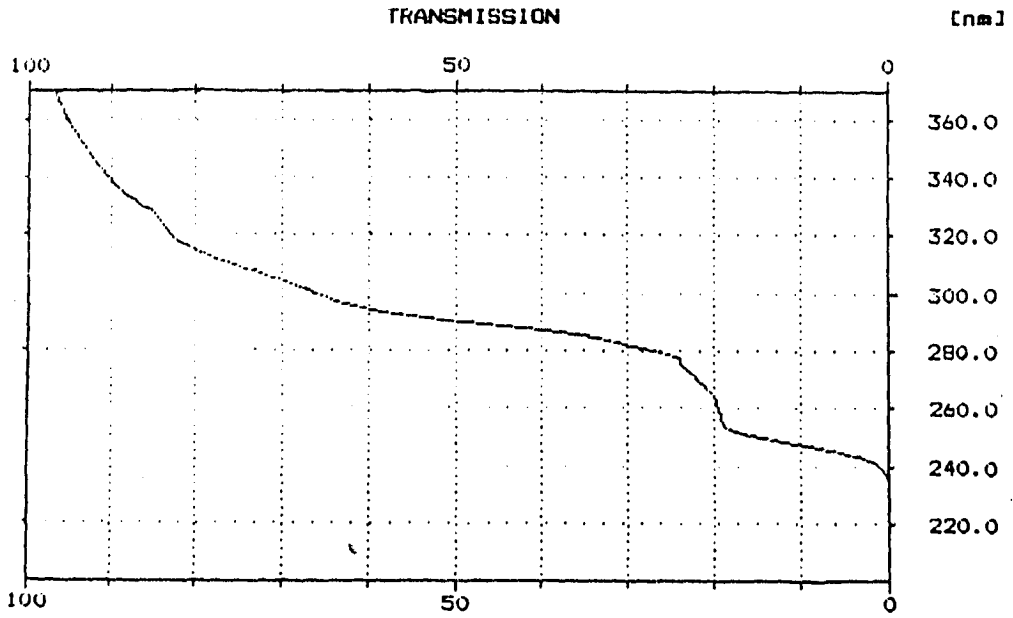


D. Espectro de I.R. Comparativo entre la cypermetrina antes y después de ser soportada sobre el lodo de destinte.



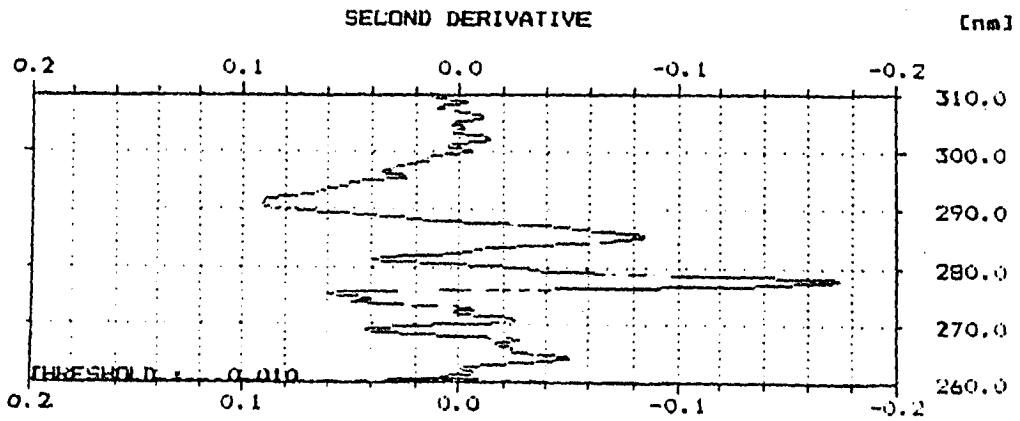
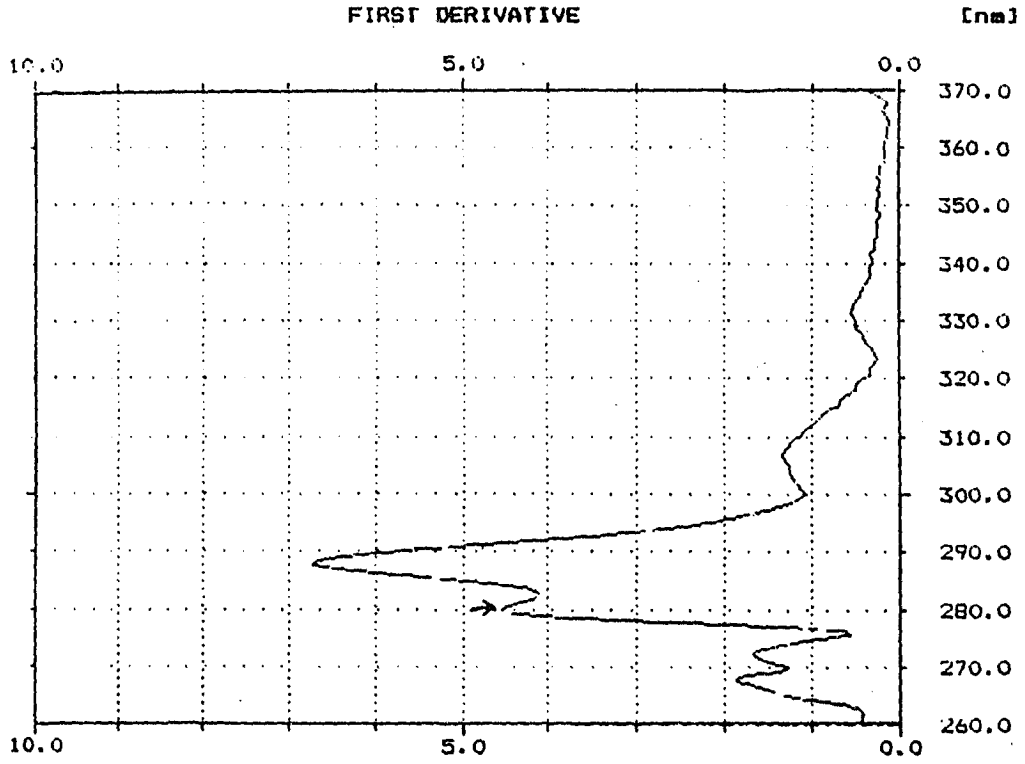
E. Espectro de U.V. Transmitancia vs. longitud de onda.  
Extracto de cypermetrina soportada sobre lodo de destinte

PERKIN-ELMER LAMBDA 2 UV/VIS SPECTROMETER  
DATE: 95/02/08 WEDNESDAY TIME: 11:00:36  
METHOD NO.: 2 SCAN/MAN

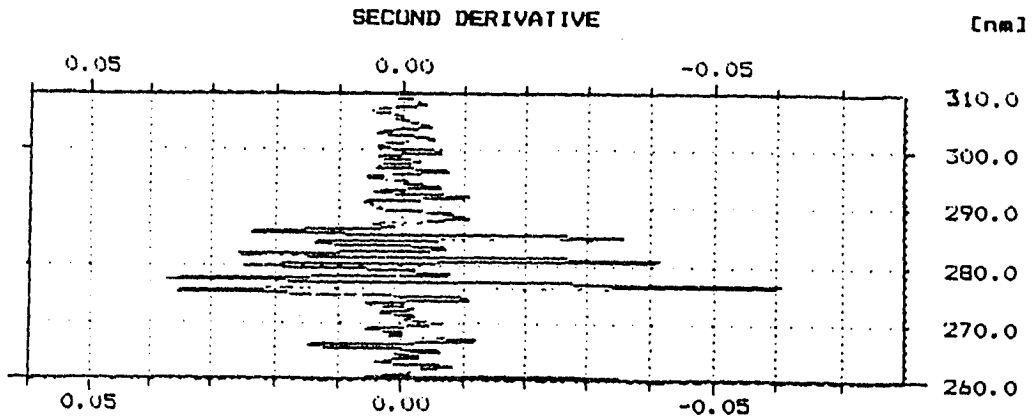
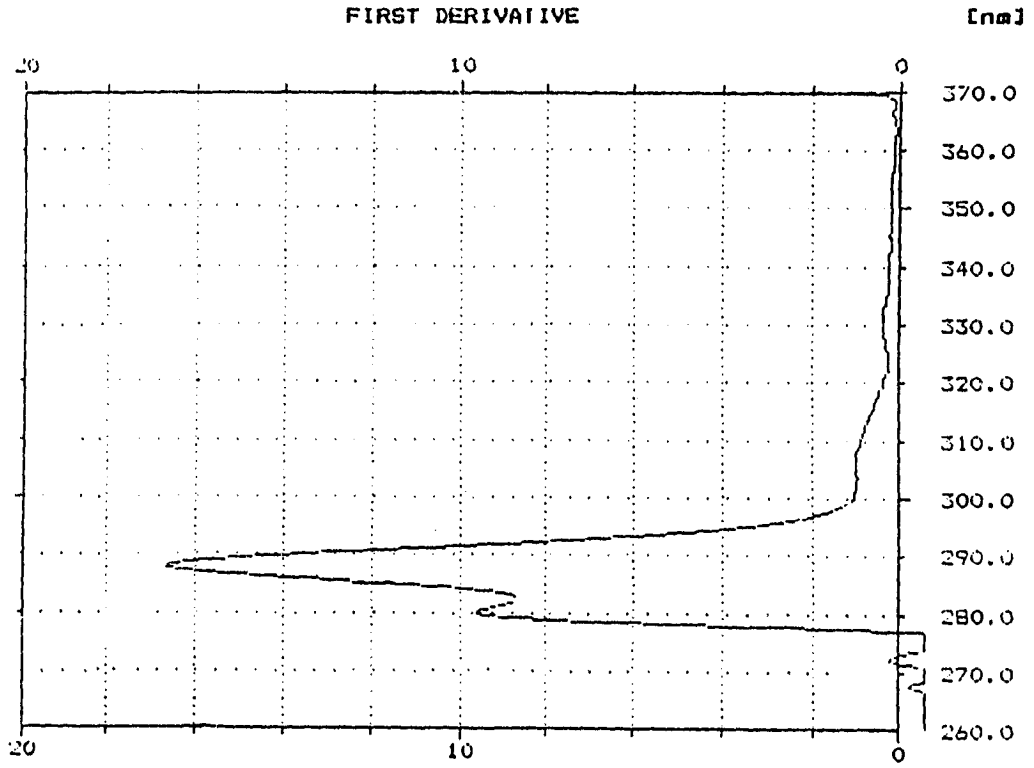




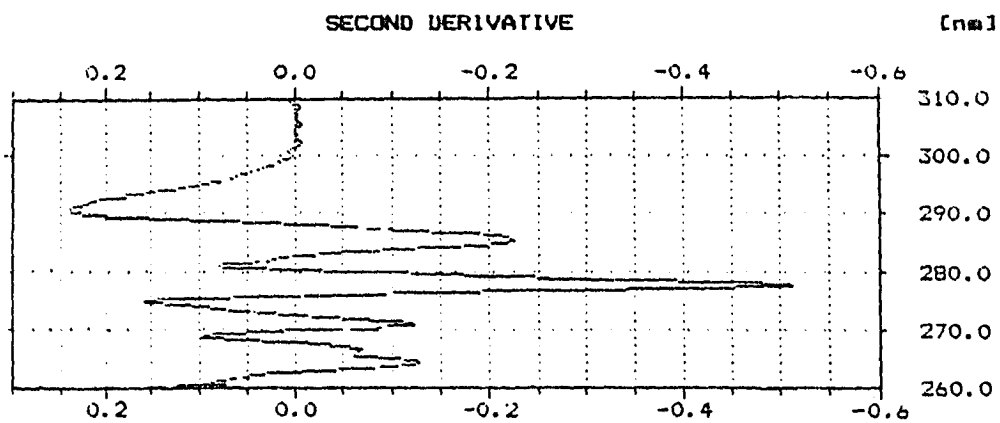
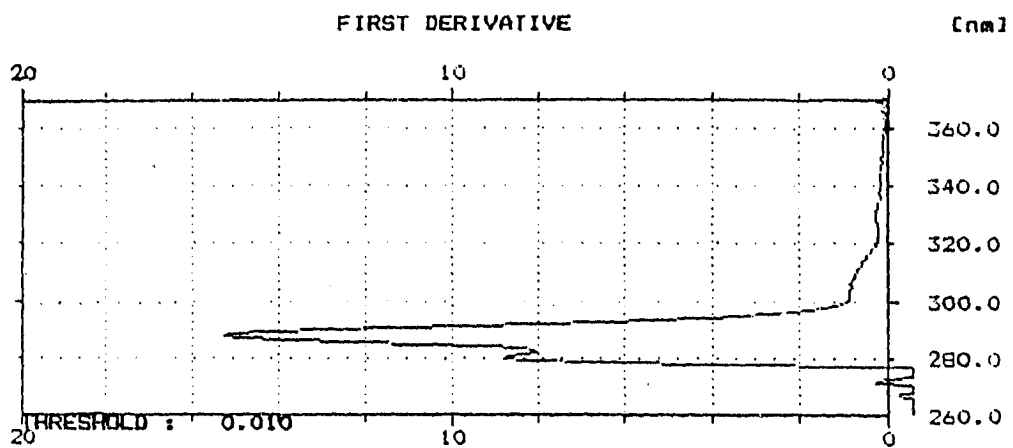
F. Muestra 1. Primera y segunda derivadas



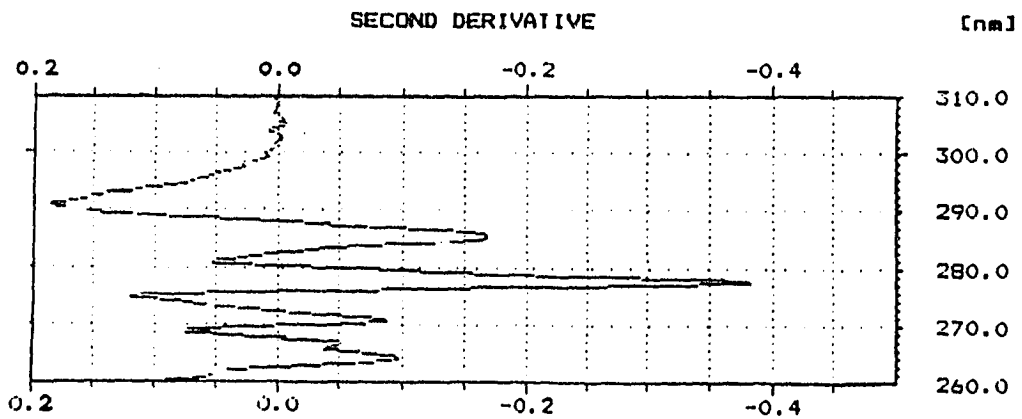
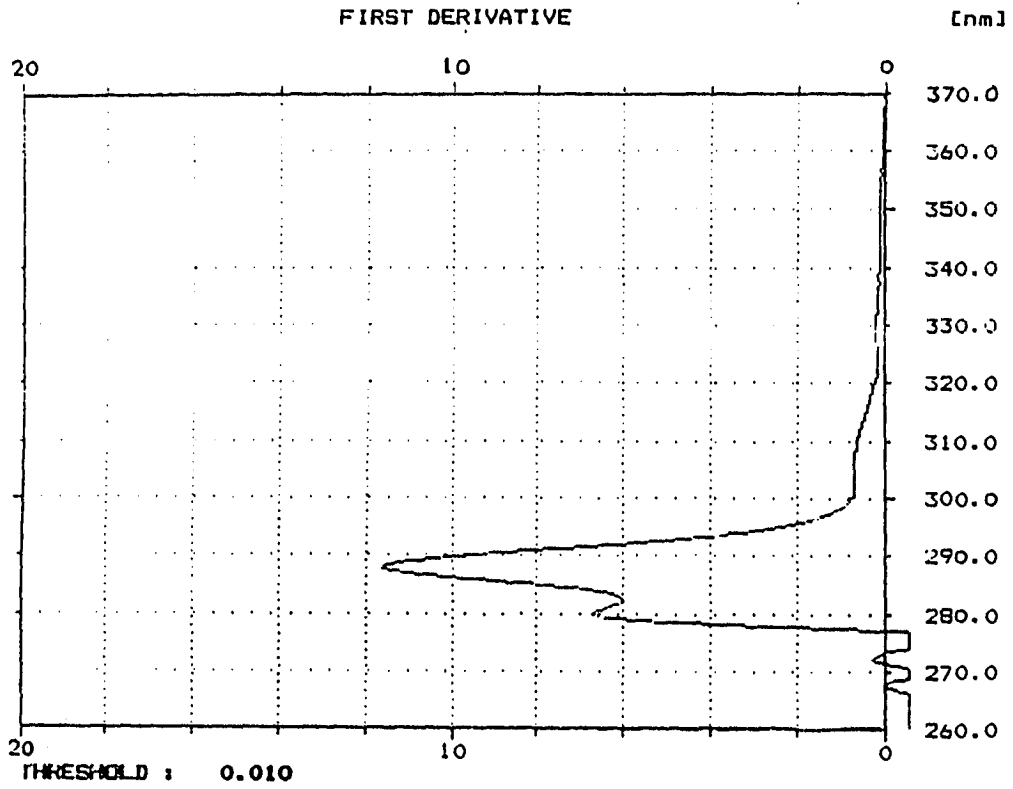
G. Muestra 2. Primera y segunda derivadas



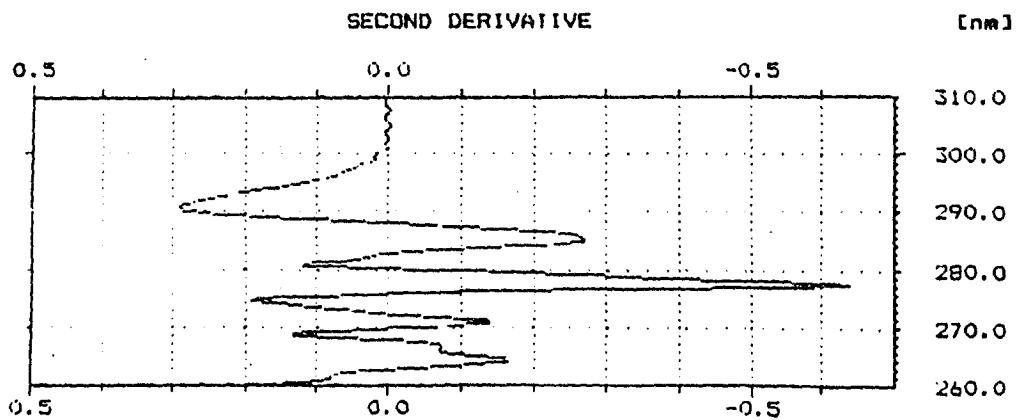
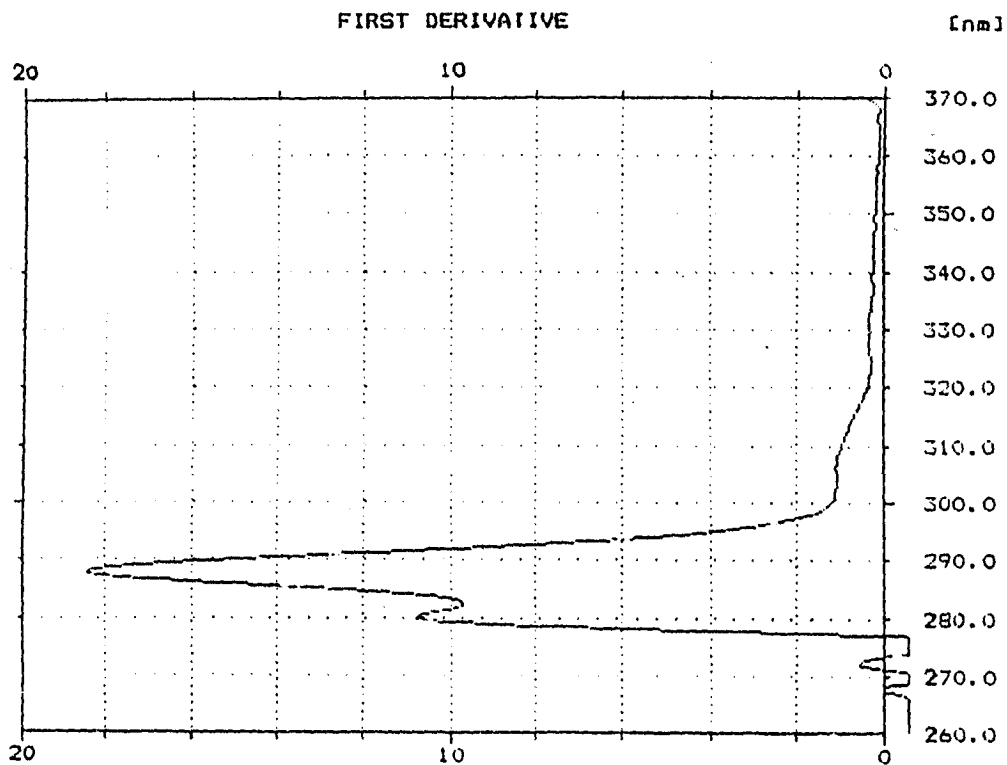
## H. Muestra 3. Primera y segunda derivadas



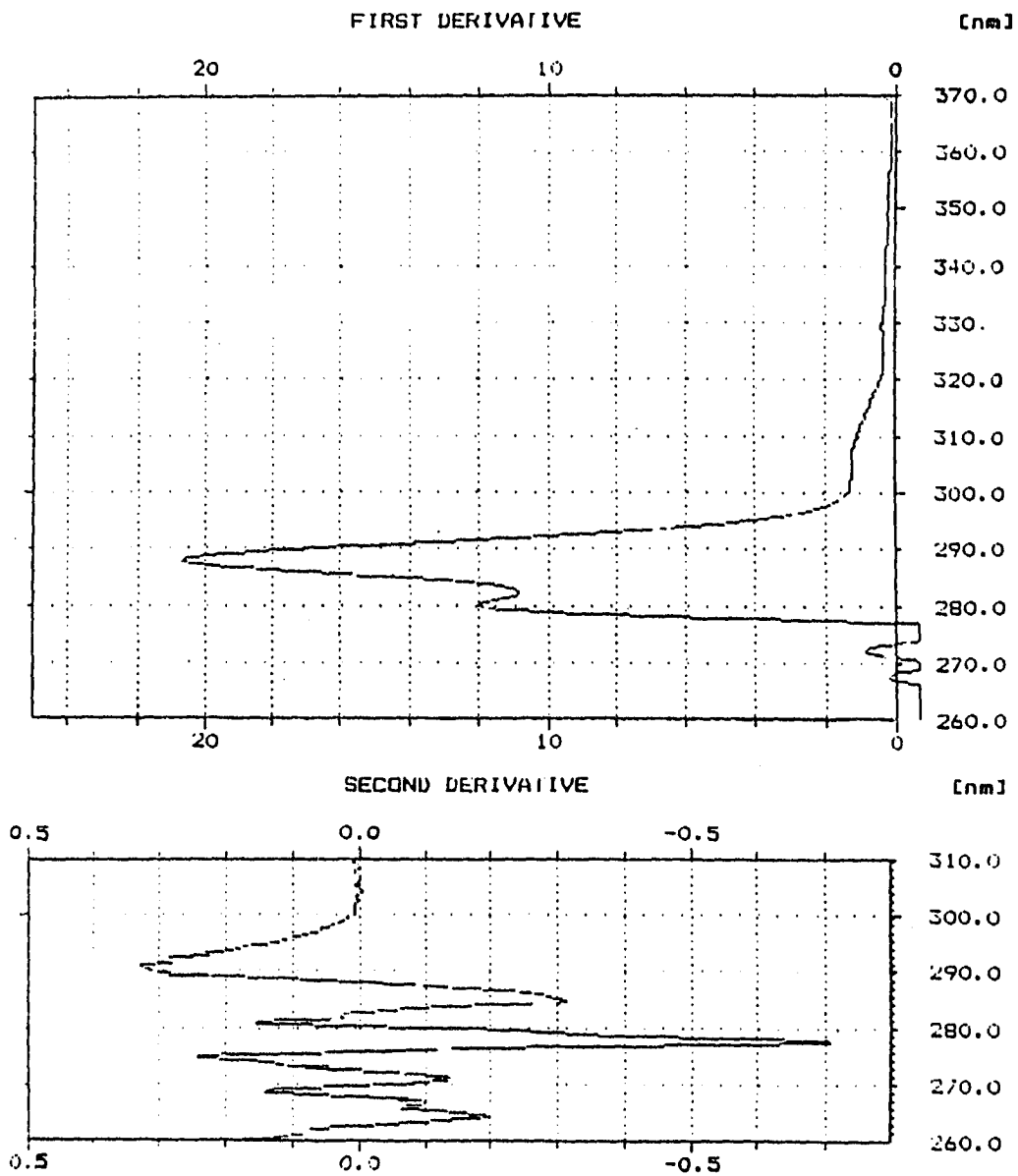
I. Muestra 4. Primera y segunda derivadas



