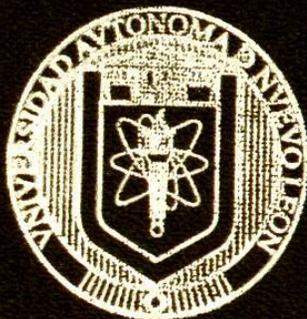


62

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**DIVISION DE POSTGRADO**



**APROVECHAMIENTO DE UN RESIDUO SOLIDO  
NO PELIGROSO GENERADO EN EL  
PROCESO SOLVAY.**

**POR**

**DINORAH GEORGINA PEÑA WING  
QUIMICA BACTERIOLOGA PARASITOLOGA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
MONTERREY, N. L.**

**1993**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL**

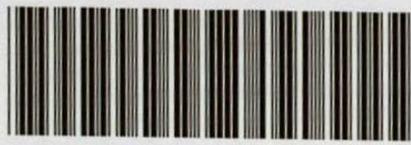
**JUNIO 1995**

TM

TD455

P4

C.1



1080073257

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

DIVISION DE POSTGRADO



IMPACTO AMBIENTAL DE UN RESIDUO SOLIDO NO PELIGROSO  
GENERADO EN EL PROCESO SOLVAY  
ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS (CORRO)  
NO PELIGROSOS GENERADO EN EL  
PROCESO SOLVAY

Por

DINORAH GEORGINA PEÑA WINGS  
QUIMICA BACTERIOLOGA PARASITOLOGA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
MONTERREY, N. L.

1993

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

JUNIO 1993

TM  
TD455  
P4



(73257)

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**APROVECHAMIENTO DE UN RESIDUO SOLIDO NO PELIGROSO  
GENERADO EN EL PROCESO SOLVAY**

Por

**DINORAH GEORGINA PEÑA WING**  
Química Bacterióloga Parasitóloga  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Monterrey, N.L.  
1993

Como requisito parcial para obtener el Grado de **MAESTRO EN CIENCIAS**  
con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Junio, 1995

**APROVECHAMIENTO DE UN RESIDUO SOLIDO NO PELIGROSO  
GENERADO EN EL PROCESO SOLVAY**

**Aprobación de la Tesis:**

**Ing. Omar Huerta Granados**

---

Asesor de la Tesis

**Ing. Benjamín Limón Rodríguez**

---

Asesor Externo

**Ing. Oziel Chapa Martínez**

---

Jefe de la División de estudios de Postgrado

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar el presente trabajo a los seres más importantes en mi vida,  
con todo mi amor...*

*A DIOS por ser la luz de mi camino.*

*A mi Abuela María Teresa Shum de Wing.*

*A mis padres, Jorge Peña Ordaz y María Teresa Wing de Peña.*

*A mis hermanos Ma. de Lourdes, Jorge y Dulce María Teresita.*

*A mi novio, Salvador Lozano Ramírez.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento...

**Al Ing. Omar Huerta Granados por su invaluable apoyo y las facilidades que siempre le dió al presente proyecto para que llegara a pronta culminación.**

**Al Ing. Benjamín Limón Rodríguez por sus valiosas sugerencias sobre el presente trabajo y por su decidido apoyo en la parte práctica de la misma.**

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para la realización de mis estudios.**

**A la División de Estudios de Postgrado a través del Ing. Oziel Chapa Martínez.**

**A la L.Q.I. Martha L. Herrejón Figueroa por su siempre buena disposición en lo referente al trabajo de laboratorio.**

**Al personal que labora en el Laboratorio de Ambiental del Instituto de Ingeniería Civil por su asistencia técnica para la realización de los análisis, en especial a los Sres. Isías Amaya R. y Eleazar Doria Morales.**

**Al personal de Industria del Alkali, S.A. de C.V., especialmente al Ing. Rogelio Soto y Sr. Maximiliano.**

**Al personal del Departamento de Estudios de Postgrado de la F.I.C., especialmente a la Srita. Ana Bertha Puente y la Sra. Josefina Esquivel.**

**A todos mis compañeros de generación con quienes he compartido enseñanzas y experiencias.**

**A mis maestros...**

**Ing. Oziel Chapa Martínez  
Dr. Febronio E. Chavarría Fernández  
M.C. Horacio González Santos  
L.Q.I. Martha L. Herrejón Figueroa  
Ing. Omar Huerta Granados  
Ing. Benjamín Limón Rodríguez  
M.C. Jimmy Loaiza Navia  
M.C. Rogelio López Sono  
Ing. María de Lourdes Martínez Medero  
Ing. Benito Muñoz Hernández  
Ing. José Alfredo Nuñez Cantú  
Lic. Ricardo Pedraza García  
Q.B.P. Nelly Santos García  
Q.F.B. Blanca E. Rodríguez Uribe**

# **CONTENIDO**

	Pág.
<b>CAPITULO I. INTRODUCCION</b>	
I.1. Introducción	1
I.2. Objetivos	2
I.3. Hipótesis	2
I.4. Alcances	3
I.5. Marco Teórico-Metodológico	3
<b>CAPITULO II. ANTECEDENTES</b>	
II.1. Los residuos industriales	
II.1.a. Definiciones de residuos peligrosos y no peligrosos	4
II.1.b. Clasificación de los residuos	4
II.1.c. Generación de residuos industriales en México	5
II.1.d. Control de la generación de residuos industriales	6
II.2. El lodo solvay	
II.2.a. Generalidades del proceso Solvay	8
II.2.b. El lodo Solvay y sus características generales	10
II.3. La precipitación química	
II.3.a. Coagulación-Floculación	11
II.3.b. Antecedentes de la precipitación química	12
II.4. Antecedentes del uso de la cal en el tratamiento de aguas	14
II.5. Antecedentes del uso de la agitación manual	16
II.6. Parámetros a determinarse	
II.6.a. Sólidos en todas sus formas	18
II.6.b. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	20
II.6.c. Demanda química de oxígeno (DQO)	22
II.6.d. Grasas y aceites	24
II.6.e. Temperatura y pH	25

	Pág
<b>CAPITULO III. ESTIMACION DEL COSTO DEL LAVADO DEL LODO</b>	<b>26</b>
<b>CAPITULO IV. PRODUCCION DE MgO COMO ALTERNATIVA DE INDUSTRIALIZACION DEL LODO SOLVAY</b>	<b>27</b>
<b>CAPITULO V. METODOLOGIA</b>	
V.1. Lixiviación del lodo	28
V.2. Preparación de las dosis	29
V.3. Obtención de las aguas residuales utilizadas	30
V.4. Experimentación a nivel de laboratorio	30
V.5. Experimentación en la planta de tratamiento de aguas residuales negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V.	32
V.5. Procedimientos	33
<b>CAPITULO VI. RESULTADOS</b>	<b>35</b>
<b>CAPITULO VII. DISCUSIONES</b>	<b>64</b>
<b>CAPITULO VIII. CONCLUSIONES</b>	<b>68</b>
<b>APENDICE A. ANALISIS ESTADISTICOS</b>	
<b>APENDICE B. NORMAS OFICIALES MEXICANAS REFERENTES A LOS PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES.</b>	
<b>APENDICE C. LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>APENDICE D. LISTA DE TABLAS</b>	

**APENDICE E. LISTA DE ABREVIATURAS**

**RESUMEN AUTOBIOGRAFICO**

**BIBLIOGRAFIA**

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se determinó la efectividad de los lodos de desecho del proceso Solvay en la disminución de la carga orgánica de aguas residuales, indicada por la demanda química y bioquímica de oxígeno a los cinco días (DQO Y DBO<sub>5</sub> respectivamente) en éste caso, mediante la utilización de agitación manual con lo cual se simularon condiciones críticas de mezclado.

Previamente, los lodos Solvay utilizados se trataron para eliminar su contenido de sales, y de ésta manera fueron dosificados en las pruebas.

Para lograr los objetivos fijados se debieron monitorear en las muestras de aguas residuales, la concentración inicial de los sólidos totales, los sólidos totales fijos y volátiles, los sólidos suspendidos totales, los sólidos suspendidos fijos y volátiles, los sólidos sedimentables, la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, la cantidad de grasas y aceites presentes, la temperatura y el pH; así como también la concentración de dichos parámetros después de añadir el lodo Solvay a las mismas, para determinar de esta manera su impacto en la materia orgánica.

Se aplicaron diferentes dosis del lodo en tres formas, lavado húmedo, lavado seco y líquido proveniente de una corriente generada en el proceso Solvay de manera independiente, probándose en los influentes de la planta de tratamiento de aguas negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V.

Basándonos en los resultados obtenidos concluimos que los lodos Solvay son por sí solos eficaces en la remoción de materia orgánica, ya que se obtuvo una disminución máxima promedio del 30.25 porciento en la DQO con una dosis de 400 mg/l.

Recomendamos la utilización del lodo lavado-seco, con el que se obtuvieron las mayores remociones de sólidos totales volátiles 47.5 porciento de remoción en promedio, de sólidos suspendidos totales 41.7 porciento, de sólidos suspendidos volátiles 41.6 porciento, así como de sólidos sedimentables 94.4 porciento .

## **CAPITULO I. INTRODUCCION**

## 1.1. INTRODUCCION:

La integración de México a mercados internacionales así como el establecimiento de los Acuerdos Paralelos en Materia Ambiental incluidos en el Tratado de Libre Comercio, han llevado a las empresas mexicanas a modificar algunos de sus procesos y políticas operacionales con el propósito de cumplir lo acordado y alcanzar un nivel de calidad superior en sus procesos productivos.

Para ello se ha descrito un modelo ideal de funcionamiento denominado "empresas con descargas cero", con el cual se pretende mantener la producción sin mermas en materias e insumos que se fugan a través del aire, agua o bien que son desechados directamente como residuos. Hasta la fecha, no existe en México y quizá en el mundo empresa alguna que haya logrado alcanzar dicho modelo de cero descarga. Sin embargo en los últimos tiempos, los intentos por reducir la generación de residuos y por reutilizar los mismos, han sido actividades prioritarias de las empresas líderes en nuestro país, lográndose resultados favorecedores en algunas áreas.

El aprovechamiento de los residuos generados en las industrias establecidas en el territorio nacional no sólo impactarán positivamente al entorno ecológico, ya que de ésta manera se evitará el confinarlos, incinerarlos o el disponerlos a cielo abierto, sino que también se podrá recuperar una parte de la inversión utilizada en la elaboración de los productos.

En nuestro caso, Industria del Alkali, S.A. de C.V. empresa del Grupo Vitro, ha destinado esfuerzos en la investigación de la utilización de los residuos generados en uno de sus procesos productivos, el proceso Solvay. Dichos residuos denominados en el presente trabajo como *lodos Solvay* han sido caracterizados como *no peligrosos* lo que permitirá su posible aprovechamiento en un futuro próximo.

En el presente trabajo investigamos la alternativa de la utilización de los lodos Solvay como coagulantes de materia orgánica contenida en aguas residuales. Así también

proponemos la opción del aprovechamiento de los mismos como materia prima para la fabricación de MgO grado refractario, usado comúnmente como revestimiento interno de hornos de fundición.

### ***1.2. HIPOTESIS:***

Los lodos de desecho del proceso Solvay pueden aplicarse con grandes beneficios en magnitudes considerables, en aguas residuales domésticas e industriales, para la reducción de la carga orgánica.

### ***1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO:***

- a) Investigar la aplicación de los lodos de desecho del proceso Solvay como un agente coagulante del contenido orgánico para el tratamiento de aguas residuales.
  
- b) Determinar la dosis adecuada para la máxima remoción de materia orgánica en los influentes de la planta de tratamiento de aguas negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V.

#### ***1.4. ALCANCES DEL PROYECTO:***

Los alcances del presente proyecto de investigación se mencionan a continuación:

- Estudiar la factibilidad del uso del lodo solvay como coagulante de materia orgánica presente en las aguas residuales.
  
- Probar a nivel de laboratorio el lodo solvay en tres modalidades: el lodo solvay lavado húmedo, el lodo solvay lavado seco y el lodo en estado líquido obtenido de una corriente generada en el proceso Solvay de manera independiente en un punto en el cual no se encuentra mezclado con la corriente de cloruros.
  
- Determinar la dosis adecuada de aplicación del lodo solvay para lograr la máxima remoción de materia orgánica presente en los influentes de la planta de tratamiento de aguas negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V. mediante agitación manual con la que se pretende simular las actuales condiciones críticas de mezclado que se presentan en dicha planta.
  
- Proponer otra alternativa de aprovechamiento del lodo solvay para su posible industrialización.

#### ***1.5. MARCO TEORICO-METODOLOGICO:***

Los análisis de los parámetros control se efectuaron siguiendo los procedimientos citados en las Normas Oficiales Mexicanas y/o por los Métodos Estándares de la American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF).

## **CAPITULO II. ANTECEDENTES**

## **II.1. LOS RESIDUOS INDUSTRIALES.**

### **II.1.a. DEFINICIONES DE RESIDUOS PELIGROSOS Y NO PELIGROSOS**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) define como **residuo** a cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, utilización, control o tratamiento, cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó. Así mismo considera como **residuo peligroso** a aquellos residuos, en cualquier estado físico que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representen un peligro para el equilibrio ecológico y para el ambiente.

### **II.1.b. CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS**

De acuerdo a la procedencia del generador se clasifican en residuos municipales y residuos industriales.

Los *residuos municipales* son aquellos que son generados a nivel hogar y comercial como residuos orgánicos, basura y materiales no biodegradables, cenizas, residuos de combustión, así como materiales de la demolición de construcciones, desechos sólidos y semisólidos de las plantas de tratamiento de aguas.

Los *residuos industriales* son aquellos que son generados en las actividades y procesos industriales, como residuos combustibles y no combustibles, cenizas, materiales de construcción y subproductos específicos no deseados de los procesos industriales que pudieran ser o no peligrosos.

### II.1.c. GENERACION DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN MEXICO

Dentro de las industrias que contribuyen en mayor proporción al producto interno bruto (PIB) y al crecimiento de la economía nacional, identificamos a la industria química. Por lo que la generación de residuos que de ellas se derivan pueden impactar grandemente al equilibrio ecológico nacional.

Los reportes de SEDESOL del año 1988 mencionan que se generaron 73 millones de toneladas anuales de desechos industriales, que indican una producción de 200,000 toneladas diarias.

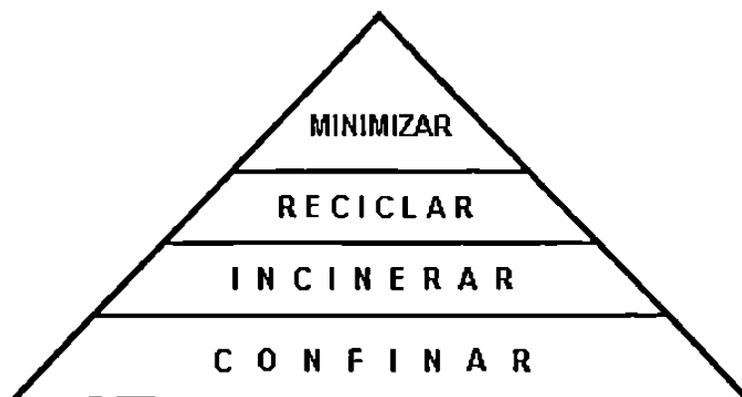
En el balance 1992 de SEDESOL se reportó una generación aproximada a 450,000 toneladas de residuos industriales diarias en todo el territorio nacional, de las cuales 337,000 corresponden a actividades mineras y extractivas y de fundición de metales no ferrosos; 81,000 resultan de la industria de procesos de química básica orgánica e inorgánica y 31,000 son residuos agroindustriales lo cual representa un total de 164,250,000 toneladas de residuos al año, es decir, se incrementó un 125 por ciento en comparación con la reportada para 1988 antes mencionada. De este volumen 5,292,000 tons. corresponden a residuos considerados como peligrosos, la mayoría de los cuales son generados por los procesos de la química básica orgánica e inorgánica y petroquímica.

Por lo anteriormente señalado. las industrias asentadas en el territorio nacional deben considerar como una prioridad el control de la generación de sus residuos, o bien desarrollar tecnologías para el aprovechamiento de los mismos. Las principales técnicas para el control de la generación de residuos se mencionan a continuación.

### II.1.d. CONTROL EN LA GENERACION DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Dentro de las técnicas generales de control de desechos podemos destacar una tendencia en la eficiencia de la disposición de éstos. Esta tendencia puede ser visualizada como una pirámide la cual cuenta con secciones donde se destacan cuatro puntos de gran importancia que son:

*Figura 1. Técnicas generales de control de desechos.*



- A) Minimización de desechos
- B) Reciclaje externo
- C) Incineración
- D) Confinamiento

El orden en el que aparecen en éste caso es de gran importancia ya que el primero de éstos, es decir la minimización que constituye la punta de la pirámide, es la forma más eficiente de controlar la contaminación por la generación de desechos industriales.

Existen tres técnicas básicas utilizadas para la minimización de desechos:

- a) Reducción en la fuente de desechos,
- b) Reciclaje interno, y
- c) el tratamiento de los residuos.

La reducción en la fuente incluye cualquier actividad que tienda a reducir la cantidad de residuos generados en la fuente, mediante mejoras o cambios (optimizaciones) en los procesos productivos.

El reciclar y reusar residuos implica un uso para el propósito original del cual proviene el subproducto o para el desarrollo de nuevos productos a partir de estos, recuperar componentes relativamente ricos y de interés, así como también la posible generación de energía a partir de residuos industriales.

El reciclaje interno en una planta nos ayuda a lograr una mayor optimización de los recursos; así como también un ahorro en el costo de operación del proceso.

Dentro del reciclaje interno destacan dos alternativas, la recuperación y uso/reuso.

La recuperación consiste en la depuración del proceso mediante el tratamiento del desecho para la obtención de productos primarios y secundarios a partir de la corriente de desechos.

Uno de los ejemplos específicos de recuperación puede ser el tratamiento de residuos para la obtención de cromo, níquel y cadmio por medio de coagulaciones.

El uso/reuso consiste en incorporar materia prima al proceso a partir del tratamiento de la corriente de desechos del proceso; aunque también después de ser procesadas la corriente de desecho y regenerar materia prima puede volverse a procesar la segunda corriente de desechos para obtener otro subproducto y de esta manera minimizar la cantidad de desechos.

El tratar los residuos para su disposición final es un punto muy importante ya que gran parte de éstos se puede reducir en volúmen, se les puede neutralizar, estabilizar o bien cambiarlos a un estado que permita un manejo menos complicado. Las opciones para tratarlos son muchas y muy variadas, ya que se cuenta con una gran cantidad de procesos que nos permiten dar un tratamiento específico para cada tipo de desecho.

Sin embargo desde el punto de vista económico-ambiental se le debe dar preferencia al reciclo y reuso ya que de esta manera se disminuye el consumo de las materias primas.

## **II.2. EL LODO SOLVAY**

### **II.2.a. GENERALIDADES DEL PROCESO SOLVAY**

El proceso Solvay es una tecnología utilizada para producir el 70 por ciento del carbonato de sodio sintético o soda ash a nivel mundial, pues el resto se produce por la purificación del carbonato natural o trona.

En la producción de la Soda Ash se utilizan como materias primas: la salmuera, el amoníaco, la piedra caliza y el coke.

La economía del proceso Solvay se fundamenta en la recuperación del amoníaco, a través de la operación unitaria de destilación. La corriente del proceso o licor madre a destilar, tiene como componentes principales: cloruro de calcio, bicarbonato de amonio,

cloruro de amonio, hidróxido de amonio, cloruro de sodio, bicarbonato de sodio y agua.

De los compuestos que contienen amoníaco, solo el cloruro de amonio no es fácilmente destilable por su alto punto de ebullición. El resto se descompone rápidamente con temperaturas del orden de 68°C; es por eso que el cloruro de amonio tiene que ser reaccionado con cal apagada (hidróxido de calcio) en forma de una lechada de cal, generando como producto de la reacción hidróxido de amonio el cual se destila fácilmente por temperatura. De esta forma, la sección de destilación hace económicamente rentable la fabricación de carbonato de sodio.

Para asegurar que la reacción se lleve a cabo al 100 por ciento de eficiencia es necesario añadir un exceso de cal que asegure la reacción en su totalidad. Este exceso en forma sólida que queda como remanente en el efluente del destilador, es separado físicamente en una Planta Separadora de sólidos, generándose de ésta manera el lodo Solvay. La planta separadora de sólidos consta de las operaciones unitarias de filtración, procedimiento que se hace al vacío, para lograr una mejor eficiencia de separación.

Se estima que en la actualidad se generan alrededor de 0.17 Tons/TMSA de lodos del proceso Solvay en la planta Industria del Alkali, antes citada, por lo cual es importante buscar alternativas de utilización que permitan convertir al lodo, material de desecho en un producto comercializable. De ésta manera los costos de disposición de los mismos disminuirían o bien desaparecerían en caso de que se aprovechara la totalidad de los lodos generados.

Actualmente existen alrededor de 30 plantas productoras de Soda Ash en el mundo, de las cuales, 24 utilizan la tecnología del proceso Solvay. En ellas se generan grandes volúmenes de lodo que son desechados hacia cuerpos de aguas o bien que son confinados, sin que hasta ahora exista un reporte que indique la utilización de los mismos.

## II.2.b. EL LODO SOLVAY Y SUS CARACTERISTICAS GENERALES

La caracterización CRETIB del lodo del proceso Solvay dió como resultado que se trata de un residuo no peligroso; la composición del mismo se presenta en la tabla 1.

*Tabla 1. Composición química del lodo solvay.*

COMPOSICION	PORCENTAJE
CaCO <sub>3</sub>	43.63
Ca(OH) <sub>2</sub>	11.09
CaCl <sub>2</sub>	9.38
CaSO <sub>4</sub>	2.64
NaCl <sub>2</sub>	25.65
Mg(OH) <sub>2</sub>	7.82

Fuente: Laboratorio de Investigación de Industria del Alkali.

En la literatura se menciona la acción del carbonato de calcio y el hidróxido de magnesio como agentes coagulantes de materia orgánica en aguas residuales. Siendo que en el lodo estudiado, aproximadamente el 50 porciento lo constituye el CaCO<sub>3</sub>, ya que el hidróxido de calcio se transforma en carbonato de calcio al contacto con el aire. Lo anterior nos dió la pauta para suponer la actividad coagulante del lodo solvay en aguas residuales.

Los únicos componentes indeseables del lodo solvay son los cloruros de calcio y de sodio, que se eliminan de los lodos mediante un proceso físico de lavado con agua.

### **II.3. PRECIPITACION QUIMICA**

#### **II.3.a. COAGULACION Y FLOCULACION**

La pequeña dimensión de las partículas coloidales presentes en un agua, así como la existencia de cargas negativas repartidas en su superficie, dan lugar a una gran estabilidad de las suspensiones coloidales.

En el campo del tratamiento de aguas, la coagulación es, por definición, el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales, que puede conseguirse especialmente por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas. Se llama coagulante al producto utilizado para esa neutralización.

La agrupación de las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras, constituye la **floculación**, que dá lugar a la formación de flóculos capaces de ser retenidos en una fase posterior del tratamiento del agua. Algunos productos pueden favorecer la formación del flóculo; a éstos se les llama **floculantes**.

La separación de una suspensión coloidal es la resultante de dos acciones diferentes:

a) Una desestabilización, que se efectúa, generalmente, por adición de reactivos químicos que, por medio de mecanismos de agregación o de adsorción, anulan las fuerzas repulsivas o actúan sobre la hidrofilia de las partículas coloidales.

b) Una aglomeración de los coloides "descargados", que resulta de diversas fuerzas de atracción entre partículas puestas en contacto, en primer lugar por movimiento browniano, hasta la obtención de un grosor de 0.1 micra aproximadamente, y después por agitación mecánica exterior, que conduce a un tamaño suficiente de los flóculos.

### II.3.b. PRECIPITACION QUIMICA

La precipitación química, descubierta en 1762, fué un método de tratamiento del agua residual muy utilizado en Inglaterra ya en 1870. El tratamiento químico fué también usado en Estados Unidos en la última década de 1890 y comienzos de 1900; pero con el desarrollo del tratamiento biológico se abandonó el empleo de los productos químicos.

En los primeros años de la década de 1930 se registraron algunos intentos para desarrollar nuevos métodos de tratamiento químico y se instalaron unas cuantas plantas. En la década de los 70's existió un renovado y creciente interés en el uso de tratamientos químicos, habiéndose ideado nuevos métodos.