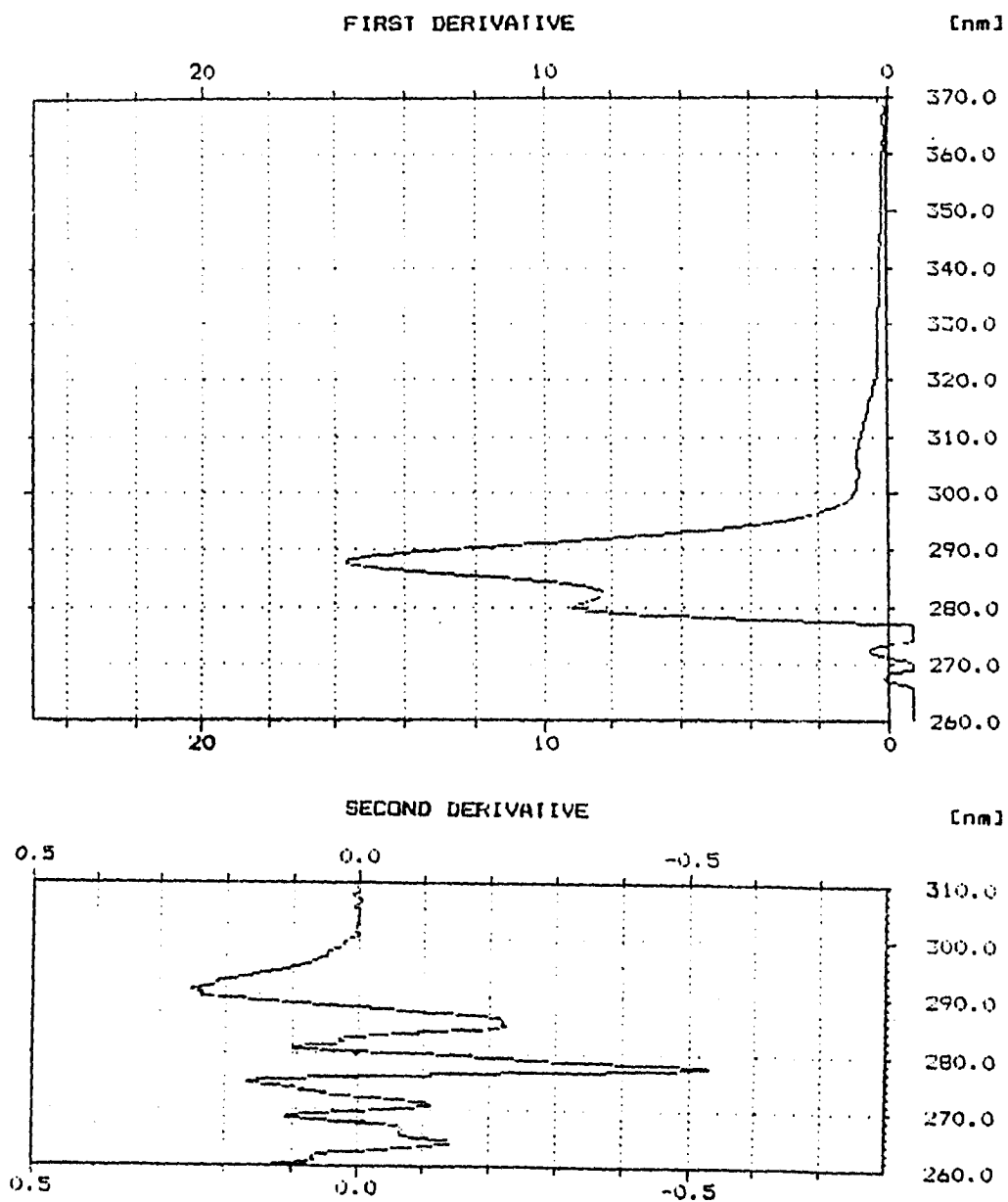
J. Muestra 5. Primera y segunda derivadas



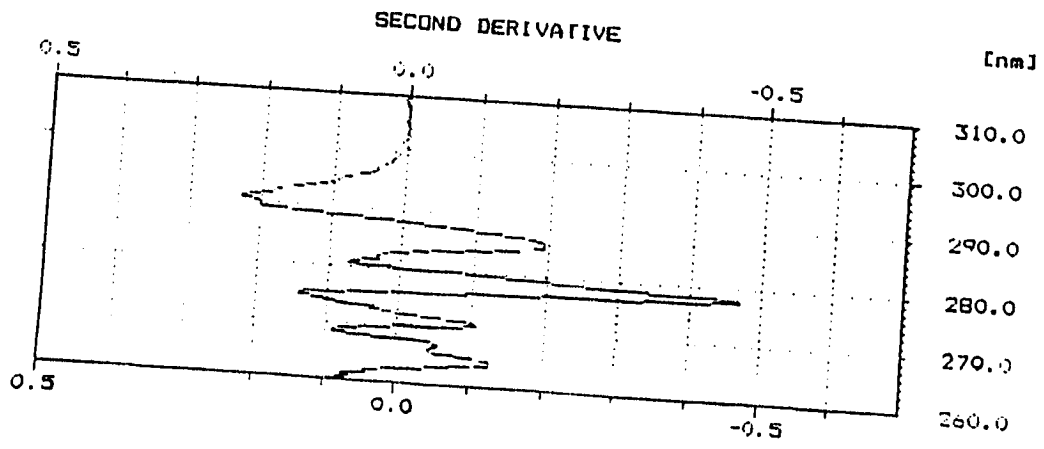
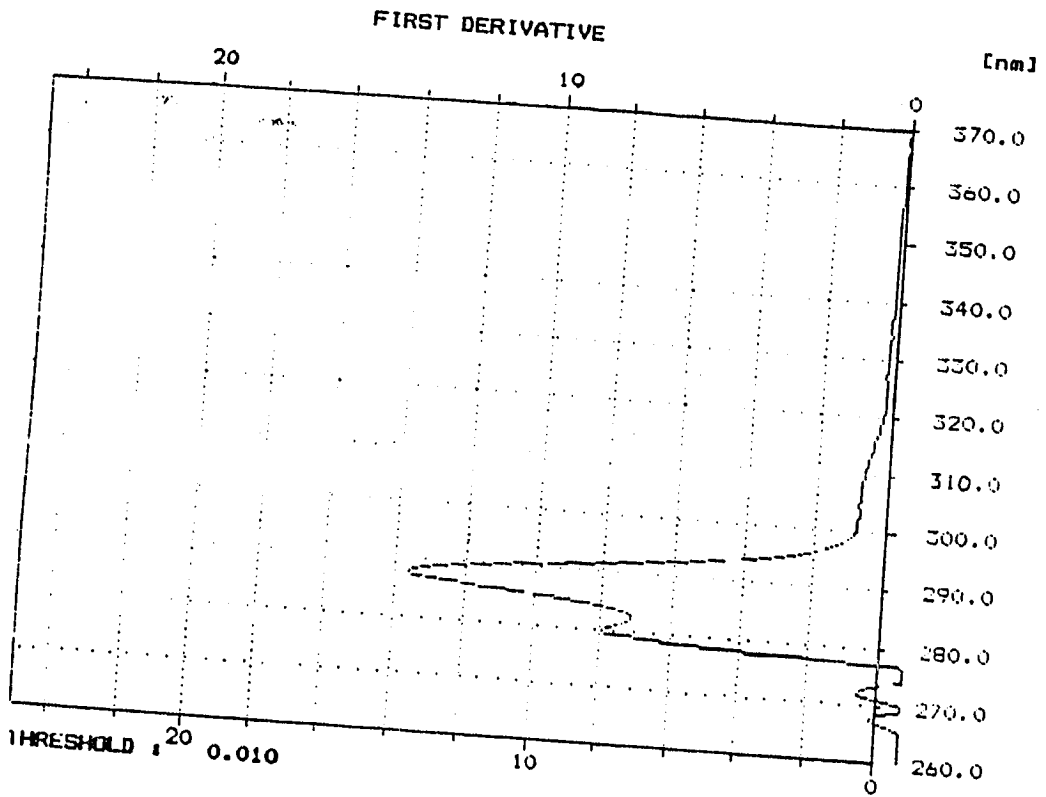
K. Muestra 6. Primera y segunda derivadas



## L. Muestra 7. Primera y segunda derivadas



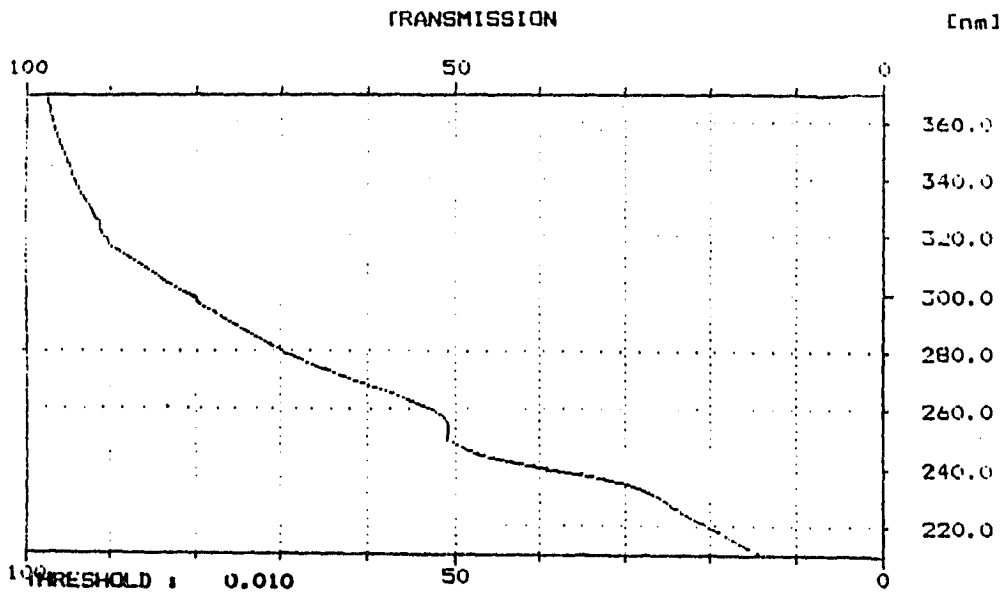
176  
M. Muestra 8. Primera y segunda derivadas



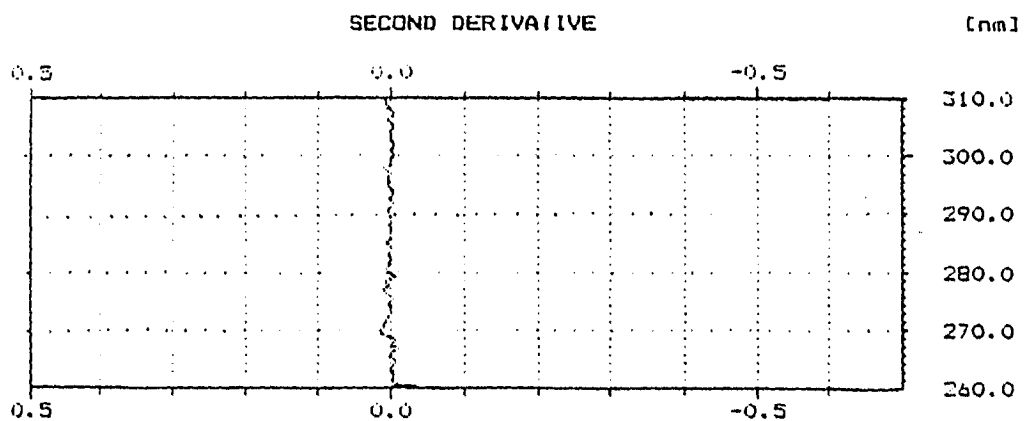
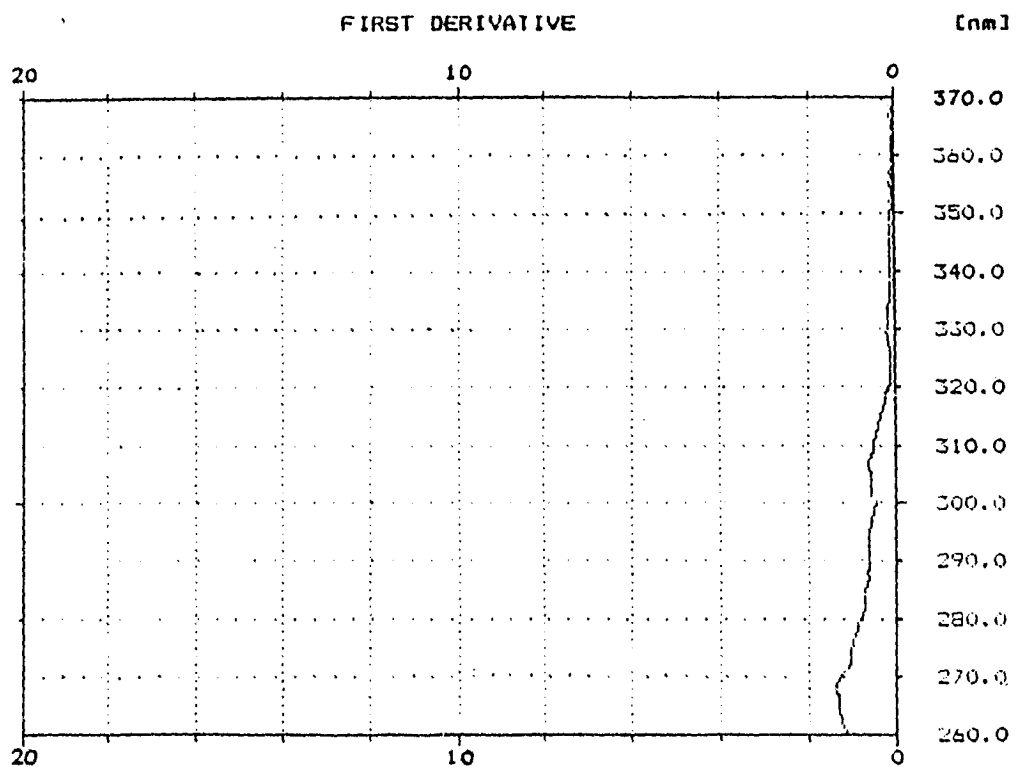


N. Blanco. Espectro U.V. Transmitancia vs. longitud de onda

PERKIN-ELMER LAMBDA 2 UV/VIS SPECTROMETER  
DATE: 95/02/24 FRIDAY TIME: 10:27:10  
METHOD NO.: 2 SCAN/MAN



0. Blanco. Primera y segunda derivadas



### **9.7 Análisis de resultados**

Los espectros de infrarrojo obtenidos para el producto comercial, la cypermetrina libre de solvente y emulsificante, el extracto de cypermetrina a partir de una matriz de lodo de destinte al tiempo cero y el extracto de cypermetrina a partir de una matriz de lodo de destinte después de 158 horas de exposición, son completamente similares entre sí y coinciden con el espectro de la cypermetrina reportado en la literatura.

La longitud de onda de máxima absorción para la cypermetrina se encontró en la banda de los 279 nanómetros aproximadamente, a partir del espectro de ultravioleta para una solución del compuesto en etanol.

Con objeto de definir exactamente la longitud de onda de máxima absorción, se obtuvieron las gráficas correspondientes a la primera y segunda derivadas de la absorbancia con respecto a la longitud de onda. En estas gráficas aparecen dos picos característicos en las longitudes de onda de 280 y 288 nm.

Para el análisis cualitativo de la variación de la concentración del insecticida con respecto al tiempo de exposición se consideró como parámetro de referencia el valor de la primera derivada. Estos valores no muestran una tendencia clara hacia la disminución de la concentración del insecticida con respecto al tiempo de exposición.

### **9.8 Conclusiones y recomendaciones**

Cuando se soporta cypermetrina sobre lodo de destinte seco aglutinado en forma de esferas pequeñas, la estructura del compuesto no se altera en ninguna de las etapas del experimento, pues no se favorecen reacciones químicas durante el proceso, por lo tanto se aceptan las dos primeras hipótesis de esta sección.

Dado que no se presenta una disminución de la concentración del insecticida con respecto al tiempo, el compuesto no migra de la matriz de lodo de destinte al medio por difusión, por lo tanto, este sistema no puede emplearse para la liberación controlada de cypermetrina. La tercera hipótesis de ésta sección se rechaza.

Se requiere ampliar el estudio sobre la posibilidad de reutilización de los lodos de destinte como soporte de plaguicidas, por lo cual se plantean las siguientes sugerencias:

- A. Efectuar pruebas similares con diferentes geometrías de la matriz de celulosa contaminada.
- B. Realizar pruebas con otros tipos de plaguicidas
- C. Establecer el tiempo de degradación del lodo de destinte impregnado con un plaguicida sobre diferentes tipos de suelo y diversas condiciones ambientales.
- D. Realizar pruebas con insectos para verificar la eficiencia de la cypermetrina cuando se encuentra dentro de una matriz de lodo de destinte en diferentes formas geométricas.
- E. Difundir la importancia del estudio de las formulaciones de liberación controlada sobre matrices fácilmente degradables y con materiales de reutilización.

## CAPITULO 10

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1. Se expusieron los conceptos básicos que giran en torno al reciclaje y destinte de papel.
2. Después de presentar un panorama general sobre los principales problemas que enfrenta la industria del reciclaje de papel, se observó que la actual crisis económica de México conduce, entre otras cosas, a la búsqueda de alternativas para el aprovechamiento máximo de los recursos con que cuenta, favoreciéndose así la reutilización de materiales.
3. Se mencionaron las diferentes alternativas de reutilización que se tienen actualmente para los residuos que se generan en los procesos de reciclaje de papel. Sus aplicaciones van desde el uso del material como recubrimiento de las capas superiores de algunos rellenos sanitarios, hasta su empleo como combustible en sistemas de incineración con recuperación de energía
4. Se propuso una metodología de caracterización de los lodos de destinte basada en distintos métodos de administración de proyectos, con la cual puede agilizarse el análisis de los efluentes de cualquier fábrica de papel, coadyuvando a la preservación de recursos, tanto materiales como humanos.
5. Se realizó la caracterización de los lodos generados en el laboratorio partiendo de la simulación del proceso de destinte por flotación.
6. Los residuos sólidos que se generan en el proceso de destinte de papel periódico, de acuerdo con los resultados de la caracterización efectuada, no se consideran como peligrosos.

Las concentraciones de los contaminantes que contienen son muy inferiores a los límites máximos que se establecen en la legislación vigente.

7. Se llevaron a cabo pruebas de reutilización del residuo como material absorbente para la limpieza de derrames de aceites, encontrándose que el lodo seco y aglutinado en forma de esferas pequeñas posee una alta capacidad de absorción

Se encontró también que el lodo de destinte puede reutilizarse como material adsorbente de algunos metales en el tratamiento de aguas residuales, considerando los resultados de la experimentación.

Las pruebas de reutilización del lodo como soporte de insecticidas de liberación lenta mostraron que el residuo puede retener un plaguicida de tipo piretroide de tal forma que éste no migra al exterior por difusión.

8. Actualmente se conoce una gran variedad de formas de reutilización del lodo de destinte, sin embargo, no todas ellas son económicamente viables, y otras requieren profundizar en el estudio de los efectos tanto benéficos como adversos que pueden producir en el entorno.
9. Es necesario impulsar el desarrollo de programas de investigación en el área de reutilización de residuos sólidos, no sólo para la industria papelera, sino para la industria en general.

ANEXOS



## ANEXO A: TECNICAS INSTRUMENTALES DE ANALISIS

En esta sección se presenta una descripción breve de los principios generales de los métodos instrumentales más importantes que se utilizaron para la caracterización de los lodos de destinte.

### Métodos basados en la absorción de radiación:

Uno de los principios sobre los que se basan algunos métodos analíticos es la valoración de los componentes mediante la medición del grado de absorción de la luz a determinadas longitudes de onda. Estos métodos se denominan espectrofotométricos.

Al pasar un haz de luz a través de una solución, se produce un fenómeno de absorción parcial. Ciertas longitudes de onda quedan detenidas por el medio; otras logran atravesarlo y se observan entonces de un color determinado. (Brumblay, 1983)

### Ley de Lambert y Beer:

Esta ley establece la relación entre la intensidad de la energía radiante transmitida y la concentración de una disolución irradiada. Al atravesar una distancia fija, la pérdida de intensidad de energía por incremento de sustancia disuelta es proporcional a la intensidad de la radiación incidente.

$$\log P/P_0 = -a b c$$

Donde:

P= Intensidad de la radiación del haz después de atravesar la solución

P<sub>0</sub>= Intensidad de la radiación del haz incidente

a= Coeficiente de absorción, absortividad o extinción específica

b= Longitud del camino óptico

c= Concentración

Existe otra forma más común de expresar esta ley en términos de la transmitancia.

La transmitancia es la razón de la intensidad transmitida a la incidente.

$$T = P/P_0$$

La absorbancia (densidad óptica o extinción) se define:

$$A = -\log T = -\log P/P_0 = a b c$$

(Brown, 1967)

La absorbancia de una solución aumenta en forma directa con la concentración de la sustancia absorbente y con la longitud atravesada por el haz, como se muestra en las gráficas siguientes.

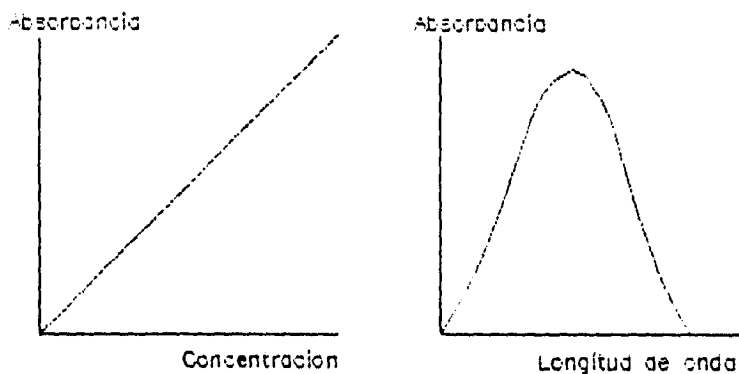


Fig. A.1 Absorbancia de una solución

(Fuente: Skoog, D. Introducción a la Química Analítica. 1a. ed. Editorial Reverté, España, 1975, pág. 35)

La ley de Lambert y Beer tiene algunas restricciones importantes que deben considerarse para evitar errores en las determinaciones: (Skoog, et. al. 1975)

1. La ley de Beer explica correctamente solo el comportamiento de soluciones diluidas

2. Pueden presentarse desviaciones aparentes debidas a reacciones de asociación, disociación u otras de la especie absorbente con el disolvente.
3. Los sistemas absorbentes solo siguen la ley de Beer si se emplea radiación rigurosamente monocromática.

Los aparatos que se emplean para efectuar determinaciones espectrofotométricas contienen 4 componentes fundamentales:  
(Skoog, et. al. 1975)

1. Una fuente estable de energía radiante
2. Un dispositivo adecuado para seleccionar la anchura de la banda de radiación que se empleará
3. Recipientes transparentes para contener las muestras y el disolvente
4. Un detector de radiación.

#### Espectrofotometría ultravioleta e infrarroja:

El espectrofotómetro puede extender sus mediciones más allá de los límites de la energía radiante visible. Por lo tanto, algunas sustancias que absorben energía radiante de longitud más corta o más larga que la visible, pueden analizarse y determinarse cuantitativamente usando la radiación ultravioleta o infrarroja. El proceso analítico es idéntico al usado en la espectrofotometría de radiación visible, excepto en los detalles de construcción de los espectrofotómetros. (Brumblay, 1983)

Las aplicaciones más útiles de la espectrofotometría U.V. e I.R. se encuentran en la determinación de la presencia de determinadas estructuras de compuestos orgánicos. Se traza una gráfica de absorbancia contra longitud de onda; los picos de esa absorbancia

para longitudes de onda características ponen de manifiesto la presencia de estructuras específicas en las moléculas de los compuestos estudiados. (Brumblay, 1983)

#### Espectroscopia de emisión:

##### *Flamometría:*

La espectroscopia de emisión es un método de análisis por medio del cual se mide la energía emitida por elementos a altas temperaturas.

La mayoría de los elementos metálicos, al calentarse, emiten energía de longitudes de onda específicas cuando sus electrones de valencia vuelven a caer en sus posiciones normales después de haber sido forzados hacia niveles de energía más alejados del núcleo. La cantidad de energía emitida depende de la cantidad del elemento excitado. Se puede excitar una sustancia calentándola en un arco eléctrico, chispa o llama. Si la sustancia se calienta en una llama, la energía de determinada longitud de onda se mide mediante una fotocelda y el proceso recibe el nombre de espectrofotometría de flama. (Brumblay, 1983)

El funcionamiento de un fotómetro de flama es el siguiente:

1. La solución problema es succionada por un atomizador que utiliza un combustible gaseoso y se alimenta a la llama en forma de rocío fino.
2. La luz emitida se colecta por medio de un espejo parabólico y un lente y se hace pasar por un monocromador (prisma o red) o simplemente a través de un filtro.
3. La luz de la longitud de onda apropiada incide sobre un fotodetector y el medidor indica la magnitud de la señal eléctrica.

Las líneas de gas generalmente poseen reguladores de presión y medidores de flujo para permitir un ajuste reproducible de las velocidades de flujo y de la proporción de combustible y de gas oxidante. Además de las llamas de aire y gas natural se emplean otras de mayor temperatura como gas-oxígeno, hidrógeno-oxígeno acetileno-oxígeno, etc. (Flascka, et. al. 1984)

*Análisis por absorción atómica:*

El análisis por absorción atómica se basa en el hecho de que en una flama a temperatura muy alta, solo una fracción muy pequeña de los átomos del metal se excitan.

Un átomo no excitado puede absorber energía radiante de las mismas longitudes de onda que puede radiar cuando se excita.

Si se envía un haz de energía radiante de idéntica longitud de onda que la que puede producir un átomo determinado, sobre una flama que contiene átomos no excitados, éstos absorben cierta cantidad de energía proporcional al número de átomos no excitados del elemento específico presente.

El instrumento requerido para la absorción atómica debe ser capaz de producir energía radiante de una longitud de onda muy específica. Con este fin se bombardea con electrones un tubo con cátodo cóncavo que contiene el metal a analizar. Este material se calienta y excita mediante el bombardeo de electrones de modo que irradie energía de la longitud característica del metal.

El haz de luz se dirige a través de una flama, donde los átomos del elemento a determinar, absorben energía en mayor o menor proporción.

La cantidad de energía absorbida se mide con una fotocelda y se establece su relación con la cantidad de elemento por comparación con soluciones estándar. (Brumblay, et. al. 1983)

#### Calorimetría:

Algunos calores de reacción pueden determinarse mediante una medición directa, especialmente el calor de combustión. (Crockford, et. al. 1974)

Para llevar a cabo un estudio calorimétrico se requiere un método en el cual la reacción sea muy rápida, completa y que no dé lugar a reacciones secundarias.

Las reacciones rápidas motivan que el calor de reacción se desprenda o absorba en un periodo de tiempo corto, y entonces es fácil conseguir que el calor fluya desde el sistema de reacción al medio que lo rodea, en el cual se puede realizar la medida del cambio de temperatura.

Es necesario que la reacción sea completa para evitar problemas en el cálculo de las correcciones debidas a la proporción de reactivos que no reaccionaron.

Finalmente, cuando no se presentan reacciones secundarias, la evolución de la reacción conduce directamente a los productos finales de reacción. (Barrow, 1978)

El aparato que se usa comunmente para determinar el calor de combustión de una sustancia se conoce como bomba calorimétrica.

Se coloca una muestra pesada del material de manera que quede suspendida de un tramo de alambre fusible (que se puede calentar mediante una fuente externa de corriente) dentro de una cámara o

bomba hecha de un material resistente a la corrosión. La bomba se carga con oxígeno gaseoso a unas 20 atm. de presión, y se sumerge en un baño de agua.

La muestra se calienta instantáneamente mediante una descarga eléctrica a través del alambre de ignición. El calor que se desprende al quemarse la muestra se mide por la elevación de la temperatura del agua.

Es necesario calibrar el aparato midiendo previamente la elevación de la temperatura del agua con la combustión de una sustancia cuyo calor de combustión se conoce con seguridad.