En el período que va de 1930 a 1936 se desarrollaron diferentes procesos de tratamiento químico, para procurar tratamientos tanto intermedios como completos, eliminando, de esta forma, la necesidad del tratamiento biológico. Se efectuaron muchos ensayos en plantas piloto y se instalaron varias plantas a escala real. En algunos casos tuvieron que añadirse productos químicos sólo durante los períodos críticos estivales. En muchas plantas se abandonó el uso de productos químicos poco después de su construcción; en otras, en cambio, jamás se utilizaron.

El interés por la precipitación química se ha debido a que puede utilizarse eficazmente para la eliminación del fósforo y puede combinarse con la adsorción por carbón activado dando lugar a un tratamiento biológico y aportando, al mismo tiempo, una mejor eliminación de los productos orgánicos del agua que son resistentes al tratamiento biológico. Por ejemplo, la Demanda química de oxígeno (DQO) remanente tras una precipitación química y adsorción por carbón activado es alrededor de 10 a 20 mg/l, mientras que la DQO residual tras el tratamiento biológico es aproximadamente de 100 a 300 miligramos por litro.

La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión y facilitar su eliminación por sedimentación. En algunos casos, la alteración es ligera, y la eliminación se logra al quedar atrapados dentro de un precipitado voluminoso constituido principalmente por el propio coagulante. Otro resultado de la adición química es un incremento neto en los constituyentes disueltos del agua residual.

En el pasado se utilizaba la precipitación química para mejorar el grado de eliminación de los sólidos suspendidos y de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en los siguientes casos:

- 1) Cuando existían variaciones estacionales en la concentración del agua residual (tal como por los residuos de fábricas de conservas);
- 2) Cuando se requería un grado intermedio de tratamiento;
- 3) Como ayuda en el proceso de sedimentación.

A lo largo de los años se han utilizado muchas y muy diversas sustancias como agentes de precipitación. El grado de clarificación obtenido depende de la cantidad de productos químicos utilizados y del cuidado con que se controle el proceso. Por medio de la precipitación química es posible obtener un efluente limpio, sustancialmente exento de materia en suspensión o en estado coloidal. Mediante la precipitación química llega a eliminarse del 80 al 90 por ciento de la materia total suspendida, del 40 al 70 por ciento de la  $DBO_5$ , del 30 al 60 por ciento de la DQO y del 80 al 90 por ciento de las bacterias. Estas cifras pueden compararse con las de la sedimentación normal, donde se elimina del 50 al 70 por ciento de la materia suspendida y del 30 al 40 por ciento de la materia orgánica.

El gran inconveniente de la coagulación química es el incremento de la producción de lodos en las unidades de sedimentación debido a la remoción incrementada de sólidos suspendidos en el influente y a los productos insolubles de las reacciones de

coagulación que se forman.

El pH es el factor crítico para el control de las reacciones en el influente cuando se usa cal como coagulante. El pH óptimo para la coagulación con cal, determinado en las pruebas de jarras y en la experiencia operativa, puede ser usado como punto indicador para el control de la dosificación de cal. Lo anterior también se logra titulando automáticamente la alcalinidad después de la dosificación.

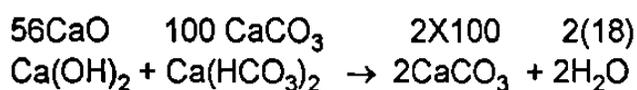
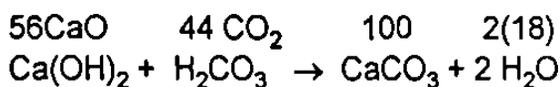
En los tratamientos fisico-químicos independientes o en los clarificadores primarios anteriores al tratamiento biológico, los coagulantes son adicionados al agua cruda. Cuando hay tratamiento terciario para la remoción de fosfatos y la reducción de sólidos suspendidos, son añadidos al efluente secundario. En ambos casos, son necesarios unidades apropiadas para la mezcla y la floculación. Para la remoción de fosfatos y sólidos suspendidos con tratamiento biológico secundario, los químicos a menudo son agregados directamente a las unidades de aereación o en las unidades secundarias de sedimentación, sin unidades de mezclado y floculado independientes.

#### II.4. ANTECEDENTES DEL USO DE LA CAL EN TRATAMIENTO DE AGUAS

La cal hidratada,  $\text{Ca(OH)}_2$ , generalmente es un polvo blanco (número de malla de 200 a 400), tiene una densidad de 20 a 50 lb/cu ft, contiene de 82 a 98 por ciento de  $\text{Ca(OH)}_2$  y es ligeramente hidrocópica. El peso molecular es de 74.08; las lechadas de cal hidratada son cáusticas, y el pH de una solución saturada de cal hidratada es el mismo que el de una solución de cal apagada ( $\text{CaO}$ ). El costo por bulto varía desde N\$10.00 a N\$15.00 (pesos corrientes de abril de 1995).

Desde principios de siglo la cal se utilizaba en muchos casos como agente de precipitación, a veces sola, pero muy frecuentemente junto con cloruro de calcio, cloruro de magnesio, sulfato de alúmina, sulfato ferroso (caparrosa), carbón vegetal, y otras muchas sustancias. La dosificación de cal para una determinada agua residual es función de la capacidad buffer o de la alcalinidad de la misma.

Cuando se añade cal como precipitante, los principios de clarificación quedan explicados por las siguientes reacciones:



Por tanto debe añadirse una cantidad suficiente de cal para combinarse con todo el anhídrido carbónico libre y con el ácido carbónico libre de los carbonatos ácidos (anhídrido carbónico semicombinado) para producir carbonato de calcio, que actúa como coagulante. Por lo general se necesita mucha más cal cuando se utiliza sola que cuando se usa también sulfato ferroso. Cuando las descargas industriales aporten ácidos minerales o sales ácidas al agua residual, deberán neutralizarse antes de que tenga lugar la precipitación.

Metcalf (1989) menciona también que el carbonato de calcio en polvo es eficaz como un agente adsorbente de masa, además de que suministra alcalinidad al agua residual al disolverse.

Por otro lado, se ha reportado que el carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ , cuando se usa como auxiliar de la coagulación, es con el propósito de proveer un núcleo alrededor del cual los flocs pueden formarse.

## II.5. ANTECEDENTES DE USO DE LA AGITACION MANUAL

Durante el tratamiento del agua, la agitación tiene tres propósitos diferentes:

1. La homogenización del coagulante con el agua que se va a tratar
2. Formación de micropartículas (coagulación)
3. Formación de macropartículas (floculación).

Para obtener éxito en la coagulación del agua es muy importante inducir la floculación. Sólo cuando se efectúa una mezcla adecuada, la desestabilización inicial del agua cruda será seguida de una rápida aglomeración de partículas (floculación).

En la práctica, los experimentos convencionales de simulación del proceso de coagulación-floculación son a través del aparato de jarras, los cuales cuentan con agitadores eléctricos y pueden funcionar con una amplia gama de velocidades previstas para la mezcla rápida y la floculación.

Sin embargo, una encuesta realizada por Ockershausen en U.S.A., encontró que sólo en el 50 por ciento de los casos, los resultados de las pruebas de jarras coincidían con los obtenidos en la planta de tratamiento, debido a que se sobreestimaba la eficiencia de los reactivos en el laboratorio. Una de las causas de lo anterior, es que la agitación de la masa de agua puede ser mejor controlada en la prueba de jarras obteniéndose condiciones ideales de mezclado, no reproducibles en la planta de tratamiento,.

Basándonos en lo anterior, y en el hecho de que actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales sanitarias en Industria del Alkali, S.A. de C.V., las condiciones de mezclado de los reactivos son deficientes debido a que no se cuenta con una unidad específica para la coagulación-floculación, sino que los reactivos son dosificados en la entrada del agua de una fosa séptica que funciona como sedimentador, consideramos que podríamos simular en el laboratorio dichas condiciones críticas de mezclado mediante la agitación manual, la cual normalmente sólo puede

mantenerse con velocidades de rotación que no exceden las 20 rpm (limitante en pruebas de laboratorio).

Considerando que si bajo estas condiciones limitadas de mezclado el lodo Solvay presenta actividad coagulante significativa, es probable que en aquellas plantas que presentan mejores condiciones de agitación la eficiencia aumentaría o se mantendría.

Por otro lado, en una investigación similar a la nuestra en la que se usó agitación manual, Al Zhamia *et al.* obtuvieron resultados de clarificación bastante buenos con una floculación de 10 minutos, a una velocidad de 18 a 20 rpm. Con los movimientos más rápidos (25-30 rpm) los resultados fueron aún mejores, mientras que con tasas de velocidad de sólo 10 rpm la eliminación de turbiedad fue menor.

En dicha investigación comprobaron los efectos de la agitación manual en muestras de agua cruda de 1 l, utilizando un vaso de prueba y una varilla de vidrio como agitador, y en muestras de agua de 4 l utilizando una cubeta esmaltada y una cuchara, o una vara giratoria de madera a manera de agitador. Para los experimentos de laboratorio, se agregaron los coagulantes con movimientos rápidos durante 30-60 segundos. La floculación se llevó a cabo durante 54 minutos a 17-18 rpm, empleándose como metrónomo el sonido del golpe del marcador de rotación de la unidad de agitación múltiple.

Concluyeron en base a los experimentos de laboratorio, que habían comprobado que la agitación inicial debe efectuarse rápidamente en el momento de agregar el coagulante y que para eliminar rápidamente la turbiedad se requiere de una agitación lenta y regular durante la floculación. Así mismo determinaron que no existió una correlación directa entre la cantidad de materia en suspensión en el agua cruda y la turbiedad medida en la muestra, debido a que frente a la distinta naturaleza de las partículas, su índice de refracción variaba, afectando así la lectura fotométrica de la turbiedad.

## II.6. PARAMETROS A DETERMINARSE

### II.6.a. SOLIDOS EN TODAS SUS FORMAS

La característica física más importante del agua residual es su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Otras características físicas son la temperatura, el color y el olor.

Las aguas altamente mineralizadas, con altos contenidos de calcio, magnesio, cloruros y/o sulfatos, pueden requerir un mayor tiempo de desecación y deben ser rápidamente pesadas, ya que dichos minerales son de naturaleza hidrocópica. Muestras con un contenido alto de bicarbonato requieren mayor cuidado y posiblemente mayor tiempo de secado a 180°C para asegurar la completa conversión de los bicarbonatos disueltos a carbonatos. Se deben de eliminar las partículas de tamaño grande y los aglomerados de materiales no homogéneos, si se determina que su inclusión no es necesaria en el análisis. Debido a que los residuos excesivos pueden causar la formación de costras hidrófilas ó incrustaciones en el recipiente, el límite de la muestra no debe ser mayor a 200 mg de residuos. De esta forma también se evita que el filtro se llegue a taponear.

La determinación de los sólidos volátiles totales se puede realizar por otro método más confiable y menos propenso a error, como el método de carbón orgánico total.

Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico y del agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas.

Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos, trituradores de basura y ablandadores de agua.

Analíticamente, el contenido total de sólidos de un agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105°C. La materia que tenga una presión de vapor significativa a dicha temperatura se elimina durante la evaporación y no se define como sólido. Los sólidos totales, o residuos de evaporación, pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables, haciendo pasar un volumen conocido de líquido a través de un filtro. Por lo general, el filtro se elige de modo que el diámetro mínimo de los sólidos suspendidos sea aproximadamente una micra ( $\mu\text{m}$ ); la fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo de un recipiente en forma de cono ("Cono Imhoff") durante un período de 60 minutos.

Los sólidos sedimentables son partículas tan gruesas que se pueden remover por sedimentación o por retención sobre papel filtro o en la capa de asbesto de un crisol Gooch (sólidos filtrables).

La fracción de sólidos filtrables se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste de partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10 a 3 y 1  $\mu\text{m}$ . Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas y de iones que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua. La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación. Por lo general se requiere de una coagulación u oxidación biológica seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión.

A su vez, cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse de nuevo en base a su volatilidad a 600°C. La fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas a dicha temperatura, permaneciendo la fracción inorgánica como ceniza. Por tanto, los términos **sólidos suspendidos volátiles** y **sólidos suspendidos fijos** se refieren, respectivamente al contenido orgánico e inorgánico (mineral) de los sólidos suspendidos. A 600°C, la descomposición de las sales inorgánicas se limita al carbonato de magnesio, que se descompone en óxido de magnesio y dióxido de carbono a 350°C. El carbonato

cálcico, principal componente de las sales inorgánicas, es estable hasta una temperatura de 825°C.

El análisis de los sólidos volátiles se aplica más frecuentemente a los lodos del agua residual para medir su estabilidad biológica.

Los frascos para el muestreo deben ser de plástico o de vidrio resistente, liso para que el material no se adhiera en las paredes. Si no se puede realizar el análisis inmediatamente, deben refrigerarse y mantenerse a 4°C aprox. para que la actividad microbiana se reduzca.

Los constituyentes inorgánicos disueltos tales como el calcio, el sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como resultado del uso del agua y quizá deban eliminarse si se va a reutilizar el agua residual.

#### **II.6.b. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO A LOS 5 DIAS (DBO<sub>5</sub>).**

El parámetro de carga orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días (DBO<sub>5</sub>). Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

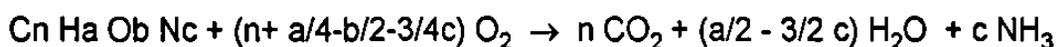
De acuerdo con C.N. Sawyer y P.L. McCarty, la demanda bioquímica de oxígeno se define como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para descomponer a la materia orgánica, en condiciones aeróbicas.

Esta prueba se utiliza para determinar la contaminación de los desechos domésticos e

industriales, en términos de oxígeno disuelto y se utiliza también para evaluar la capacidad de purificación de un cuerpo receptor o la eficiencia de una planta de tratamiento.

Además, los datos de DBO se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento y medir el rendimiento de algunos de estos procesos. Con los datos de la DBO podrá asimismo calcularse la velocidad a la que deba suministrarse el oxígeno.

Por medio de la prueba de DBO, se simulan las condiciones que pueden prevalecer en la naturaleza y se considera como un procedimiento de oxidación húmeda en el que los organismos vivientes oxidan a la materia orgánica a dióxido de carbono, agua y amoníaco. La siguiente ecuación es una generalización de este proceso:



donde: a, b, c y n son subíndices que indican la estructura del compuesto

Tomando como base esta relación, se pueden interpretar los datos de la DBO en términos de materia orgánica, así como la cantidad de oxígeno utilizada durante la oxidación.

Como la mayoría de las aguas residuales contienen más materiales demandantes de oxígeno que la cantidad de oxígeno disuelto (OD) disponible en el agua saturada de aire, es necesario diluir la muestra antes de la incubación para conducir la demanda de oxígeno y proporcionar un balance adecuado. Como el crecimiento bacteriano requiere de nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y trazas de metales, éstos se adicionan al agua de dilución, la cual está amortiguada para asegurar que el pH de la muestra incubada permanece en un rango útil para el crecimiento de las bacterias.

### II.6.c. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO).

La demanda química de oxígeno (DQO) se basa fundamentalmente en reacciones de óxido-reducción ya que la mayor parte de la materia orgánica se oxida en presencia del dicromato de potasio en medio ácido. El dicromato que no se reduce, se titula con sulfato ferroso amoniacal, determinandose así la cantidad de dicromato consumido y la cantidad de material orgánico oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente.

El valor de la DQO comprende todo lo que puede tener demanda de oxígeno, especialmente las sales minerales oxidables (sulfuros, sales de metales de valencia inferior) y la mayor parte de los compuestos orgánicos, biodegradables o no. Los hidrocarburos minerales son resistentes a esta oxidación, lo que puede dar, a veces resultados erróneos.

El método del reflujo con dicromato de potasio es preferido sobre otros procedimientos que usan otros oxidantes, debido a la gran variedad de muestras a las que se les puede analizar con éste método y a la alta capacidad oxidante del dicromato. La oxidación teórica de la mayoría de los compuestos orgánicos es de un 95 a 100 por ciento.

La oxidación se lleva a cabo mediante la reducción del dicromato a ión crómico en medio ácido y la reacción principal puede representarse de un modo general por la siguiente ecuación:



donde: a, b y n son subíndices que indican la estructura del compuesto.

Una vez que se lleva a cabo la digestión con dicromato se determina la cantidad residual de este oxidante mediante un reductor, en este caso, el sulfato ferroso amoniacal. El hierro se oxida de  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ . Se emplea como indicador el ferroín, el cual contiene el compuesto 1,10-fenantrolina, que forma un complejo con los iones ferrosos. La solución pasa de color naranja (dicromato) a verde (cromo<sup>3+</sup>); el punto final de la valoración es cuando la solución se torna café rojiza.

El ensayo de DQO se utiliza para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida vegetal o animal. La DQO de un agua residual es, por lo general, mayor que la DBO porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente.

En muchos tipos de aguas residuales es muy posible correlacionar la DQO con la DBO. Ello puede resultar muy útil porque la DQO puede determinarse en 3 horas comparado con los 5 días que supone la DBO. Una vez que la correlación ha sido establecida, pueden utilizarse las medidas de DQO para el funcionamiento y control de la planta de tratamiento.

#### II.6.d. GRASAS Y ACEITES

Los métodos para la determinación de los aceites y las grasas flotantes no miden una clase precisa de sustancias, es decir cuantifican a toda sustancia grasa o aceitosa en general, y los resultados son determinados por las condiciones del ensayo.

La fracción medida incluye grasas y aceites, ambos flotantes y adheridos a las paredes del recipiente. Ambos materiales adheridos y flotantes tienen la misma significancia práctica porque se asume que la mayoría de la parte adherida puede flotar si se dan otras condiciones en el agua.

Se separa por filtración cualquier aceite y grasa viscosa o sólida, del líquido de la muestra. Después de la extracción en un aparato Soxhlet con triclorotrifluoroetano u otro solvente orgánico, se pesa el residuo remanente después de la evaporación del solvente, para determinar el contenido de grasas y aceites. Los compuestos volatilizados a 103°C o menos se perderán cuando se seque el filtro.

El tiempo de extracción en el aparato Soxhlet debe ser exactamente como se indica en el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana (NOM-AA-05-1980), por la variación de las solubilidades de las diferentes grasas. Por lo cual, no debe variar el tiempo requerido para secar y enfriar el material extraído. Debe haber un incremento gradual en el peso, presumiblemente debido a la absorción del oxígeno y/o a la pérdida gradual de peso debido a la volatilización.

Las grasas de las aguas residuales domésticas o municipales, se encuentran por lo general demasiado contaminadas para que tengan algún valor comercial. Las natas que contienen mucho aceite mineral se entierran o se queman con los materiales separados en las rejillas o cribas. El volumen de natas obtenido a partir de aguas residuales municipales se aproxima, anualmente, a 0.1 a 6.0 pies cúbicos por millón de galones per cápita. Algunos residuos industriales, por ejemplo los residuos de lavados de la lana, son ricos en grasas que se pueden recuperar para su venta. Por lo general, se agregan agentes de flotación únicamente a las aguas residuales industriales.

### **II.6.e. TEMPERATURA Y pH**

La temperatura y el pH son factores físicos que influyen en la solubilidad de los gases y de los compuestos químicos. Cuando se modifican, pueden provocar reacciones que transformen las materias inocuas en peligrosas, o bien pueden provocar que se altere la concentración del oxígeno disuelto en el agua.

El oxígeno disuelto es necesario tanto para la respiración de los microorganismos aerobios, como para la de otras formas de vida aerobia; no obstante, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en el agua.

Puesto que la velocidad de las reacciones bioquímicas que utilizan el oxígeno se incrementa al aumentar la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en los meses de verano. El problema se complica en estos meses ya que los caudales de los ríos son generalmente menores, y por ello, la cantidad total de oxígeno disponible es también menor.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es deseable porque evita la formación de condiciones anaeróbicas y olores desagradables.

**CAPITULO III. ESTIMACION DEL COSTO DEL  
LAVADO DEL LODO**

### III. ESTIMACION DEL COSTO DE LAVADO DEL LODO

El lodo solvay presenta un 25.65 porciento de NaCl y un 9.38 porciento de CaCl<sub>2</sub> los cuales son indeseables en el mismo, por lo que para eliminarlos se realiza un lavado conforme la metodología reportada por Segoviano Mendoza (1994). El lavado se realiza a manera de flujo cruzado utilizando como disolvente agua potable de la red municipal, con una relación peso a peso de 3 a 1 de agua-sólido, homogenizandose la mezcla y filtrandose al vacío a través de un filtro Whatman No. 40. Los sólidos retenidos se vuelven a lixiviar dos veces más siguiendo el procedimiento antes citado, obteniendose un lodo con una humedad aproximada al 71.1 porciento, el cual puede ser utilizado directamente en el tratamiento de aguas.

#### Datos:

Costo del agua= N\$2.44/m<sup>3</sup> (varía la cuota dependiendo del volúmen del agua utilizada)

Densidad del agua a 25°C= 1 gr/ml

Requerimiento de agua para el lavado de un kg. de lodo= 9 litros

El costo del lavado de un kilo de lodo solvay eliminandole el contenido de agua mediante sedimentación es el siguiente: N\$0.0219

Se contempla la eliminación del agua por medio de una sedimentación porque observamos que se separan fácil y rápidamente las dos fases, basta con que se deje reposar la mezcla por espacio de una hora; si se desea un lodo lavado con menor humedad, se puede dejar expuesto al sol hasta obtener el porcentaje de humedad esperado.

**CAPITULO IV. PRODUCCION DE MgO COMO ALTERNATIVA  
DE INDUSTRIALIZACION DEL LODO SOLVAY**

#### IV. PRODUCCION DE MgO COMO ALTERNATIVA DE INDUSTRIALIZACION DEL LODO SOLVAY

Como parte del proyecto de investigación sobre el aprovechamiento del lodo solvay, se propone la alternativa de la utilización del mismo para la producción de MgO grado cáustico y grado refractario, debido a que en el proceso común de fabricación (figura 2), las materias primas requeridas son la piedra caliza y el agua de mar.

La piedra caliza aporta el calcio en forma de carbonato, mientras que el agua de mar contribuye con sales solubles de cloruros y sulfato de magnesio.

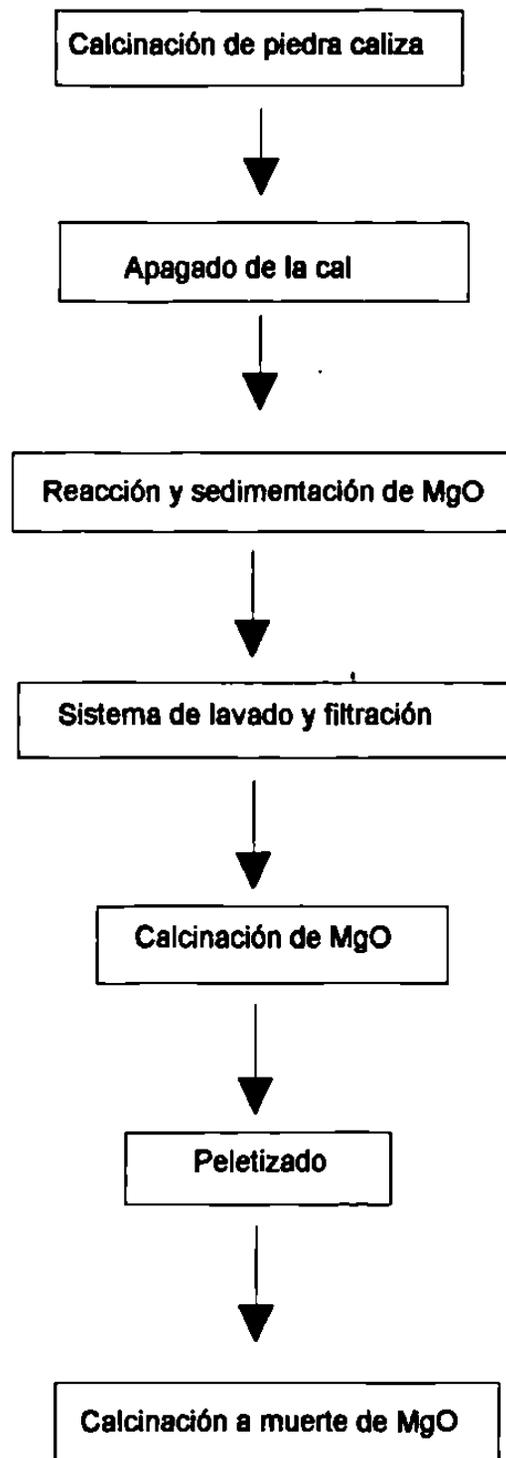
Los procesos involucrados en la obtención de MgO son las siguientes:

1. Calcinación de piedra caliza
2. Apagado de la cal
3. Reacción y sedimentación de MgO
4. Sistema de lavado y filtración
5. Calcinación de MgO
6. Peletizado
7. Calcinación a muerte de MgO.