En el cálculo del calor de combustión deben considerarse otros factores como son la cantidad de calor con la que contribuye el alambre al quemarse y las pérdidas de calor a los alrededores.  
(Crockford, et. al. 1974)

## ANEXO B. DIGESTION DE MUESTRAS ASISTIDA POR MICROONDAS.

El sistema de preparación de muestras por microondas permite realizar la digestión ácida de una muestra en un vaso cerrado y a presión controlada para la determinación de metales por métodos espectroscópicos.

La técnica de microondas se está utilizando en muchos laboratorios alrededor del mundo con objeto de reducir costos, tiempo en la preparación de muestras y hacer más seguro el manejo de éstas.

Las principales ventajas de los procedimientos de digestión por microondas sobre los métodos tradicionales de plato caliente son las siguientes: (CEM, 1994)

1. Es una manera rápida y segura de preparar muestras para análisis de compuestos tóxicos (de 10 a 100 veces más rápido que por los métodos convencionales).
2. No se liberan vapores ácidos.
3. Los elementos volátiles se retienen en la solución de la muestra.
4. Los ácidos no se evaporan del contenedor cerrado, por lo que no existe el problema de concentración de trazas de contaminantes a partir de éstos.
5. Los ácidos aparentemente no se descomponen durante la digestión.
6. El potencial de contaminación externa de las muestras es muy reducido.
7. Se requiere un mínimo de monitoreo.
8. En los sistemas de digestión por microondas, la descomposición ácida se lleva a cabo a presiones moderadas y controladas (<200 psig).
9. El sistema permite la digestión de hasta 12 muestras de manera simultánea.



Las limitantes de este método son: (CEM, 1994)

1. Se requiere invertir tiempo en el ensamble y limpieza de los vasos de digestión.
2. Algunos materiales orgánicos volátiles pueden difundirse en el teflón de los vasos durante digestiones largas.
3. Algunas muestras requieren digestión en sistemas abiertos, de cuarzo, o deben fundirse, y en estos casos no es posible usar microondas.
4. El costo del equipo es alto.

Los equipos de microondas están diseñados para llevar un control de la reacción a través del monitoreo de la presión (y temperatura opcional) dentro del sistema por medio de un microprocesador instalado en el aparato, que despliega en pantalla una gráfica de presión contra tiempo durante el transcurso de la digestión.  
(CEM, 1993)

Los resultados de los estudios conducidos por "The Browning Ferris Industries Laboratory" en Houston, Texas indican que los métodos estándar 3010 y 3020 pueden sustituirse por los procedimientos de digestión ácida por microondas.

Los datos revelan que los porcentajes de recuperación de metales obtenidos en las muestras digeridas por microondas y los datos de la digestión por medio de los métodos convencionales de plato caliente son equivalentes. (CEM, 1994)

Actualmente la preparación de muestras por microondas encuentra numerosas aplicaciones en los campos de la agricultura, biotecnología, química orgánica, ambiental, metalúrgica, de alimentos, aceites, plásticos, etc.

Entre los usos más comunes de la tecnología de microondas destacan:  
(CEM, 1993)

- a) Digestión ácida para espectroscopia de absorción atómica.
- b) Disolución de polimeros para determinación de viscosidad y peso molecular via GPC.
- c) Hidrólisis de proteínas y péptidos para análisis de aminoácidos.
- d) Digestión ácida de compuestos para determinaciones gravimétricas.
- e) Determinación de fósforo, nitrógeno y persulfatos.
- f) Extracción de solventes para cromatografía de gases y líquidos.
- g) Secado de muestras y determinación de humedad.
- h) Reacciones de síntesis orgánica.

Para la caracterización de las muestras de lodo de destinte de este trabajo se utilizaron dos de los métodos de digestión por microondas propuestos por CEM Co. El primero de ellos en la digestión de la muestra seca para la determinación de metales totales, y el segundo para la digestión del lixiviado obtenido en la prueba de extracción de componentes tóxicos.

Enseguida se describe el procedimiento general de operación del equipo MSD 2100 y los programas empleados para cada una de las digestiones.

Procedimiento de operación del horno de microondas

1. Encender el horno
2. Verificar que el sensor de presión esté lleno de agua y no tenga burbujas.
3. Pesar en los vasos de teflón la cantidad de muestra a digerir (no más de 0.5 g) y adicionar los ácidos requeridos para efectuar la digestión.
4. Cerrar todos los vasos excepto el que será usado para monitorear la presión. Se sugiere que sea el vaso con la mayor cantidad de muestra pesada.
5. Cerrar el vaso que lleva el dispositivo controlador de presión.
6. Colocar los vasos en la tornamesa y conectar los tubos de venteo al vaso colector.
7. Colocar la tornamesa con los vasos dentro del horno y conectar la línea del sensor de presión al vaso que se va a monitorear.
8. Programar el horno con las condiciones a las que debe llevarse a cabo la digestión.
9. Ejecutar el programa completo de digestión.

10. Esperar a que las muestras digeridas se enfrien y la presión baje hasta por lo menos 10 psi. Abrir el venteo del vaso controlador y remover la línea del sensor de presión.
11. Sacar la tornamesa del horno y colocarla en la campana de extracción del laboratorio.
12. Ventear cuidadosamente y abrir los vasos. Transferir la muestra digerida a los recipientes donde habrán de guardarse hasta su análisis.  
(CEM, 1994)

#### Técnicas para la digestión de las muestras

Los programas que se instalaron en el microprocesador del horno de microondas fueron los siguientes:

1. Digestión del lodo seco para la determinación de metales totales.

Debido a la dificultad que se tuvo para la digestión de las muestras, se optó por un programa múltiple.

En la primera fase, se llevó a cabo la digestión de la materia orgánica con 5 ml de  $\text{HNO}_3$  destilado. La cantidad de muestra que se digirió es de un máximo de 0.5 g.

En la segunda fase se promovió la digestión del material inorgánico mediante la adición de 2 ml de HF y 1 ml de HCl suprapuro.

Finalmente se trató de asegurar la digestión de los silicatos y fosfatos que aún no se habían digerido agregando 10 ml de  $\text{HBO}_3$  al 10%.

A)

STAGE	1	2	3	4	5
POWER	100	100	100	100	100
PSI	40	85	130	150	180
TIME	1500	1500	2500	1500	1500
TAP	300	300	1500	300	010
FAN	100	100	100	100	100

(Díaz, 1994)

B)

STAGE	1	2	3	4	5
POWER	100				
PSI	195				
TIME	2000				
TAP	400				
FAN	100				

(Díaz, 1994)

C)

STAGE	1	2	3	4	5
POWER	100	100			
PSI	60	100			
TIME	1500	1500			
TAP	300	400			
FAN	100	100			

(Díaz, 1994)

## 2. Digestión de lixiviados para PECT

Para la digestión del líquido lixiviado se tomaron alícuotas de 25 ml, a cada una de las cuales se agregaron 5 ml de HNO<sub>3</sub> destilado.

STAGE	1	2	3	4	5
POWER	100	100	100	100	100
PSI	15	30	45	60	75
TIME	1000	1000	1000	1000	1000
TAP	500	500	500	500	500
FAN	100	100	100	100	100

(Fuente: CEM, Corporation. Microwave Sample Preparation Procedures "TCLP Extract Microwave Sample Preparation Note" revisión mayo de 1993. Editado por CEM Corporation, Estados Unidos de Norteamérica, 1993, pág. 82.)

## **ANEXO C. NORMATIVIDAD**

En ésta sección se indican las Normas Oficiales Mexicanas y Normas Técnicas Ecológicas en las cuales se fundamenta el presente trabajo, así como algunos conceptos que deben tenerse en cuenta para la caracterización de los lodos de destinte.

### **Determinación de las propiedades físicas y químicas:**

Los métodos para la determinación de algunas propiedades físicas y químicas que se requieren para la caracterización de los lodos se establecen en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

- NOM-AA-16-1984 Protección al medio ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de humedad.
- NOM-AA-18-1984 Protección al medio ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de cenizas.
- NOM-AA-25-1984 Protección al medio ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación del pH método potenciométrico.
- NOM-AA-33-1985 Protección al medio ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación del poder calorífico superior.
- NOM-AA-91-1985 Protección al medio ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-terminología.

NMX-AA-51           Análisis de agua-determinación de metales-método  
espectrofotométrico de absorción atómica.

La evaluación de los parámetros no incluidos en esta relación se efectúan de acuerdo con los métodos estándar de la EPA.

**Normas referentes a los residuos peligrosos:**

NOM-CRP-001-ECOL/1993 Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

NOM-CRP-002-ECOL/1993 Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

Es importante señalar que los lodos de destinte no aparecen en el listado de residuos peligrosos a que se refiere la NOM-CRP-001-ECOL/1993, y que los resultados de la caracterización que se efectuó muestran que no se excede ninguno de los límites máximos permisibles de contaminantes citados en esta norma.

A continuación se transcribe la primera parte de la tabla 5 del anexo 5 de la NOM-CRP-001-ECOL/1993, donde se enlistan las concentraciones máximas permitidas para constituyentes inorgánicos.



**CARACTERISTICAS DEL LIXIVIADO (PECT) QUE HACEN PELIGROSO  
A UN RESIDUO POR SU TOXICIDAD AL AMBIENTE**

No. DE INE	CONSTITUYENTES INORGANICOS	CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA (mg/l)
C.1.01	ARSENICO	5.0
C.1.02	BARIO	100.0
C.1.03	CADMIO	1.0
C.1.04	CROMO HEXAVALENTE	5.0
C.1.05	NIQUEL	5.0
C.1.06	MERCURIO	0.2
C.1.07	PLATA	5.0
C.1.08	PLOMO	5.0
C.1.09	SELENIO	1.0

Fuente: SEDESOL. Gaceta Ecológica. Volúmen VI número 30, Julio de 1994.

Así mismo se reproduce el diagrama de flujo para la identificación de residuos peligrosos del anexo 1 de la misma norma.

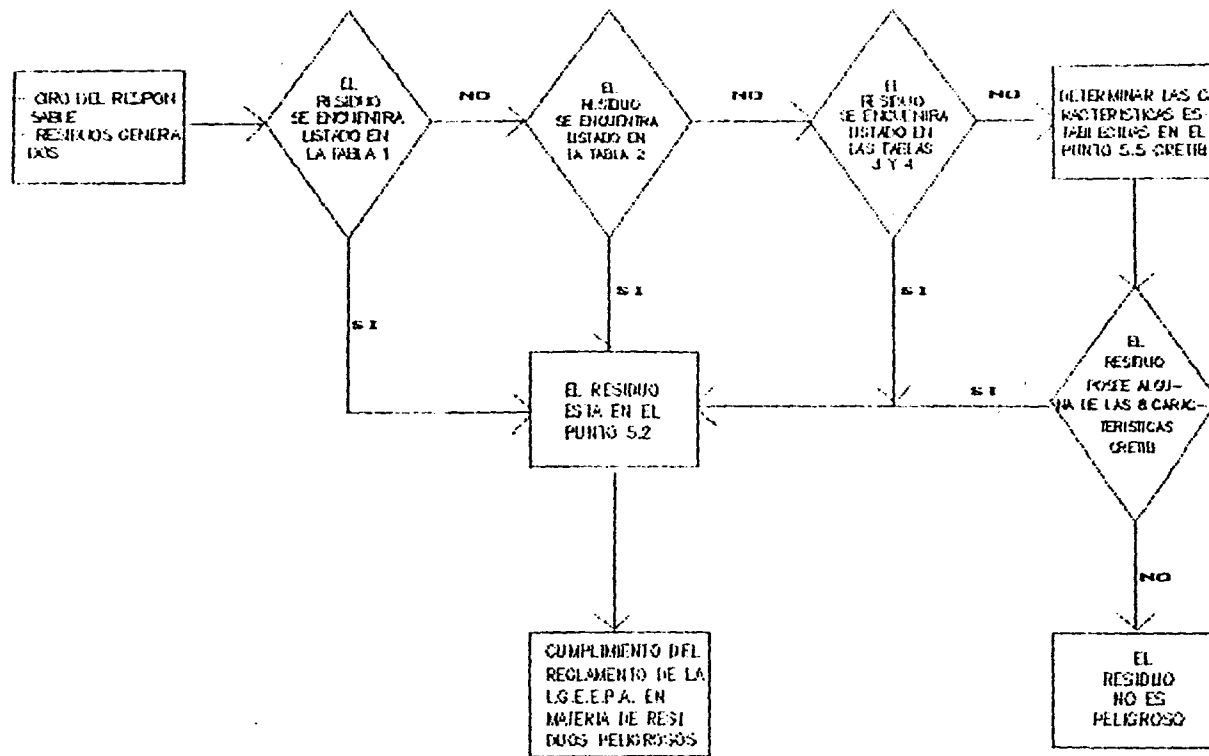


Fig. C.1 Diagrama de flujo para la identificación de residuos peligrosos.

(Fuente: SEDESOL, "Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-002-ECOL/1993" Diario Oficial de la Federación, Viernes 22 de octubre de 1993, pág. 6.)

**Otras normas de interés:**

Para la prueba de reutilización del lodo de destinte como absorbente de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales se tomaron como base los "límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal", correspondientes a la NOM-CCA-031-ECOL/1993.

La tabla 1 de esta norma es la siguiente:

PARAMETROS	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PROMEDIO DIARIO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES INSTANTANEO
Temperatura (°C)		40 °C (313 K)
pH (unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
Sólidos sedimentables (ml/L)	5.0	10.0
Grasas y aceites (mg/L)	60.0	100.0
Conductividad eléctrica (micromhos/cm)	5000.0	8000.0
Aluminio (mg/L)	10.0	20.0
Arsénico (mg/L)	0.5	1.0
Cadmio (mg/L)	0.5	1.0
Cianuros (mg/L)	1.0	2.0
Cobre (mg/mL)	5.0	10.0
Cromo hexavalente (mg/L)	0.5	1.0
Cromo total (mg/L)	2.5	5.0
Fluoruros (mg/L)	3.0	6.0
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02
Níquel (mg/L)	4.0	8.0
Plata (mg/L)	1.0	2.0
Plomo (mg/L)	1.0	2.0
Zinc (mg/L)	6.0	12.0
Fenoles (mg/L)	5.0	10.0
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	30.0	60.0

Fuente: SEDESOL. Gaceta Ecológica. Volumen IV número 28, Marzo de 1994.

Es importante también mencionar las normas que regulan las descargas de aguas residuales de la industria papelera.

NOM-CCA-015-ECOL/1993 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la celulosa y el papel.

NOM-CCA-024-ECOL/1993 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen.

NOM-CCA-025-ECOL/1993 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de celulosa reciclada.

**ANEXO D: BREVE ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACION DE LOS LODOS DE DESTINTE Y LOS LODOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE RECICLAJE DE PAPEL TISSUE.**

La caracterización de los residuos sólidos generados en la industria del reciclaje de papel juega un rol muy importante en la determinación de la peligrosidad de los mismos y puede definir el método de disposición y/o tratamiento. La concentración de los contaminantes presentes y las propiedades físicas del residuo coadyuvan además al establecimiento de posibles formas de reutilización.

Si bien la metodología de caracterización es similar para los residuos de las diferentes clases de papel que se recicla, los resultados que de ella se obtienen pueden ser notablemente distintos.

En este apartado se presenta un resumen de los resultados de la caracterización de los residuos sólidos del proceso de reciclaje de papel tissue obtenidos en un estudio realizado en 1992 en el Departamento de Ingeniería Ambiental de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. por el Ing. Leopoldo Castillo Casado y se comparan con los que se obtuvieron en el presente trabajo.

Es necesario señalar que las técnicas y procedimientos de análisis en ambos casos fueron similares, con excepción de la digestión de las muestras que, para el papel tissue se efectuó por un método tradicional y para el papel periódico se llevó a cabo por el método de digestión asistida por microondas. Esta diferencia, sin embargo, no afecta de manera importante la comparabilidad de los resultados.

Tabla D.1 Resultados de la caracterización de papel tissue y papel periódico.

PARAMETRO	MEDIA (P. tissue)*	MEDIA (P.periódico)
% Humedad	67.899	97.854
% Inorgánicos	55.565	7.626
Densidad de la muestra húmeda	1.2180	1.0712
Densidad de la muestra seca	0.8490	0.2448
Calor de combustión (cal/g)	1740.651	3939.676
% Azufre total	0.0922	0.2198
% Selenio total	0.0279	0.0016
% Potasio total	0.00024	0.0222
% Sodio total	0.00018	0.3136
% Calcio total	2.6400	1.3788
% Cromo total	0.0086	0.0023
% Hierro total	0.1998	0.0788
% Cobre total	0.0335	0.0045
% Plomo total	0.0107	0.0005
% Aluminio total	0.1771	0.0008
% Cadmio	N.D.	0.0005

\* (Castillo, 1993)

A continuación se reproduce una tabla que contiene los valores de algunos parámetros importantes para otros residuos.

Tabla D.2 Análisis de diferentes residuos.

DESECHO	PODER CALORIFICO (J/g)	% VOLATILES	% HUMEDAD	% CENIZAS	% AZUFRE
Papel	17612	84.6	10.2	6.0	0.2
Madera	20033	84.9	20.0	1.0	0.05
Trapos	17589	93.6	10.0	2.5	0.13
Basura	19733	53.3	72.0	16.0	0.52
Lodo Primario	18350	72.5	97.67	27.5	> 1.0%
Lodo Secundario	16352	73.0	99.21	27.0	> 1.0%
Residuo RPT	7285	49.69	69.01	56.31	0.09
Residuo DPP	16462	-----	97.85	7.62	0.22

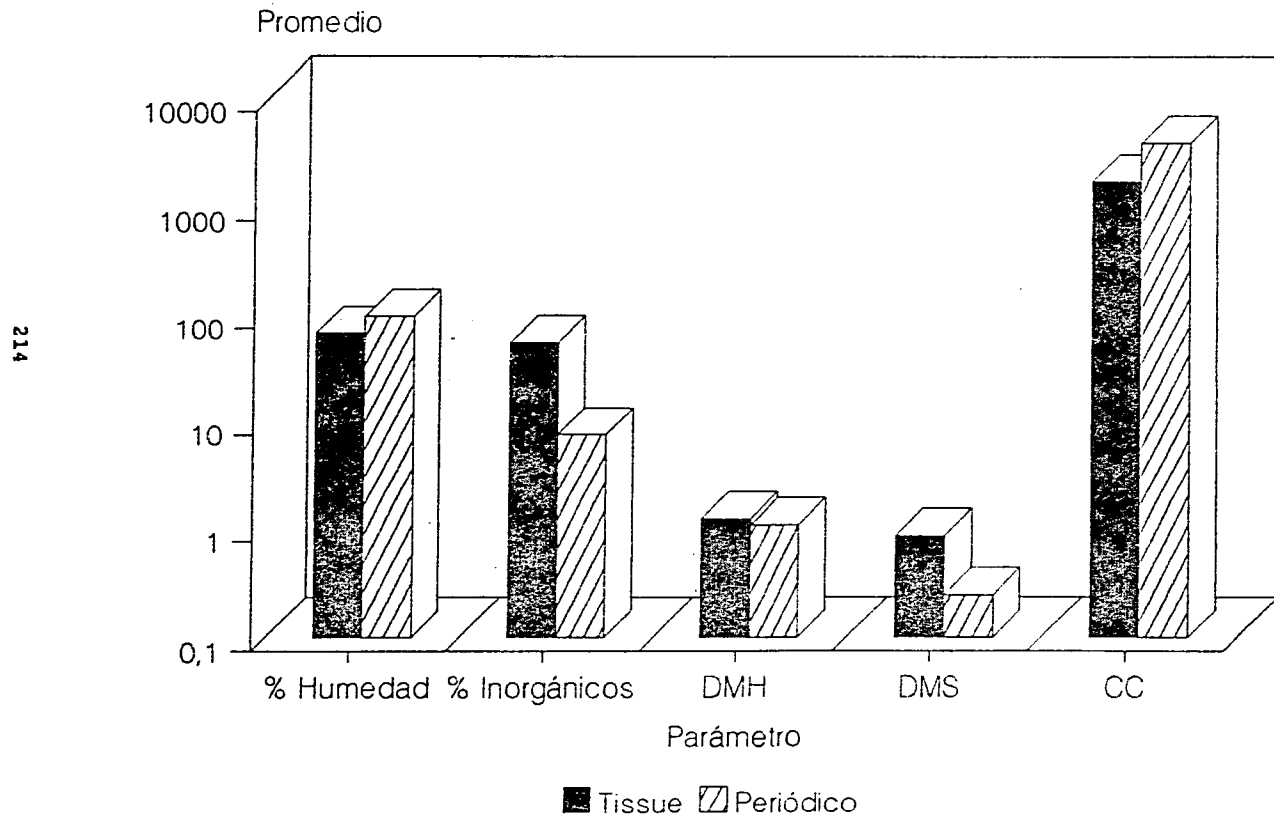
\* RPT= Reciclaje de Papel Tissue  
DPP= Destinte de Papel Periódico

Nota: Los datos de volátiles se dan en base seca

Fuente: Castillo, L. "Caracterización y posibles aplicaciones de los residuos sólidos generados en una fábrica de papel". Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, 1992. pág. 102.

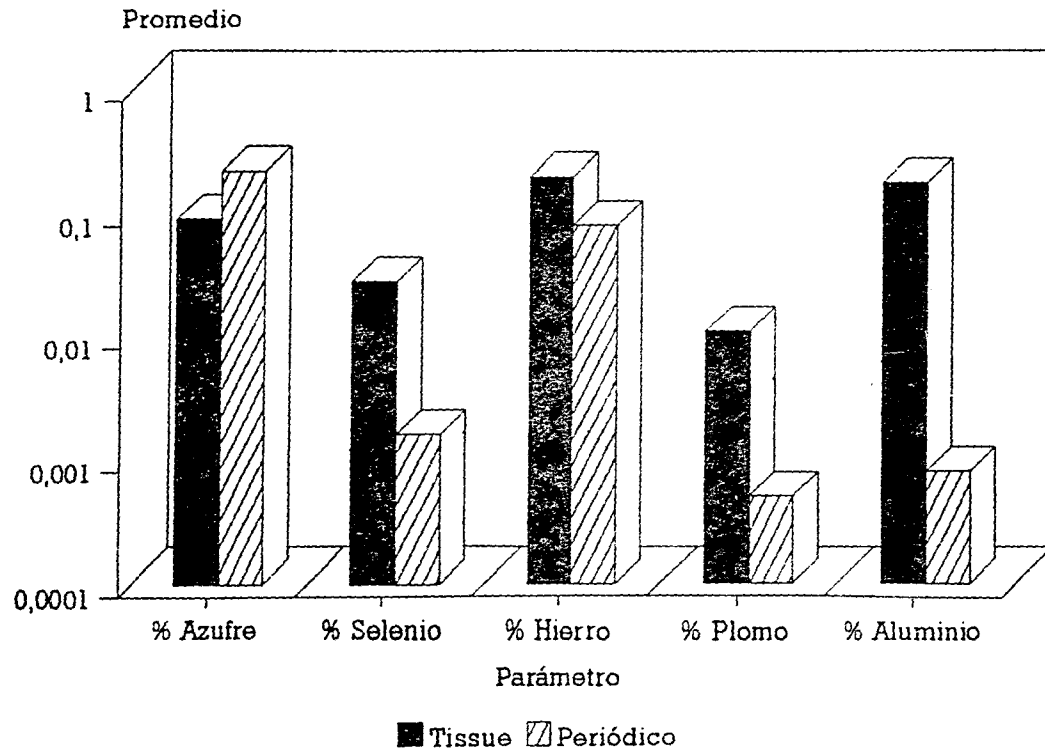


**Gráfica D.1**  
**Resultados de la caracterización**

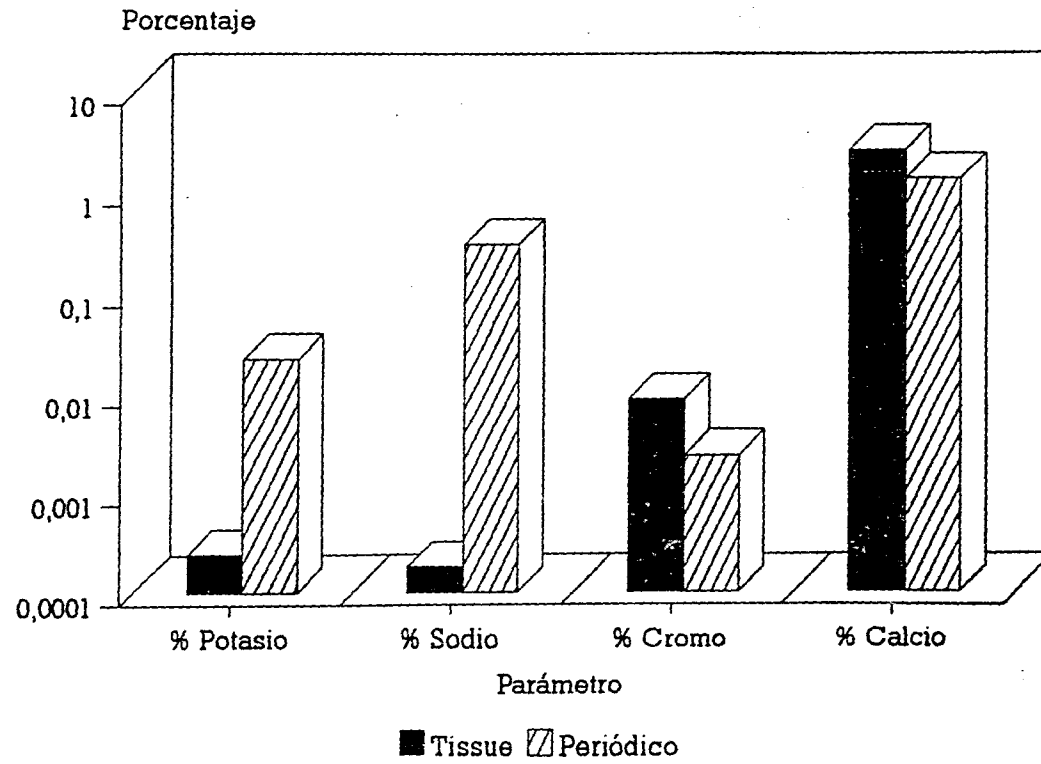


Gráfica D.2.  
Resultados de la caracterización cont...

215



Gráfica D.3  
Resultados de la caracterización cont...



**ANEXO E. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS DE LA  
CARACTERIZACION**

En ésta sección se presenta una serie de tablas y gráficas donde se muestran los resultados de las determinaciones efectuadas.

En las tablas se encuentran los valores que se obtuvieron para cada una de las 30 muestras de lodo de destinte, así como los parámetros estadísticos (promedio, varianza, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo). Los datos se dan en % en peso.