Se calcula que por cada tonelada de piedra caliza se requiere alrededor de 125 m<sup>3</sup> de agua de mar.

La piedra caliza puede ser sustituida por el lodo Solvay, ya que presenta un contenido elevado de CaCO<sub>3</sub>, y de ésta manera industrializar dicho residuo al máximo posible.

Figura 2. Diagrama de flujo de los procesos involucrados en la obtención de MgO.



## **CAPITULO V. METODOLOGIA**

## V. METODOLOGIA

El resumen de la metodología que se llevó al cabo se presenta en la figura 3.

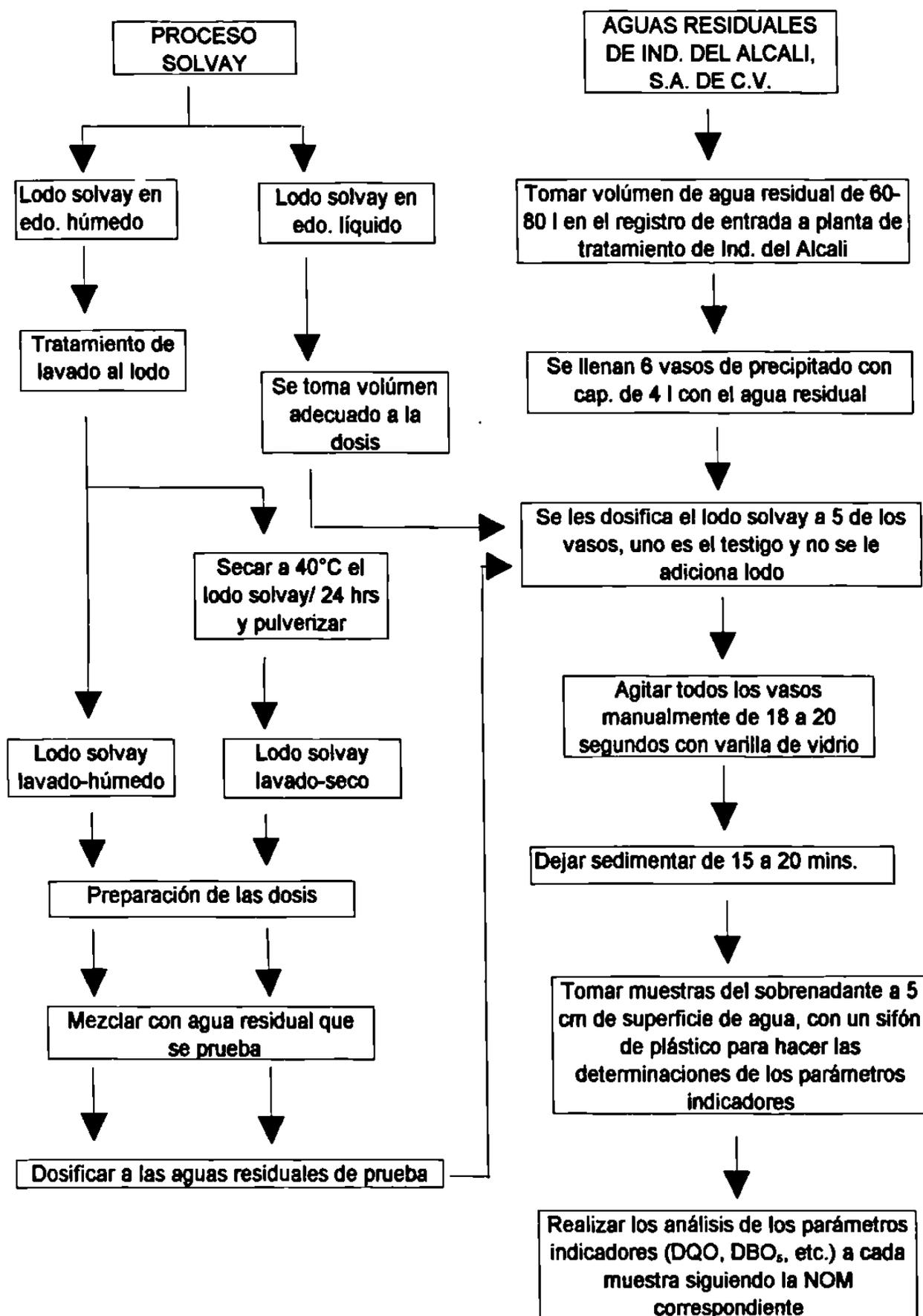
### V.1. LIXIVIACION DEL LODO

Para la preparación del lodo se llevó a cabo una lixiviación realizada conforme la metodología reportada por Segoviano Mendoza (1994), con el fin de remover los cloruros de los lodos de desecho, los cuales se eliminaron como sales solubles de cloruro de calcio, de sodio y de potasio, ya que son las formas como está presente el cloruro en el lodo solvay. La lixiviación se realizó a manera de flujo cruzado utilizando como disolvente agua potable de la red municipal, con una relación peso a peso de 3 a 1 de agua-sólido, homogenizándose la mezcla y filtrándose al vacío a través de un filtro Whatman No. 40. Los sólidos retenidos se vuelven a lixiviar dos veces más siguiendo el procedimiento antes citado. Obteniéndose un lodo con una humedad aproximada al 71.1 por ciento del cual se tomaron porciones para utilizarse directamente en las pruebas, y otras para secarse a 40°C con el fin de obtener lodo lavado seco que presentó un 40.5 por ciento de humedad.

Es decir, el lodo Solvay se utilizó en tres formas: lavado húmedo, lavado seco y líquido.

La forma líquida se obtuvo de una corriente generada en el proceso Solvay de manera independiente, en un punto en el cual no se encuentran mezcladas con corrientes de cloruros.

Figura 3. Diagrama de flujo de la Metodología Experimental.



## V.2. PREPARACION DE LAS DOSIS

Las dosis del lodo en forma húmeda y seca se prepararon de la siguiente manera:

- a) Se pesaron las dosis de lodo en vasos de precipitado de 100 ml de capacidad
- b) Se les agregó agua residual cruda y se homogenizaron las mezclas, procediendose inmediatamente a verter cada una de las dosis en el vaso de experimentación correspondiente.

El lodo líquido se dosificó directamente, es decir, las dosis del lodo líquido se tomaron con una pipeta y se añadieron al agua residual.

En los experimentos preliminares se probaron rangos de dosis altas de lodo lavado en forma húmeda que fueron 100, 200, 400, 600 y 800 ppm; así como dosis bajas de 10, 30, 50, 70 y 100 ppm, con el fin de conocer la tendencia de los resultados y determinar el rango en el que se debía trabajar. Sin embargo, finalmente se optó por correr todas las dosis mencionadas (tabla 2) para confirmar el impacto de los lodos en el agua residual tratada.

*Tabla 2. Dosis probadas en el presente estudio del lodo solvay.*

FORMA	D O S I S (mg /l)								
LODO SECO	10	30	50	70	100	200	400	600	800
LODO HUMEDO	10	30	50	70	100	200	400	600	800
LODO LIQUIDO	10	30	50	70	100	200	400	600	800

### **V.3. OBTENCION DE LAS AGUAS RESIDUALES UTILIZADAS.**

Las aguas residuales que se utilizaron en las pruebas fueron tomadas del registro de la entrada a la planta tratadora de aguas residuales de Industria del Alkali y fueron transportadas al laboratorio donde se realizaron las pruebas.

Los experimentos preliminares a nivel laboratorio se llevaron a cabo en el Laboratorio de Investigación de Industria del Alkali, S.A. de C.V., y los restantes se llevaron a cabo en el Laboratorio Ambiental del Instituto de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.

### **V.4. EXPERIMENTACION A NIVEL DE LABORATORIO**

#### **Parámetros indicadores:**

- a) Temperatura, °C
- b) pH, unidades de pH
- c) Sólidos sedimentables, ml/l
- d) Sólidos suspendidos, mg/l
- e) Sólidos totales, mg/l
- f) Grasas y aceites, mg/l
- g) Demanda química de oxígeno (DQO), mg/l
- h) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), mg/l
- i) Oxígeno disuelto (OD), mg/l

#### **Variables control:**

Dosis del Iodo Solvay

**Variables que pueden afectar los resultados:**

Los efluentes procedentes de días diferentes que se usaron en las pruebas.

La metodología que se siguió fué la siguiente:

1) Se llenaron con el agua residual proveniente de Industria del Alkali, seis vasos de precipitado de vidrio transparente con cuatro litros de capacidad, en donde se probaron las dosis del lodo en sus tres formas.

2) Las dosis preparadas del lodo se adicionaron a cada uno de los vasos e inmediatamente se agitaron en forma manual con una varilla de vidrio durante 18 a 20 segundos. Lo anterior tuvo como fin el simular condiciones críticas de mezclado. A el vaso testigo no se le adicionó lodo pero se agitó manualmente de igual forma que los otros vasos.

3) Se dejaron sedimentar todos los vasos por espacio de 15 a 20 minutos.

Transcurridos 15 minutos después de aplicar el lodo, se tomaron de cada vaso de precipitado el volumen de la muestra indicado en la Norma Oficial Mexicana (NOM) correspondiente a cada parámetro indicador a evaluarse, con el fin de llevar a cabo las determinaciones antes mencionadas.

Es decir, se monitorearon los parámetros en el agua residual sin tratamiento y en los tratados con el lodo solvay.

A los resultados obtenidos de las determinaciones de los parámetros indicadores se les determinó la desviación estándar y fueron analizados mediante el método de comparación de medias de Tuckey al 95 por ciento de confiabilidad.

## **V.5. EXPERIMENTACION EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NEGRAS DE INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A. DE C.V.**

Se llevaron al cabo siete corridas de experimentos preeliminarios en la planta de tratamiento de aguas residuales negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V., las cuales fueron realizadas según la siguiente metodología:

1) Se determinó en el laboratorio la demanda química de oxígeno (DQO) del influente de la planta de tratamiento de aguas residuales y en base al resultado obtenido, se pesaron las dosis de lodo solvay en forma lavada-seca de manera que correspondieran a una relación 4 a 1 de lodo-DQO.

2) El lodo solvay en forma lavada-seca se dosificó directamente a la entrada del agua al tanque Imhoff;

3) Se monitorearon los porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en las aguas residuales después del tratamiento con el lodo solvay.

La duración de cada corrida, la frecuencia del muestreo después del tratamiento con el lodo, así como el número de muestras obtenidas del agua tratada se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3. Descripción de las corridas experimentales preeliminares a nivel de la planta tratamiento de aguas residuales negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V..**

DURACION (h)	# DE MUESTRAS TOMADAS DEL INFLUENTE	FRECUENCIA DE MUESTREOS DEL EFLUENTE *(h)	# DE MUESTRAS TOMADAS DEL EFLUENTE*
8	1	8	1
8	1	8	1
16	1	16	1
16	2	5	3
16	2	4	4
48	2	12	4
48	2	12	4

\* Se refiere al agua tratada que sale del tanque Imhoff.

Las pruebas que se realizaron a nivel de la planta de tratamiento de aguas residuales negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V. fueron llevadas al cabo exclusivamente por el personal de dicha empresa.

## V.6. PROCEDIMIENTOS.

Para la determinación de los parámetros indicadores anteriormente citados, se siguieron las metodologías de las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes:

- a) NOM-AA-04-1977, Determinación de sólidos sedimentable en aguas residuales por el Método del cono Imhoff.
- b) NOM-AA-05-1980, Determinación de grasas y aceites por el método de extracción Soxhlet en aguas.
- c) NOM-AA-07-1980, Determinación de la temperatura por el Método visual con termómetro en aguas.
- d) NOM-AA-08-1980, Determinación del pH por el método potenciométrico en aguas.
- e) NOM-AA-12-1980, Determinación del oxígeno disuelto en aguas.
- f) NOM-AA-28-1981, Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en aguas.
- g) NOM-AA-30-1981, Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas.
- h) NOM-AA-34-1981, Determinación de los sólidos en aguas.

## **CAPITULO VI. RESULTADOS**

## **VI. RESULTADOS**

Los resultados obtenidos de los parámetros indicadores se presentan en las tablas 4, 5 y 6. Mientras que en las figuras 4 a 21 se representan dichos resultados gráficamente.

### **VI.1. EFECTO DE LA APLICACION DEL LODO SOLVAY EN LA REMOCION DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO) Y SU ANALISIS A TRAVES DEL METODO DE COMPARACION DE MEDIAS DE TUCKEY AL 95 PORCIENTO DE CONFIABILIDAD.**

#### **VI.1.a. CON LODO LAVADO-SECO**

La aplicación de las dosis más pequeñas (10 ppm) de lodo lavado-seco presentó un porcentaje de remoción que se considera nula; con dosis de 30-200 ppm se obtuvieron porcentajes de remoción promedio que pertenecen a un mismo nivel (B) según el análisis de comparación de medias por el método de Tuckey al 95 por ciento de confiabilidad. Mientras que con las dosis de 400 a 800 ppm se obtuvieron las máximas remociones del orden de 29.8( $\pm$ 0.739) a 30.7( $\pm$ 2.58) por ciento en promedio, las cuales se acomodan en un mismo nivel A, el cual representa las mejores eficiencias.

#### **VI.1.b. CON LODO LAVADO HUMEDO**

Las dosis de 10, 30 y 70 ppm presentaron una eficiencia similar que no rebasó los 7.4 por ciento; la dosis de 50 ppm de lodo húmedo se corrió con una repetición por haber sido en preeliminar y se obtuvo un 18.5 por ciento de remoción.

Con 100 y 200 ppm se removieron porcentajes similares de DQO, 14.99( $\pm$ 2.8) y 11.1 por ciento respectivamente, mientras que con 400 ppm la eficiencia de remoción no aumentó significativamente 19.75( $\pm$ 1.965) por ciento en promedio.

La dosis de 800 ppm de lodo lavado-húmedo logró remover el máximo porcentaje de DQO al usar el lodo en dicha presentación, siendo de 32.95 por ciento en promedio.

#### **VI.1.c. CON LODO LIQUIDO**

En contraste, el lodo líquido presentó menor eficiencia de remoción de DQO con dosis bajas, ya que las dosis de 10 a 70 ppm no removieron DQO (nivel D); las dosis de 100 a 200 ppm lograron remover en promedio de 17.8( $\pm$ 0.92) a 16.5( $\pm$ 0.76) por ciento respectivamente, lo que las sitúa en un mismo nivel (C) según Tuckey. El nivel B es ocupado por las dosis 400 y 600 ppm con 30.12( $\pm$ 1.43) y 27.7( $\pm$ 1.5) por ciento de remoción de DQO.

La dosis de lodo líquido que logró la máxima remoción de DQO y que fué significativamente superior a las inferiores inmediatas fué 800 ppm, con la que se obtuvo 33.82( $\pm$ 2) por ciento de remoción (nivel A).

### **VI.2. EFECTO DE LA APLICACION DEL LODO SOLVAY EN LA REMOCION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>) Y SU ANALISIS A TRAVES DEL METODO DE COMPARACION DE MEDIAS DE TUCKEY AL 95% DE CONFIABILIDAD.**

#### **VI.2.a. CON LODO LAVADO-SECO**

Los porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> al aplicarse lodo lavado-seco fueron desde 0 a 17.9 por ciento en promedio con las dosis de 10 a 800 ppm; sin embargo, aunque existe diferencia entre los porcentajes de remoción, Tuckey las sitúa en un mismo nivel indicando que la diferencia es mínima.

### **VI.2.b. CON LODO LAVADO-HUMEDO**

El análisis de varianza de los porcentajes de remoción de lodo lavado-húmedo indica que no hay diferencia altamente significativa entre los valores de dicha remoción a pesar de que los valores fluctuaron desde 0 hasta 20.44 por ciento de remoción de  $\text{DBO}_5$  con las dosis de 10 a 800 ppm.

### **VI.2.c. CON LODO LIQUIDO**

Los resultados de las remociones de  $\text{DBO}_5$  obtenidos al aplicar dosis de 10 a 70 ppm fueron nulos.

Con 100 y 200 ppm se obtuvieron remociones promedios de igual valor  $8.65(\pm 1.089)$  y  $8.5(\pm 2.12)$  por ciento, situándolas en un mismo nivel (C).

Por su parte los tratamientos con las dosis de 400 y 800 ppm presentaron una diferencia de remoción de  $\text{DBO}_5$  altamente significativa entre sí siendo de  $17.77(\pm 1.76)$  a  $22.5(\pm 2.9)$  por ciento perteneciendo al nivel (B) y (A) respectivamente; mientras con 600 ppm se eliminó  $18.82(\pm 2.78)$  por ciento, acomodándose en un nivel intermedio a las dosis de 400 y 800 ppm, es decir, al nivel (AB).

## **VI.3. EFECTO DE LA APLICACION DEL LODO SOLVAY EN LA REMOCION DE SOLIDOS EN TODAS SUS FORMAS Y SU ANALISIS A TRAVES DEL METODO DE COMPARACION DE MEDIAS DE TUCKEY AL 95% DE CONFIABILIDAD.**

### **VI.3.a. CON LODO LAVADO-SECO**

Las concentraciones de los sólidos totales (ST) en las muestras de las aguas tratadas con la dosis más pequeña (10 ppm) fueron iguales a las del testigo lo que indica que no hubo cambio significativo; de igual forma se repitió ésta situación en dos ocasiones pero

al aplicar dosis de 600 y 800 ppm. Así mismo se presentaron remociones poco significativas que pueden considerarse como nulas de la concentración de ST al dosificar de 400 a 800 ppm.

En los casos restantes, es decir con las dosis de 30 a 200 ppm e inclusive con 400 ppm en tres de las réplicas, se cuantificó un aumento en la concentración de sólidos totales, que se debe a la adición del lodo.

De igual forma la concentración de los sólidos totales fijos (STF) se incrementaron con la adición del lodo solway de naturaleza inorgánica.

Los porcentajes de remoción de los sólidos totales volátiles (STV) presentaron diferencias altamente significativas entre sí, lo que condujo el establecimiento de cuatro niveles, en los cuales el nivel (A) de máxima remoción es ocupado por las dosis 400, 600 y 800 ppm que removieron 41.8( $\pm$ 7.28), 44.1( $\pm$ 4.02) y 47.52( $\pm$ 8.07) por ciento en promedio de STV respectivamente; mientras que las dosis 50, 70 y 200 ppm se ubicaron en un mismo nivel (B) con remociones que van del 19( $\pm$ 1.9) al 23.3( $\pm$ 4.6) por ciento. A su vez, los porcentajes de remoción de 30 y 100 ppm, 17.8( $\pm$ 1.01) y 17.9( $\pm$ 3.7) por ciento en promedio respectivamente, ocupan un mismo nivel intermedio (BC).

Los sólidos suspendidos totales (SST) se vieron afectados de la siguiente manera: con las dosis de 10 a 200 mg/l no se rebasó un 11.7 por ciento de remoción de SST, ubicandose dichas dosis en un mismo nivel (B); mientras que con las dosis de 400 a 800 ppm se logró remover de 37.95 a 41.7 por ciento en promedio, con lo cual se acomodan en el nivel (A) según Tuckey.

La remoción de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) fué mucho más efectiva con las dosis de 400, 600 y 800 ppm de lodo lavado seco, ubicandolas en el nivel (A) con remociones de 37.3( $\pm$ 8.7), 39.3( $\pm$ 4.5) y 41.58( $\pm$ 7.2) por ciento en promedio respectivamente; la dosis de 10 ppm se coloca en el nivel menor (C); y al igual que el

caso anterior, las dosis de 30 a 200 ppm presentaron bajas remociones que fueron del orden del 13.9( $\pm$ 1.588) al 16.1( $\pm$ 1.47) porciento en promedio (nivel BC), con excepción de la dosis de 70 ppm con la que se consiguió 20.32( $\pm$ 3.75) porciento de eficiencia, por la que se ubica en un nivel distinto (B).

Los sólidos sedimentables se lograron eliminar en 94.4 porciento como máximo con 600 y 800 ppm. Mientras que con 400 ppm fué del orden de 82.6 porciento en promedio. Cabe señalar que con las dosis de 30 a 200 ppm se eliminaron de 32.3 a 43.94 porciento de sólidos sedimentables en promedio.

#### **VI.3.b. CON LODO LAVADO-HUMEDO**

La concentración de los sólidos totales (ST) se vió incrementada en comparación con el testigo, debido a la adición del lodo. Unicamente con 800 ppm se consiguió remover ST en porcentajes muy bajos en dos de las repeticiones.

Por otra parte, la máxima remoción de sólidos totales volátiles fué de 33.6 porciento en promedio y se consiguió con la dosis de 800 ppm; con 400 y 600 ppm se produjeron remociones que se pueden considerar intermedias 17.27( $\pm$ 2.4) y 19.9 porciento. Con las dosis restantes, de 10 a 200 ppm no se rebasó un 12.6 porciento de eficiencia.

La remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) no fué muy satisfactoria, debido a que se logró remover como máximo de un 20 a 21.28( $\pm$ 7.8) porciento en promedio con 600 y 800 ppm; los promedios de las remociones al aplicar las dosis restantes fluctuaron de 1.6 a 10.56( $\pm$ 2.7) porciento.

En cuanto a la remoción de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) se observó un comportamiento similar al de los SST, es decir, funcionaron mejor las dosis de 600 y 800 ppm.

Los sólidos suspendidos fijos (SSF) se vieron incrementados en algunos casos al adicionar dosis menores a 100 ppm, con dosis superiores (600 y 800 ppm) se logró remover de un 6.25 a un 25 por ciento de SSF.

Las dosis de 10 a 70 ppm no presentaron remociones significativas de sólidos sedimentables ya que fueron de 0 a 5.53 por ciento, por lo que se consideraron como nulas. Los sólidos sedimentables fueron abatidos hasta en un 66.25 por ciento en promedio con la dosis de 800 ppm, seguido muy de cerca por la dosis de 600 ppm que logró remover un 60 por ciento en promedio. Con 200 y 400 ppm se eliminó 40 y 41.3 por ciento respectivamente.

### VI.3.c. CON LODO LIQUIDO

Los sólidos totales (ST), así como los sólidos totales fijos (STF) se vieron incrementados cuando se aplicó dosis superiores o iguales a 200 ppm. Con dosis menores, las concentraciones no variaron significativamente.

La eliminación de los sólidos totales volátiles (STV) tuvieron como porcentajes máximos promedios a  $33.6(\pm 3.6)$  y  $38.75(\pm 5.6)$  por ciento al añadir 400 y 800 ppm respectivamente, por lo que se sitúan en el nivel (A); con 600 ppm se eliminaron 32 por ciento en promedio (nivel AB). Las dosis 100 y 200 ppm lograron remociones similares entre sí del orden de 23.6 por ciento, ocupando por ello el nivel (B). En contraste, con dosis de 10 hasta 70 ppm, no son considerables los decrementos en los STV. Por su parte, los sólidos suspendidos totales (SST) se eliminaron en un  $22.8(\pm 4.1)$  por ciento con 800 ppm (nivel A); siendo que con 400 y 600 ppm se removi6  $15.6(\pm 2.9)$  y  $15.7(\pm 3.4)$  por ciento en promedio (nivel AB). Las dosis 100 y 200 ppm lograron remociones muy similares, es decir de  $10.4(\pm 3.3)$  a  $10.9(\pm 4.2)$  por ciento; las dosis 10 hasta 70 ppm de lodo líquido no lograron remociones significativas.

La máxima remoción que se registró de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) fué de

32.3( $\pm$ 4.3) porciento, misma que se logró con 800 ppm, colocandose en el nivel más alto según Tuckey (nivel A); dicho valor fué muy similar a los obtenidos con 400 y 600 ppm, que removieron 26.6( $\pm$ 3.1) y 25.4( $\pm$ 5) porciento. por los cuales ocuparon el nivel (AB). El nivel (B) fué ocupado por las remociones logradas con 100 y 200 ppm; mientras que en el nivel inferior (C) se colocaron las dosis de 10 a 70 ppm cuya eficiencias fueron nulas.

Los sólidos suspendidos fijos (SSF) se incrementaron en la mayoría de los casos, con las dosis superiores a 30 ppm.

Mientras que la concentración de los sólidos sedimentables decrecieron hasta en un 95.57( $\pm$ 4.5) porciento con la dosis 800 ppm (nivel A); con 400 y 600 ppm se removi6 82.7 porciento de sedimentables (nivel AB), de igual forma con 100 y 200 ppm eliminaron 62.3( $\pm$ 7.9) porciento (nivel B). Las dosis de 10 a 70 ppm de lodo líquido presentaron una misma actividad coagulante, ya que al realizar una comparación de medias por el método de Tuckey al 95 porciento de confiabilidad no encontramos una diferencia significativa entre los porcentajes de remociones obtenidos.

En cuanto a la remoción de grasas y aceites (Tabla 7), determinamos que no era significativa su eliminación al dosificarle el lodo solvay, por lo que se decidió no continuar con las cuantificaciones de los mismos.

#### **V.4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS A NIVEL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NEGRAS DE INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A. DE C.V.**

Los resultados de las remociones de la demanda química de oxígeno (DQO) al adicionar el lodo solvay en las pruebas efectuadas en la planta de tratamiento de aguas residuales negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V. se muestran en la tabla 8, en la cual podemos observar que son similares a los obtenidos en el laboratorio.

Tabla 4. Resultados de los análisis realizados a los parámetros indicadores al dosificar lodo solvay en forma lavada-seca.

DOSIS (mg/l)	DOO (mg/l)	% REM. DE DOO	DBOS (mg/l)	% REM. DBOS	SOL. TOT. (mg/l)	% REM. S.T.	SOL. TOT. FIJOS (mg/l)	% REM. STP	SOL. TOT. VOLAT. (mg/l)	% REM. STV	SOL. SUSP. TOT. (mg/l)	% REM. SOL. SUSP. SST	SOL. SUSP. FIJOS (mg/l)	% REM. SOL. SUSP. SSF	SOL. SUSP. VOLAT. (mg/l)	% REM. SOL. SUSP. SSV	SOL. SEDM (ml/l)	% REM. SSEDM.
Testigo	146.2	0	37.5	0	3172	0	2724	0	1048	0	64	0	8	0	56	0	0.8	0
10	147	0	37.1	0	3723	0	2728	0	995	5	83	1.58	8	0	55	1.78	0.8	0
30	117	20	35.3	5.9	3936	*	3087	*	849	19	58	9.4	10	*	48	14.3	0.3	50
50	111	24	33.3	11.2	4010	*	3161	*	849	19	58	9.4	10	*	48	14.3	0.3	50
70	116.76	19.6	34.85	7.6	3984	*	3084	*	880	16	60	6.25	10	*	50	10.7	0.3	50
100	119.7	18	34.4	8.1	3978	*	3085	*	911	13	60	6.25	9	*	51	8.9	0.3	50
200	124.3	15	28.1	25	3980	*	3058	*	922	12	58	9.4	6	25	52	7.1	0.3	50
400	98	33	24.2	35.6	3980	*	3383	*	597	43	34	53	0	100	34	39.28	<0.1	100
600	98.5	34	25.2	32.9	3998	*	3453	*	545	48	34	53	0	100	34	39.28	<0.1	100
800	102.3	30	22.9	38.7	3730	1.11	3270	*	460	56.1	34	53	2	75	32	42.85	<0.1	100
Testigo	188	0	60.5	0	4262	0	3176	0	1068	0	66	0	6	0	60	0	0.9	0
10	187	0	59.7	1.2	4257	0	3198	0	1059	2.5	65	1.15	6	*	57	5	0.9	0
30	180	15	58.5	3.3	4298	*	3397	*	901	17	64	3	12	*	52	15.4	0.7	22.2
50	180	15	56.5	8.2	4322	*	3421	*	901	17	64	3	12	*	52	15.4	0.7	22.2
70	146.6	22	55	9.2	4350	*	3577	*	773	28.5	52	21.2	8	*	44	28.6	0.8	33.3
100	157.9	16	55.7	7.9	4386	*	3485	*	901	17	64	3	13	*	51	15	0.7	22.2
200	156	17	55.35	8.8	4290	*	3400	*	890	18	64	3	13	*	51	15	0.7	22.2
400	133.5	29	54.4	10.1	4178	2	3655	*	521	52	38	45.4	6	0	30	50	0.2	77.7
600	137.2	27	54.5	9.85	4189	1.8	3820	*	565	48	40	39.4	8	*	32	46.8	0.2	77.7
800	133.5	29	54.2	10.4	4178	2	3655	*	510	53	38	45.4	1	83	29	51.6	0.2	77.7
Testigo	184	0	58.6	0	3952	0	2832	0	1120	0	83	0	12	0	71	0	1.1	0
10	174.8	5	58.8	0	3984	0	2841	*	1023	6.6	81	2.4	12	0	69	2.8	1	9.1
30	180	13	55.9	4.5	3998	*	3085	*	933	16.7	77	7.2	14	*	63	11.26	0.8	27.2
50	149	19	54.9	6.3	4120	*	3250	*	870	22.3	74	10.8	16	*	58	18.3	0.7	36.4
70	147.2	20	54.8	6.5	4115	*	3281	*	834	25.5	74	10.8	17	*	57	19.7	0.7	36.4
100	152.9	16.9	56.6	5.1	4148	*	3231	*	917	18.1	76	8.4	16	*	60	15.5	0.7	36.4
200	147.2	20	54.8	6.8	4172	*	3282	*	910	25	70	15.6	14	*	56	21.1	0.4	63.8
400	125	32	52.6	9.8	3986	*	3328	*	860	41	60	27.7	13	*	47	33.8	0.3	72.7
600	128.6	30	52	11.2	3979	0	3328	*	651	41.8	56	32.5	11	8.3	45	37	<0.1	100
800	126.9	31	52.3	10.8	3825	3.2	3219	*	606	45.9	51	36.5	9	33.3	42	40.8	<0.1	100
Testigo	172	0	61.3	0	4170	0	3107	0	1063	0	70	0	9	0	61	0	1	0
10	173	0	61	0	4181	0	3154	*	1027	3.3	67	4.2	9	0	58	4.9	0.9	11.1
30	142.7	17	57.2	6.7	4195	*	3341	*	854	18.7	64	6.6	12	*	52	14.75	0.7	30
50	144.5	18	57.5	6.2	4211	*	3340	*	871	18	65	7.1	14	*	51	16.4	0.7	30
70	139.3	19	55.9	8.7	4253	*	3435	*	818	23	64	8.6	14	*	50	18	0.6	40
100	139.3	19	56.4	8	4289	*	3477	*	812	23.6	63	10	14	*	49	19.6	0.6	40
200	139.3	19	55.9	8.8	4264	*	3449	*	815	23.3	62	11.4	12	*	50	18	0.6	40
400	125.6	27	54.25	11.4	4276	*	3548	*	728	31.5	52	25.7	7	22.2	45	26.2	0.2	80
600	117	32	52.5	14.3	4160	2.4	3508	*	652	38.7	47	32.85	7	22.2	40	34.4	<0.1	100
800	121.28	29.5	54	11.9	4178	0	3488	*	690	35.1	49	30	7	22.2	42	31.1	<0.1	100

\* Estos valores se incrementaron debido a la adición del lodo.

Tabla 5. Resultados de los análisis realizados a los parámetros indicadores al dosificar lodo solvay en forma lavada-húmeda.

DOIS (mg/l)	DOO (mg/l)	% REM. DE DOO	DBO5 (mg/l)	% REM. DBO5	REM SOL. TOT. (mg/l)	% REM. SOL. TOT.	SOL. TOT. FLOJOS (mg/l)	% REM. SOL. TOT. FLOJOS	STV (% REM. SOL. TOT. FLOJOS)	STV (% REM. SOL. SUSP. TOT.)	SOL. SUSP. TOT. (mg/l)	% REM. SOL. SUSP. TOT.	SOL. SUSP. FLOJOS (mg/l)	% REM. SOL. SUSP. FLOJOS	SOL. SUSP. VOLAT. (mg/l)	% REM. SOL. SUSP. VOLAT.	% REM. SOL. SEDIM. SSV (ml/l)	% REM. SSED.
Testigo	135	0	34.92	0	2450	0	2028	0	422	0	30	0	8	0	22	0	0.5	0
100	110	18.5	34.16	2.17	2489	*	2128	*	361	14.4	27	10	8	0	19	13.6	0.3	40
200	120	11.1	39.4	0	2480	*	2110	*	370	12.3	27	10	6	0	19	13.6	0.3	40
400	110	18.5	33.7	3.3	2571	*	2208	*	363	14	27	10	8	0	19	13.6	0.3	40
600	100	25.9	28.2	19.15	2538	*	2200	*	338	19.9	24	20	7	12.5	17	22.7	0.2	60
800	90	33.3	30.59	12.4	2396	2.2	2122	*	274	35	20	33.3	6	25	14	36.4	0.1	80
Testigo	135	0	36	0	3410	0	2850	0	560	0	38	0	6	0	32	0	0.5	0
10	85	37	36	0	3498	*	2935	*	563	0	38	0	7	*	31	3.12	0.5	0
30	140	0	31.24	13.2	3440	*	2886	*	554	1	37	2.8	7	*	30	6.25	0.5	0
50	110	18.5	31.5	12.5	3362	*	2873	*	489	12.6	36	5.2	6	*	28	12.5	0.5	0
70	125	7.4	33.5	6.9	3398	*	2892	*	506	9.6	37	2.6	7	*	30	6.25	0.5	0
800	70	48.1	30.7	14.6	3356	1.8	3081	*	275	50.9	30	21	6	0	24	25	0.2	60
Testigo	118.3	0	57	0	2811	0	2125	0	488	0	26	0	6	0	20	0	0.4	0
100	99	14.87	-	-	2614	*	2188	*	426	12.3	25	3.8	7	*	18	10	0.3	25
400	89.1	23.4	37.2	34.74	2852	*	2254	*	398	18.1	24	7.7	7	*	17	15	0.2	50
400	94	19.17	40.5	28.98	2842	0	2230	*	412	15.2	24	7.7	7	*	17	15	0.2	50
800	86.13	28	36.9	35.16	2768	3.2	2387	*	379	22	23	11.5	7	*	18	20	0.1	75
Testigo	158.4	0	55	0	4368	0	3808	0	762	0	62	0	16	0	48	0	0.6	0
10	146	7.82	45.7	18.9	4380	*	3664	*	716	6	60	3.2	16	0	44	4.3	0.6	0
10	149.6	5.52	48.9	11	4366	*	3696	*	690	9.44	61	1.6	18	12.5	43	6.5	0.6	0
30	147.8	6.68	46.2	15.99	4370	0	3720	*	650	14.7	56	9.7	16	0	40	13	0.6	0
30	137.3	13.3	43.5	20.9	4383	0	3658	*	707	7.2	59	4.8	16	0	43	6.5	0.5	18.6
100	140	11.6	49.8	9.38	4400	*	3721	*	679	10.9	58	6.5	16	0	42	8.7	0.5	16.6
400	130.3	17.74	51.7	5.85	4484	*	3662	*	622	18.4	54	12.9	16	0	38	17.4	0.4	33.3
400	126.8	19.96	50.1	8.9	4496	*	3692	*	604	20.7	53	14.5	16	0	37	19.5	0.4	33.3
800	119.7	24.4	44.2	19.6	4304	*	3744	*	560	28.5	50	19.35	15	6.25	35	23.9	0.3	50

\* Estos valores se incrementaron debido a la edición del lodo.

Tabla 6. Resultados de los análisis realizados a los parámetros indicadores al dosificar lodo solvay en forma líquida.

DOSIS (mg/l)	DOO (mg/l)	% REM. DE DOO	DBO5 (mg/l)	% REM. DBO5	SOL. TOT. (mg/l)	% REM. SOL. TOT.	SOL. TOT. FLUJOS (mg/l)	% REM. SOL. TOT. STP	SOL. SUSP. TOT. (mg/l)	% REM. SOL. SUSP. SST	SOL. SUSP. FJOS (mg/l)	% REM. SOL. SUSP. SSF	SOL. SUSP. VOLAT. (mg/l)	% REM. SOL. SUSP. SSV	SSADM (ml/l)	% REM. SSED.
Testigo	246	0	93	0	3480	0	3098	0	84	0	8	0	76	0	1	0
10	246.5	0	0	0	3476	0	3098	0	84	0	8	0	76	0	0.8	20
30	246	0	91.8	1.2	3485	0	3105	*	84	0	8	0	76	0	0.8	20
50	241	2	91.3	1.8	3480	0	3117	*	83	1.2	9	*	74	2.6	0.8	20
70	244	0	93	0	3490	0	3109	*	84	0	8	*	76	0	0.8	20
100	204.4	16.9	85.3	8.3	3460	0	3170	*	76	9.5	13	*	63	17.1	0.5	50
200	204.2	17	85.9	7.6	3525	*	3248	*	74	11.9	11	*	61	19.7	0.5	50
400	167.7	31.8	78.6	15.4	3563	*	3326	*	68	18	11	*	57	25	0.4	60
600	183	25.8	78.9	15.1	3608	*	3350	*	72	14.3	12	*	60	21	0.4	60
800	182.4	34	75.6	18.7	3627	*	3417	*	82	26.2	10	*	52	31.6	0.1	90
Testigo	256	0	101	0	3384	0	2958	0	144	0	32	*	112	0	1.4	0
10	256	0	101	0	3380	0	2952	0	143	0	33	*	110	1.8	1.2	14.3
30	256	0	101.3	0	3376	0	2953	0	144	0	32	0	112	0	1.2	14.3
50	257	0	101.5	0	3382	0	2958	0	141	2	32	0	109	2.6	1.3	7.14
70	256	0	101	0	3395	0	2966	0	141	4	31	*	110	1.8	1.3	7.14
100	209	19	93.2	7.7	3424	*	3120	*	118	18	34	*	84	25	0.4	71.4
200	218.8	15.2	95.3	5.6	3515	*	3202	*	122	15	34	*	86	21.4	0.4	71.4
400	181.4	29.7	84	16.8	3609	*	3335	*	116	19.4	37	*	79	29.5	0.3	78.6
600	185	28.3	81.7	19.1	3565	*	3280	*	116	19.4	36	*	80	28.6	0.3	78.6
800	162.5	37	78	22.7	3626	*	3376	*	104	27.7	34	*	70	37.5	<0.1	100
Testigo	224	0	97.5	0	3520	*	2947	*	162	0	25	0	137	0	1.5	0
10	225	0	97.6	0	3548	0	2978	*	161	0	25	0	136	0	1.2	20
30	224	0	97.3	0	3543	0	2972	*	162	0	26	*	136	0	1.2	20
50	224	0	96.5	1	3536	0	2975	*	156	3.7	25	0	131	4.4	1	33.3
70	223	0	97	0	3518	0	2957	0	159	1.85	27	*	132	3.6	1	33.3
100	186	17	87.3	10.5	3548	0	3097	*	147	9.2	37	*	110	19.7	0.5	66.6
200	186.1	16.8	86.5	11.3	3561	*	3107	*	148	6.6	36	*	112	18.2	0.5	66.6
400	161.3	28	76.9	21.1	3583	*	3196	*	142	12.3	46	*	96	29.9	<0.1	100
600	157.3	29.6	78.4	19.6	3550	0	3192	*	134	17.3	41	*	93	32.1	<0.1	100
800	153.4	31.5	71.3	26.9	3450	1.98	3101	*	133	18	43	*	90	34.3	<0.1	100
Testigo	229	0	94.8	0	3294	0	2875	0	113	0	28	0	85	0	1.3	0
10	229	0	94.8	0	3298	0	2865	0	113	0	28	0	85	0	1.1	15.4
30	228.5	0	94.9	0	3301	0	2882	0	111	1.8	28	0	83	2.35	0.9	30.77
50	227	0	94.4	0	3315	0	2896	0	111	1.8	28	0	83	3.5	0.9	30.77
70	228	0	94.2	0	3338	*	2927	*	110	2.6	28	0	82	3.5	0.9	30.77
100	186.6	18.5	87.1	8.1	3351	*	3017	*	105	7	32	*	73	14.2	0.5	61.5
200	190	17	85.8	9.5	3392	*	3056	*	106	6.2	32	*	74	12.9	0.5	61.5
400	158	31	74	22	3390	*	3089	*	99	12.4	33	*	66	22.3	0.1	92.3
600	167.4	26.9	78.4	17.3	3411	*	3095	*	100	11.5	32	*	65	20	0.1	92.3
800	153.8	32.8	74.1	21.8	3417	*	3122	*	91	19.4	28	0	63	25.8	0.1	92.3

\* Estos valores se incrementaron debido a la adición del lodo.

Tabla 7. Remoción de grasas y aceites al adicionar lodo solvay en forma lavada y húmeda.

Dosis del lodo (mg/l)	Grasas y aceites (mg/l)	% de remoción de G y A*
10	13.09	0
30	13.2	0
50	12.88	2.42
70	12.2	7.57
100	13.1	0
200	12.45	5.68
400	12.36	6.36
600	11.92	9.7
800	11.3	14.4
T	13.2	0

\* Estos resultados son promedio de dos repeticiones efectuadas.

Tabla 8. Resultados de la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) al adicionar el lodo solvay en forma lavada-seca en la planta de tratamiento de aguas residuales de Industria del Alkali, S.A. de C.V.

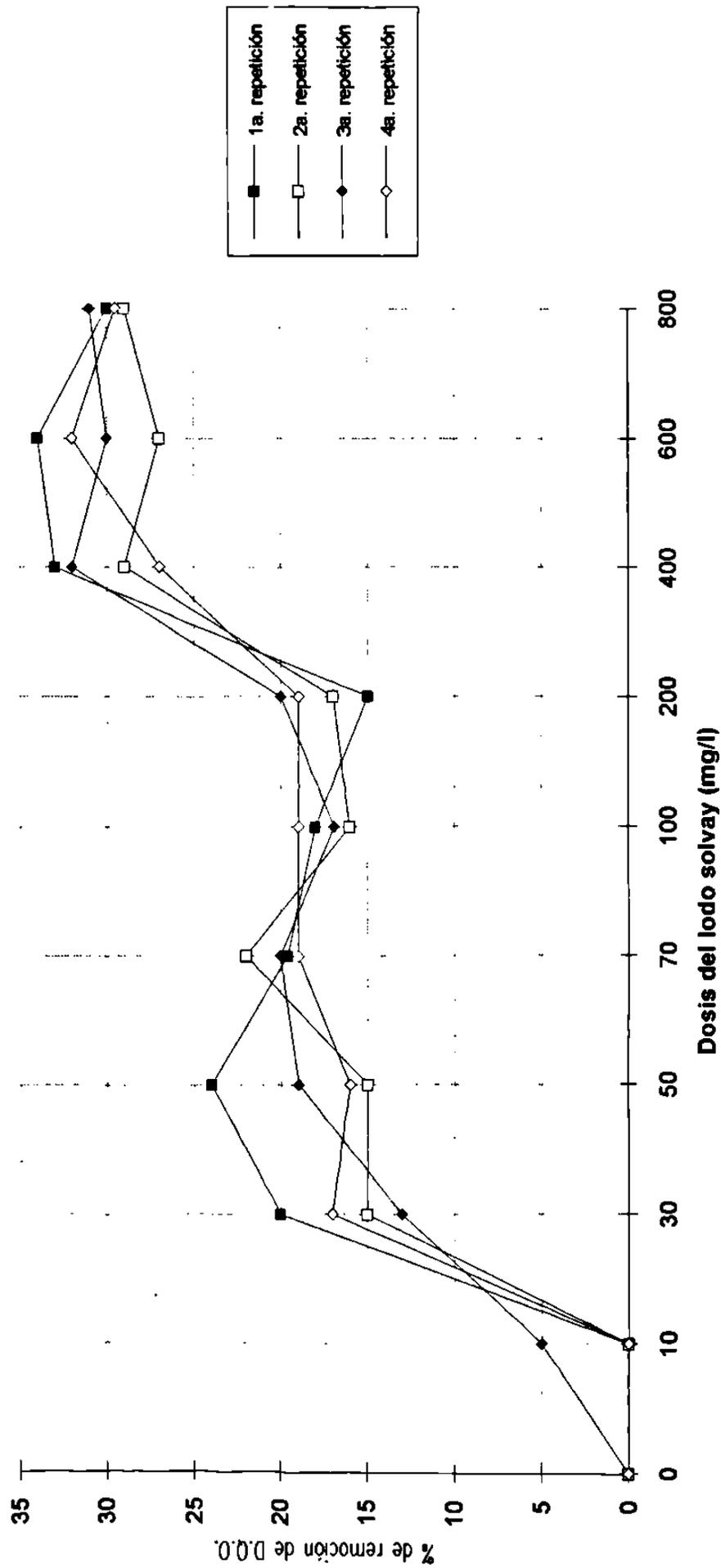
DURACION DE LA PRUEBA (h)	DQO EN EL INFLUENTE* (mg/l)	% DE REMOCION DE DQO**
8	198	38
8	222	42
16	198	38
16	238	42
		46
	238.5	42.5
16	208.2	39
		47
	231	45.4
		44
48	226.4	44
		45.2
	226.4	46
		46
48	191.7	39
		22 <sup>a</sup>
	237.5	44
		40

\* En el influente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

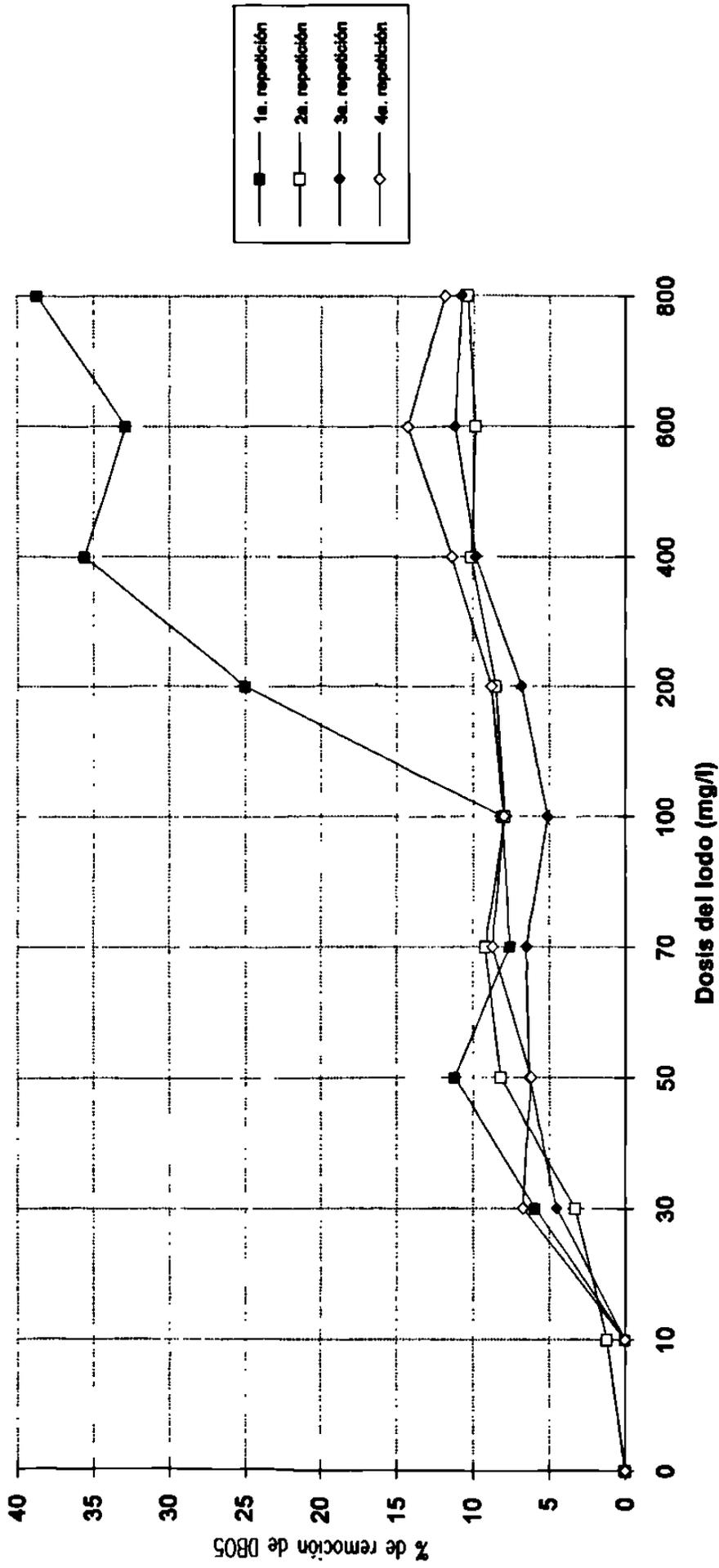
\*\* En el efluente del tanque Imhoff.

a Duda en el procedimiento de análisis.