Los datos se graficaron de la siguiente manera:

- A. Número de muestra contra valor del parámetro
- B. Valor medio de un intervalo contra la frecuencia con que aparece

Se anexan además las tablas de resultados de los parámetros evaluados para otras muestras que difieren del lote principal en el tipo de surfactante utilizado.

Finalmente, se presenta un análisis de las tendencias de distribución estadística de los datos.

Tabla E.1 Propiedades físicas y químicas de los lodos de destinte.

Muestra	% Humeda	% Sólidos Húmedos	% Sólidos Fijos	Densidad M. Húmeda	Densidad M. Seca	Calor de Combust.	pH -
1a	98.601	52	4.485	1.0888	0.1441	4005.58	8.5
1b	98.369		7.082	1.0209	1.2138	4038.71	
2a	98.697	50	7.289	1.0339	0.2355	4213.28	8.3
2b	98.699		5.551	1.0772	0.2188	3900.21	
3a	98.062	47	3.448	1.0752	0.2024	2988.74	7.45
3b	97.798		3.647	1.0596	0.2018	4610.81	
4a	97.564	52	5.229	1.1025	0.2201	4447.55	8.45
4b	98.546		8.084	1.0752	0.2024	4447.61	
5a	98.329	60	4.548	1.0682	0.253	3909.68	9.4
5b	98.475		6.565	1.1049	0.2627	3963.21	
6a	98.015	53	7.289	1.0878	0.225	3874.58	9.6
6b	98.783		5.551	1.0878	0.2493	4005.07	
7a	98.397	55	6.239	1.2466	0.2268	4073.96	8.8
7b	97.488		6.292	1.2497	0.2042	3092.38	
8a	98.712	60	6.926	1.0218	0.2182	4198.79	9.4
8b	98.146		6.666	1.0542	0.2219	3916.15	
9a	98.127	57	7.559	1.0255	0.2457	4031.71	9.2
9b	98.437		6.243	0.9855	0.2278	3946.73	
10a	98.249	55	4.501	1.0541	0.2081	4167.35	8.95
10b	97.959		4.538	1.0082	0.2472	4736.93	
11a	96.852	60	10.113	1.0654	0.2373	4008.51	8.3
11b	97.568		7.188	1.0417	0.2363	4089.06	
12a	97.427	56	6.074	0.9566	0.229	3933.06	9
12b	97.574		6.954	1.0581	0.2561	4144.32	
13a	97.574	54	8.335	1.044	0.2202	3970.48	9.4
13b	97.758		5.295	1.0331	0.2259	3957.17	
14a	98.377	50	6.713	1.0494	0.2222	3847.31	8.7
14b	97.862		6.364	1.0231	0.2144	3968.83	
15a	97.742	44	11.669	1.0912	0.1976	3862.89	9
15b	97.827		11.216	1.0947	0.2199	3722.8	
16a	97.991	42	12.978	1.091	0.2191	3869.59	8.9
16b	97.622		11.189	1.0498	0.1888		
17a	97.329	44	11.178	0.9907	0.187	3859.53	9
17b	98.184		11.377	1.0638	0.2194		
18a	97.568	41	12.459	1.0648	0.1818	3970.86	8.9
18b	97.607		9.556	1.1161	0.2121		
19a	98.798	50	4.361	1.0401	0.2246	4084.32	8.6
19b	97.107		4.833	1.0231	0.2203	3980.33	
20a	97.408	53	13.334	1.0846	0.2069	3840.57	8.7
20b	97.276		14.629	1.0553	0.2467	3739.12	

Tabla E.1 Propiedades físicas y químicas de los lodos de destinte cont...

Muestra	% Humedad	% Sólidos Húmedos	% Sólidos Fijos	Densidad M. Húmeda	Densidad M. Seca	Calor de Combustión	pH
21a	98.344	65	12.781	1.0834	0.2672	2818.89	9.5
21b	97.329		8.893	1.0772	0.2727	3837.11	
22a	97.938	63	9.084	1.1034	0.2104	3991.22	9.45
22b	97.977		6.671	0.9629	0.1845	3792.44	
23a	97.579	55	5.206	1.0827	0.2572	3943.52	9.1
23b	96.935		5.144	1.1251	0.2645	3843.04	
24a	98.332	57	6.579	1.0316	0.2214	3857.61	8.9
24b	97.317		7.366	1.0386	0.2461	4406.72	
25a	98.355	52	7.966	0.9974	0.2539	3632.38	8.9
25b	97.211		14.615	1.0731	0.2393	4033.91	
26a	97.365	55	7.171	1.0218	0.1916	4014.29	8.85
26b	97.498		7.303	1.0542	0.2875	3815.4	
27a	97.441	54	9.941	1.0823	0.2535	3923.82	8.5
27b	96.099		9.759	1.0501	0.2889	3861.78	
28a	98.141	47	6.766	1.1129	0.2383	4015.72	7.45
28b	98.014		6.836	1.1298	0.2363	3620.11	
29a	97.037	55	4.673	1.0823	0.2538	3991.5	8.35
29b	97.957		4.494	1.47	0.2438	3887.72	
30a	98.168	62	6.503	1.0551	0.2356	3972.08	8
30b	97.277		6.272	1.0747	0.2514	3884.53	
PROMEDIO	97.85363	53.33333	7.626433	1.071213	0.244871	3939.676	8.785
D. ESTANDA	0.5472	5.946053	2.780136	0.072045	0.128898	309.5413	0.5294
VARIANZA	0.299428	35.35555	7.729156	0.00519	0.016614	95815.84	0.2803
MAXIMO	98.798	65	14.629	1.47	1.2138	4736.93	9.6
MINIMO	96.099	41	3.448	0.9566	0.1441	2818.89	7.45

Tabla E.2 Contenido de metales totales y otros elementos en los lodos de destinte.

Muestra	% Azufre Total	% Cobre Total E-3	% Zinc Total E-3	% Niquel Total E-3	% Cromo Total E-3	% Plomo Total E-4	% Cadmio Total E-5
1	0.395	3.31	2.01	1.19	1.34	3.62	5.17
2	0.2108	3.67	2.6	0.56	0.81	9.69	n.d.
3	0.2357	4.18	7.12	0.73	1.04	4.71	5.23
4	0.0013	4.09	1.71	0.51	0.62	4.66	5.18
5	0.1503	4.58	2.47	1.28	1.23	n.d.	5.14
6	n.d.	5.19	2.01	1.21	1.05	2.11	5.29
7	0.4601	4.88	1.76	1.66	0.51	5.19	31.1
8	0.2552	4.37	1.92	1.66	1.04	3.12	15.6
9	0.1717	4.72	2.64	2.02	1.29	3.11	15.5
10	0.1365	4.11	2.08	0.78	1.24	2.08	5.2
11	0.1833	6.87	1.65	1.44	0.67	7.23	n.d.
12	0.1523	4.39	1.46	0.99	0.94	n.d.	5.23
13	0.1014	5.08	2.43	0.93	0.82	5.18	n.d.
14	0.1126	4.28	1.25	3.96	1.82	1.35	5.22
15	0.1291	6.83	7.67	3.2	9.98	1.12	n.d.
16	0.28	7.53	5	2.58	8.15	9.5	10.3
17	0.1308	7.03	6.25	2.96	9.94	1.13	n.d.
18	n.d.	6.07	5.76	3.16	9.76	1.14	5.19
19	0.3562	3.39	1.83	1.72	1.02	6.46	5.38
20	0.1229	6.16	5.84	2.63	1.45	1.69	21
21	0.2175	2.36	1.05	2.1	1.57	5.26	5.26
22	0.3656	3.53	1.48	1.94	0.92	4.09	n.d.
23	0.7893	3.61	2.6	0.95	1.16	2.12	5.31
24	0.2562	2.87	0.31	1.33	1.33	4.11	10.2
25	0.2621	3.26	0.97	1.32	1.48	6.12	5.1
26	0.1412	3.9	1.45	0.67	0.93	7.28	5.2
27	0.1868	4.01	0.62	0.88	2.18	6.77	10.4
28	0.2497	4.54	1.4	1.61	1.4	6.26	26
29	0.2542	4.96	0.52	1.36	1.88	5.23	5.23
30	0.2884	1.86	0.15	1.65	1.19	5.17	n.d.
PROMEDIO	0.219873	4.521	2.533666	1.632666	2.292	4.183333	7.532068
D. ESTANDA	0.151701	1.353682	2.014367	0.855398	2.847026	2.555690	7.542949
VARIANZA	0.023013	1.832455	4.057676	0.731706	8.105562	6.531555	56.89608
MAXIMO	0.7893	7.53	7.67	3.96	9.98	9.69	31.1
MINIMO	0	1.86	0.15	0.51	0.51	0	0

Tabla E.2 Contenido de metales totales y otros elementos en los lodos de destinte cont...

Muestra	% Hierro Total E-2	Manganes Total E-3	% Selenio Total E-3	% Calcio Total	% Aluminio Total E-4	% Potasio Total E-2	% Sodio Total -
1	5.86	1.44	n.d.	0.2717	16.4	2.01	0.9984
2	4.27	0.66	n.d.	0.0811	18.1	1.29	0.96
3	4.74	0.73	n.d.	0.294	15.9	1.69	0.8647
4	4.6	0.67	n.d.	0.6854	17.6	1.58	0.9408
5	6.98	1.02	0.87	0.8568	34.3	1.79	1.176
6	5.34	0.31	n.d.	0.1552	14	1	1.0176
7	7.5	0.36	n.d.	0.0675	16.6	5.29	1.0559
8	6.8	0.46	n.d.	0.3219	18.4	2.9	1.152
9	6.78	1.29	n.d.	0.2319	10.9	1.12	1.0487
10	7.5	1.4	n.d.	0.0962	11.1	1.37	1.0559
11	7.5	1.08	n.d.	0.0941	9.84	3.96	1.104
12	5.54	0.83	n.d.	0.1508	5.71	1.82	1.0976
13	5.09	1.08	n.d.	0.3484	3.23	1.69	0.9935
14	12.9	1.09	n.d.	0.2448	n.d.	1.86	0.99
15	13.5	0.73	n.d.	0.6278	9.15	2.87	0.8096
16	11.8	0.87	n.d.	0.6114	10.6	2.28	0.7476
17	11.9	0.72	n.d.	0.6682	12.4	2.56	0.8271
18	12.3	0.75	n.d.	0.5601	12.3	2.4	0.7298
19	5.7	1.02	n.d.	0.1809	n.d.	1.53	0.85
20	14.7	1.31	2.58	0.6841	5.61	4.36	0.9434
21	8.46	0.94	0.68	0.6105	5.29	1.55	1.3103
22	6.72	0.66	n.d.	0.1919	4.4	3.11	1.1843
23	6.08	0.69	4.51	0.773	4.72	2.35	1.0339
24	6.11	0.61	0.77	0.7661	7.63	1.67	1.3536
25	10.3	1.32	0.05	0.6007	2.39	1.29	0.9256
26	8.57	2.81	n.d.	0.2841	2.52	2.35	1.0559
27	9.03	7.81	n.d.	0.4656	2.59	1.42	1.0367
28	7.98	0.93	n.d.	0.1064	2.81	3.12	0.7989
29	8.15	1.62	n.d.	0.1768	3.51	2.2	1.0559
30	3.76	0.41	n.d.	0.1543	3.97	2.12	1.0724
PROMEDIO	7.882	1.18733333	0.43	0.378823	9.399	2.218333	1.006336
D. ESTANDA	2.903683	1.31778079	0.927867	0.246522	7.286032	0.969931	0.147141
VARIANZA	8.431376	1.73654622	0.860938	0.060773	53.08627	0.940767	0.021650
MAXIMO	14.7	7.81	4.51	0.8568	34.3	5.29	1.3536
MINIMO	3.76	0.31	0	0.0675	0	1	0.7298



Tabla E.3 Contenido de metales y otros elementos en el lixiviado (PECT)

Muestra	% Cobre Lixiv. E-5	% Zinc Lixiv. E-4	% Niquel Lixiv. E-4	% Cromo Lixiv. E-5	% Plomo Lixiv. E-4	% Cadmio Lixiv. E-5	% Hierro Lixiv. E-4
1	8.73	2.39	0.72	n.d.	0.62	3.12	2.91
2	8.41	2.1	3	n.d.	0.5	3	1.1
3	7.89	3.38	0.19	n.d.	0.09	1.87	7.51
4	9.02	3.16	0.38	n.d.	0.29	2.88	1.53
5	7.68	3.12	2.4	n.d.	n.d.	3.6	1.44
6	7.84	2.75	2.01	n.d.	0.74	6.36	0.42
7	8.13	2.3	0.32	n.d.	0.54	8.79	1.09
8	1.12	2.76	1.08	n.d.	n.d.	3.6	0.96
9	1.18	3.64	1.48	n.d.	0.91	4.55	3.98
10	9.23	3.4	0.33	n.d.	1.09	3.29	1.42
11	6.48	2.28	n.d.	n.d.	n.d.	2.4	0.6
12	7.16	2.35	n.d.	n.d.	n.d.	2.24	0.67
13	1.12	3.77	0.97	n.d.	n.d.	2.15	1.29
14	6.4	2.3	0.7	n.d.	0.1	3	1.2
15	7.39	6.95	1.4	1.76	1.4	17.6	3.78
16	10.4	3.78	0.92	1.68	9.24	3.36	3.78
17	7.39	5.36	1.4	2.63	1.84	1.75	4.31
18	10.1	4.67	0.9	2.46	2.54	2.46	2.54
19	4.4	2.7	1	3	0.6	n.d.	3.5
20	7.84	3.18	2.12	2.12	4.02	4.24	4.87
21	3.11	2.07	2.59	7.79	2.85	2.59	4.15
22	5.54	1.76	2.14	2.51	4.03	2.51	2.89
23	7.03	2.19	2.63	n.d.	4.17	2.19	2.63
24	6.33	2.59	3.45	n.d.	3.45	2.88	1
25	6.65	3.22	2.49	n.d.	0.94	1.04	1.24
26	9.23	4.39	1.31	1.09	n.d.	3.29	2.74
27	7.99	2.59	3.34	n.d.	n.d.	n.d.	1.51
28	6.01	3.66	0.84	0.93	0.28	2.81	1.27
29	8.13	2.41	0.87	n.d.	0.22	1.09	1.86
30	6.5	1.8	0.72	n.d.	0.48	4.82	2.53
PROMEDIO	6.814333	3.100666	1.39	1.855	1.364666	3.449333	2.357333
D. ESTANDA	2.416265	1.103883	0.979210	1.950196	1.969038	3.117752	1.567371
VARIANZA	5.838337	1.218559	0.958853	3.803267	3.877111	9.720379	2.456652
MAXIMO	10.4	6.95	3.45	7.79	9.24	17.6	7.51
MINIMO	1.12	1.76	0.19	0.93	0.1	1.04	0.42

Tabla E.3 Contenido de metales y otros elementos en el lixiviado (PECT) cont...

Muestra	Manganes Lxiv. E-5	% Selenio Lxiv. E-4	% Calcio Lxiv.	% Aluminio Lxiv. E-4	% Potasio Lxiv. E-3	% Sodio Lxiv.
1	0.62	2.39	0.0428	13.9	1.87	0.3881
2	0.8	n.d.	0.0605	12.2	1.9	0.153
3	0.66	0.28	0.0162	13	1.98	0.1571
4	1.15	1.05	0.1236	19.1	0.31	0.243
5	1.08	n.d.	0.1584	5.14	2.02	0.2265
6	0.74	n.d.	0.0315	n.d.	1.79	0.2331
7	0.98	n.d.	0.0142	2.59	2.88	0.2436
8	0.96	n.d.	0.0505	9.34	2.41	0.4491
9	1.36	n.d.	0.0428	4.67	2.88	0.4281
10	0.54	n.d.	0.0184	3.12	2.21	0.5853
11	1.56	n.d.	0.0211	2.58	3.84	0.4455
12	1.45	n.d.	0.0324	17.8	2.83	0.383
13	1.29	n.d.	0.0691	n.d.	2.85	0.3888
14	1.6	n.d.	0.0469	n.d.	3.58	0.2447
15	1.23	n.d.	0.1913	9.98	3.15	0.4038
16	0.67	n.d.	0.1846	7.22	2.74	0.3485
17	1.14	n.d.	0.2255	n.d.	2.69	0.4092
18	0.57	n.d.	0.1463	11.9	2.68	0.3799
19	0.9	n.d.	0.118	7.54	2.01	0.2447
20	1.37	2.96	0.1661	n.d.	2.45	0.3736
21	1.55	9.61	0.1264	1.05	1.61	0.2963
22	1.51	4.66	0.034	16.3	1.73	0.1631
23	0.77	n.d.	0.0402	1.01	1.85	0.2791
24	1.87	2.59	0.0758	n.d.	3.19	0.2693
25	1.14	2.7	0.1416	n.d.	2.41	0.2775
26	1.75	3.62	0.1253	6.76	3.13	0.1561
27	0.97	n.d.	0.0733	4.16	2.27	0.1471
28	1.5	n.d.	0.0177	n.d.	2.37	0.3816
29	0.98	1.86	0.0285	n.d.	2.9	0.2648
30	0.6	0.84	0.0254	n.d.	3.18	0.4466
PROMEDI	1.11033333	1.085333	0.081613	5.645333	2.457	0.310667
D. ESTAND	0.37477534	2.046554	0.061240	5.989367	0.689174	0.109094
VARIANZA	0.14045655	4.188384	0.003750	35.87251	0.474961	0.011901
MAXIMO	1.87	9.61	0.2255	19.1	3.84	0.5853
MINIMO	0.54	0.28	0.0142	2.39	0.31	0.1471

Tabla E.4 Propiedades físicas y químicas de los lodos. Destintantes varios.

Muestra	% Humedad	% Sólidos Húmedos	% Sólidos Fijos	Densidad M. Húmeda	Densidad M. Seca	Calor de Combustión	pH
D1a	98.6973	46	2.5306	1.0846	0.1621	4001.0897	8.55
D1b	98.6995		2.5999	1.1019	0.1516		
D2a	98.0152		1.7812	1.1094	0.1696	4589.5029	
D2b	98.783		5.8617	1.0716	0.1436		
D3a	98.4303	41	3.2487	1.0854	0.1725	3992.9702	7.2
D3b	98.5147		4.9403	1.0435	0.1529		
D4a	98.3329	42	3.4022	1.0848	0.2162	4517.1704	8.85
D4b	98.4676		3.3323	1.1105	0.2062		
D5a	98.2554	33	2.1244	1.0451	0.1476	4347.9693	7.4
D5b	98.1486		2.3909	1.0775	0.1696		
D6a	98.9452	40	4.8586	1.0319	0.1342	4133.2904	8.85
D6b	98.3947		3.0084	1.0984	0.1496		
D7a	98.2859	38	2.7896	1.1393	0.1674	4103.2016	8.5
D7b	98.4567		7.5631	1.0655	0.1538	4176.2784	
D8a	99.0112	38	3.6228	1.0949	0.148	4251.6205	8.4
D8b	98.9431		2.2894	1.0764	0.01454		
PROMEDIO	98.523831	39.71428	3.521506	1.082543	0.153715	4234.7881	8.25
D. ESTANDA	0.2868782	3.730732	1.503197	0.026792	0.041622	200.77258	0.623354
VARIANZA	0.0822991	13.91836	2.259602	0.000717	0.001732	40309.631	0.388571
MAXIMO	99.0112	46	7.5631	1.1393	0.2162	4589.5029	8.85
MINIMO	98.0152	33	1.7812	1.0319	0.01454	3992.9702	7.2
200/1a	98.651	48	17.4675	1.0636	0.256	4080.1562	8.4
200/1b	98.5203		5.8321	1.0731	0.2478		
200/2a	98.2848	53	7.289	1.0928	0.3102	4194.0561	9.1
200/2b	98.2482		5.5515	1.0786	1.2774		
200/3a	97.5116	57	5.741	1.0618	0.275	4052.6822	8.65
200/3b	97.5253		5.5989	1.0774	0.2634	4086.5806	
200/4a	97.4624	54	17.8361	1.0883	0.2902	4141.057	9.45
200/4b	97.3436		8.4151	1.1016	0.2689		
PROMEDIO	97.9434	53	9.2164	1.07965	0.398612	4110.9064	8.9
D. ESTANDA	0.4994181	3.240370	4.959668	0.013013	0.332661	50.498134	0.404660
VARIANZA	0.2494185	10.5	24.59831	0.000169	0.110663	2550.0616	0.16375
MAXIMO	98.651	57	17.8361	1.1016	1.2774	4194.0561	9.45
MINIMO	97.3436	48	5.5515	1.0618	0.2478	4052.6822	8.4

Tabla E.5 Contenido de metales totales y otros elementos. Destintantes varios.

Muestra	% Azufre Total	% Cobre Total E-3	% Zinc Total E-3	% Niquel Total E-3	% Cromo Total E-3	% Plomo Total E-4	% Cadmio Total E-5
D1	0.6699	1.76	4.98	1.5	0.986	23.3	n.d
D2	0.5032	5.18	2.97	1.48	2.36	23.1	n.d
D3	0.6353	2.28	1.46	0.884	0.468	19.2	n.d
D4	0.1896	2.54	4	1.09	0.416	48.3	n.d
D5	0.1064	1.55	2.73	0.826	0.258	5.16	n.d
D6	0.4151	2.16	2.53	1.32	1.11	6.87	n.d
D7	0.2015	1.94	5.14	1.1	0.367	7.86	n.d
D8	0.2135	2.34	3.02	1.25	0.625	6.25	n.d
PROMEDIO	0.366812	2.46875	3.35375	1.18125	0.82375	17.505	
D.ESTANDA	0.204613	1.068263	1.181396	0.235669	0.645110	13.69897	
VARIANZA	0.041866	1.141185	1.395698	0.055539	0.416167	187.6618	
MAXIMO	0.6699	5.18	5.14	1.5	2.36	48.3	
MINIMO	0.1064	1.55	1.46	0.826	0.258	5.16	
200/1	0.1076	3.5	1.28	1.28	1.23	6.19	n.d
200/2	0.243	5.77	1.77	1.56	1.56	8.32	n.d
200/3	0.2391	3.9	1.9	1.43	1.33	5.65	n.d
200/4	0.5423	4.85	2.19	1.56	1.46	5.21	n.d
PROMEDIO	0.283	4.505	1.785	1.4575	1.395	6.3425	
D.ESTANDA	0.159317	0.879673	0.328823	0.115406	0.125399	1.193301	
VARIANZA	0.025382	0.773825	0.108125	0.013318	0.015725	1.423968	
MAXIMO	0.5423	5.77	2.19	1.56	1.56	8.32	
MINIMO	0.1076	3.5	1.28	1.28	1.23	5.21	

Tabla E.5 Contenido de metales totales y otros elementos. Destintantes varios cont...

Muestra	% Hierro Total E-2	Manganes Total E-3	% Selenio Total E-3	% Calcio Total	% Aluminio Total E-4	% Potasio Total E-2	% Sodio Total
D1	3.39	0.675	n.d	0.1199	n.d	2.89	0.5695
D2	5.54	0.821	n.d	0.1108	n.d	2.37	n.d
D3	5.62	0.936	n.d	0.1045	n.d	1.15	0.697
D4	5.64	0.78	n.d	0.115	n.d	1.2	0.5796
D5	3.48	0.775	n.d	0.1054	n.d	1.52	0.5082
D6	5.3	0.74	n.d	0.0919	n.d	1.55	0.68
D7	4.1	0.786	n.d	0.0891	n.d	1.05	0.646
D8	3.25	0.989	n.d	0.1187	n.d	1.53	0.646
PROMEDIO	4.54	0.81275		0.106912		1.6575	0.540787
D.ESTANDA	1.015984	0.09604914		0.010833		0.603049	0.212651
VARIANZA	1.032225	0.00922543		0.000117		0.363668	0.045220
MAXIMO	5.64	0.989		0.1199		2.89	0.697
MINIMO	3.25	0.675		0.0891		1.05	0
200/1	6.23	0.67	n.d	0.1114	12.5	1.14	0.9032
200/2	5.89	0.937	n.d	0.0754	29	1.91	1.0176
200/3	6.25	0.668	n.d	0.0735	12.5	1.84	1.0829
200/4	6.14	0.991	n.d	0.3464	15.2	1.75	1.0367
PROMEDIO	6.1275	0.8165		0.151675	17.3	1.66	1.0101
D.ESTANDA	0.143243	0.14873214		0.113434	6.844340	0.305532	0.066127
VARIANZA	0.020518	0.02212125		0.012867	46.845	0.09335	0.004372
MAXIMO	6.25	0.991		0.3464	29	1.91	1.0829
MINIMO	5.89	0.668		0.0735	12.5	1.14	0.9032

Tabla E.6 Contenido de metales y otros elementos (PECT), Destintantes varios

Muestra	% Cobre Lxiv. E-5	% Zinc Lxiv. E-4	% Niquel Lxiv. E-4	% Cromo Lxiv. E-5	% Plomo Lxiv. E-4	% Cadmio Lxiv. E-5	% Hierro Lxiv. E-4
D1	6.95	6.03	0.469	n.d	n.d	0.67	1.6
D2							
D3	17.5	7.79	1.47	n.d	n.d	0.82	2.87
D4	22.1	5.62	0.756	n.d	n.d	2.52	2.43
D5	13.4	4.29		n.d	n.d	1.32	1.18
D6	11.5	10.4	0.64	n.d	n.d	1.6	2.4
D7	21.5	6.15	0.304	n.d	n.d	1.52	1.21
D8	17.7	3.95	1.9	n.d	n.d	1.52	2.28
PROMEDIO	15.80714	6.318571	0.923166			1.424285	1.995714
D.ESTANDA	5.088532	2.040591	0.570232			0.559945	0.613720
VARIANZA	25.89316	4.164012	0.325165			0.313538	0.376653
MAXIMO	22.1	10.4	1.9			2.52	2.87
MINIMO	6.95	3.95	0.304			0.67	1.18
200/1	10.9	2.3	0.576	n.d	n.d	1.92	1.44
200/2	13.1	2.12	0.53	n.d	n.d	2.12	2.96
200/3	9.57	3.19	0.684	n.d	n.d	2.28	1.93
200/4	7.99	3.88	1.18	n.d	n.d	3.23	2.15
PROMEDIO	10.39	2.8725	0.7425			2.3875	2.12
D.ESTANDA	1.873272	0.708850	0.258702			0.502860	0.548862
VARIANZA	3.50915	0.502468	0.066926			0.252868	0.30125
MAXIMO	13.1	3.88	1.18			3.23	2.96
MINIMO	7.99	2.12	0.53			1.92	1.44

Tabla E.6 Contenido de metales y otros elementos (PECT). Destintantes varios cont...

Muestra	% Mn Lixiv. E-5	% Selenio Lixiv. E-4	% Calcio Lixiv.	% Al Lixiv. E-4	% Potasio Lixiv. E-3	% Sodio Lixiv.
---------	-----------------------	----------------------------	--------------------	-----------------------	----------------------------	-------------------

D1	8.77	n.d	0.0158	n.d	2.88	0.6125
D2		n.d		n.d		0.4024
D3	8.2	n.d	0.0115	n.d	2.68	0.4097
D4	6.72	n.d	0.13	n.d	2.74	0.409
D5	7.26	n.d	0.0099	n.d	2.29	0.4747
D6	11.2	n.d	0.0116	n.d	2.69	0.3469
D7	6.84	n.d	0.011	n.d	2.48	0.4122
D8	5.32	n.d	0.0093	n.d	3.35	0.3516

PROMEDIO	7.758571		0.028442		2.73	0.427375
D. ESTANDA	1.739412		0.041505		0.308730	0.079240
VARIANZA	3.025555		0.001722		0.095314	0.006279
MAXIMO	11.2		0.13		3.35	0.6125
MINIMO	5.32		0.0093		2.29	0.3469

200/1	6.72	n.d	0.01614	13.9	2.63	0.3772
200/2	9.54	n.d	0.02098	1.4	7.73	0.3806
200/3	6.83	n.d	0.01436	17.4	2.53	0.2891
200/4	5.39	n.d	0.01659	5.21	3.07	0.3032

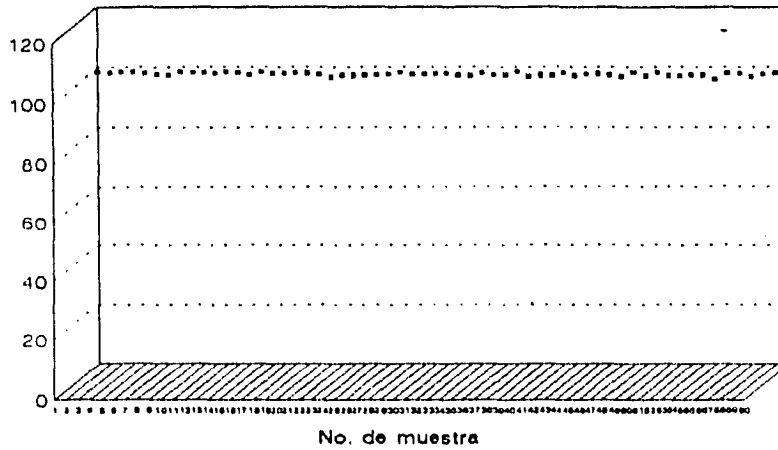
PROMEDIO	7.12		0.017017	9.4775	3.99	0.337525
D. ESTANDA	1.507763		0.002434	6.437819	2.168824	0.041691
VARIANZA	2.27335		0.000005	41.44551	4.7038	0.001738
MAXIMO	9.54		0.02098	17.4	7.73	0.3806
MINIMO	5.39		0.01436	1.4	2.53	0.2891

Tabla E.7 Contenido de Cr, Cd, Pb y Se en los lixiviados (ppm).

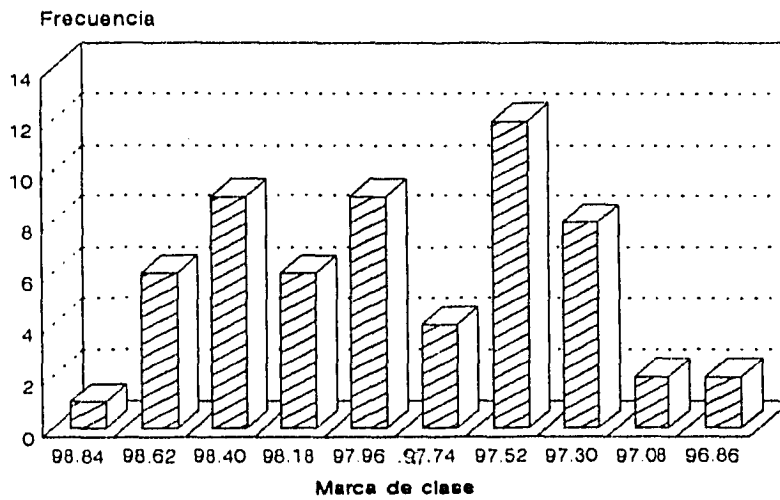
Muestra	Cromo ppm	Cadmio ppm	Plomo ppm	Selenio ppm
1	n.d	0.03	0.06	0.23
2	n.d	0.03	0.05	n.d
3	n.d	0.02	0.01	0.03
4	n.d	0.03	0.03	0.11
5	n.d	0.03	n.d	n.d
6	n.d	0.06	0.07	n.d
7	n.d	0.08	0.06	n.d
8	n.d	0.03	n.d	n.d
9	n.d	0.04	0.08	n.d
10	n.d	0.03	0.01	n.d
11	n.d	0.02	n.d	n.d
12	n.d	0.02	n.d	n.d
13	n.d	0.02	n.d	n.d
14	n.d	0.03	0.01	n.d
15	0.02	0.02	0.016	n.d
16	0.02	0.04	0.011	n.d
17	0.03	0.02	0.21	n.d
18	0.03	0.03	0.31	n.d
19	0.03	n.d	0.06	n.d
20	0.2	0.04	0.38	0.28
21	0.06	0.02	0.22	0.74
22	0.02	0.02	0.32	0.37
23	n.d	0.02	0.328	n.d
24	n.d	0.02	0.06	0.18
25	n.d	0.01	0.09	0.26
26	0.01	0.03	n.d	0.33
27	n.d	n.d	n.d	n.d
28	0.01	0.03	0.03	n.d
29	n.d	0.01	0.02	0.17
30	n.d	0.02	0.04	0.07
PROMEDIO	0.014333	0.026666	0.0825	0.092333
D. ESTANDA	0.037209	0.015347	0.112483	0.164897
VARIANZA	0.001384	0.000235	0.012652	0.027191
MAXIMO	0.2	0.08	0.38	0.74
MINIMO	0	0	0	0



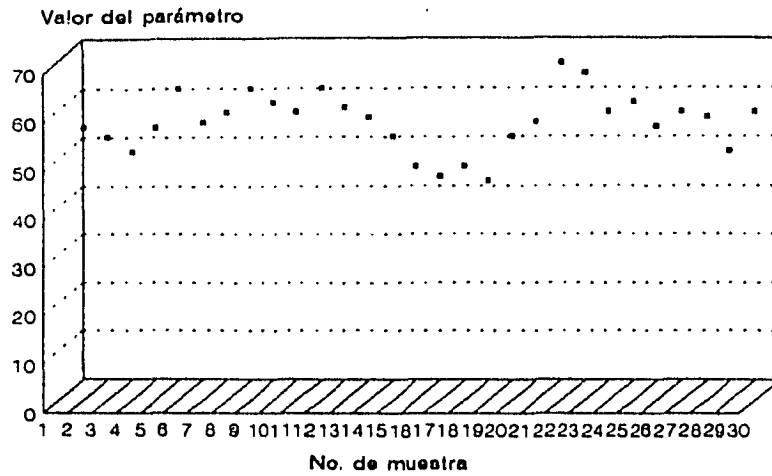
Gráfica E.1.1 % de humedad  
No. de muestra vs. valor del parámetro



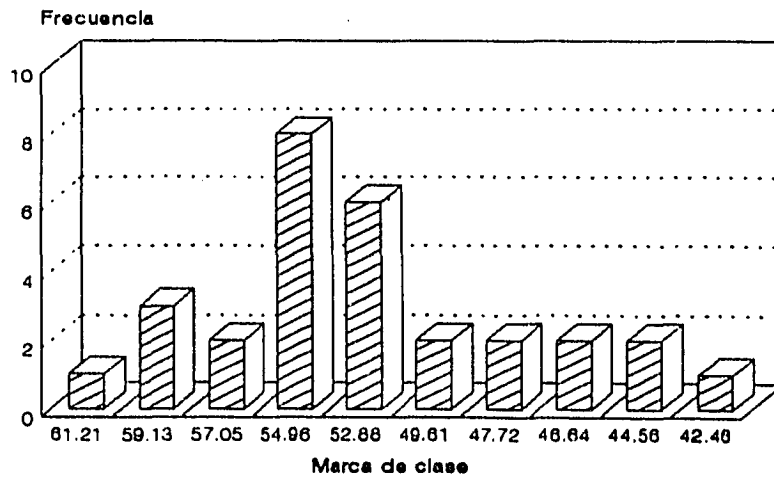
Gráfica E.1.2 % de humedad  
Marca de clase vs. frecuencia



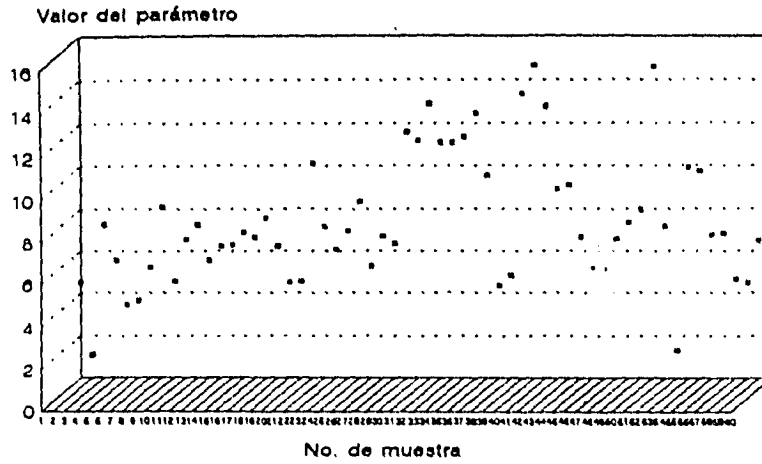
Gráfica E.1.3 % de sólidos húmedos  
No. de muestra vs. valor del parámetro



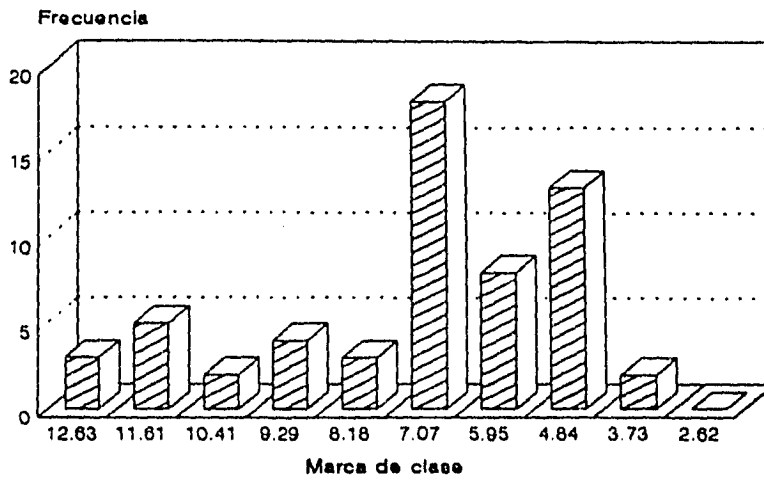
Gráfica E.1.4 % de sólidos húmedos  
Marca de clase vs. frecuencia



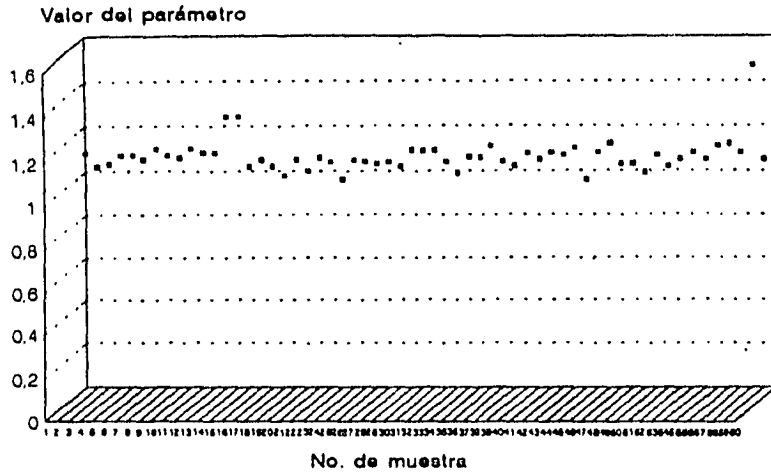
Gráfica E.1.5 % de sólidos fijos  
No. de muestra vs. valor del parámetro



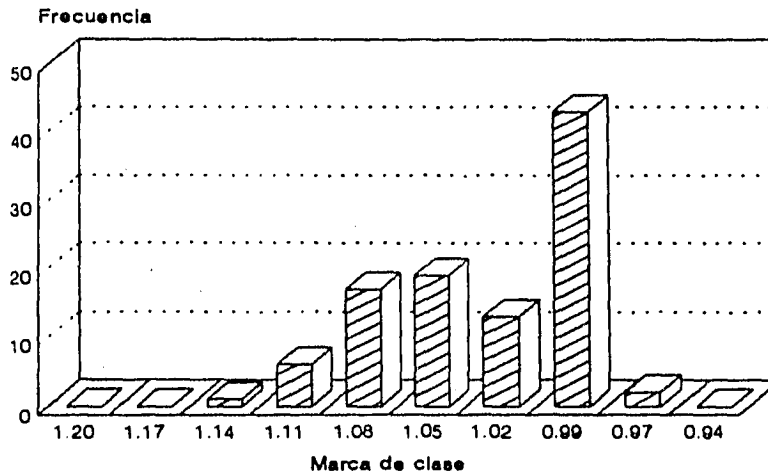
Gráfica E.1.6 % de sólidos fijos  
Marca de clase vs. frecuencia



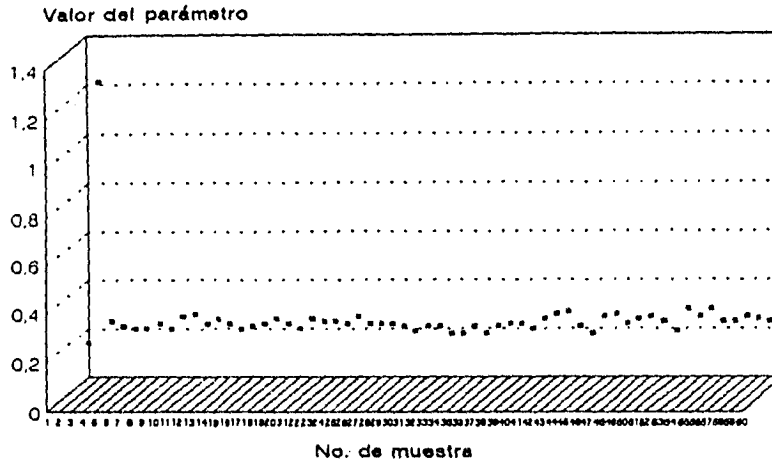
Gráfica E.1.7 densidad de la muestra húmeda  
No. de muestra vs. valor del parámetro



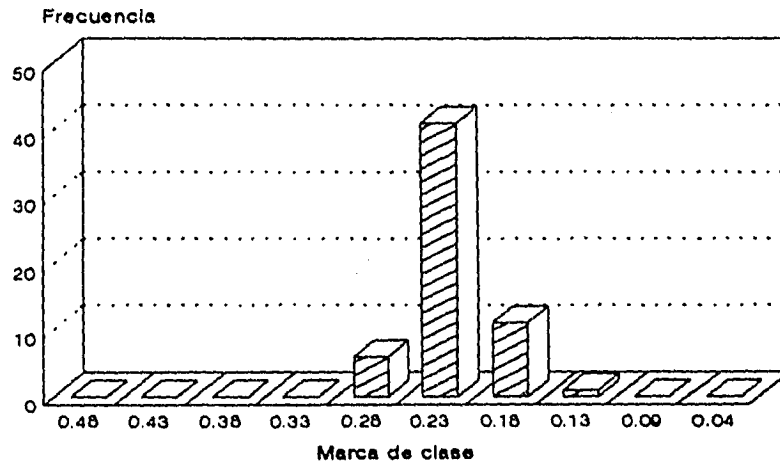
Gráfica E.1.8 densidad de la muestra húmeda  
Marca de clase vs. frecuencia



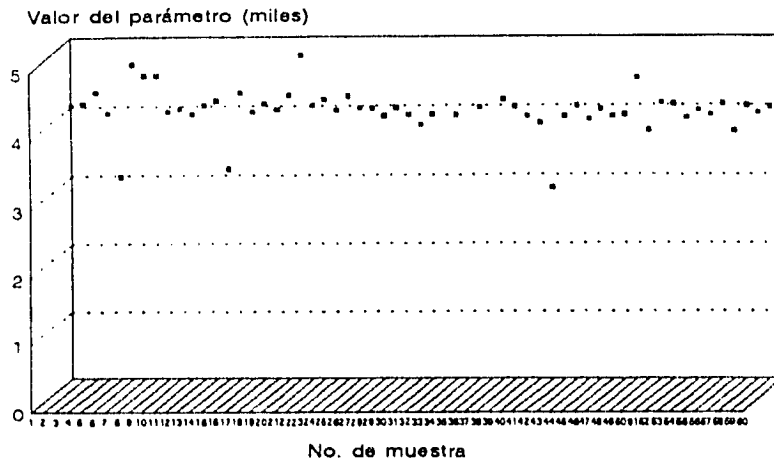
Gráfica E.1.9 densidad de la muestra seca  
No. de muestra vs. valor del parámetro



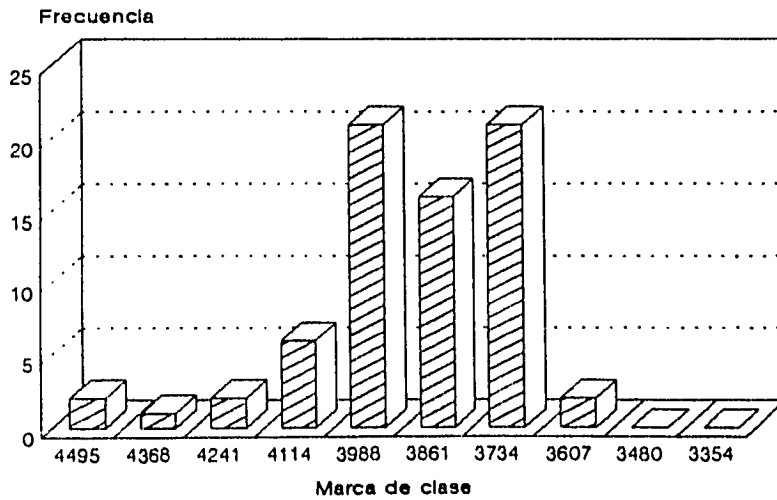
Gráfica E.1.10 densidad de la muestra seca  
Marca de clase vs. frecuencia



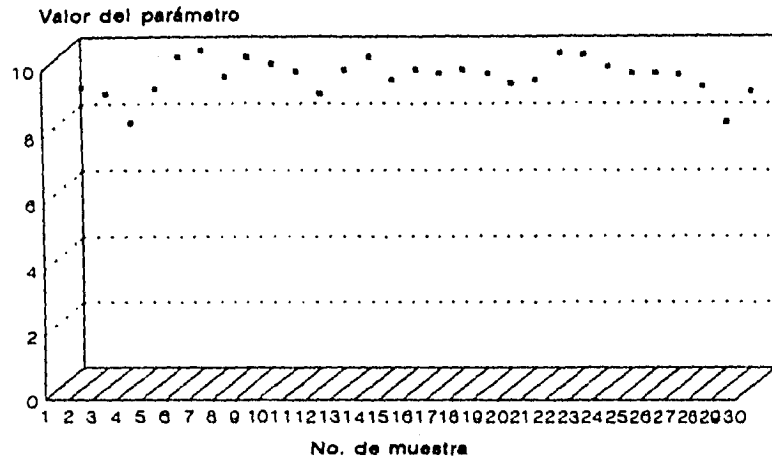
Gráfica E.1.11 calor de combustión (cal/g)  
No. de muestra vs. valor del parámetro



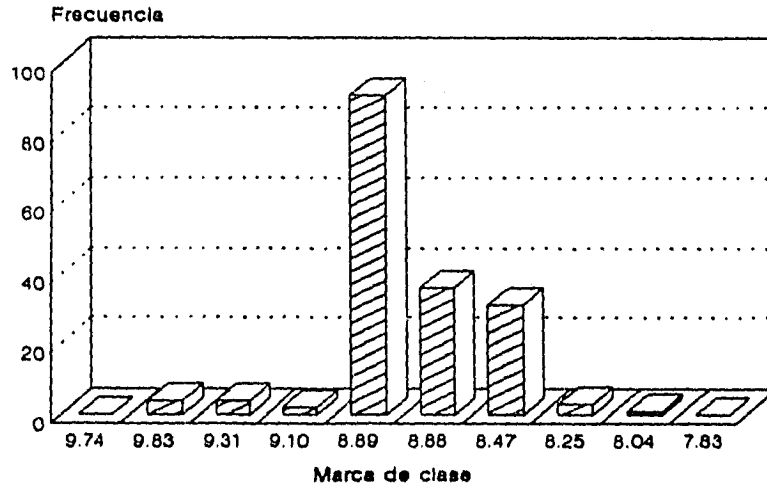
Gráfica E.1.12 calor de combustión  
Marca de clase vs. frecuencia



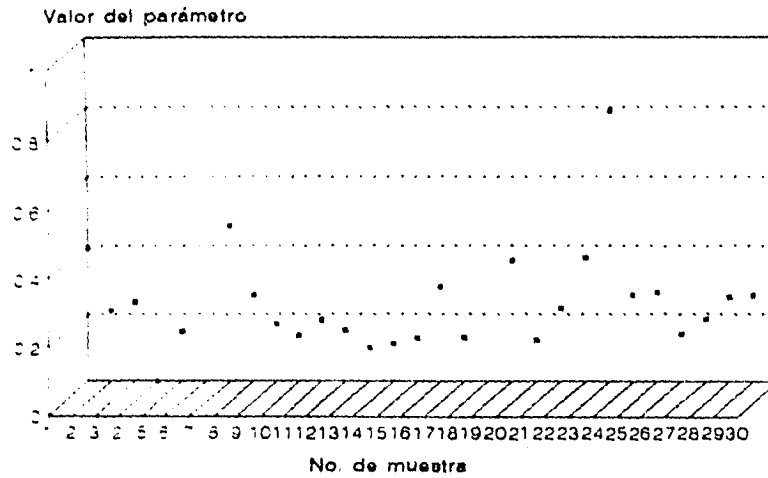
Gráfica E.1.13 pH  
No. de muestra vs. valor del parámetro



Gráfica E.1.14 pH  
Marca de clase vs. frecuencia



Gráfica E.2.1 % de azufre total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



Gráfica E.2.2 % de azufre total  
Marca de clase vs. frecuencia

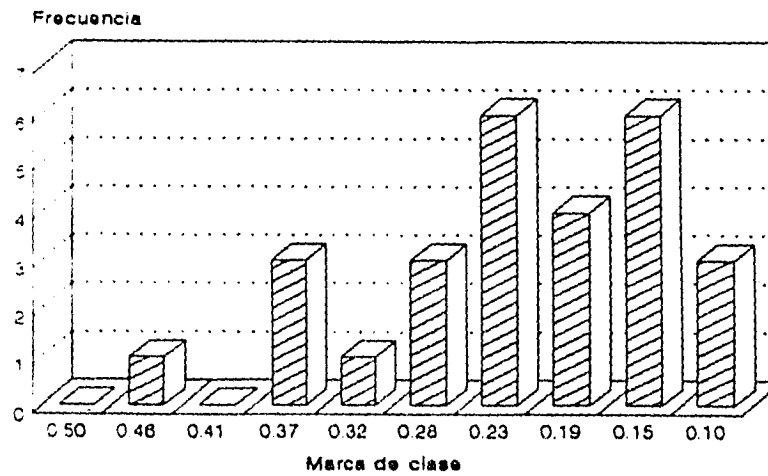
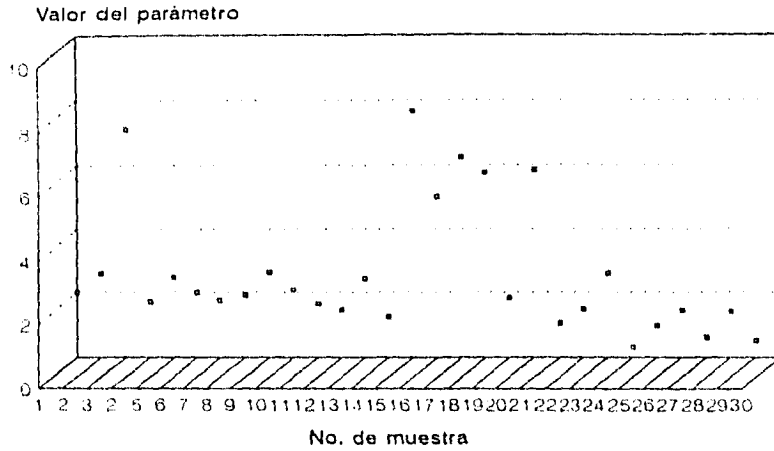




Tabla E.4 Propiedades físicas y químicas de los lodos. Destintantes varios.