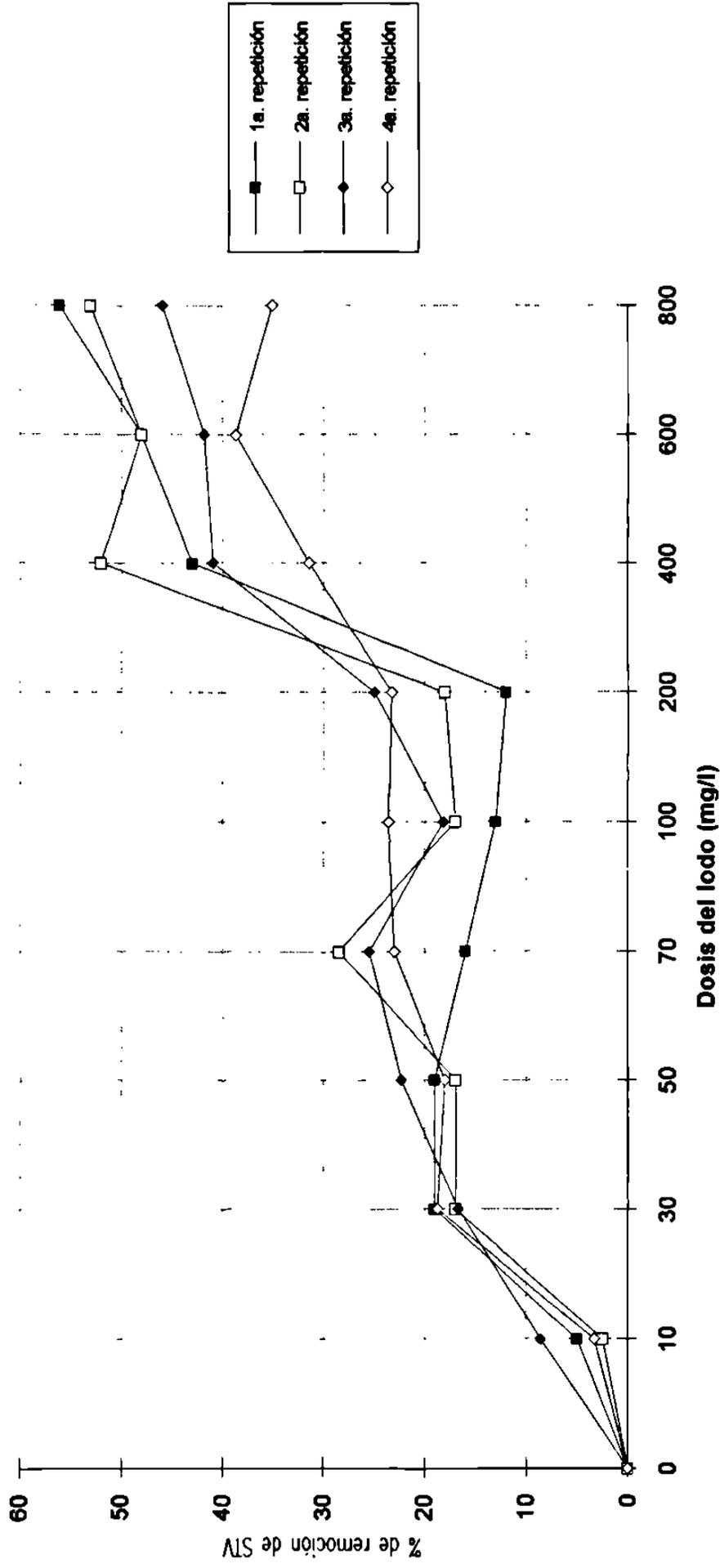
**Figura 4 . Remoción de la Demanda Química de oxígeno (DQO) como consecuencia de la adición de lodo solvay en forma lavada y seca.**



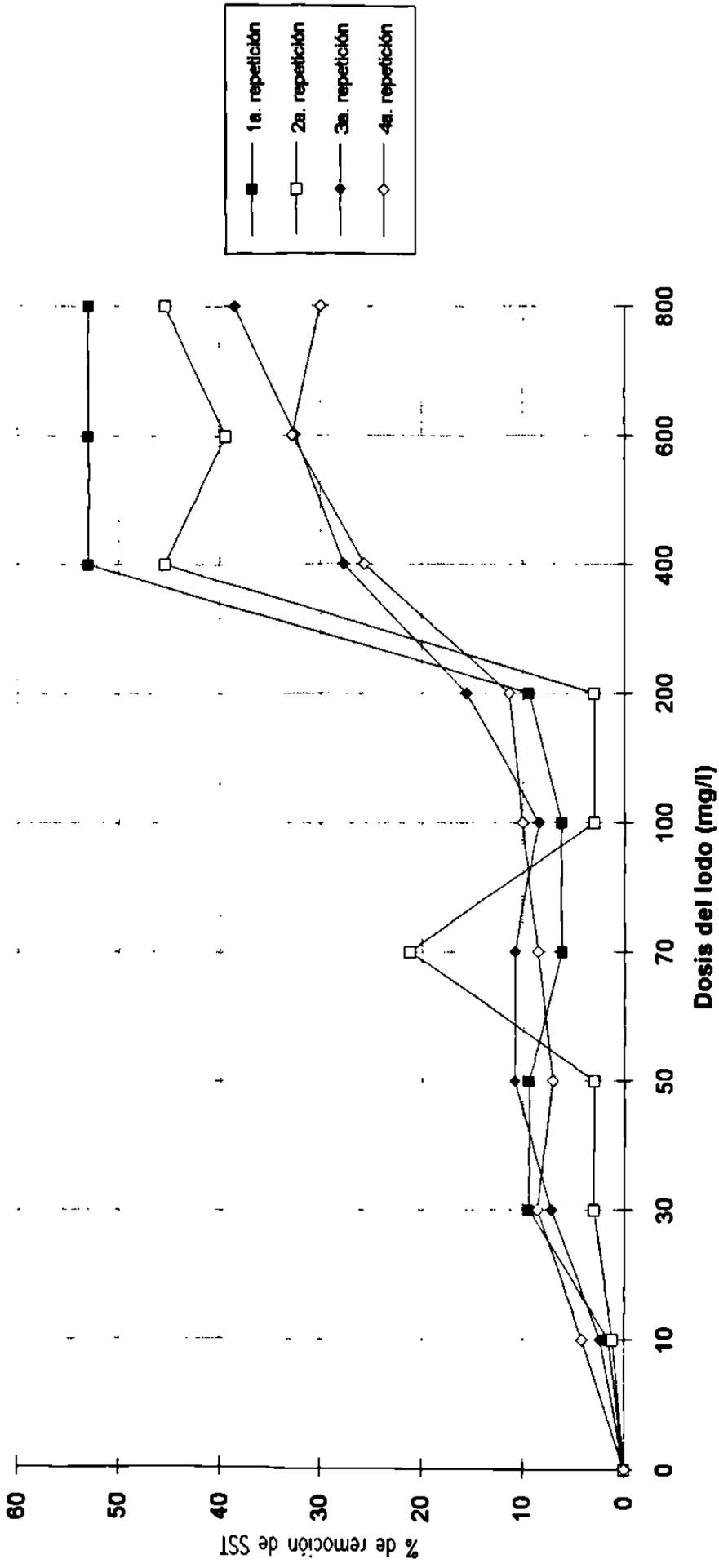
**Fig. 5 . Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) como consecuencia de la adición de lodo solvay en forma lavada y seca.**



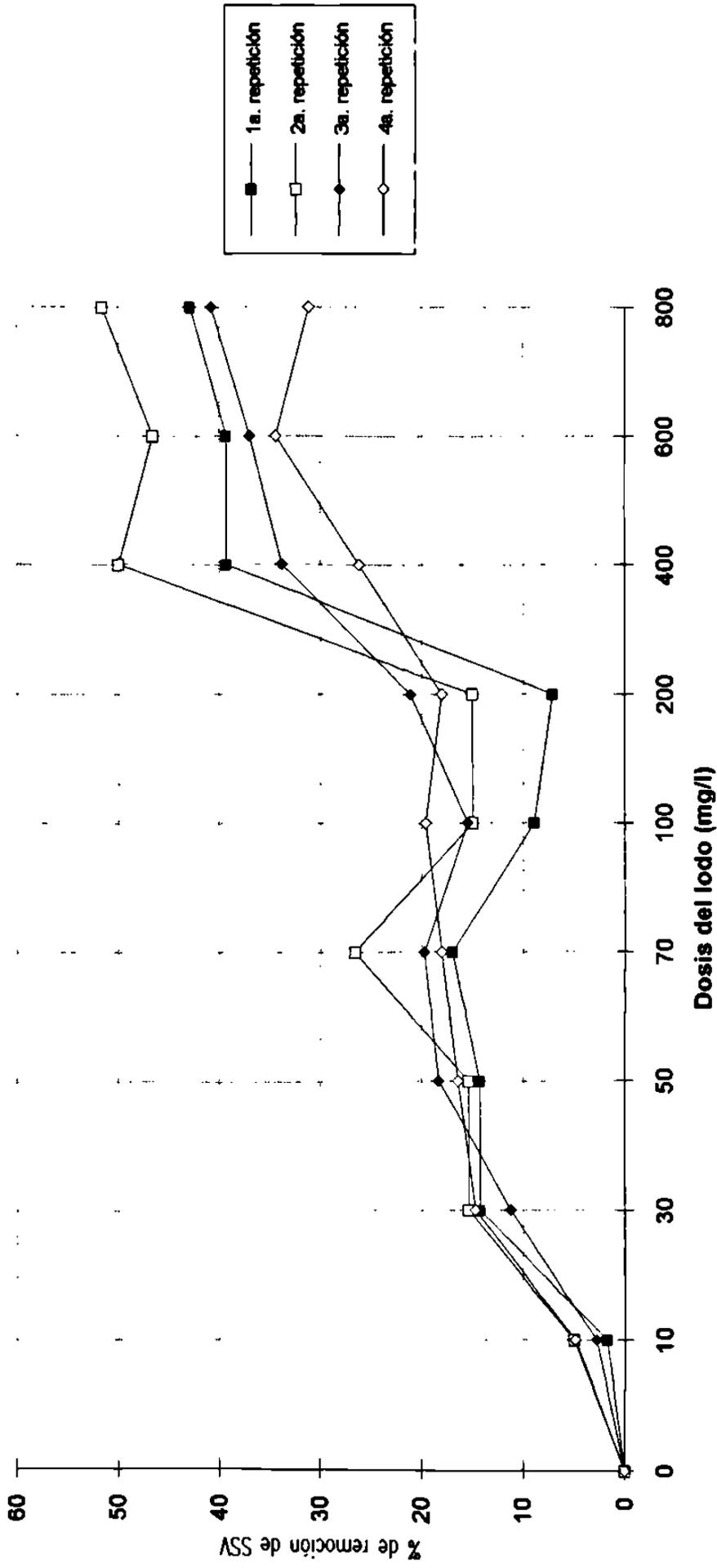
**Fig. 6 . Remoción de los sólidos totales volátiles (STV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada y seca.**



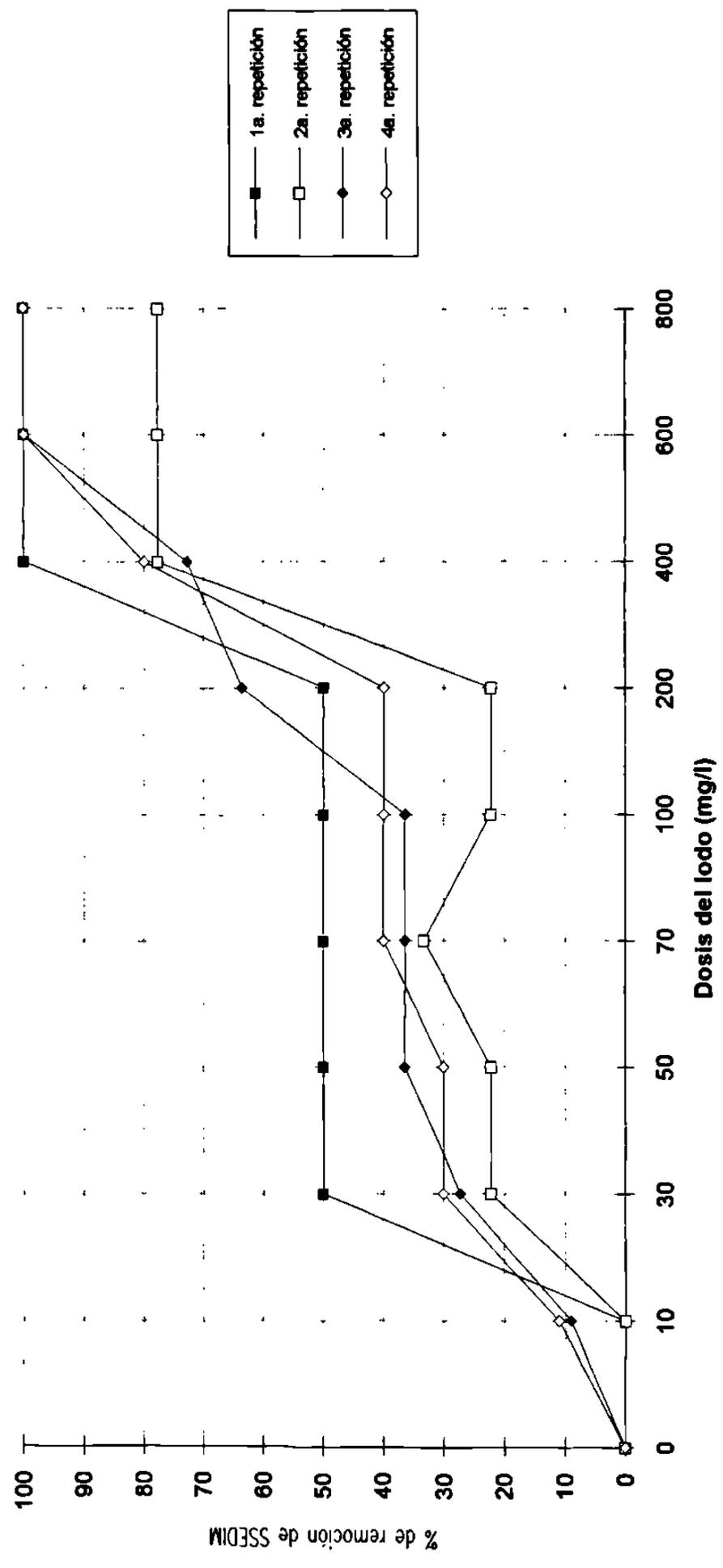
**Fig. 7 . Remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada y seca.**



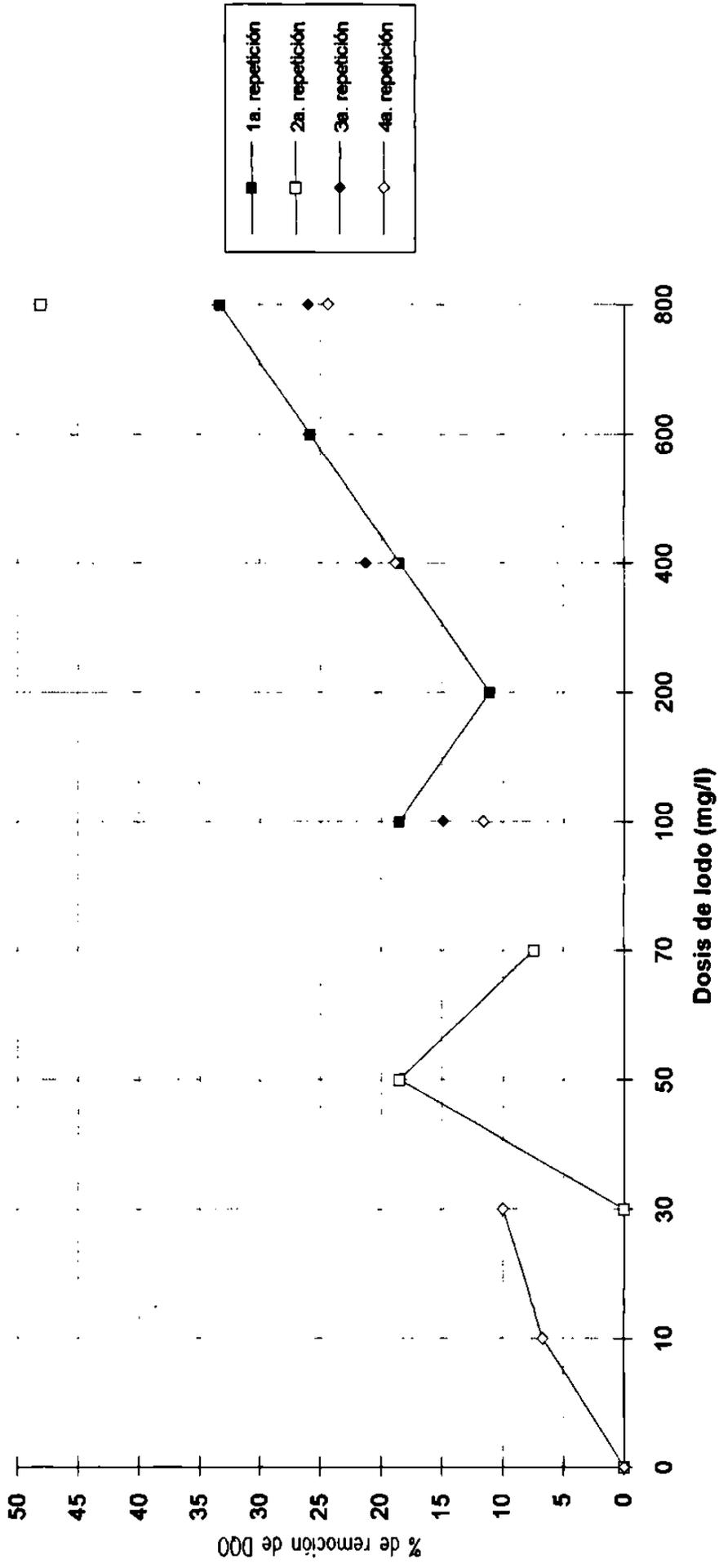
**Fig. 8 . Remoción de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada y seca.**



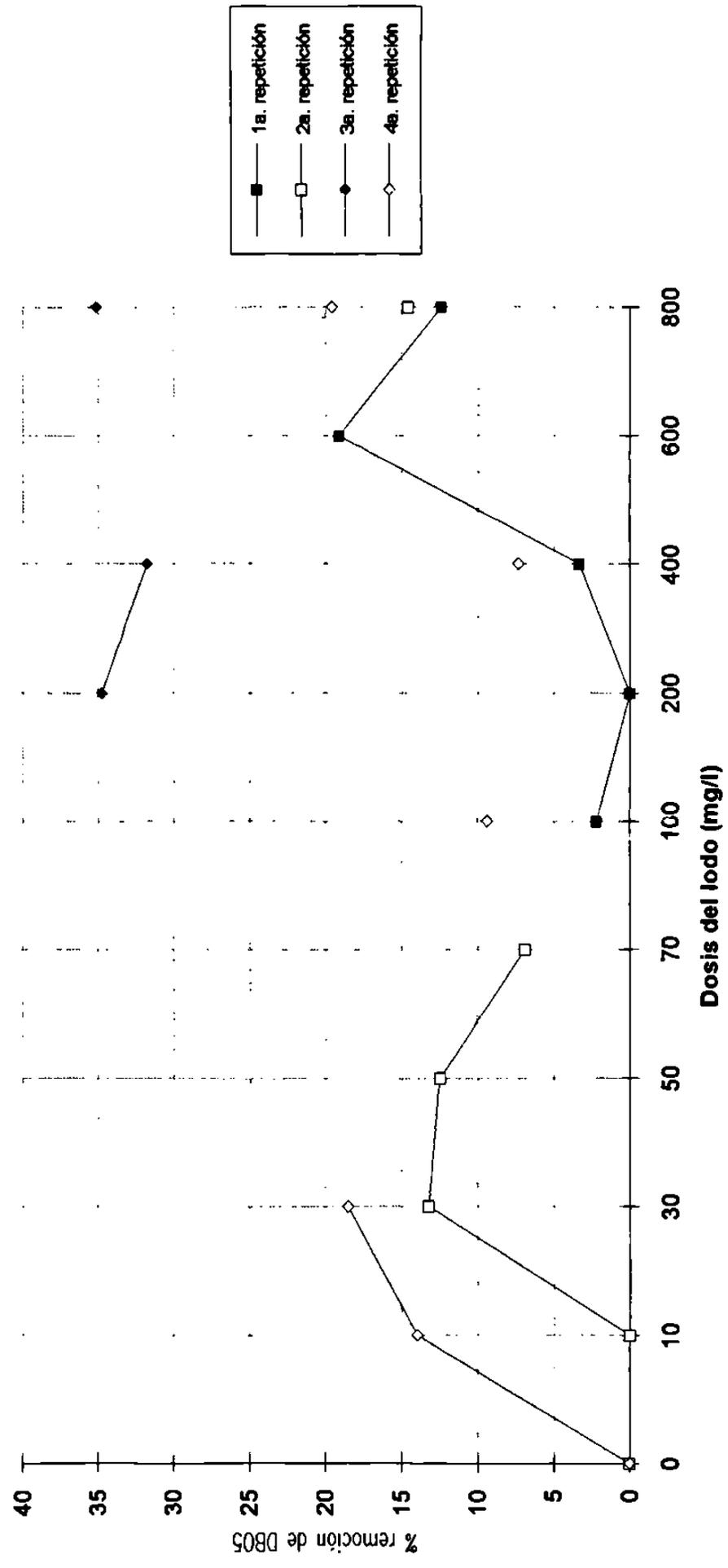
**Fig. 9 . Remoción de los sólidos sedimentables (SSEDIM) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada y seca.**



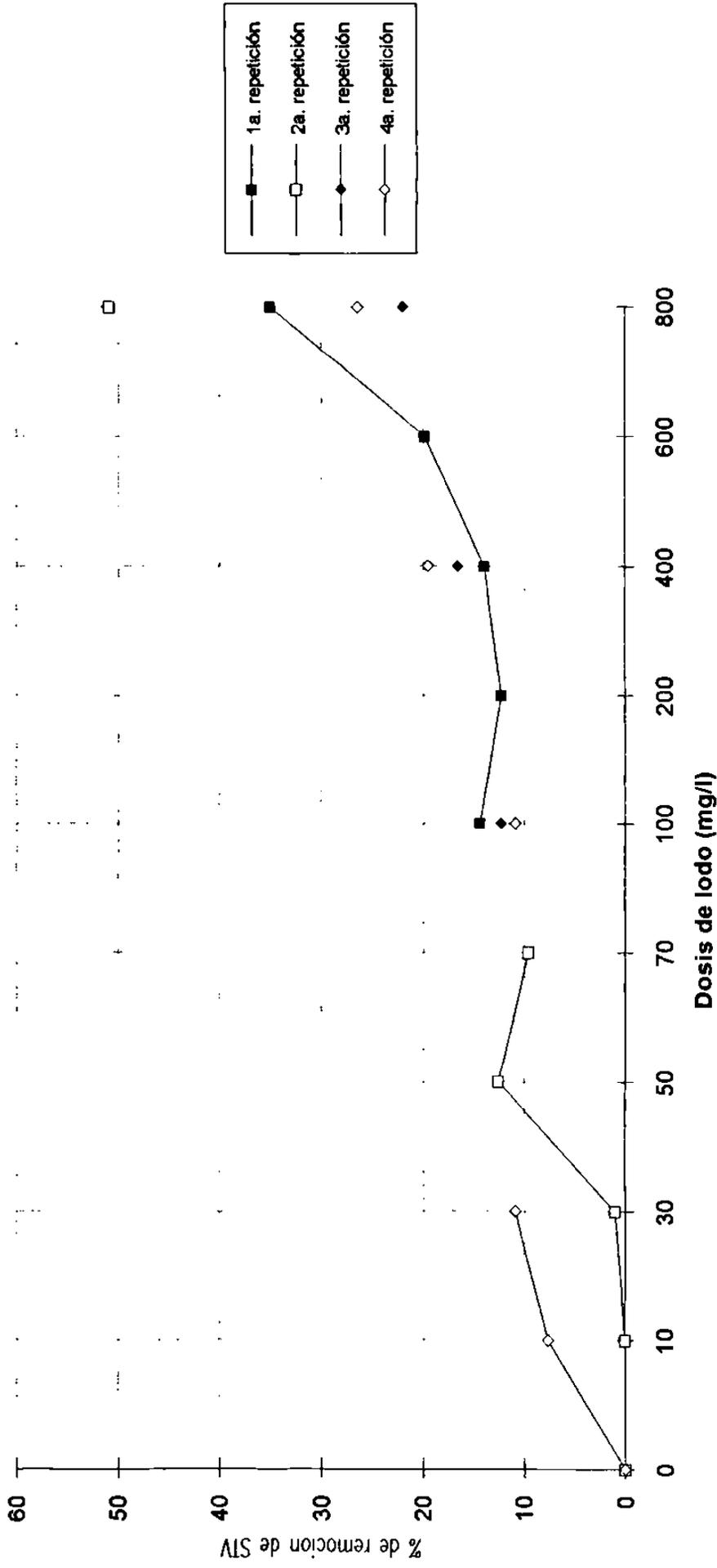
**Fig. 10 . Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) al adicionar lodo solvay en forma lavada y húmeda.**



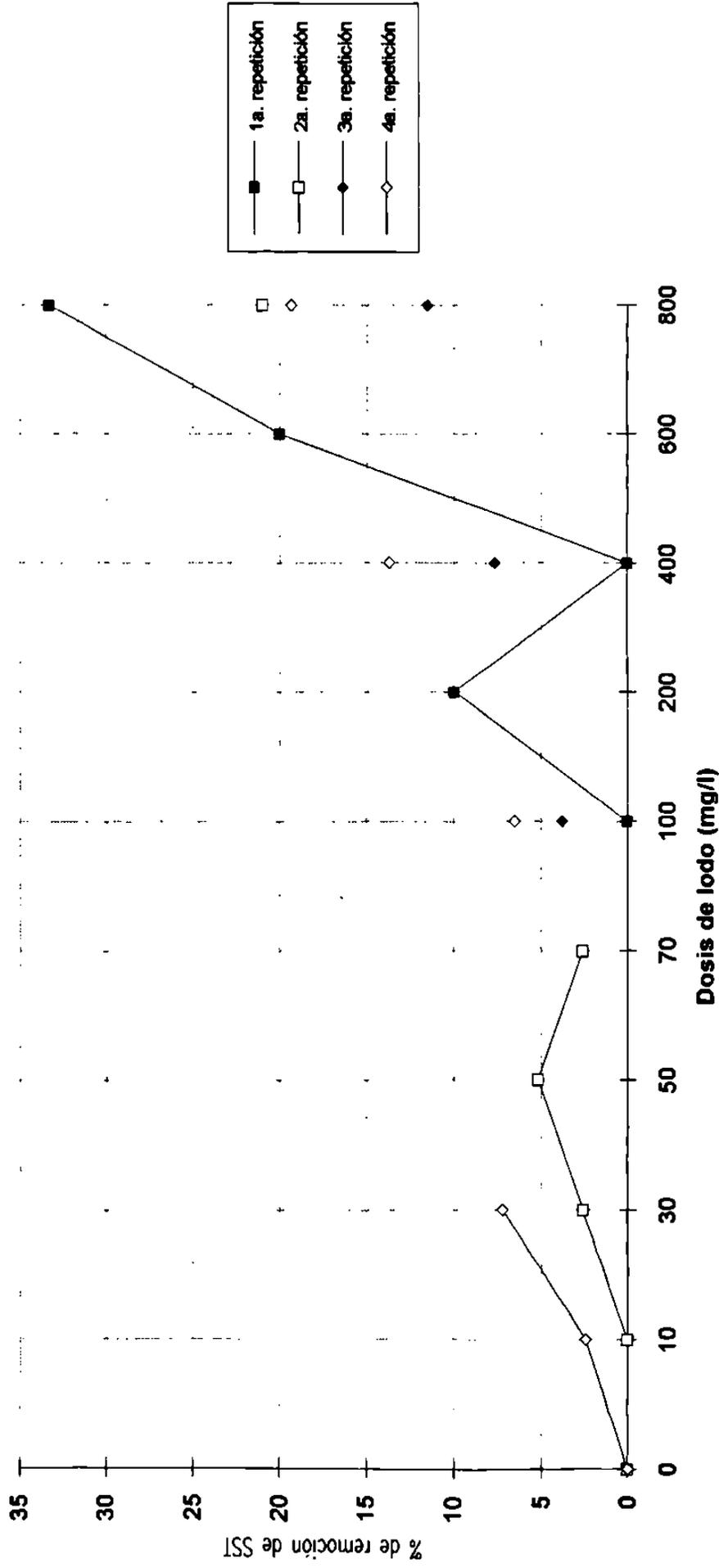
**Fig. 11 . Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) como consecuencia de la adición de lodo solvay en forma lavada y húmeda.**



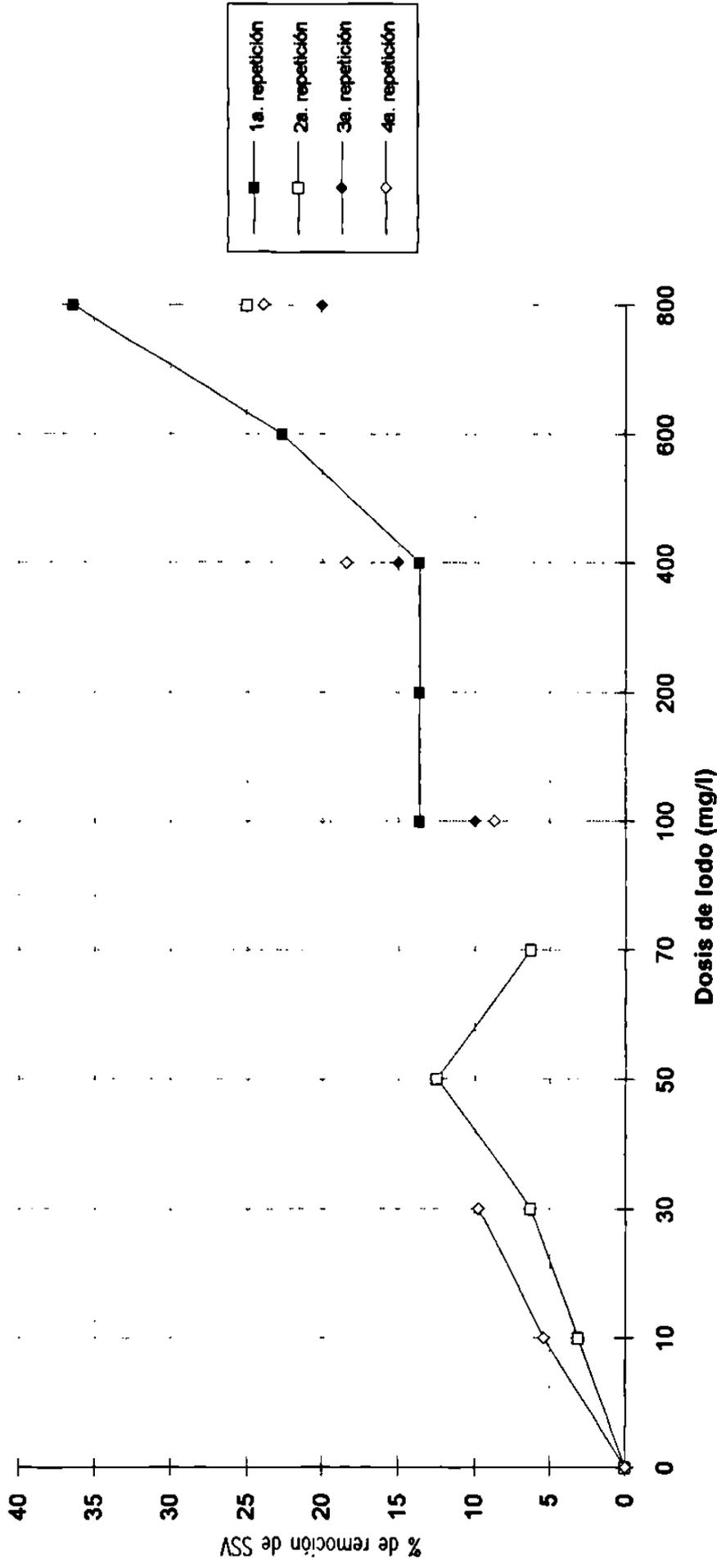
**Fig. 12 . Remoción de los Sólidos totales volátiles (STV) como resultado de la adición de lodo solvay en forma lavada y húmeda.**



**Fig. 13 . Remoción de los Sólidos Suspending Totales (SST) como resultado de la adición de lodo solvay en forma lavada y húmeda.**



**Fig. 14 . Remoción de los Sólidos Suspendedos Volátiles (SSV) como resultado de la adición de lodo solvay en forma lavada y húmeda.**



**Fig. 15 . Remoción de los Sólidos sedimentables (SSEDIM) como resultado de la adición de lodo solvay en forma lavada y húmeda.**

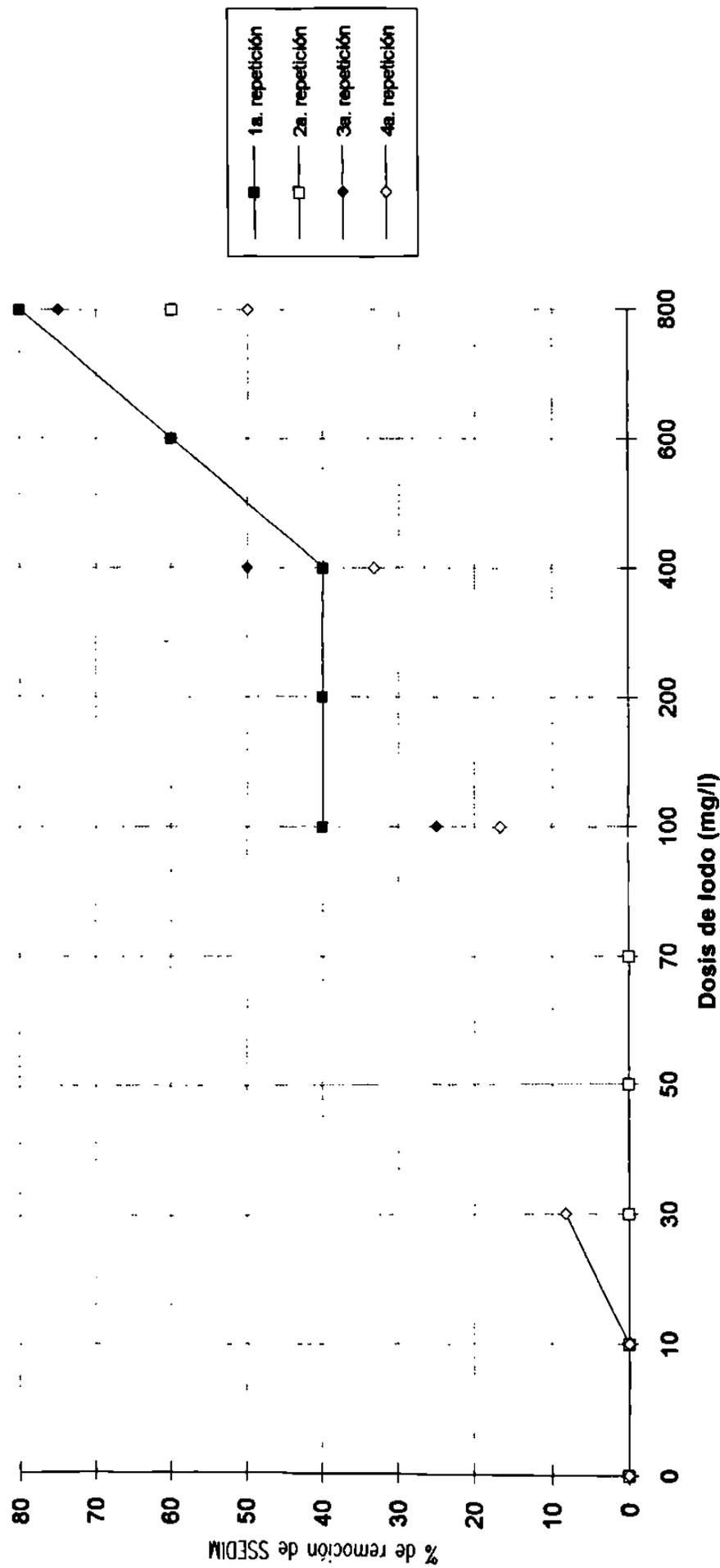
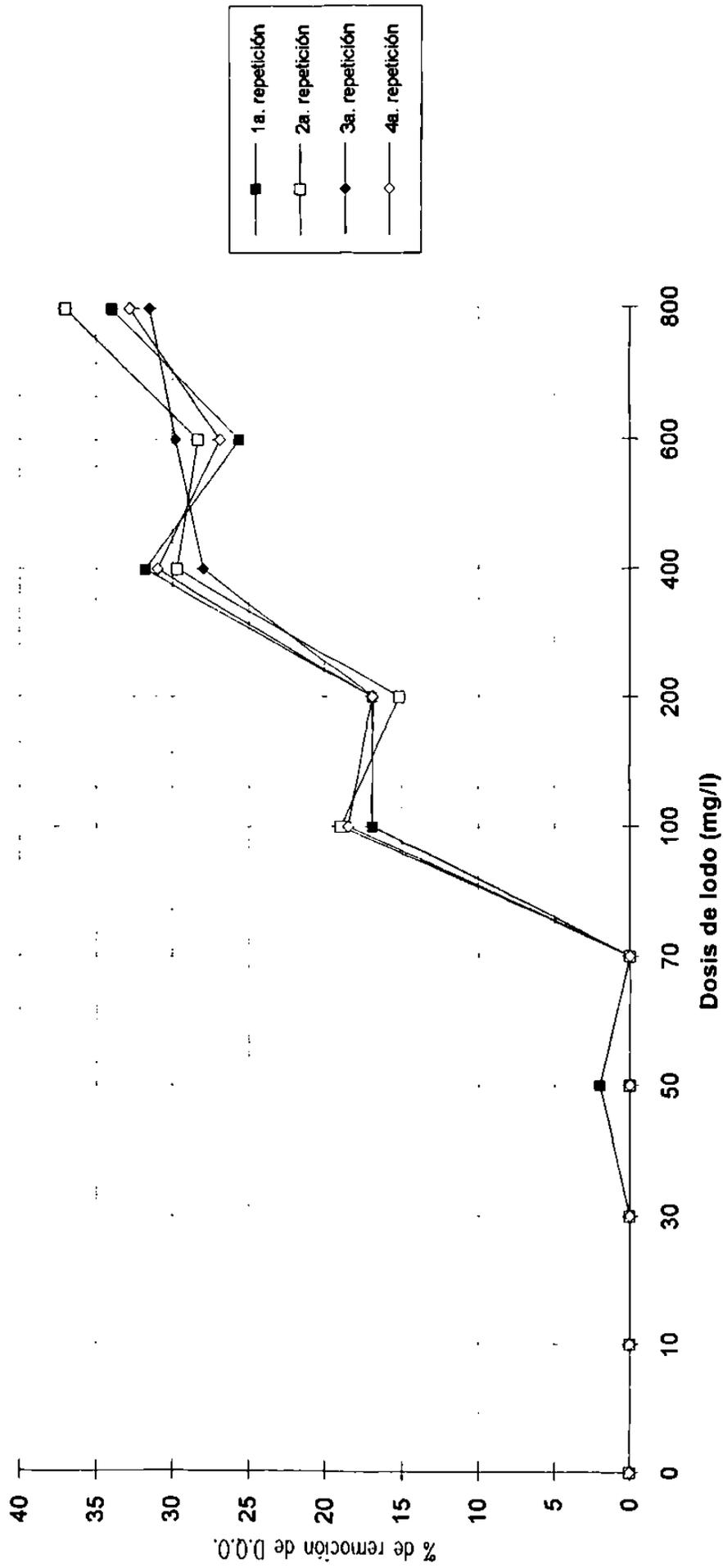
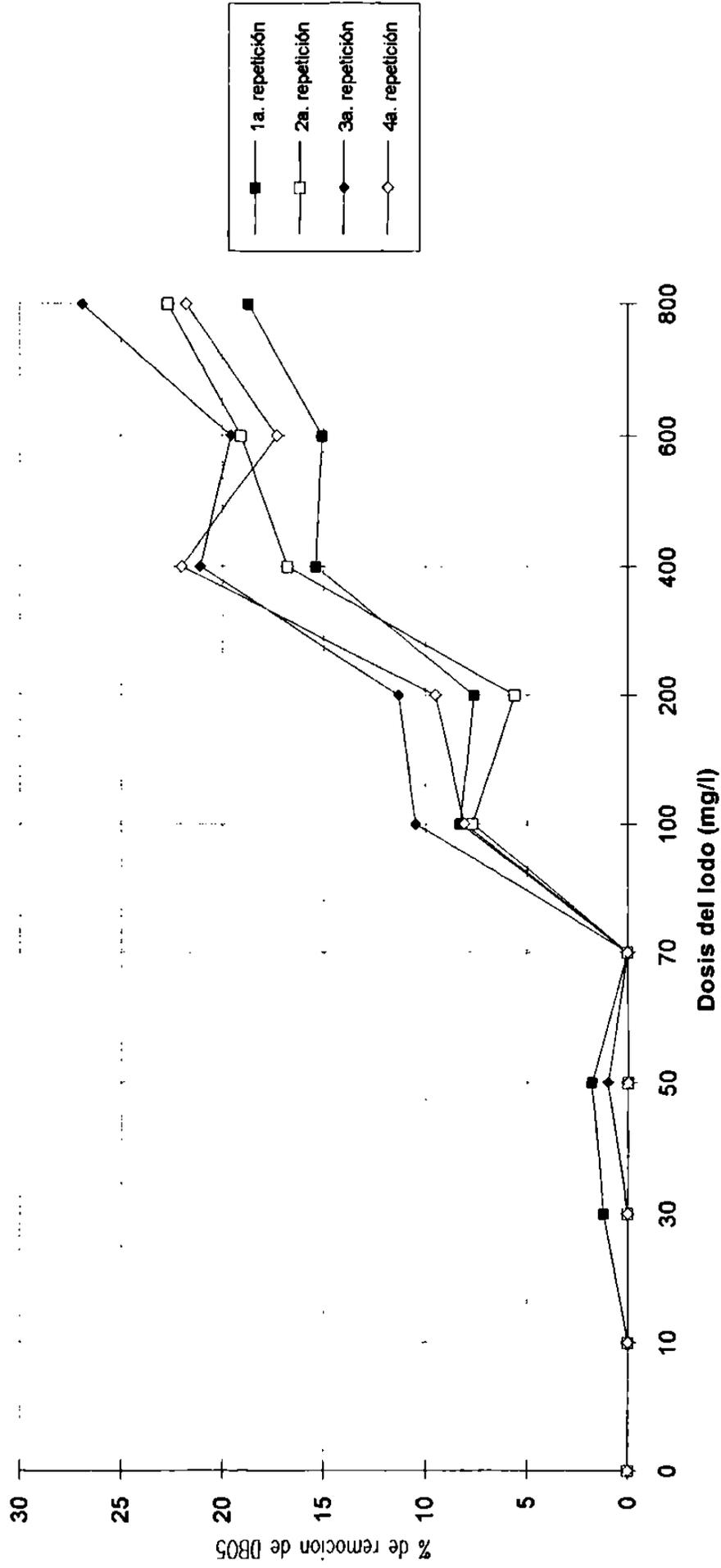


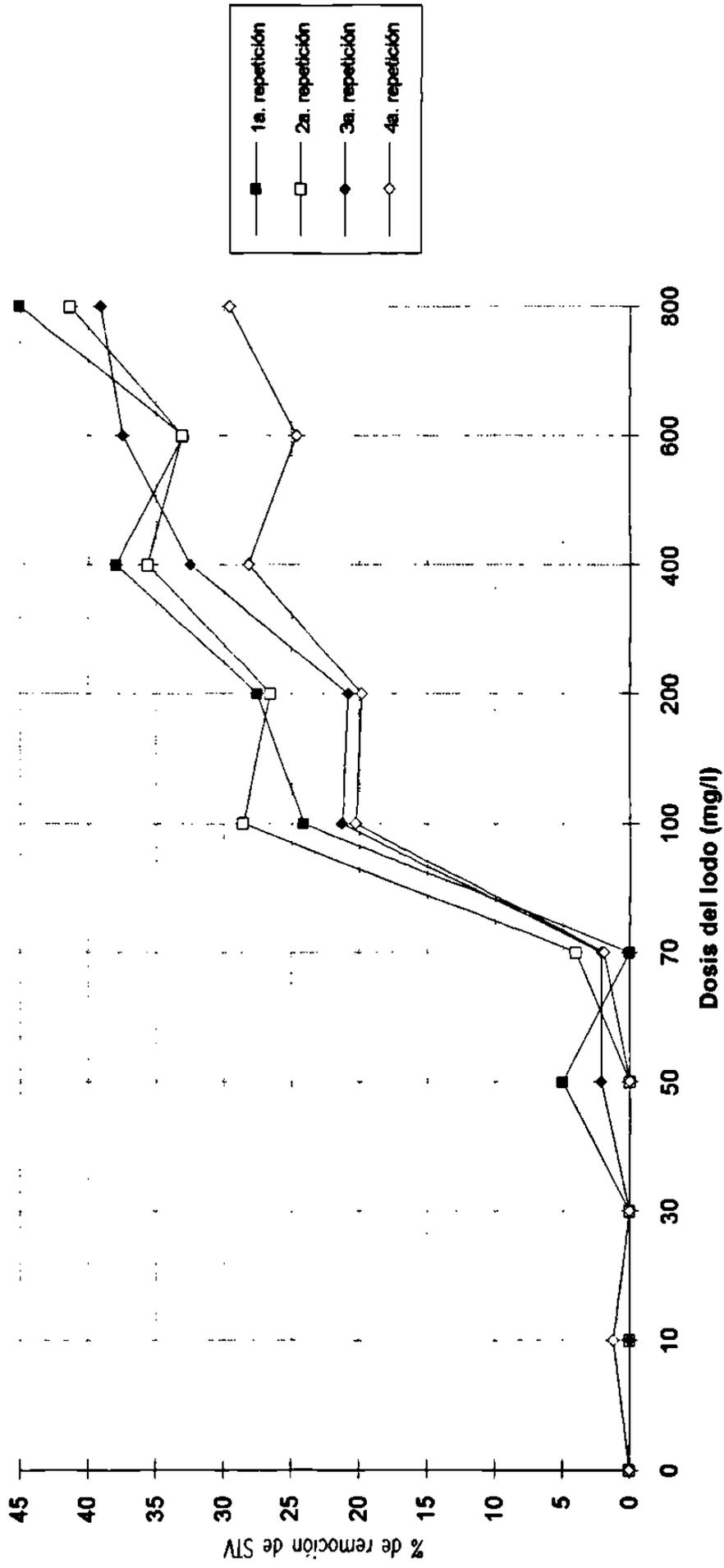
Fig. 16 . Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) al adicionar lodo solvay en forma líquida.