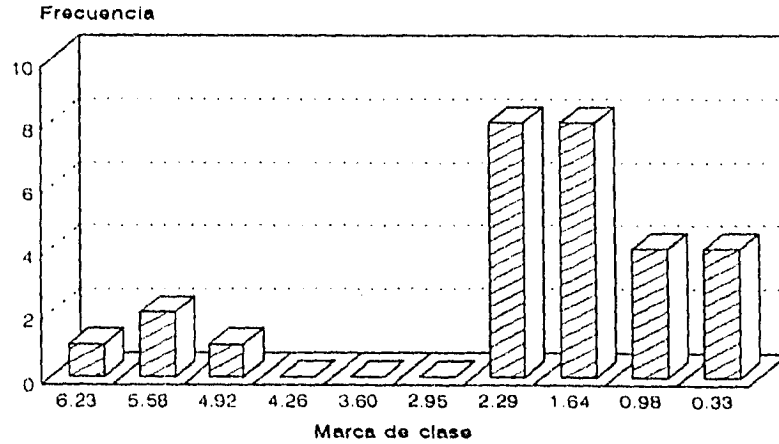
Muestra	% Humedad	% Sólidos Húmedos	% Sólidos Fijos	Densidad M. Húmeda	Densidad M. Seca	Calor de Combustión	pH
D1a	98.6973	46	2.5306	1.0846	0.1621	4001.0897	8.55
D1b	98.6995		2.5999	1.1019	0.1516		
D2a	98.0152		1.7812	1.1094	0.1696	4589.5029	
D2b	98.783		5.8617	1.0716	0.1436		
D3a	98.4303	41	3.2487	1.0854	0.1725	3992.9702	7.2
D3b	98.5147		4.9403	1.0435	0.1529		
D4a	98.3329	42	3.4022	1.0848	0.2162	4517.1704	8.85
D4b	98.4676		3.3323	1.1105	0.2062		
D5a	98.2554	33	2.1244	1.0451	0.1476	4347.9693	7.4
D5b	98.1486		2.3909	1.0775	0.1696		
D6a	98.9452	40	4.8586	1.0319	0.1342	4133.2904	8.85
D6b	98.3947		3.0084	1.0984	0.1496		
D7a	98.2859	38	2.7896	1.1393	0.1674	4103.2016	8.5
D7b	98.4567		7.5631	1.0655	0.1538	4176.2784	
D8a	99.0112	38	3.6228	1.0949	0.148	4251.6205	8.4
D8b	98.9431		2.2894	1.0764	0.01454		
PROMEDIO	98.523831	39.71428	3.521506	1.082543	0.153715	4234.7881	8.25
D. ESTANDA	0.2868782	3.730732	1.503197	0.026792	0.041622	200.77258	0.623354
VARIANZA	0.0822991	13.91836	2.259602	0.000717	0.001732	40309.631	0.388571
MAXIMO	99.0112	46	7.5631	1.1393	0.2162	4589.5029	8.85
MINIMO	98.0152	33	1.7812	1.0319	0.01454	3992.9702	7.2
200/1a	98.651	48	17.4675	1.0636	0.256	4080.1562	8.4
200/1b	98.5203		5.8321	1.0731	0.2478		
200/2a	98.2848	53	7.289	1.0928	0.3102	4194.0561	9.1
200/2b	98.2482		5.5515	1.0786	1.2774		
200/3a	97.5116	57	5.741	1.0618	0.275	4052.6822	8.65
200/3b	97.5253		5.5989	1.0774	0.2634	4086.5806	
200/4a	97.4624	54	17.8361	1.0883	0.2902	4141.057	9.45
200/4b	97.3436		8.4151	1.1016	0.2689		
PROMEDIO	97.9434	53	9.2164	1.07965	0.398612	4110.9064	8.9
D. ESTANDA	0.4994181	3.240370	4.959668	0.013013	0.332661	50.498134	0.404660
VARIANZA	0.2494185	10.5	24.59831	0.000169	0.110663	2550.0616	0.16375
MAXIMO	98.651	57	17.8361	1.1016	1.2774	4194.0561	9.45
MINIMO	97.3436	48	5.5515	1.0618	0.2478	4052.6822	8.4

Gráfica E.2.5 % de zinc total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



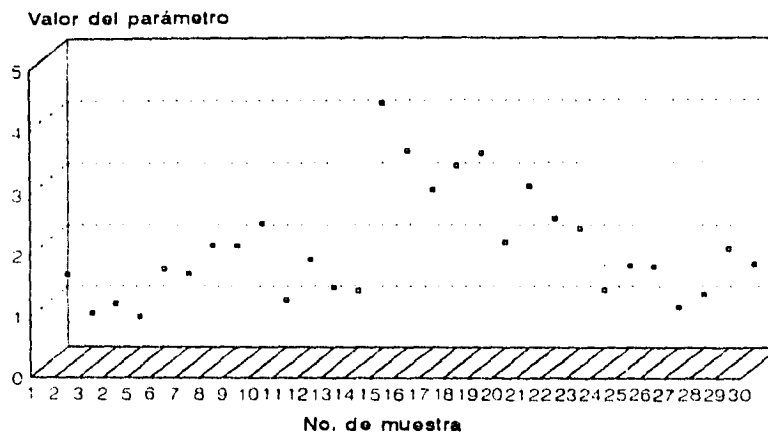
Valor del parámetro por E-3

Gráfica E.2.6 % de zinc total  
Marca de clase vs. frecuencia



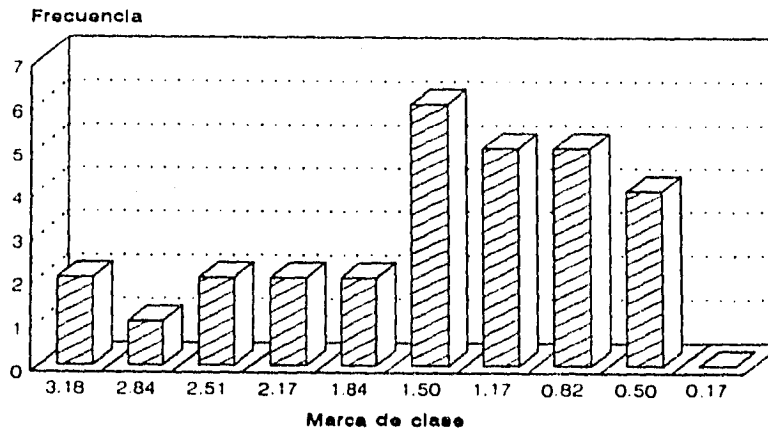
Marca de clase por E-3

Gráfica E.2.7 % de níquel total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



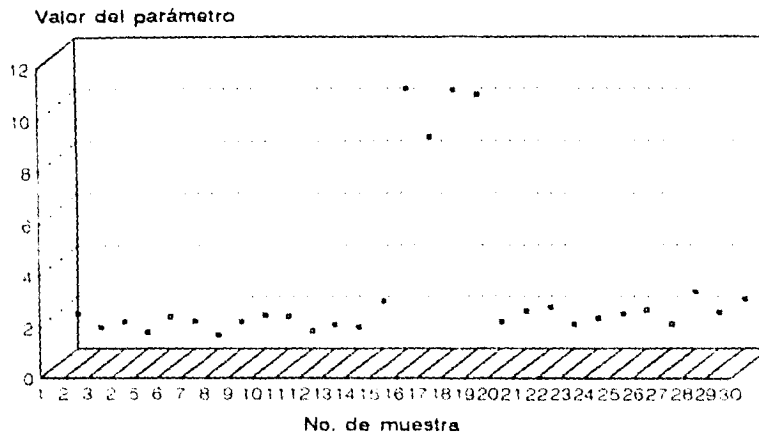
Valor del parámetro por E-3

Gráfica E.2.8 % de níquel total  
Marca de clase vs. frecuencia



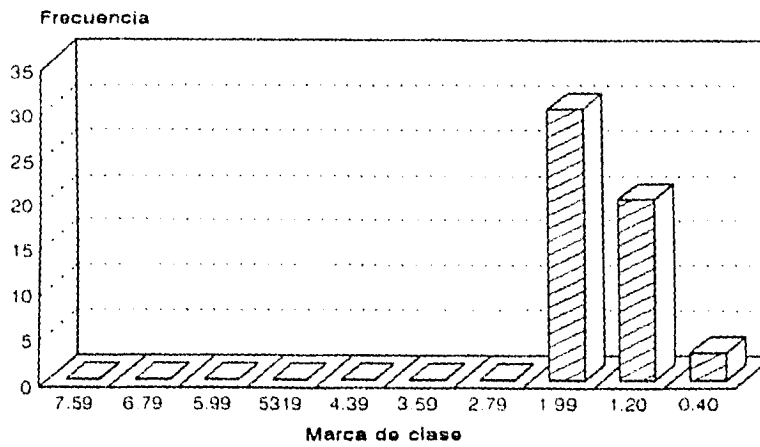
Marca de clase por E-3

Gráfica E.2.9 % de cromo total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



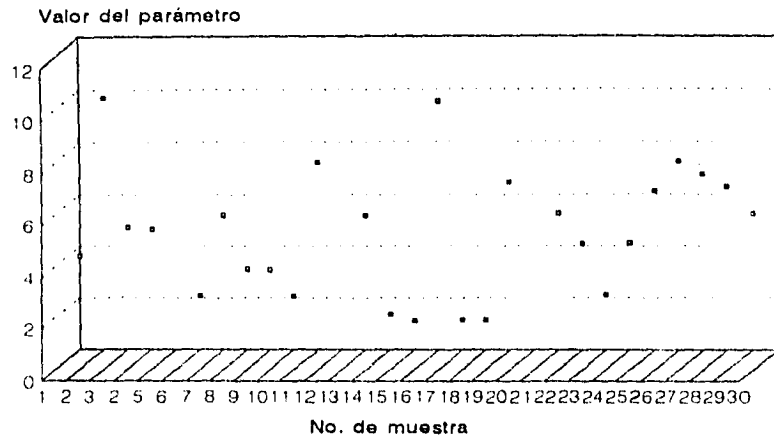
Valor del parámetro por E-3

Gráfica E.2.10 % de cromo total  
Marca de clase vs. frecuencia



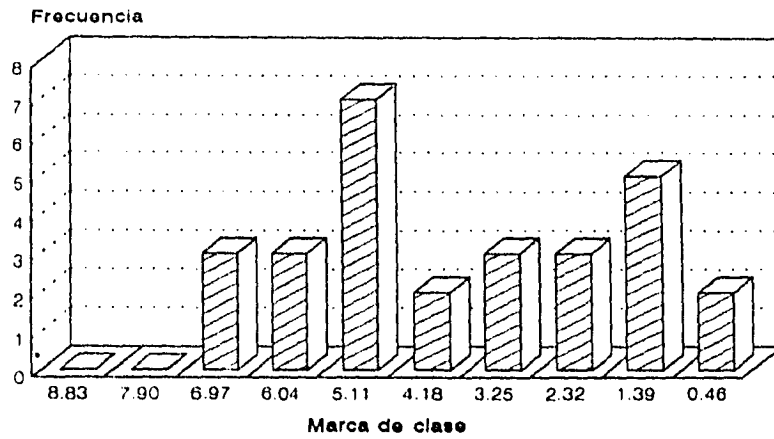
Marca de clase por E-3

Gráfica E.2.11 % de plomo total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



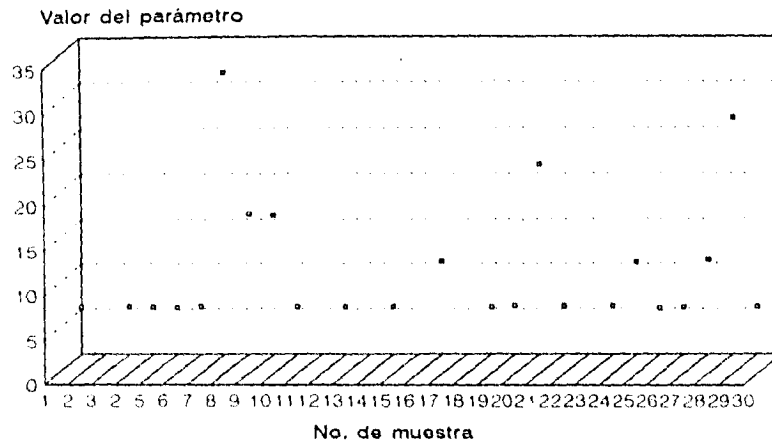
Valor del parámetro por E-4

Gráfica E.2.12 % de plomo total  
Marca de clase vs. frecuencia



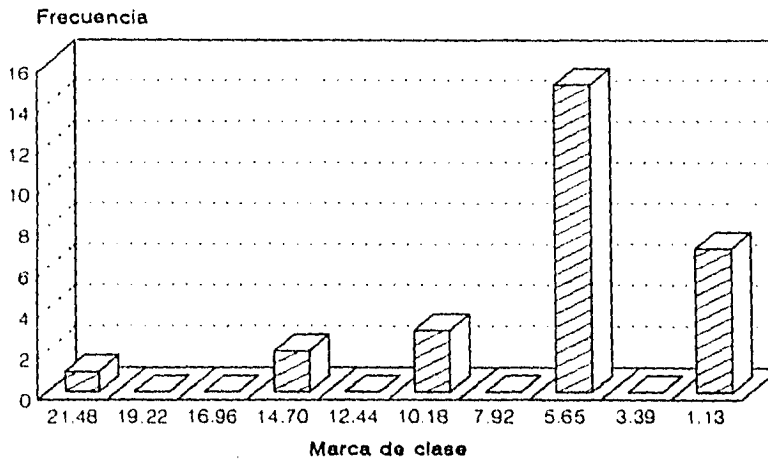
Marca de clase por E-4

Gráfica E.2.13 % de cadmio total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



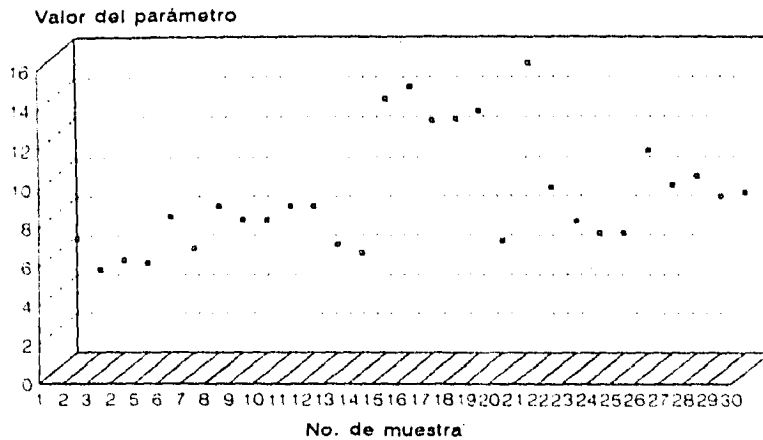
Valor del parámetro por E-5

Gráfica E.2.14 % de cadmio total  
Marca de clase vs. frecuencia



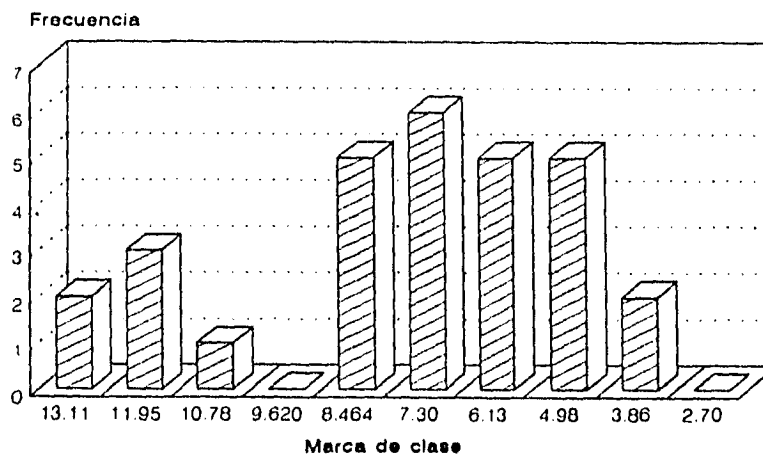
Marca de clase por E-5

Gráfica E.2.15 % de hierro total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



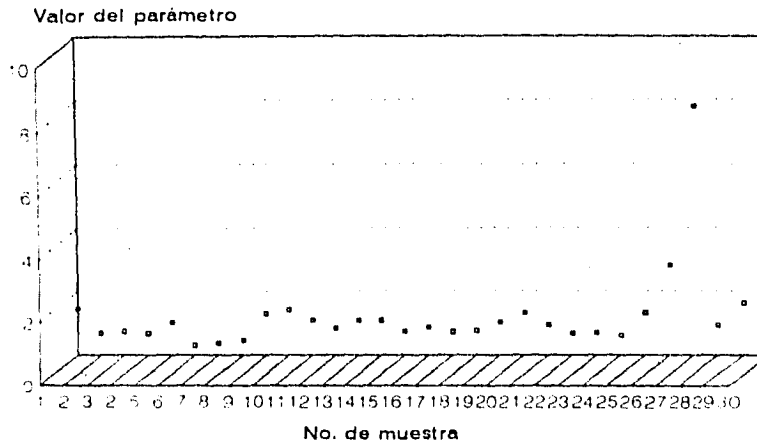
Valor del parámetro por E-2

Gráfica E.2.16 % de hierro total  
Marca de clase vs. frecuencia



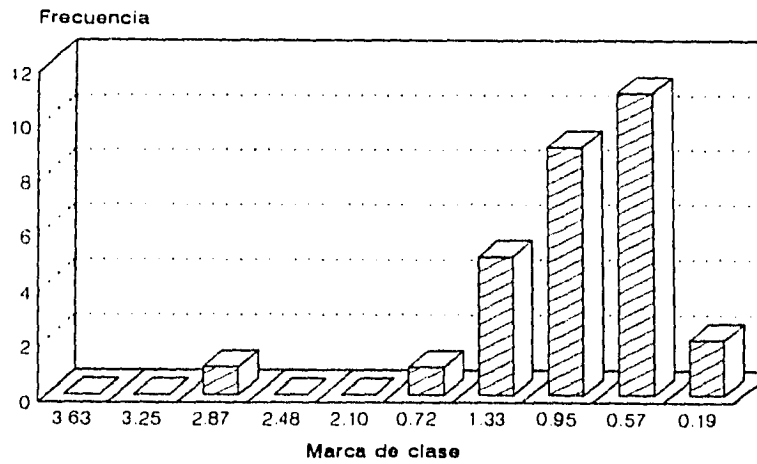
Marca de clase por E-2

Gráfica E.2.17 % de manganeso total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



Valor del parámetro por E-3

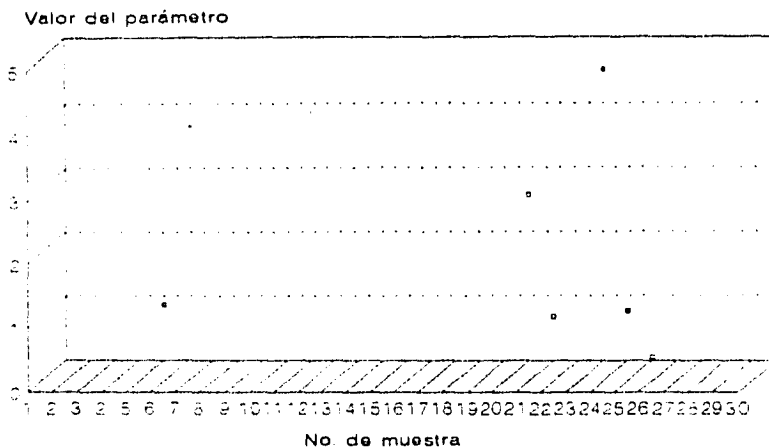
Gráfica E.2.18 % de manganeso total  
Marca de clase vs. frecuencia



Marca de clase por E-3

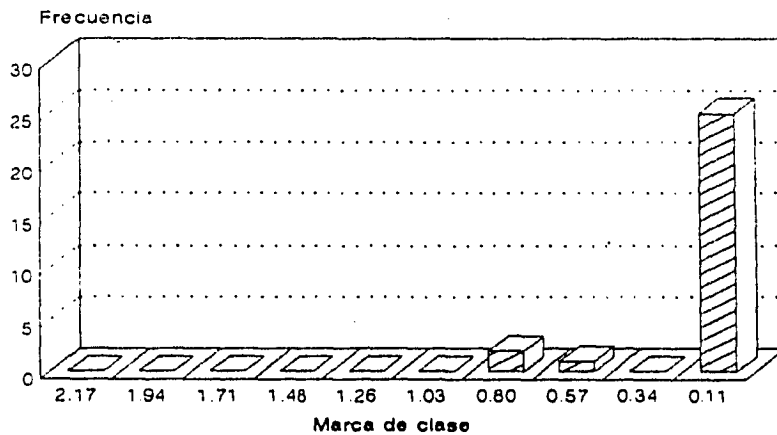


Gráfica E.2.19 % de selenio total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



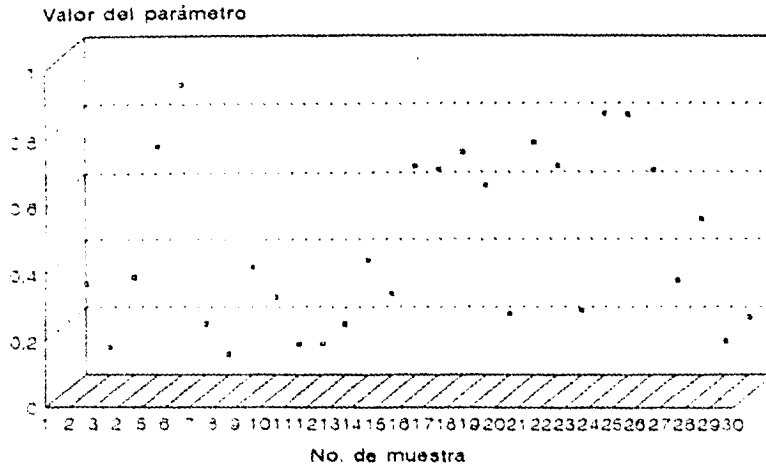
Valor del parámetro por E-3

Gráfica E.2.20 % de selenio total  
Marca de clase vs. frecuencia

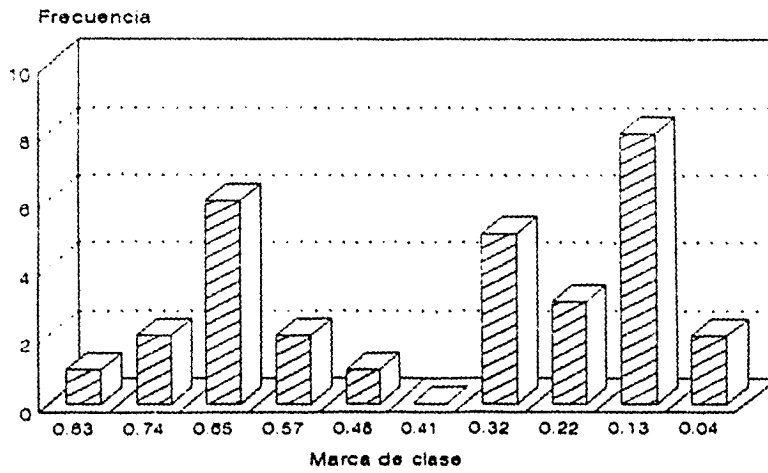


Marca de clase por E-3

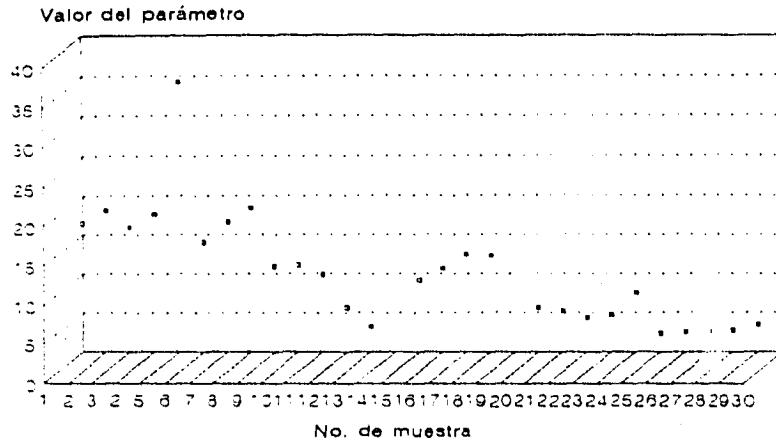
Gráfica E.2.21 % de calcio total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



Gráfica E.2.22 % de calcio total  
Marca de clase vs. frecuencia

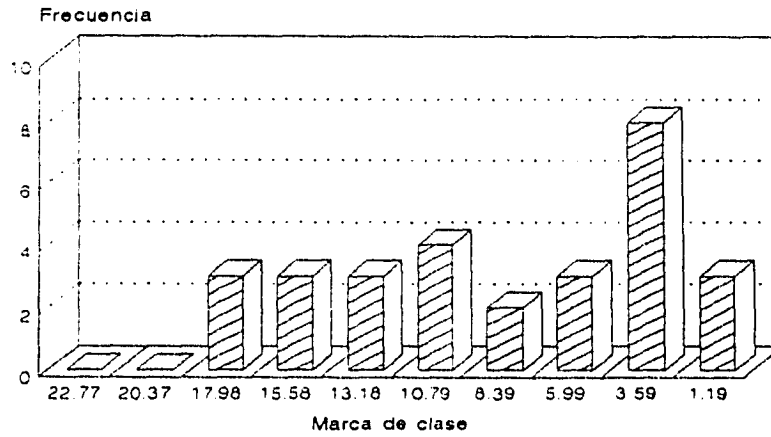


Gráfica E.2.23 % de aluminio total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



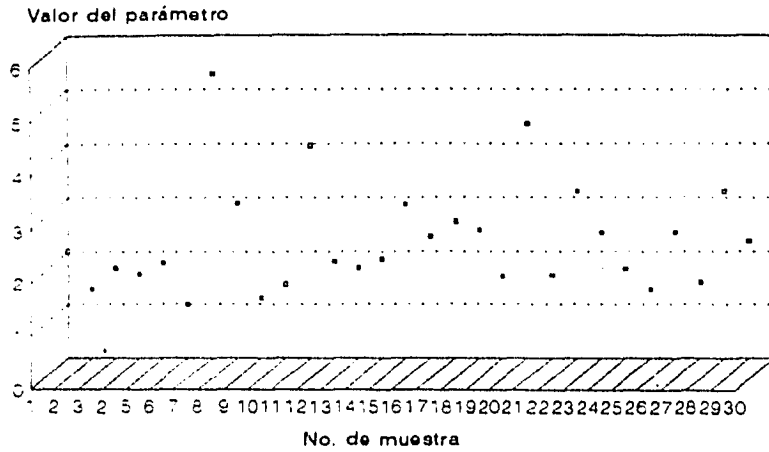
Valor del parámetro por E-4

Gráfica E.2.24 % de aluminio total  
Marca de clase vs. frecuencia



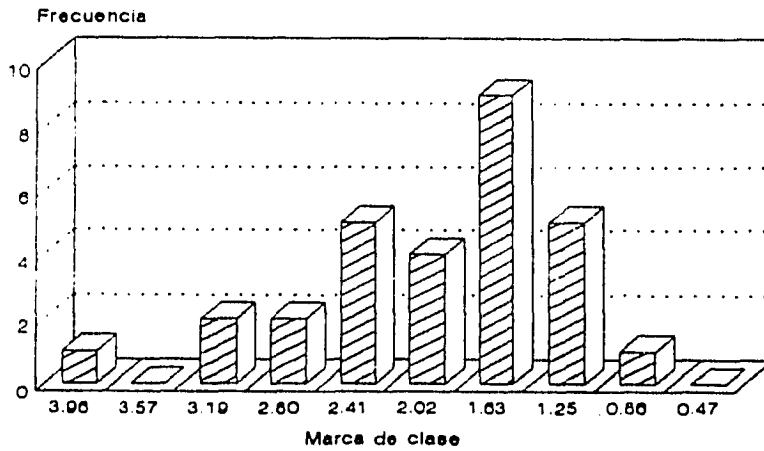
Marca de clase por E-4

Gráfica E.2.25 % de potasio total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