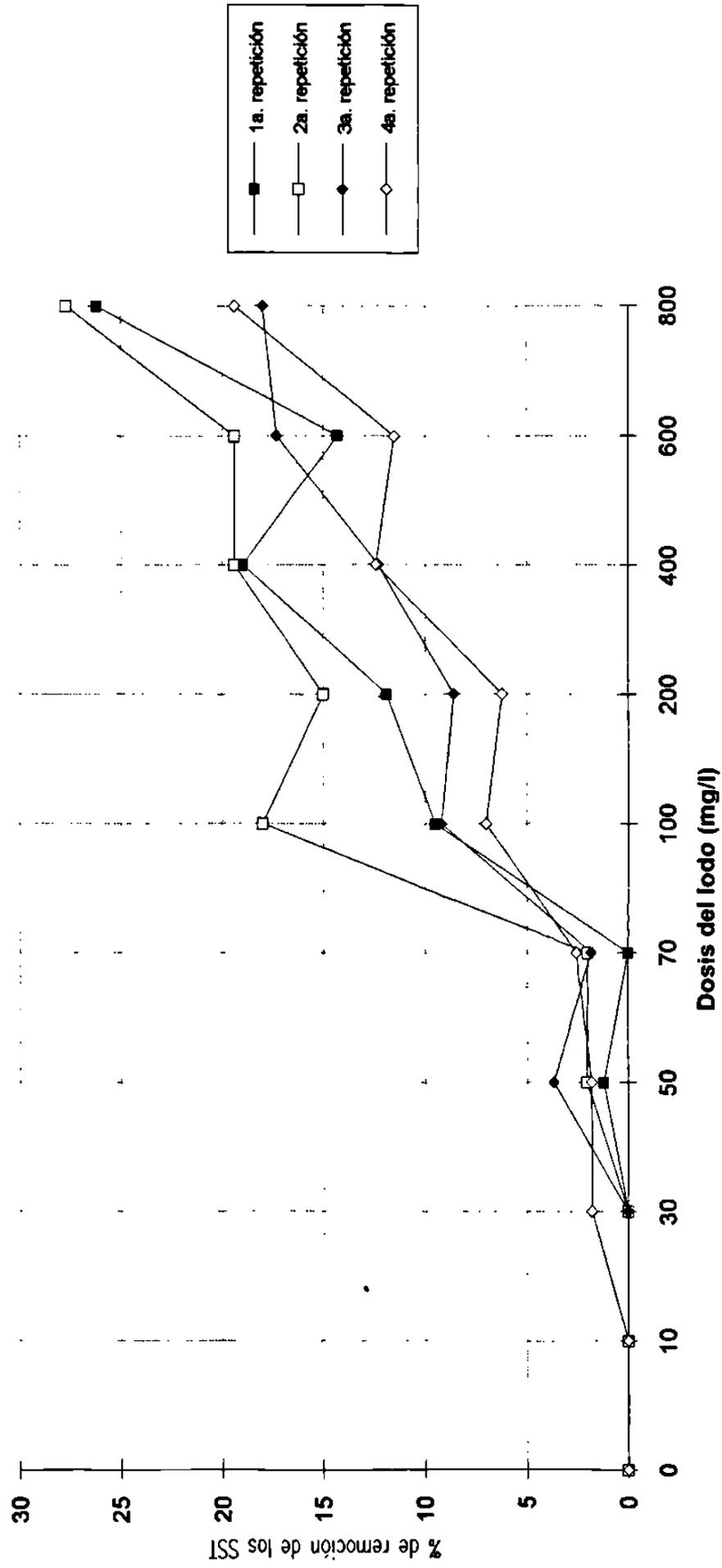
**Fig. 17 . Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) como consecuencia de la adición de lodo solvay en forma líquida.**



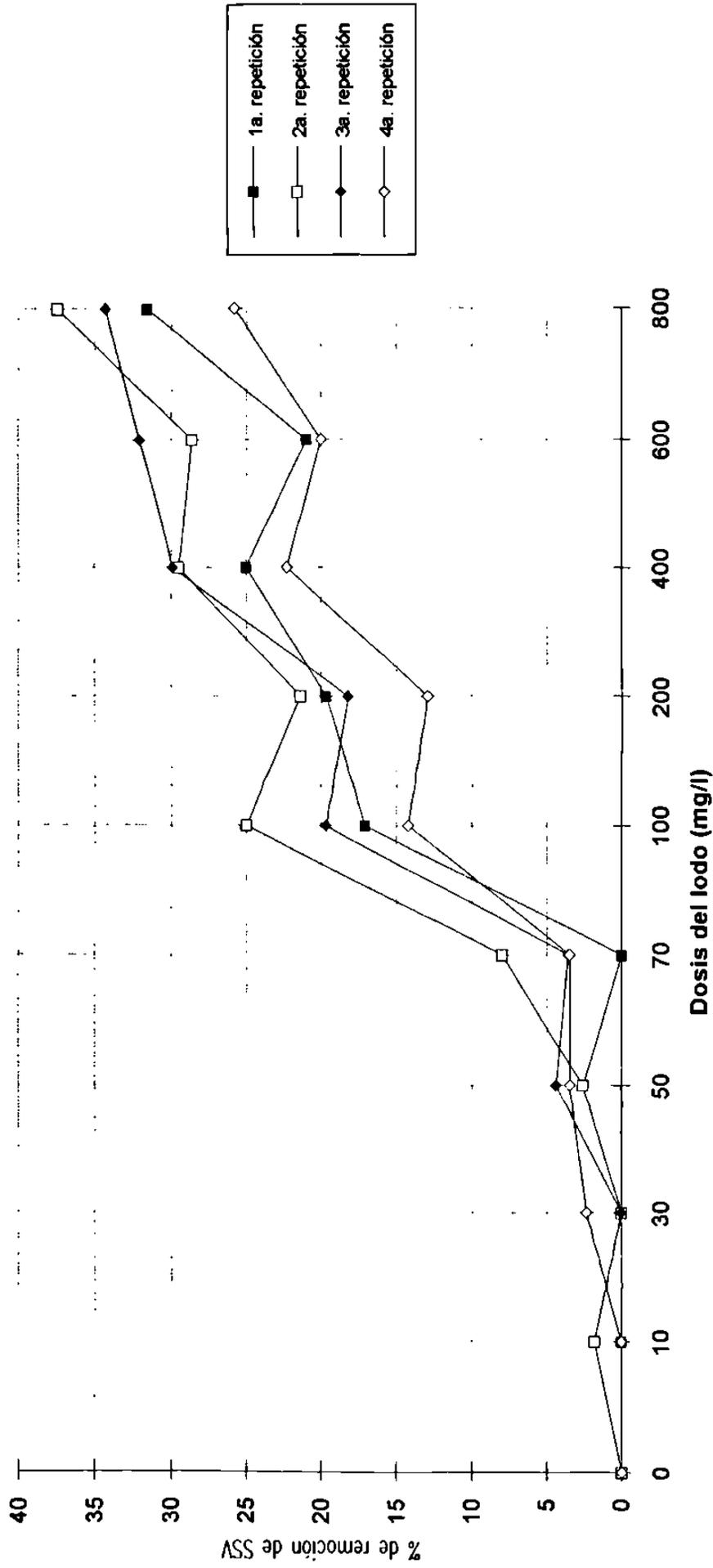
**Fig. 18. Remoción de los sólidos totales volátiles (STV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida.**



**Fig.19 . Remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida.**



**Fig. 20. Remoción de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida.**



**Fig. 21 . Remoción de los sólidos sedimentables (SSEDIM) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida.**

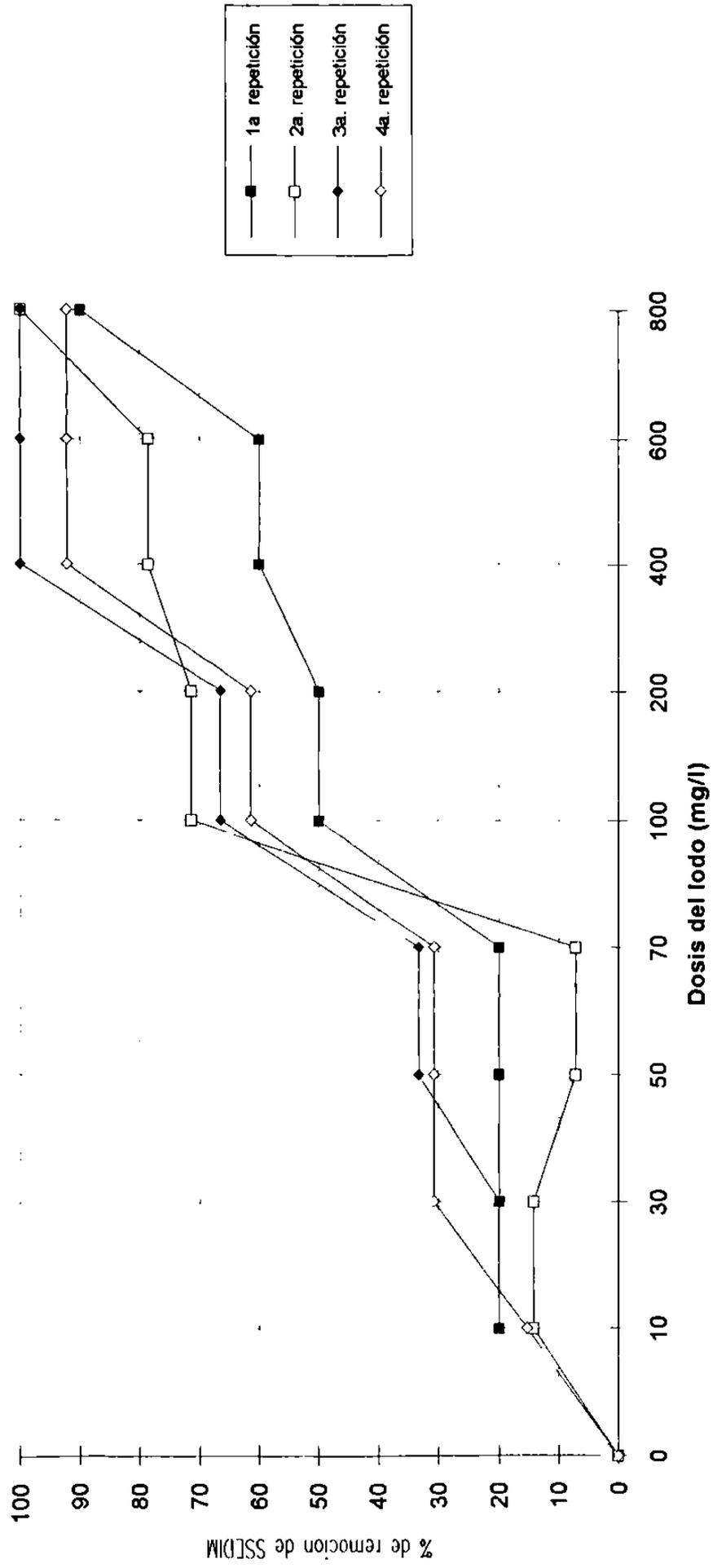
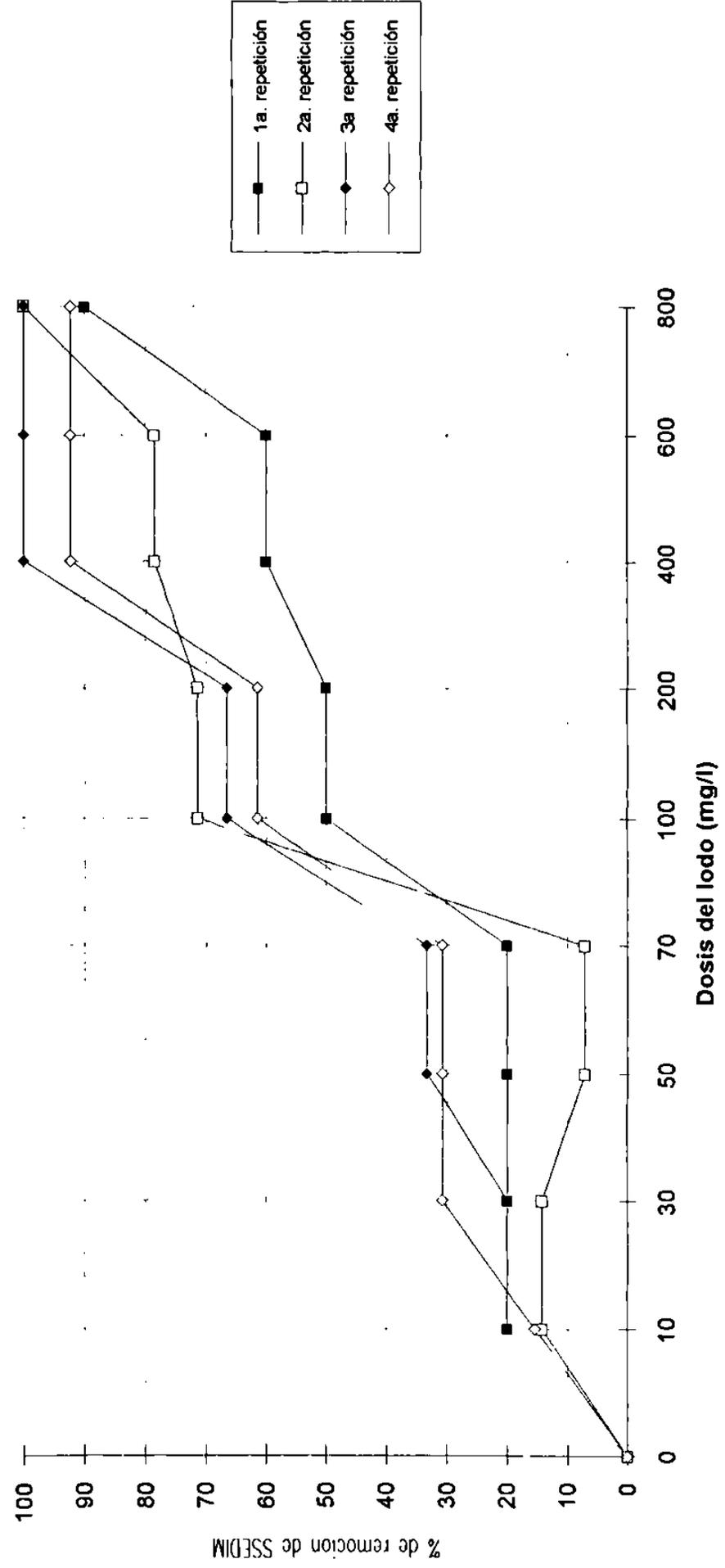


Fig. 21 . Remoción de los sólidos sedimentables (SSEDIM) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida.



## **CAPITULO VII. DISCUSIONES**

## VII. DISCUSIONES

Los influentes de la planta de tratamiento de aguas residuales negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V. utilizados durante las pruebas a nivel de laboratorio, presentaron una proporción mayor de sólidos totales fijos en comparación con los volátiles siendo el contenido de los últimos de un 10 a un 30 por ciento de los sólidos totales, lo que indica un baja carga orgánica y una concentración muy alta de materia inorgánica. Este hecho repercutió en los resultados de tal manera que no fué muy evidente la remoción de material debido a que la porción orgánica que se eliminó constituía la fracción menor del contenido del agua residual probada.

Así mismo los sólidos suspendidos fueron sólo de un 2 a 5 por ciento de los sólidos totales, presentándose una mayor proporción de sólidos disueltos, los cuales no son fácilmente eliminables mediante precipitaciones químicas, mismo que se vió reflejado en los porcentajes de remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> durante las pruebas.

Los resultados de los análisis realizados al agua tratada, es decir después de la dosificación de lodo solvay, indican que las concentraciones de sólidos totales fijos y de sólidos suspendidos fijos se vieron incrementadas debido a la adición del lodo solvay de naturaleza inorgánica. Lo anterior tuvo como consecuencia que los porcentajes de las remociones de los sólidos suspendidos totales no fueran muy altos debido al incremento en la concentración de los sólidos suspendidos fijos del efluente tratado. Sin embargo, los porcentajes de las remociones de sólidos suspendidos volátiles son significativas al dosificar de 400 ppm en adelante de lodo lavado seco y lodo líquido.

Respecto a lo anterior, es probable que el tiempo de sedimentación haya sido insuficiente y no le haya permitido sedimentar a los flocs más pequeños, lo que causó los porcentajes obtenidos de remoción de sólidos.

En la mayoría de los casos las remociones de sólidos sedimentables no fueron del 100 por ciento, pero se pudo observar una mayor clarificación de las muestras tratadas en comparación con el testigo que contenía una cantidad considerable de material en suspensión; éste hecho nos indica la actividad coagulante del lodo solvay.

Cabe señalar que el agua cruda que no se trató ni se dejó sedimentar presentaba una cantidad mayor de sólidos sedimentables del orden de 7 al 10 porciento que el agua testigo, pero con un contenido de suspendidos mayor a éste.

Mediante la prueba de Tuckey al 95 porciento de confiabilidad se determinó que existen diferencias altamente significativas entre la dosis probadas, y en base a lo anterior, determinamos que el lodo solvay presenta actividad coagulante de la materia orgánica contenida en las aguas residuales probadas, aunque para lograr una remoción significativa las dosis debieron ser mayores a 400 ppm, lo cual repercute en una producción de lodos elevada. Sin embargo, dosis semejantes o de mayor magnitud son utilizadas comúnmente y en forma continua en sistemas de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de sólidos suspendidos y fosfatos como lo reporta la Environmental Protection Agency (E.P.A.), que menciona un consumo de 250 a 586 mg/l de cal cuando se usa como único reactivo en el caso de dos plantas localizadas en Lebanon, Ohio y de Salt Lake City, Utah; o bien en combinación con  $\text{FeCl}_3$  y polímeros en las plantas Blue Plains de Washington, D.C. y de Ely, Minn.

En cuanto a las diferentes eficiencias de remoción que presentó cada presentación del lodo, pudimos observar que la forma *lavada-seca* del lodo solvay es la más recomendable, debido a que con ésta se lograron las máximas remociones de sólidos totales volátiles, sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles. Mientras que los porcentajes de las remociones de DQO y de sólidos sedimentables fueron análogos a los obtenidos al aplicar lodo líquido.

Es probable que no se hayan logrado mayores porcentajes de remoción de los parámetros indicadores debido a lo que menciona Samia Al Azharia Jahn en un estudio para la OMS (1989), en el que reporta que la aplicación de técnicas con agitación irregular o sin ninguna agitación impiden una buena coagulación del agua, aun cuando se usen coagulantes primarios de primera calidad.

Por otro lado, es bien conocido que las aguas menos turbias son más difíciles de tratar que las que presentan una turbiedad elevada, y en el caso nuestro, los efluentes

presentaron una baja turbiedad del orden de 19 a 40 ppm de SiO<sub>2</sub> (medido con un turbidímetro Hellige).

Las desviaciones stándars que se obtuvieron se debieron probablemente a dos factores que a continuación se describen:

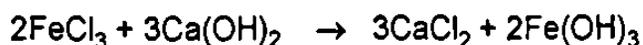
a) la velocidad de la agitación manual no puede ser regulada totalmente aún cuando se lleve a cabo con cuidado y agitando igual tiempo en cada uno.

b) Las pruebas se corrieron con efluentes provenientes de diferentes días.

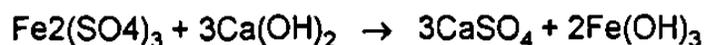
En los experimentos de laboratorio se comprobó que la agitación inicial debe efectuarse rápidamente en el momento de agregar el coagulante y que para eliminar rápidamente la materia en suspensión se requiere de una agitación lenta y regular durante la floculación.

En el presente trabajo no se probó el lodo Solvay como coadyuvante de coagulantes comerciales, como lo son el sulfato férrico y el cloruro férrico, debido a que en la serie de reacciones que se derivan de la adición del coagulante y la cal al agua residual, el objetivo que se persigue es formar Fe(OH)<sub>3</sub>, hidróxido férrico insoluble el cual forma flóculos gelatinosos y voluminosos, que son los encargados de remover la materia en suspensión. Las reacciones que se producen son las siguientes:

Cloruro férrico y cal



Sulfato férrico y cal



La cal es añadida generalmente para elevar el pH hasta el punto en el cual los iones ferrosos son precipitados como hidróxido férrico por la alcalinidad cáustica generada.

Como podemos observar, la cal proporciona los iones  $\text{OH}^-$  requeridos para formar el producto deseado,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , sin embargo, el lodo Solvay aporta en mayor proporción  $\text{CaCO}_3$ , los cuales no servirían para dicho fin.

Sin embargo, el lodo solvay puede llegar a ser un buen sustituto de la cal en los sistemas de tratamiento de aguas residuales como agente coagulante de materia orgánica, debido que el carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ , cuando se usa como auxiliar de la coagulación puede proveer un núcleo alrededor del cual los flocs pueden formarse. Aunado a esto, el contenido de hidróxido de calcio y de magnesio, 11.09 por ciento y 7.82 por ciento respectivamente, no sólo aportan iones  $\text{OH}^-$  al agua, sino que por sí solo el  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  remueve el color o la turbiedad.

Aunado a lo anterior, el  $\text{CaCO}_3$  contenido en el lodo solvay puede convertirse por calcinación en  $\text{CaO}$  y  $\text{CO}_2$ , con lo que puede convertirse en cal y utilizarse en el tratamiento de aguas.

Por último, los resultados de la aplicación de los lodos solvay en la planta de tratamiento de aguas residuales negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V. indican que se reprodujeron en ella los resultados obtenidos en el laboratorio; lo que a su vez nos confirma que la agitación manual utilizada durante las pruebas logra simular muy de cerca a las condiciones de mezclado presentes en el tanque Imhoff, donde actualmente se dosifican y mezclan los productos químicos para la coagulación-floculación.

## **CAPITULO VIII. CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES:

En base a los resultados obtenidos podemos concluir lo siguiente:

a) Las series de experimentos realizados nos indican que es factible la utilización del lodo Solvay como agente coagulante de la materia orgánica contenida en las aguas residuales de Industria del Alkali, S.A. de C.V. Lo anterior fué confirmado en una serie de pruebas realizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales negras de dicha empresa, en donde se reprodujeron los resultados obtenidos en el laboratorio.

b) La dosis recomendable para los influentes de la planta de tratamiento de aguas negras de Industria del Alkali, S.A. de C.V. es de 400 ppm, con la cual se lograron niveles significativos de remoción de demanda química de oxígeno 30.25 por ciento en promedio, sólidos totales volátiles 41.8 por ciento, sólidos sedimentables 82.6 por ciento, sólidos suspendidos totales 37.95 por ciento y volátiles 37.3 por ciento.

c) La presentación del iodo en forma lavada-seca es la más eficaz en cuanto a actividad coagulante.

d) El costo del lodo lavado es competitivo frente al costo de la cal comercial

e) Para una máxima economía en el uso de coagulantes, las irregularidades en la mezcla son tan perjudiciales como las irregularidades al agregar el reactivo, no debiendo prolongarse la mezcla rápida por más de 3 minutos. En la segunda fase de formación de partículas, es necesario distribuir uniformemente el gradiente de velocidad en todo el volumen de agua agitada - lo cual se consigue con movimientos regulares lentos -, para que las micropartículas se aglomeren en macropartículas y formen un flóculo que se asiente rápidamente. Por consiguiente, el gradiente de velocidad no debe exceder de un límite crítico, de lo contrario las macropartículas se escindirán.

## APENDICES

**APENDICE A.  
ANALISIS ESTADISTICOS**

1. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de la DQO al adicionar el lodo solvay en forma lavada-seca por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
600	30.75	A
400	30.25	A
800	29.87	A
70	20.15	B
50	18.50	B
200	17.75	B
100	17.47	B
30	16.25	B
10	1.25	C

2. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de la DQO al adicionar el lodo solvay en forma lavada líquida por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	33.82	A
400	30.12	B
600	27.65	B
100	17.85	C
200	16.52	C
50	0.05	D
70	0.0	D
30	0.0	D
10	0.0	D

3. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de la DBO5 al adicionar el lodo solvay en forma lavada-seca por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	17.95	A
600	17.06	A
400	16.72	A
200	12.27	A
70	8.00	A
50	7.97	A
100	7.27	A
30	5.10	A
10	0.30	A

4. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de la DBO5 al adicionar el lodo solvay en forma líquida por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	22.52	A
400	18.82	AB
600	17.77	B
100	8.65	C
200	8.50	C
50	0.70	D
30	0.30	D
70	0.00	D
10	0.00	D

5. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de los STV al adicionar el lodo solvay en forma lavada-seca por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	47.52	A
600	44.12	A
400	41.87	A
70	23.25	B
200	19.57	B
50	19.07	B
100	17.92	BC
30	17.85	BC
10	4.85	C

6. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de los STV al adicionar el lodo solvay en forma líquida por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	38.75	A
400	33.60	A
600	32.05	AB
200	23.65	B
100	23.57	B
70	2.00	C
50	1.77	C
10	0.30	C
30	0.00	C

7. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de la SST al adicionar el lodo solvay en forma lavada-seca por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	41.72	A
600	39.43	A
400	37.95	A
70	11.71	B
200	9.85	B
50	7.57	B
30	7.05	B
100	6.91	B
10	2.32	B

8. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de la SST al adicionar el lodo solvay en forma líquida por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	22.82	A
400	15.77	AB
600	15.62	AB
100	10.92	B
200	10.42	B
50	2.17	C
70	1.61	C
30	0.45	C
10	0.00	C

9.- Comparación de medias de los porcentajes de remoción de la SSV al adicionar el lodo solvay en forma lavada-seca por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	41.58	A
600	39.32	A
400	37.32	A
200	20.32	B
70	16.10	BC
50	15.30	BC
100	14.75	BC
30	13.92	BC
10	3.62	C

10. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de la SSV al adicionar el lodo solvay en forma líquida por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	32.29	A
400	26.67	AB
600	25.42	AB
100	19.00	B
200	18.05	B
70	3.77	C
50	3.27	C
30	0.58	C
10	0.45	C

11. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de los SSEDIM al adicionar el lodo solvay en forma lavada-seca por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	94.42	A
600	94.42	A
400	82.59	A
200	43.94	B
100	37.15	B
70	39.92	B
50	34.65	B
30	32.34	BC
10	5.05	C

12. Comparación de medias de los porcentajes de remoción de los SSEDIM al adicionar el lodo solvay en forma líquida por el método de Tuckey al 95% de confiabilidad.