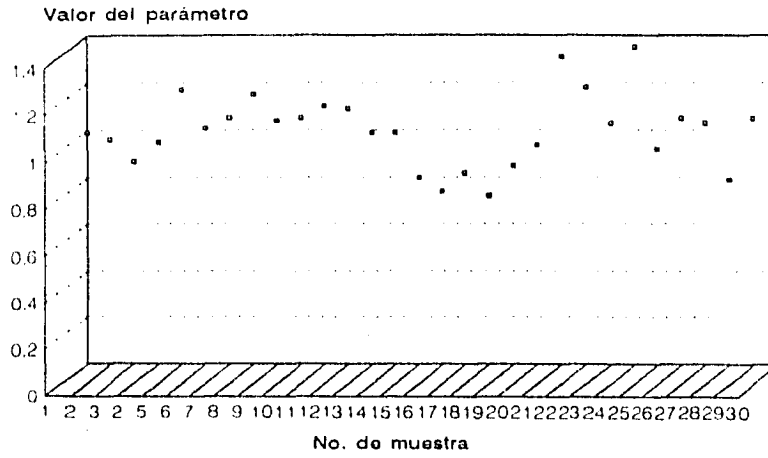
Valor del parámetro por E-2

Gráfica E.2.26 % de potasio total  
Marca de clase vs. frecuencia

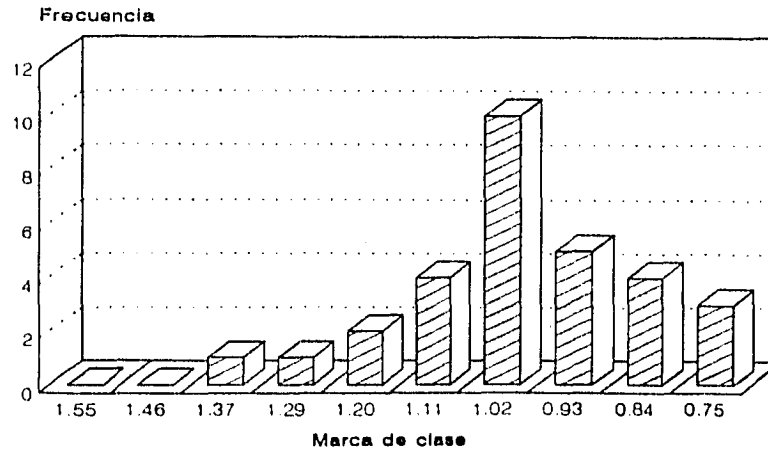


Marca de clase por E-2

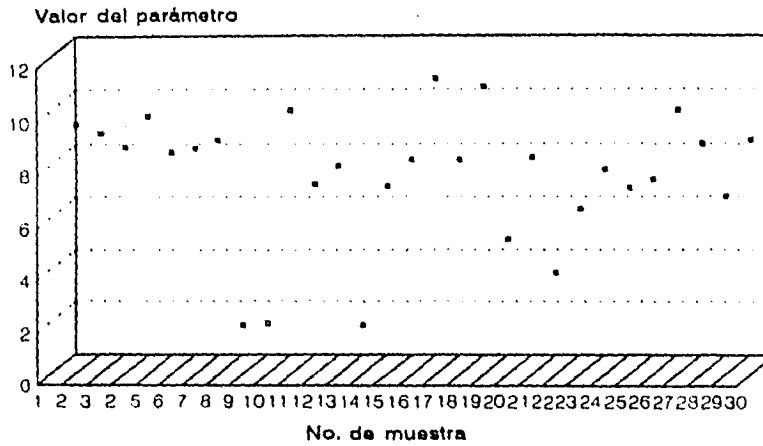
Gráfica E.2.27 % de sodio total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



Gráfica E.2.28 % de sodio total  
Marca de clase vs. frecuencia

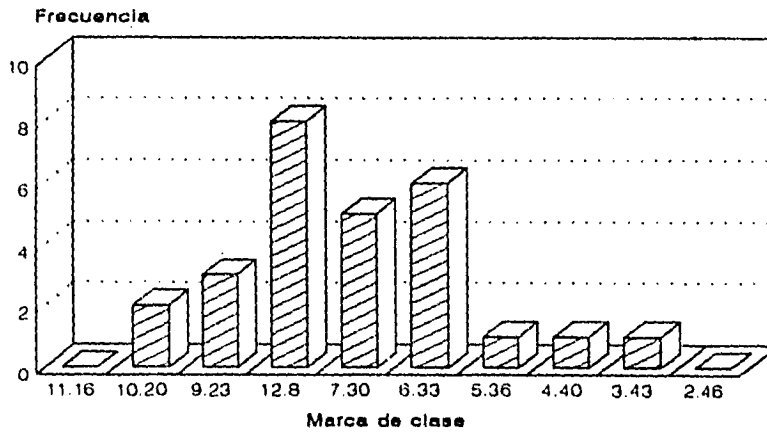


Gráfica E.3.1 % de cobre lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



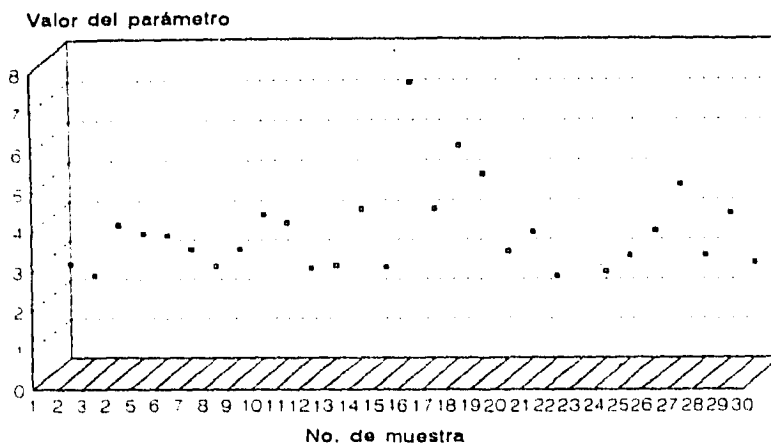
Valor del parámetro por E-5

Gráfica E.3.2 % de cobre lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



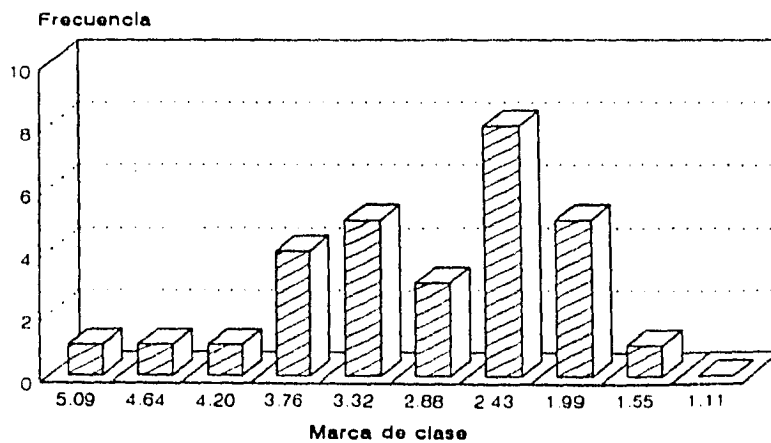
Marca de clase por E-5

Gráfica E.3.3 % de zinc lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



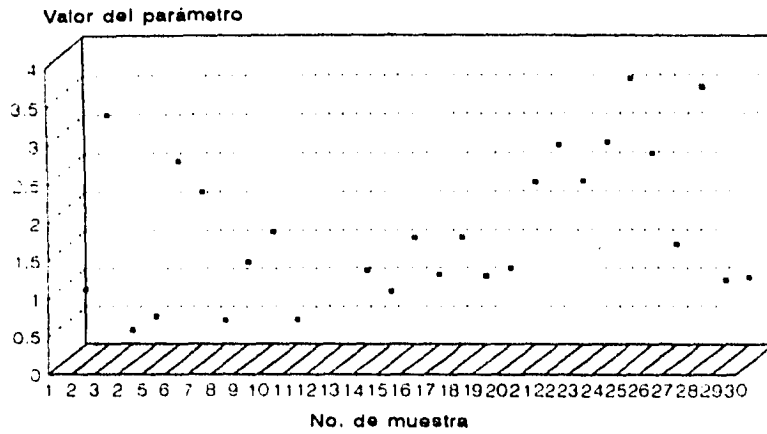
Valor del parámetro por E-4

Gráfica E.3.4 % de zinc lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



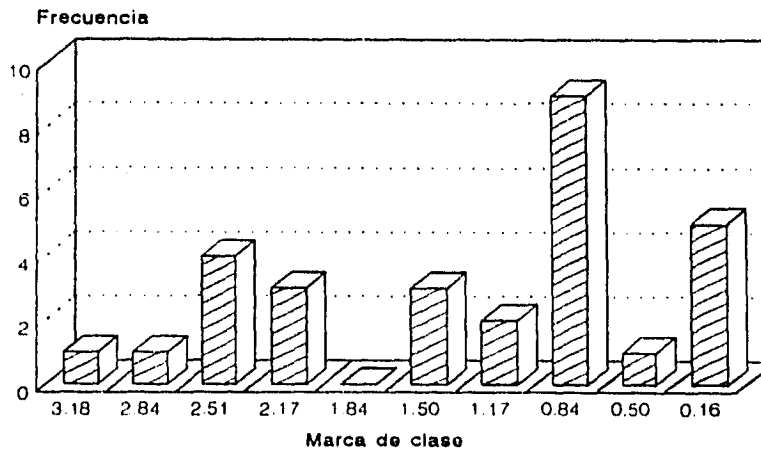
Marca de clase por E-4

Gráfica E.3.5 % de níquel lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



Valor del parámetro por E-4

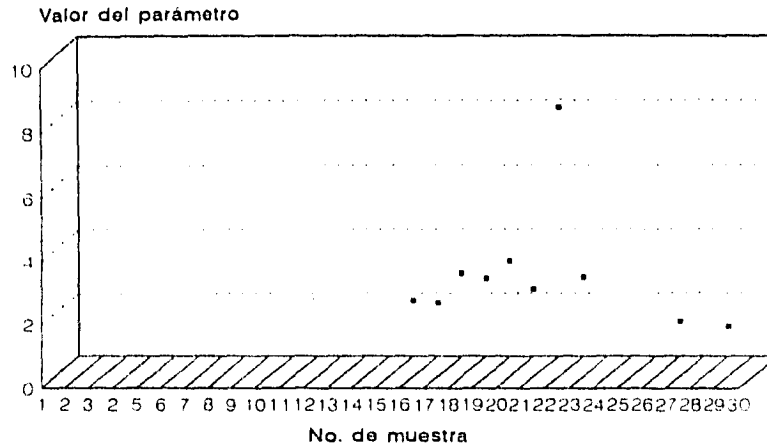
Gráfica E.3.6 % de níquel lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



Marca de clase por E-4

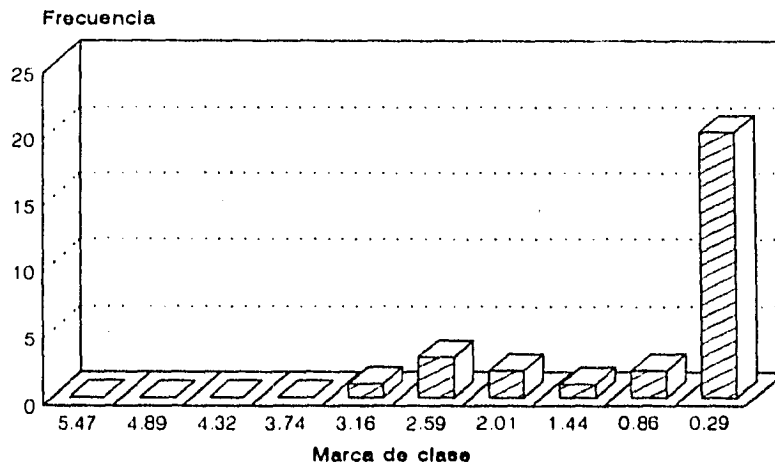


Gráfica E.3.7 % de cromo lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



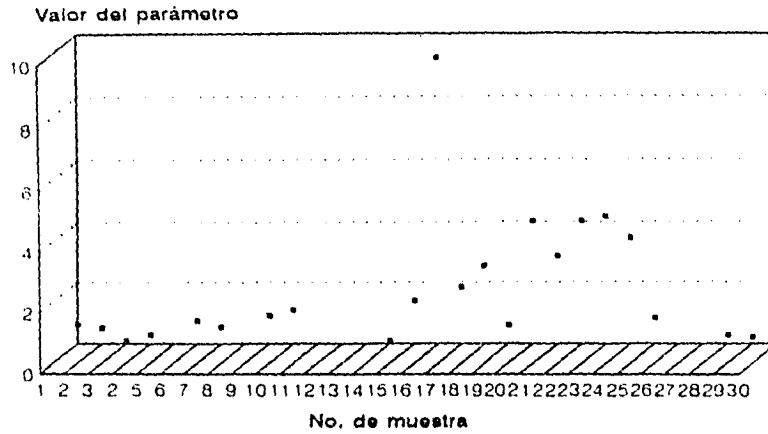
Valor del parámetro por E-5

Gráfica E.3.8 % de cromo lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



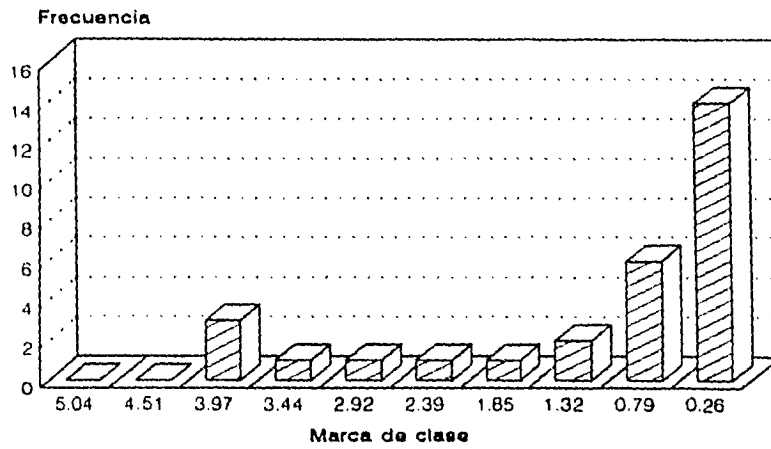
Marca de clase por E-5

Gráfica E.3.9 % de plomo lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



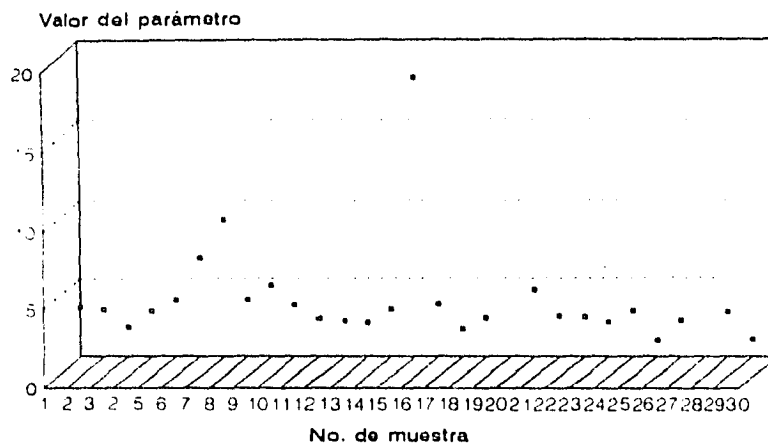
Valor del parámetro por E-4

Gráfica E.3.10 % de plomo lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



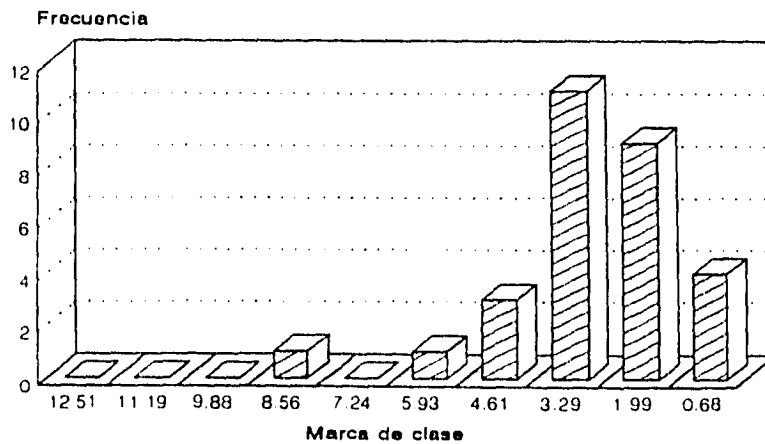
Marca de clase por E-4

Gráfica E.3.11 % de cadmio lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



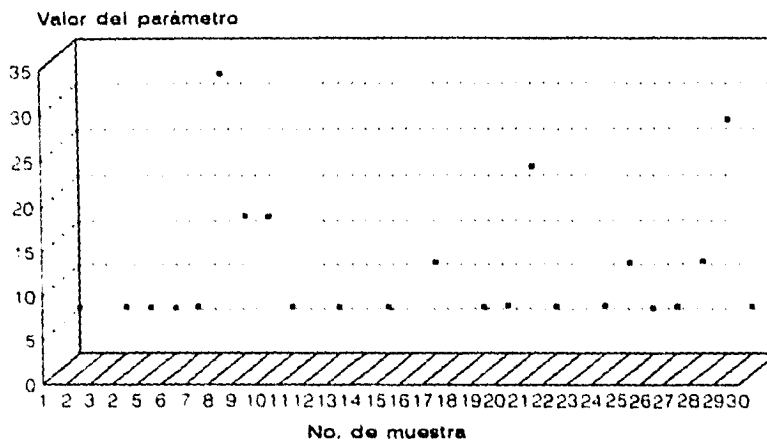
Valor del parámetro por E-5

Gráfica E.3.12 % de cadmio lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



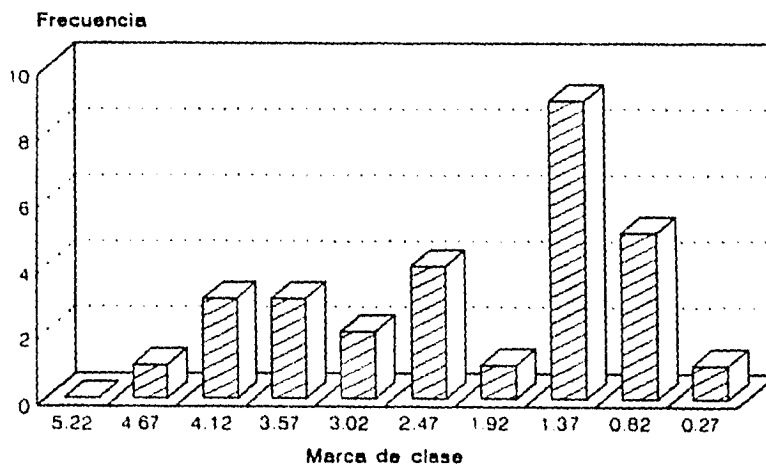
Marca de clase por E-5

Gráfica E.2.13 % de cadmio total  
No. de muestra vs. valor del parámetro



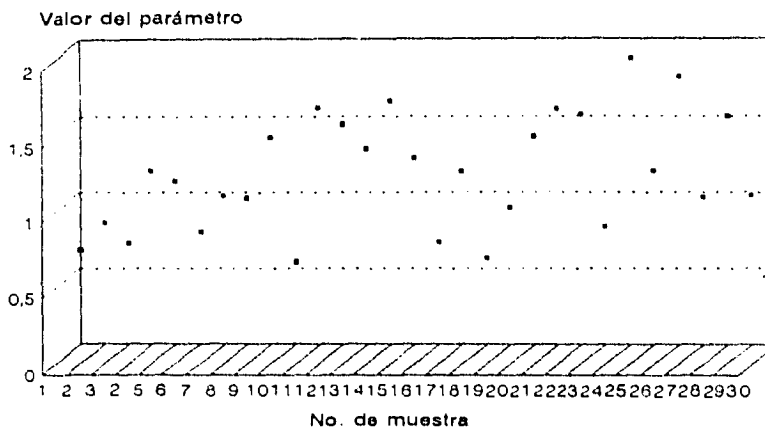
Valor del parámetro por E-5

Gráfica E.3.14 % de hierro lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



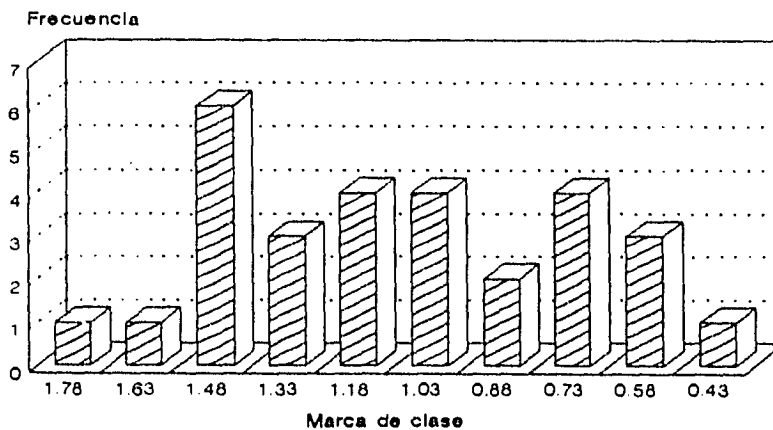
Marca de clase por E-4

Gráfica E.3.15 % de manganeso lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



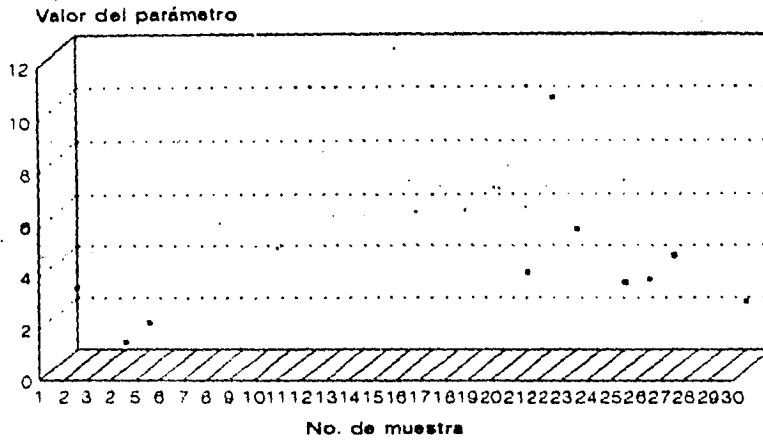
Valor del parámetro por E-5

Gráfica E.3.16 % de manganeso lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



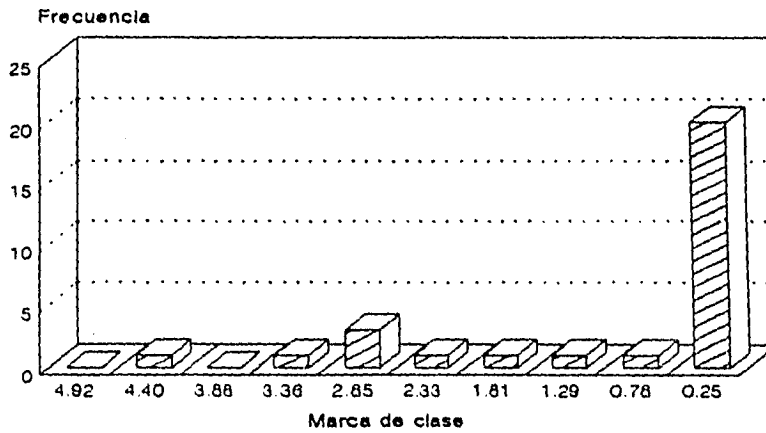
Marca de clase por E-5

Gráfica E.3.17 % de selenio lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



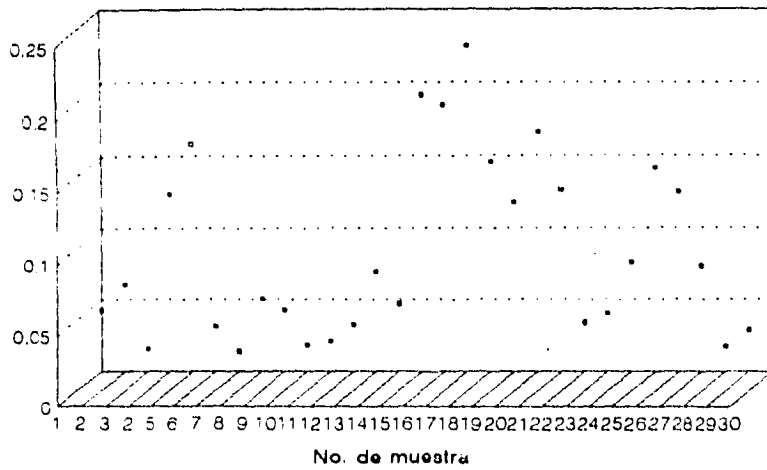
Valor del parámetro por E-4

Gráfica E.3.18 % de selenio lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia

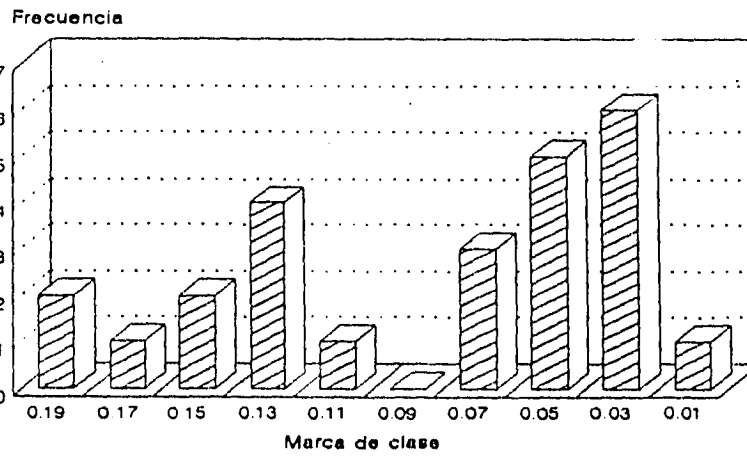


Marca de clase por E-4

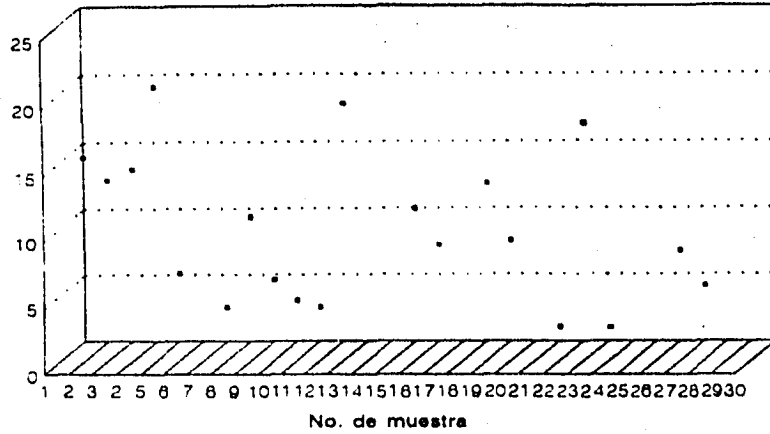
Gráfica E.3.19 % de calcio lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



Gráfica E.3.20 % de calcio lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia

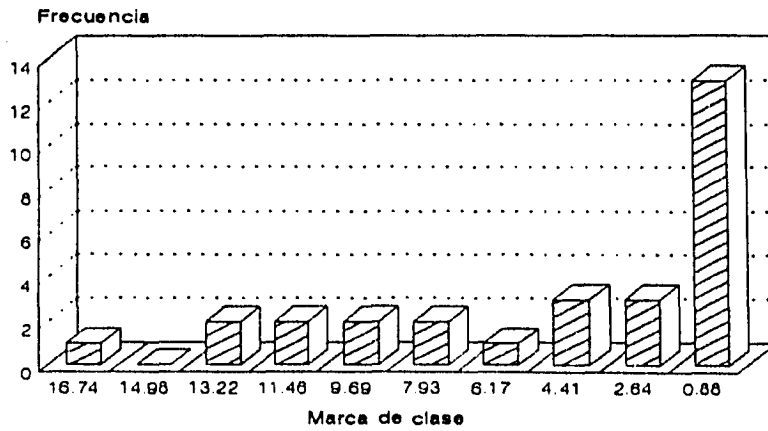


Gráfica E.3.21 % de aluminio lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



Valor del parámetro por E-4

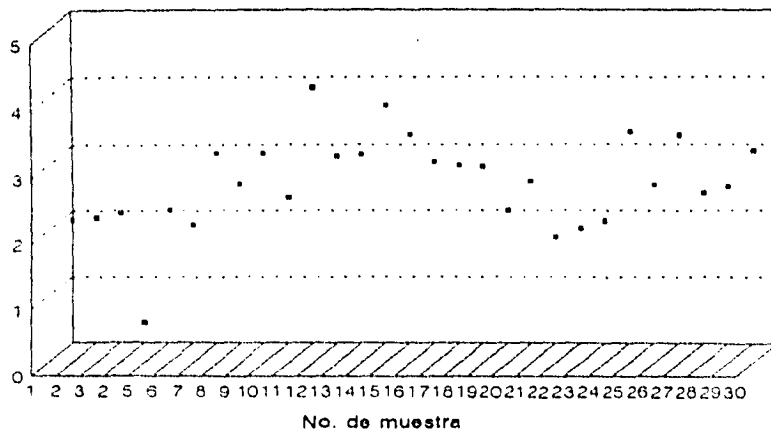
Gráfica E.3.22 % de aluminio lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



Marca de clase por E-4

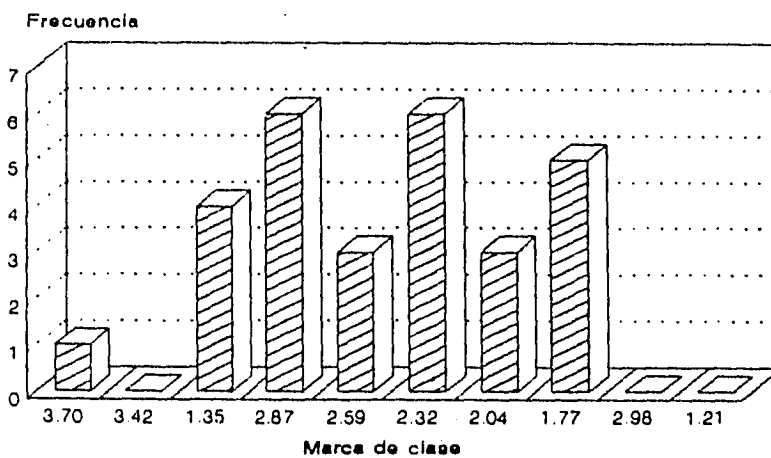


Gráfica E.3.23 % de potasio lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



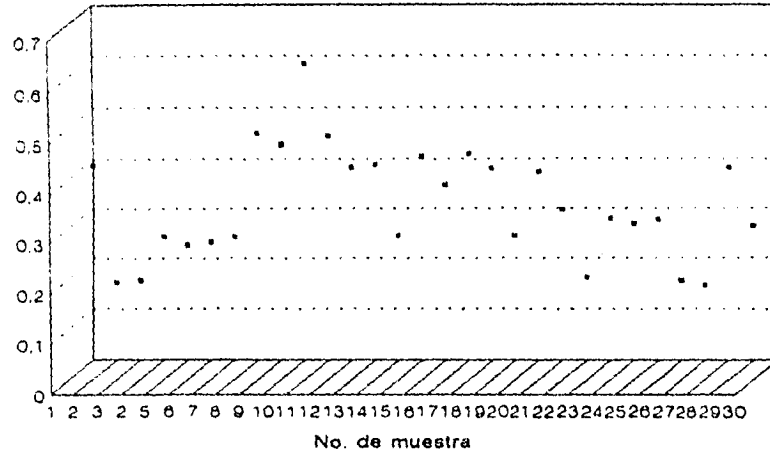
Valor del parámetro por E-3

Gráfica E.3.24 % de potasio lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia

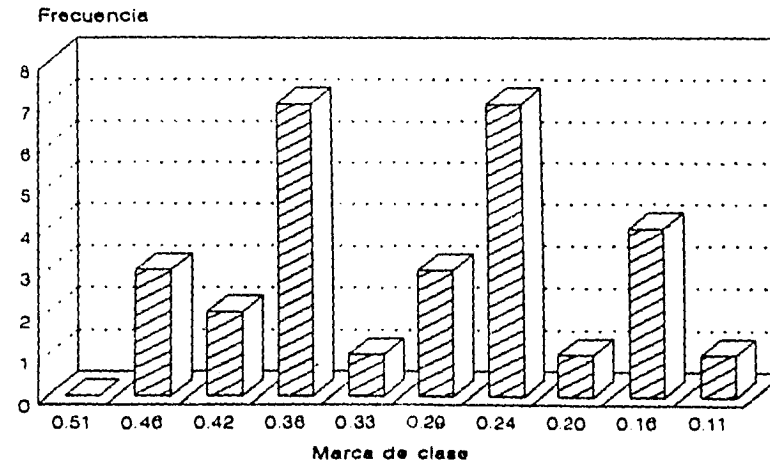


Marca de clase por E-3

Gráfica E.3.25 % de sodio lixiviado  
No. de muestra vs. valor del parámetro



Gráfica E.3.26 % de sodio lixiviado  
Marca de clase vs. frecuencia



## Análisis de los datos:

### 1. % de humedad

El valor medio del % de humedad es de 97.94%, la desviación normal es de 0.499.

Los valores máximo y mínimo son respectivamente 98.651 y 97.3436.

El tipo de distribución de frecuencias no se asemeja a ninguna de las distribuciones teóricas comunes, sin embargo, el 70 % de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 98.33% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ . Estos porcentajes son cercanos a los teóricos de 68% en  $(x \pm \sigma)$  y 95% en  $(x \pm 2\sigma)$  para una distribución normal.

### 2. % de sólidos húmedos

El valor medio de éste parámetro es de 53.33%, la desviación normal es de 5.9460 y los valores máximo: 61, y mínimo: 41.

La distribución de frecuencias presenta una tendencia normal, encontrándose un 65% de los datos en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y un 93.33% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

### 3. % de sólidos fijos

Para este parámetro se obtuvo un valor medio de 7.62%, un máximo de 14.629 y un mínimo de 3.448. La desviación estándar es de 2.7801.

El tipo de distribución de frecuencias es normal con un 65% de los datos en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y un 95% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 4. Densidad de la muestra húmeda

El valor medio de la densidad de las muestras húmedas es de 1.0712. Los valores máximo y mínimo son de 1.47 y 0.9566 respectivamente.

La distribución de frecuencias muestra una tendencia normal con una marcada concentración de datos alrededor del valor medio.

El 91% de los datos cae dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$ , y el 96.66% en  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 5. Densidad de la muestra seca

La densidad de las muestras secas presenta un valor promedio de 0.2448%, un mínimo de 0.9566 y un máximo de 1.21. La desviación normal es de 0.1288.

El 68% de los datos se encuentran en el intervalo de (0.2087% a 0.2776%).

El 100% de los valores se encuentran dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$ .

#### 6. Calor de combustión

El valor medio del calor de combustión es de 3939.67 cal/g, el valor máximo es de 4736.93 y el mínimo de 2818.89. La desviación estándar es de 309.5413, obteniéndose una distribución de frecuencias donde el 88% de los datos se encuentra en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 95% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ . La gráfica de frecuencias muestra una tendencia normal. El 66.66% de los datos se encuentran en el intervalo (3797.8596-4051.4925).

### 7. pH

El valor medio de este parámetro es de 8.78; el valor máximo es de 9.6 y el mínimo de 7.45. La desviación estándar es de 0.5294.

La tendencia que se observa en la gráfica de frecuencias no se asemeja a ninguna de las distribuciones teóricas comunes, aunque se tiene el 70% de los datos en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y un 93% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ , valores que se aproximan a la distribución normal teórica.

### 8. % de azufre total

El valor medio para este parámetro es de 0.2198% en peso, la desviación normal el de 0.1517, y los valores máximo y mínimo son respectivamente de 0 y 0.7893.

La gráfica de frecuencias no se asemeja a ningún tipo de distribución teórica común.

El 83% de los valores se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 86.66% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

### 9. % de cobre

El valor medio del % de cobre total es de 4.521 E-3. El valor máximo de este porcentaje es de 7.53 E-3 y el mínimo de 1.86 E-3. La desviación estándar es de 1.3536 E-3.

El tipo de distribución presenta una tendencia normal, donde el 73% de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 96.66% en  $(x \pm 2\sigma)$ .

El valor medio del % de cobre en los lixiviados es de  $6.8143 \text{ E-5}$ , la desviación normal es de  $2.4162 \text{ E-5}$  y los correspondientes valores máximo y mínimo de  $10.4 \text{ E-5}$  y  $1.12 \text{ E-5}$ .

De igual forma, la distribución presenta una tendencia normal, donde el 80% de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 90% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 10. % de zinc

El % de zinc presenta un valor medio de  $2.5336 \text{ E-3}$ . El valor máximo es de  $7.67 \text{ E-3}$  y el mínimo de  $0.15 \text{ E-3}$ . La desviación normal para esta serie de valores es de  $2.0143 \text{ E-3}$ .

La gráfica de frecuencias no muestra una tendencia de distribución común, pero el 73% de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 93.33% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ , porcentajes cercanos a la distribución teórica normal.

El % de zinc en los lixiviados tiene un valor medio de  $3.1006 \text{ E-4}$ , un máximo de  $6.95 \text{ E-4}$  y un mínimo de  $1.76 \text{ E-4}$ . La desviación estándar es de  $1.1038 \text{ E-4}$ .

La tendencia de la distribución se asemeja a la normal, con un 80% de los valores en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y un 93.33% en  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 11. % de níquel

El valor medio del % de níquel total en las muestras es de  $1.6326 \text{ E-3}$ , los valores máximo y mínimo son de  $3.96 \text{ E-3}$  y  $0.51 \text{ E-3}$  respectivamente. La desviación estándar es de  $0.8553 \text{ E-3}$ .

El tipo de distribución de frecuencias no es de tipo normal, sin embargo el 70 % de los datos caen dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 96.66% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

Para el % de níquel en los lixiviados se tiene un valor medio de  $1.39 \text{ E-4}$ , un máximo de  $3.45 \text{ E-4}$  y un mínimo de  $0.19 \text{ E-4}$  con una desviación estándar de  $0.9792 \text{ E-4}$ .

La distribución de frecuencias tampoco presenta una tendencia común y el 56.66% de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$ . El 96.66% se hallan en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 12. % de cromo

El valor medio del % de cromo total es de  $2.2920 \text{ E-3}$ . El valor máximo de este porcentaje es de  $9.98 \text{ E-3}$  y el mínimo de  $0.51 \text{ E-3}$ . La desviación estándar es de  $2.8470 \text{ E-3}$ .

El tipo de distribución no presenta una tendencia claramente normal. El 86.66% de los datos se encuentran en el intervalo  $(0.7986 \text{ E-3} - 1.5971 \text{ E-3})$ , mismo que no incluye al valor medio.

Se tiene una tendencia sesgada hacia la izquierda.

El valor medio del % de cromo en los lixiviados es de  $1.8850 \text{ E-5}$ , la desviación normal es de  $1.9501 \text{ E-5}$  y los correspondientes valores máximo y mínimo de  $7.79 \text{ E-5}$  y  $0.93 \text{ E-5}$ .

De igual forma, la distribución no presenta una tendencia normal, el 66.66% de los datos se encuentran en el intervalo  $(0-0.5754 \text{ E-5})$ , que no abarca al valor medio. Se tiene una tendencia sesgada hacia la izquierda.

### 13. % de plomo

El % de plomo total presenta un valor medio de  $4.1833 \text{ E-4}$ , un máximo de  $9.69 \text{ E-4}$  y un mínimo de 0. La desviación estándar de los datos es de  $2.5556 \text{ E-4}$ .

La distribución de frecuencias no es de algún tipo común, sin embargo, los porcentajes de datos dentro de los intervalos  $(x \pm \sigma) = 66.66\%$  y  $(x \pm 2\sigma) = 93.33\%$  son muy cercanos a la distribución normal teórica.

Para el % de plomo en los lixiviados se obtuvo un valor medio de  $1.3646 \text{ E-4}$ , un máximo de  $9.24 \text{ E-4}$  y un mínimo de  $0.1 \text{ E-4}$  con una desviación estándar de  $1.969 \text{ E-4}$ .

Se observa una distribución de frecuencias sesgada hacia la izquierda donde el  $46.66\%$  de los datos se hallan en el intervalo  $(0-0.5301 \text{ E-4})$ .

El  $33\%$  de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el  $100\%$  en  $(x \pm 2\sigma)$ .

### 14. % de cadmio

El valor medio del % de cadmio total es de  $7.5320 \text{ E-5}$ . El valor máximo de este porcentaje es de  $31.1 \text{ E-5}$  y el mínimo de 0. La desviación estándar es de  $7.5429 \text{ E-5}$ .

El tipo de distribución no presenta una tendencia claramente normal. El  $50\%$  de los datos se encuentran en el intervalo  $(4.5235 \text{ E-5} - 6.7852 \text{ E-5})$ , mismo que no incluye al valor medio.



El valor medio del % de cromo en los lixiviados es de 3.4493 E-5, la desviación normal es de 3.1177 E-5 y los correspondientes valores máximo y mínimo de 17.6 E-5 y 1.04 E-5.

La distribución de frecuencias es de tipo normal, con un 86% de los datos dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$  y un 96.66% en  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 15. % de hierro

El valor medio del % de hierro total en las muestras es de 7.882 E-2, la desviación estándar es de 2.9036 E-2 y los valores máximo y mínimo son de 14.7 E-2 y 3.76 E-2 respectivamente.

Se tiene una distribución de frecuencias de tipo disperso, sin embargo el 66.66% de los datos se encuentran dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 96.66% dentro del intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

El % de hierro en los lixiviados presenta un valor medio de 2.3573 E-4, un máximo de 7.51 E-4 y un mínimo de 0.42 E-4. La desviación normal es de 1.5673 E-4.

El 73.33% de los datos se encuentran dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 96.66% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

La distribución de frecuencias se encuentra sesgada hacia la izquierda.

#### 16. % de manganeso

Para el % de manganeso total se obtuvieron los siguientes parámetros estadísticos: Promedio: 1.1873 E-3, valor máximo: 7.81 E-3, valor mínimo: 0.31 E-3.

La distribución de frecuencias se nota ligeramente sesgada hacia la derecha. El 66% de los datos se encuentran en el intervalo (0.3822 E-3 - 1.1467 E-3).

El 90% de los datos caen dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$ , y el 96.66% dentro del intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

El % de manganeso en los lixiviados tiene un valor medio de 1.1103 E-5, un máximo de 1.87 E-5 y un mínimo de 0.54 E-5. La desviación estándar en este caso es de 0.3747 E-5.

La distribución de frecuencias es mas bien dispersa, sin embargo, el 66.66% de los datos caen dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 96.66% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 17. % de selenio

El valor medio del % de selenio total es de 0.43 E-3, el valor máximo que se obtuvo fue de 4.51 E-3 y el valor mínimo de 0. La desviación normal es de 0.9278 E-3.

El tipo de distribución de frecuencias es sesgado hacia la izquierda. El 93% de los datos caen dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$ .

El valor medio del selenio en los lixiviados es de 1.08 E-4, el valor máximo en este caso es de 9.61 E-4 y el mínimo es de 0.28 E-4. La desviación estándar para esta serie de datos es de 2.0465 E-4.

El tipo de distribución de frecuencias es sesgado hacia la izquierda.

El 20% de los datos caen dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 96.66% dentro del intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 18. % de calcio

El valor medio del % de calcio total en las muestras es de 0.3788, el valor máximo que se obtuvo fue de 0.8568 y el mínimo de 0.2466.

La distribución de frecuencias no se asemeja a ninguna de las distribuciones teóricas comunes, sin embargo el 60% de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 100% se encuentran en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

Para el % de calcio lixiviado se obtuvo un promedio de 0.0816, un valor máximo de 0.225 y un mínimo de 0.0142. La desviación media es de 0.0621.

El 66.66% de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  mientras que el 96.66% cae dentro del intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 19. % de aluminio

El % de aluminio total en las muestras presenta un valor medio de  $9.399 \text{ E-4}$ , un valor mínimo de  $2.39 \text{ E-4}$  y un máximo de  $34.3 \text{ E-4}$ .

La gráfica de distribución de frecuencias para el % de aluminio lixiviado muestra una tendencia normal. El 80% de los datos caen dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 96.66% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

Para el % de calcio en los lixiviados, el valor medio es de  $5.6436 \text{ E-4}$ , el máximo, de  $19.1 \text{ E-4}$  y el mínimo de 0. La desviación estándar correspondiente es de  $5.9899 \text{ E-4}$ .

La distribución de frecuencias es sesgada hacia la izquierda, donde el 76.66% de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 93.33% se halla en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 20. % de potasio

La distribución de frecuencias para el % de potasio total en las muestras es de tipo normal, donde el 83.33% de los datos se encuentran comprendidos dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 93.33% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

Los valores máximo y mínimo son: 5.29 E-2 y 1 E-2 respectivamente. El valor medio es de 2.2123 E-2 y la desviación estándar es de 0.9699 E-2.

El % de potasio en los lixiviados presenta un valor medio de 2.457 E-3, un valor máximo de 3.84 E-3 y un valor mínimo de 0.31 E-3. La desviación normal es de 0.6891 E-3.

La distribución de frecuencias presenta una tendencia normal donde el 73.33% de los datos cae dentro del intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 93.33 % dentro del intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

#### 21. % de sodio

El % de sodio total en las muestras presenta un valor medio de 0.3136, un máximo de 0.5853 y un mínimo de 0.1471. La desviación estándar es de 0.1085. El 66.66% de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 96.66% en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

Para el % de sodio en los lixiviados se tiene una distribución de frecuencias normal donde el 73.33% de los datos se hallan en el intervalo  $(x \pm \sigma)$  y el 100% de los datos se encuentran en el intervalo  $(x \pm 2\sigma)$ .

## REFERENCIAS

## 11. REFERENCIAS

- BARROW, G (1978) Química Física Vol. 1 3a. ed. Editorial Reverté, España. pág. 147-148.
- BROWN, G. (1967) Química Cuantitativa 1a. ed. Editorial Reverté, España, pág. 146-154.
- BRUCE, D. et.al. (1992) Inorgánic Materials 1a. ed. Editorial John Wiley & Sons, Inglaterra, pág. 296-298.
- BRUMBLAY, R (1983) Análisis Cuantitativo 1a. ed. 5a. impresión Editorial CECSA, México, pág. 193-194, 204, 206.
- CASTILLO, L. (1992) "Caracterización y posibles aplicaciones de los residuos sólidos generados en una fábrica de papel". Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México. pág. 21-52, 101-102.
- CEM, CO. (1993) "Microwave Sample Preparation System" Set informativo. Editado por CEM. Corporation, Estados Unidos de Norteamérica. 10 p.p.
- CEM, CO. (1993) Microwave Sample Preparation Procedures. "TCLP Extract Microwave Sample Preparation Note" fecha de revisión: mayo de 1993. Editado por CEM Corporation, Estados Unidos de Norteamérica, pág. 75.
- CEM, CO. (1994) "Microwave Solvent Extraction" Notas del seminario organizado por Instrumentos y Equipos Falcon, S.A., 23 de octubre de 1994. México, 8 p.p.
- CIBA GEIGY (1994) Folleto promocional de Alfadex. Editado por Salud Animal, S.A. de C.V. México, 5 p.p.
- C.N.I.C.P. (1993) Memoria Estadística Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel. México, pág. 38.

- C.N.I.C.P. (1995) Memoria Estadística Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel. México, pág. 41-45.
- CORZO, M. (1982) Introducción a la Ingeniería de Proyectos 1a. ed. Editorial Limusa- Wiley, México, pág. 58-59, 61-68.
- CREMLYN, R.J. (1991) Agrochemicals, Preparation and Mode of Action. 1a. ed. Editorial Wiley & Sons, Inglaterra, pág. 1-2, 56-57.
- CROCKFORD, H.D. et. al. (1974) Fundamentos de Fisicoquímica 1a. ed. Editorial CECSA, México, pág. 101-103.
- DANIELS, F. et. al. (1984) Fisicoquímica. Versión S.I. 5a. ed. (1a ed. en español) Editorial CECSA, México, pág. 233.
- DE ONG, et. al. (1972) Insect, Disease and Weed Control. 1a. ed. Editorial Chemical Publishing Co. Estados Unidos de Norteamérica, pág. 1-5.
- DIAZ, A. (1994) Comunicación personal. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Agosto de 1994. México.
- DIEHN, K. et. al. (1990) "A waste management program for paper mill sludge high in ash" Tappi Journal, Abril 1990, Estados Unidos de Norteamérica, pág. 81-86.
- FLASCHKA, H. et. al. (1984) Química Analítica Cuantitativa Vol. 1 1a. ed. novena impresión, Editorial CECSA, México, pág. 504-505.
- HAJEK, V. (1984) Management of Engineering Projects 3a. ed. Editorial Mc. Graw Hill, Estados Unidos de Norteamérica, pág. 129-144.

- HAUG, G. et. al. (1990) Chemistry of Plant Protection Vol. 4 "Syntetic Pyrethroid Insecticides", 1a. ed. Editorial Springer Verlag, Alemania, pág. 112-115.
- HAUG, G. et. al. (1990) Chemistry of Plant Protection Vol. 6 "Controlled Release, Biochemical Effects of Pesticides, Inhibition of Plant Pathogenic Fungi", 1a. ed. Editorial Springer Verlag, Alemania, pág. 3-6, 22-24.
- JAIME, G. (1975) "Destintado de Papel Periódico" Tesis Universidad Nacional Autónoma de México, pág. 7-13, 32-33.
- KENNET, E. et. al. (1992) Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control 1a. ed. Editorial Lewis Publishers Inc., Estados Unidos de Norteamérica, pág. 1-32.
- KOONTZ, H. et. al. (1978) Essentials of Management 2a. ed. Editorial Mc. Graw-Hill, Estados Unidos de Norteamérica, pág. 500.
- MARON, S. et. al. (1965) Principles of Physical Chemistry 4a. ed. Editorial Macmillan Co. Estados Unidos de Norteamérica, pág. 819-821.
- MARTINEZ, H. (1986) "Pesticidas de tipo Piretroide" Tesis Universidad Nacional Autónoma de México, pág. 7, 86, 126.
- THE MERCK COMPANY, (1989) The Merck Index, an Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals, 11a. ed. Editorial Merck & Co. Inc. Estados Unidos de Norteamérica, pág. 2774.
- MUELLER, ASSOC. (1992) Reclaiming Technology Utilization and Disposal, 1a. ed. Editorial Noyes Data Corporation, Estados Unidos de Norteamérica, pág. 394.
- PATRICK, K. (1991) Paper Recycling Strategies, Economics and Technology, 1a. ed., Editado por Tappi Co. Estados Unidos de Norteamérica. p.p. 265



- PERALES, R. (1989) "Funciones específicas de un sistema de destintado" Revista de la ATCP, enero de 1989. México, pág. 5-9.
- PIG CORPORATION (1994) Folleto promocional. Editado por Michelletti Productos y Servicios de Calidad, S.A. de C.V. México, 6 p.p.
- PSIGSA (1994) Cotización de Adsorbentes Industriales. Editado por Proveedor de Seguridad Industrial del Golfo, S.A. de C.V. 1 de septiembre de 1994, México, pág. 1 y 2.
- SAY-KYOUN OW, S. (1992) "Biological deinking methods of newsprint wastepaper" Pulp and Paper, febrero de 1992. Estados Unidos de Norteamérica, pág. 63-66.
- SEDESOL (1993) "Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993" Diario Oficial de la Federación. Lunes 18 de octubre de 1993, México pág. 114-119.
- SEDESOL (1993) "Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-001-ECOL/1993" Diario Oficial de la Federación. Viernes 22 de octubre de 1993, México, pág 4
- SEDESOL (1993) "Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-002-ECOL/1993" Diario Oficial de la Federación. Viernes 22 de octubre de 1993, México, págs. 6 y 29.
- SKOOG, D. et.al. (1975) Introducción a la Química Analítica la. ed. Editorial Reverté, España, pág. 32-36.
- USHERSON, J (1992) "Recycled Paper and Sludge" Resource Recycling, marzo de 1992. Estados Unidos de Norteamérica.
- WOYTOWICH, M. (1993) "Put the Squeeze on Disposal Costs with Waste Minimization Products" PIG Catalog of Products. Editado por PIG Corporation, Estados Unidos de Norteamérica, pág. 28.
- 3M CORPORATION (1993) Oil Sorbents Catalog. Editado por 3M Corporation, Estados Unidos de Norteamérica, pág.5