DOSIS (mg/l)	MEDIAS DE LOS % DE REMOCION DE DQO	NIVEL
800	95.57	A
600	82.72	AB
400	82.72	AB
200	62.37	B
100	62.37	B
70	22.80	C
50	22.80	C
30	21.26	C
10	17.42	C

**APENDICE B.  
NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DE  
AGUAS RESIDUALES.**

**B.1. NOM-AA-28-1981, DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE  
OXIGENO**

***a) Obtención de la muestra***

Llenar una botella de vidrio o de plástico con la muestra de agua, llenando el recipiente hasta el tope y tratando de no introducir aire al interior del mismo. Se tapa y se cierra herméticamente, trasladándose lo más pronto posible al laboratorio bajo condiciones de refrigeración. La muestra debe ser del mismo día. Si el análisis se realiza dentro de las 2 horas siguientes a la toma de la muestra de agua no es necesario refrigerarse; si no se realiza después de 2 h, debe mantenerse a una temperatura 4°C, de esta forma el análisis puede realizarse dentro de las 6 h después del muestreo.

***b) Preparación de la solución de glucosa***

Se seca una cantidad pequeña de la glucosa y el ácido glutámico (ambas de grado reactivo), a 103°C por una hora y se pesan 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico, mezclándose ambos compuestos en un litro de agua destilada. Esta solución debe usarse inmediatamente.

***c) Preparación del agua de dilución***

Por cada litro de agua destilada se le agrega 1 ml de buffer de fosfato, 1 ml de sulfato de magnesio, 1 ml de cloruro de calcio, 1 ml de cloruro de fierro y 10 ml de inóculo. Antes de usar el agua de dilución se aerea por medio de agitación vigorosa o introduciendo aire filtrado.

Las soluciones añadidas al agua de dilución se preparan de la siguiente forma:

\* Buffer de fosfato. Disolver 8.5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 21.75 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 33.4 g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y 1.7 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en 500 ml de agua destilada y aforar a un litro. El pH debe ser de 7.2 sin ajuste alguno.

\* Solución de sulfato de magnesio. Disolver 22.5 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y aforar a un litro.

\* Solución de cloruro de calcio. Disolver 27.5 g de  $\text{CaCl}_2$  en agua destilada y aforar a un litro.

\* Solución de cloruro de hierro. Disolver 0.23 g de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y aforar a un litro.

#### ***d) Reactivos utilizados***

Sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ )

Cloruro de hierro hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

Fluoruro de potasio ( $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

Acido sulfúrico conc. ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

Tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

Glucosa

Acido glutámico

#### ***e) Instrumentación***

Frascos para DBO con 300 ml de capacidad

Incubadora con una temperatura de 20°C

Pipetas de 1 ml de capacidad

Pipetas de 5 ml de capacidad

Pipetas de 10 ml de capacidad

Bureta de 100 ml de capacidad

Matraces Erlenmeyer de 500 ml de capacidad

Bomba

Probeta de 300 ml de capacidad

### **f) Procedimiento.**

1.- Preparar un litro de agua de dilución (P): Añadiendo 1 ml de buffer de fosfato, 1 ml de sulfato de magnesio, 1 ml de cloruro de calcio y 1 ml de cloruro de hierro. Se agita vigorosamente el agua o se aerea introduciendo aire filtrado.

Si se desea se puede agregar un 2 % de la solución de glucosa-ácido glutámico al agua de dilución que se prepare.

2.- Con el agua de dilución preparada se diluye la muestra de agua problema; la dilución dependerá de la procedencia de la muestra :

- Diluir de 0.1 a 1.0 % para aguas de desechos industriales concentrados;
- De 1 a 5 % para aguas residuales domésticas;
- De 5 a 25 % para efluentes tratados biológicamente;
- De 25 a 100 % para aguas de ríos contaminados.

3.- Dividir la muestra diluida en 3 botellas de DBO las cuales deben llenarse hasta el cuello de la botella evitando la formación de burbujas.

4.- En una de las tres botellas, determinar oxígeno disuelto, mediante el método volumétrico.

5.- Inocular con 10 ml del cultivo semilla a cada una de las botellas.

6.- Incubar a 20°C durante 5 días las otras dos botellas, junto con un control que contenga agua de dilución.

7.- Tomar precauciones para que el sello hidráulico permanezca durante el período de incubación.

8.- Determinar el oxígeno disuelto, al quinto día, mediante el método volumétrico.

**g) Cálculos.**

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg/l)} = \frac{(\text{D1-D2}) - (\text{B1-B2}) f}{P}$$

donde:

D1= El oxígeno disuelto de la muestra diluída inmediatamente después de la preparación (en mg/l)

D2= El oxígeno disuelto de la muestra diluída después de incubar los 5 días a 20°C (en mg/l)

P= Fracción volumétrica decimal de la muestra usada

B1= El oxígeno disuelto del control inoculado antes de la incubación (en mg/l)

B2= El oxígeno disuelto del control inoculado después de la incubación (en mg/l)

f= La relación de la cantidad del cultivo semilla inoculado en la muestra entre la cantidad del cultivo semilla inoculado en el control.

## **B.2. NOM-AA-30-1981, DETERMINACION DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO**

### **a) Obtención de la muestra**

Los frascos muestreadores deben ser de preferencia de vidrio. Si la muestra no se va a analizar inmediatamente, se debe preservar añadiendo ácido sulfúrico concentrado hasta acidificar a un pH 2. Homogenice en caso de presentarse sólidos sedimentables y en caso de que contengan una alta carga orgánica, diluir.

### **b) Reactivos usados**

Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ )

Sulfato de plata ( $AgSO_4$ )

Indicador de 1,10 fenantrolina

Sulfato mercurico ( $HgSO_4$ )

Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado [ $Fe(NH_4)_3(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ]

Sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )

Agua destilada

### **c) Instrumentos y equipo**

Platos eléctricos de calentamiento

Matraces de destilación de 250 ml de capacidad con condensador de reflujo tipo Friedrichs

Bureta de 100 ml de capacidad

Pipetas volumétricas de 20 ml de capacidad

Probeta de 50 ml de capacidad

Embudo de vidrio

Estufa

#### **d) Procedimiento**

- 1.- Vierta una muestra de 50 ml del agua en un matraz de destilación de 500 ml.
- 2.- Agregue una cantidad adecuada de  $\text{HgSO}_4$  (para eliminar las interferencias de cloruros) y 25 ml de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0.25 N.
- 3.- Introduzca perlas de vidrio para el control de la ebullición.
- 4.- Coloque el matraz en el aparato de reflujo y haga circular el agua de enfriamiento.
- 5.- Adicione 75 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (con catalizador de sulfato de plata) por la abertura del condensador con ayuda del embudo de vidrio.
- 6.- Antes de quitar el embudo agregue 20 ml de agua destilada con objeto de lavar el condensador.
- 7.- Conecte la parrilla de calentamiento y deje reflujo durante 2 hrs.
- 8.- Retire el matraz y enfríe con baño de agua hasta temperatura ambiente.
- 9.- Agregue 8 gotas del indicador ferroín y titule el exceso de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  con sulfato ferroso amoniacal 0.025 N. El punto final de la reacción se obtiene cuando el indicador se torna café. La secuencia de colores en el matraz será: anaranjado - verde - Azul - café.
- 10.- De igual forma se corre una muestra de control de agua destilada.

#### **e) Cálculos**

$$\text{DQO (mg/l)} = \frac{(V1 - V2) \times N \times a}{V} \times 1000$$

donde:

V1= Volumen de la solución de sulfato ferroso amoniacal requerido en la titulación del testigo, en ml.

V2= Volumen de la solución de sulfato ferroso amoniacal requerido en la titulación de la muestra, en ml.

V = Volumen de la muestra, en ml.

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal.

a = Equivalente del oxígeno.

### ***B.3. NOM-AA-12-1980, DETERMINACION DEL OXIGENO DISUELTO.***

#### ***a) Obtención de la muestra.***

El frasco muestreador debe ser de preferencia de vidrio; debe llenarse hasta el cuello la botella muestreadora con el agua, removiendo las burbujas de aire. Las aguas superficiales se muestrean con frascos para DBO, sumergiéndolos a contracorriente. Al transportar la muestra hasta el laboratorio, esta debe mantenerse en refrigeración y sin agitar, para evitar que se introduzca aire a la muestra.

**b) Reactivos usados**

Sulfato de magnesio heptahidratado ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ )

Hidróxido de sodio (NaOH)

Yoduro de sodio (NaI)

Nitruro de sodio ( $NaN_3$ ) azida

Acido sulfúrico conc. ( $H_2SO_4$ )

Tiosulfato de sodio ( $Na_2S_2O_3$ )

Almidón

**c) Instrumentación**

Refrigerador

Frascos para DBO

Bomba

Matraces Erlenmeyer de 500 ml de capacidad

Pipetas de 10 ml de capacidad

Buretas de 100 ml de capacidad

Probeta de 300 ml de capacidad

**d) Procedimiento.**

1.- Llenar hasta el cuello la botella muestradora con el agua, removiendo las burbujas de aire.

2.- Agregue 2 ml de solución de sulfato de magnesio y 2 ml de reactivo yoduro alcalino de azida, hasta abajo de la superficie del líquido.

3.- Tape con cuidado la botella, tratando de no formar burbujas de aire y mezcle invirtiendo la botella por lo menos 15 veces. Cuando el precipitado se asiente, agite otra vez.

4.- Al precipitarse por segunda vez ocupando por lo menos 2/3 de la botella, agregue 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado por el cuello de la botella para que corra por las paredes.

5.- Tape y mezcle invirtiendo suavemente hasta que se disuelva completamente.

6.- Extraiga una muestra de 200 ml y transfírala a un matraz Erlenmeyer

7.- Titule con tiosulfato de sodio usando como indicador 2 ml de almidón. El cambio de color es de azul a incoloro.

**e) Cálculos.**

$$OD \text{ (mg/l)} = \frac{a \times N \times 8000}{b}$$

donde:

a= Volumen del tiosulfato 0.025 N gastado, en ml

N= Normalidad del tiosulfato de sodio 0.025 N

b= Volumen de la muestra usada

## **B.4. NOM-AA-34-1981, DETERMINACION DE LOS SOLIDOS TOTALES.**

### SOLIDOS TOTALES

#### **a) Obtención de la muestra.**

Los frascos para el muestreo deben ser de plástico o de vidrio resistente, liso para que el material no se adhiera en las paredes. Si no se puede realizar el análisis inmediatamente, debe refrigerarse y mantenerse a 4°C aprox. para que la actividad microbiana se reduzca.

#### **b) Procedimiento.**

- 1.- Colocar el crisol en la estufa a 103-105°C hasta obtener un peso constante de este crisol (Tararlo)
- 2.- Colocar un volúmen conocido de muestra en el crisol tarado, e introducirlo a la estufa a 103-105°C, evaporando la muestra hasta sequedad
- 3.- Sacar el crisol con la muestra ya evaporada y colocarlo en un desecador hasta enfriarlo a la temperatura ambiente y pesarlo.

#### **c) Cálculos.**

$$\text{Sólidos totales (mg/l)} = \frac{(A-B) (1000)}{\text{ml de muestra}}$$

donde:

A= Peso del crisol más residuo después de la estufa en mg

B= Peso del crisol en mg

## SOLIDOS TOTALES FIJOS Y VOLATILES

### **a) Obtención de la muestra**

Los frascos para el muestreo deben ser de plástico o de vidrio resistente, liso para que el material no se adhiera en las paredes. Si no se puede realizar el análisis inmediatamente, debe refrigerarse y mantenerse a 4°C aprox. para que la actividad microbiana se reduzca.

### **b) Procedimiento**

- 1.- Colocar el crisol en la estufa a 103-105°C hasta obtener un peso constante de este crisol (Tararlo).
- 2.- Colocar un volumen conocido de muestra en el crisol tarado, e introducirlo a la estufa a 103-105°C, evaporando la muestra hasta la sequedad total.
- 3.- Sacar el crisol con la muestra ya evaporada y colocarlo en un desecador hasta enfriarlo a temperatura ambiente y pesarlo.
- 4.- Colocar el crisol con la muestra en la mufla de 15 a 20 mins a 550 ± 50°C
- 5.- Pasar el crisol al desecador (no cerrar el desecador cuando el crisol esté muy caliente)

porque se puede sellar el desecador) cuando esté menos caliente el crisol, cerrarlo y dejar enfriar hasta la temperatura ambiente y luego pesar.

**c) Cálculos.**

$$\text{Sólidos totales fijos (mg/l)} = \frac{(B-C) (1000)}{\text{ml de muestra}}$$

$$\text{Sólidos totales volátiles (mg/l)} = \frac{(A-B)(1000)}{\text{ml de muestra}}$$

donde:

A= Peso del crisol más el residuo antes de la mufla en mg

B= Peso del crisol más el residuo después de la mufla en mg

C= Peso del crisol a peso constante en mg

**SOLIDOS SUSPENDIDOS SECADOS A 103-105°C**

**a) Obtención de la muestra**

Los frascos para el muestreo deben ser de plástico o de vidrio resistente, liso para que

el material no se adhiera en las paredes. Si no se puede realizar el análisis inmediatamente, debe refrigerarse y mantenerse a 4°C aprox. para que la actividad microbiana se reduzca.

**b) Procedimiento**

- 1.- Colocar un filtro de vidrio en el aparato de filtración, aplicar vacío y se lava el filtro con 3 porciones de agua destilada, se mantiene el vacío hasta que pase toda el agua.
- 2.- Colocar el filtro en una cápsula de aluminio en la estufa a 103-105°C hasta obtener peso constante, es decir hasta tararlo.
- 3.- Poner el filtro de peso constante (tarado) en el aparato de filtración, aplicar vacío, filtrar un volúmen determinado de muestra y dejar pasar toda el agua.
- 4.- Secar el filtro en la estufa por una hora a 103-105°C
- 5.- Enfriar en el desecador y pesarlo.

**c) Cálculos.**

$$\text{Sólidos suspendidos totales (mg/l)} = \frac{(A-B) (1000)}{\text{ml de muestra}}$$

donde:

A= Peso del filtro más muestra después de la estufa en mg

B= Peso del filtro en mg

## SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS Y VOLATILES

### **a) Obtención de la muestra**

Los frascos para el muestreo deben ser de plástico o de vidrio resistente, liso para que el material no se adhiera en las paredes. Si no se puede realizar el análisis inmediatamente, debe refrigerarse y mantenerse a 4°C aprox. para que la actividad microbiana se reduzca.

### **b) Procedimiento**

- 1.- Colocar un filtro de vidrio en el aparato de filtración, aplicar vacío y se lava el filtro con 3 porciones de agua destilada, se mantiene el vacío hasta que pase toda el agua.
- 2.- Colocar el filtro en una cápsula de aluminio en la estufa a 103-105°C hasta obtener peso constante, es decir hasta tararlo.
- 3.- Poner el filtro de peso constante (tarado) en el aparato de filtración, aplicar vacío, filtrar un volumen determinado de muestra y dejar pasar toda el agua.
- 4.- Secar el filtro en la estufa por una hora a 103-105°C
- 5.- Enfriar en el desecador y pesarlo (Serán los sólidos suspendidos totales).
- 6.- Introducir de nuevo el filtro con la muestra en la mufla a  $550 \pm 50^\circ\text{C}$  de 15 a 20 min
- 7.- Sacar el filtro, meterlo al desecador y pesarlo.

### **c) Cálculos.**

$$\text{Sólidos suspendidos fijos (mg/l)} = \frac{(B-C) (1000)}{\text{ml de muestra}}$$

$$\text{Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)} = \frac{(A-B) (1000)}{\text{ml de muestra}}$$

donde:

A= Peso del filtro más muestra antes de la mufla en mg

B= Peso del filtro más muestra después de la mufla en mg

C= Peso del filtro en mg

### ***c) Material e instrumentación***

Crisoles de porcelana de 100 ml de capacidad

Mufla que trabaje con  $550^{\circ} \pm 50^{\circ}\text{C}$

Desecador

Horno desecador que trabaje de  $103-105^{\circ}\text{C}$

Balanza analítica con una sensibilidad de 0.1 mg

Fibra de vidrio

Matraz Kitasato de 1 litro con tapa hermética

Bomba de vacío

Embudo Buchner de 11 cm. de diámetro.

Pipetas de 10 ml de capacidad

## **B.5. NOM-AA-04-1977, DETERMINACION DE LOS SOLIDOS SEDIMENTABLES**

### **a) Obtención de la muestra**

Los frascos para el muestreo deben ser de plástico o de vidrio resistente, liso para que el material no se adhiera en las paredes. Si no se puede realizar el análisis inmediatamente, debe refrigerarse y mantenerse a 4°C aprox. para que la actividad microbiana se reduzca.

### **b) Instrumentación.**

Embudo Buchner de 11 cm. de diámetro.

Agitadores de vidrio

Conos Imhoff

### **c) Procedimiento (Determinación volumétrica).**

- 1.- Agite la muestra vigorosamente, y coloque un litro de muestra en un cono Imhoff, dejando reposar por 45 min sin mover para que sedimente
- 2.- Frote las paredes del cono con un agitador de vidrio sin mover el cono, reposando otros 15 min
- 3.- Anotar el volumen de sólidos del cono
- 4.- Reporte directamente los ml/l
- 5.- En caso de que se presente materia flotante, no considerarlo como materia sedimentable.

## **B.6. NOM-AA-05-1980, DETERMINACION DE GRASAS Y ACEITES POR EL METODO SOXHLET.**

### **a) Obtención de la muestra.**

El muestreo se hace con frascos de vidrio de boca ancha, de un litro de capacidad, es conveniente llenar bien el frasco. En caso de grasas y aceites flotantes, la muestra se toma únicamente de la película superficial del agua. En caso de aceites emulsionados, la muestra se toma de 20 a 30 cm de profundidad, cuando no haya mucha turbulencia para asegura una mayor representatividad. Mantener preservada la muestra a un pH de 2 ó menor con la adición de 5 ml de HCl concentrado y en refrigeración a 4°C; se recomienda no almacenarla más de 24 hrs.

### **b) Material y Reactivos.**

Hexano

HCl concentrado

Tierras de diatomeas-sílice

Cartuchos de extracción (thimbles)

Discos de papel filtro de poro medio y de 11 cm de diámetro

Discos de tela de muselina de 11 cm de diámetro

### **c) Aparatos y equipo.**

Aparato de extracción Soxhlet

Placas de calentamiento con control de temperatura

Bomba de vacío

Estufa eléctrica, capaz de mantener 103°C.

Balanza analítica con precisión de 0.1 mg

Embudo buchner de 12 cm de diámetro.

**d) Procedimiento.**

1.- Se toma un litro de muestra de agua, se acidifica con ácido clorhídrico para obtener un pH menor de 2. (por lo general son suficientes 3 ml).

2.- Preparar el material filtrante: Se coloca en un embudo buchner un filtro de tela de muselina, arriba de éste se coloca un papel filtro Whatman No. 40, se humedecen y se aplica vacío, se agrega una suspensión de diatomeas, luego se lava el material filtrante con 1 litro de agua destilada, aplicando vacío hasta que no escurra agua por el filtro.

3.- Se filtra la muestra acidulada a través del filtro preparado. Se sigue aplicando vacío hasta que no escurra más agua del filtro.

4.- Por medio de unas pinzas se pasa el filtro de tela y el papel filtro a un vidrio de reloj. Se limpian los lados y el fondo del envase de la muestra, lo mismo que el embudo buchner, con pedazos de papel filtro. Estos pedazos de papel filtro se agregan al material que se puso en el vidrio del reloj. Se enrolla el papel filtro con los pedazos de papel filtro utilizados en la limpieza, hasta que se puedan introducir en un dedal para extracción, al que se vierten todas las partículas que han quedado en el vidrio de reloj.

5.- Se seca el cartucho con el papel filtro en la estufa a 103°C por 30 mins. Se pesa el matraz de extracción y empleando 170 ml de hexano como disolvente, se extrae la grasa en un aparato Soxhlet por espacio de 4 horas.

6.- Se destila el solvente del matraz extractor, por calentamiento. Se seca el matraz a 103°C durante 15 mins.

7.- Se enfría en un desecador por 30 mins. y se pesa.

**e) Cálculos.**

$$\text{Grasa total mg/l} = \frac{(A - B)}{\text{ml de muestra}} \times 1000$$

donde:

B= peso del matraz antes de la extracción, transformar a mg

A= peso del matraz después de la extracción, transformar a mg

### **B. 7. NOM-AA-07-1980, DETERMINACION DE LA TEMPERATURA EN AGUAS.**

#### **a) Aparatos.**

Un instrumento medidor de temperatura que cumpla con la NOM-CH-5 que indica las especificaciones técnicas de los termómetros industriales de vidrio.

#### **b) Procedimiento.**

Determinar la temperatura de la muestra extraída según lo indicado en la NOM-AA-03-1980 (Aguas residuales-Muestreo), y por inmersión directa del instrumento medidor de temperatura, esperar el tiempo suficiente para obtener mediciones constantes.

**B.8. NOM-AA-08-1980, DETERMINACION DEL pH EN AGUAS.**

**a) Reactivos y Aparatos.**

Solución calibradora de pH.

Instrumento medidor de pH.

Agua destilada.

**b) Procedimiento.**

1. Enjuagar los electrodos con agua destilada
2. Tomar la temperatura de la muestra y ajustar la temperatura en el medidor de pH.
3. Calibrar el aparato con una solución de pH conocido.
4. Comprobar si el aparato está calibrado utilizando otra solución de pH conocido.
5. Efectuar la medición del pH de la muestra.
6. Apagar el aparato.
7. Enjuagar los electrodos con agua destilada y mantenerlos dentro de agua destilada mientras no se estén utilizando.

## APENDICE C

### LISTA DE FIGURAS

Núm.	Título
1	Técnicas generales de control de desechos.
2	Diagrama de flujo de la fabricación de MgO grado refractario y grado cáustico.
3	Diagrama de flujo de la metodología experimental.
4	Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-seca.
5	Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO <sub>5</sub> ) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-seca.
6	Remoción de los sólidos totales volátiles (STV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-seca.
7	Remoción de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-seca.
8	Remoción de los sólidos sedimentables (SSEDIM) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-seca.
9	Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-húmeda
10	Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO <sub>5</sub> ) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-húmeda.

<b>Núm.</b>	<b>Título</b>
12	Remoción de los sólidos totales volátiles (STV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-húmeda.
13	Remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-húmeda.
14	Remoción de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-húmeda.
15	Remoción de los sólidos sedimentables (SSEDIM) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-húmeda.
16	Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida.
17	Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO <sub>5</sub> ) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida.
18	Remoción de los sólidos totales volátiles (STV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida.
19	Remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) como resultado de la adición del lodo solvay en forma lavada-líquida.
20	Remoción de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida.
21	Remoción de los sólidos sedimentables (SSEDIM) como resultado de la adición del lodo solvay en forma líquida

**APENDICE D**  
**LISTA DE TABLAS**

<b>No.</b>	<b>Título</b>
1	Composición química del lodo solvay.
2	Dosis probadas del lodo solvay en el presente estudio.
3	Descripción de las corridas experimentales preeliminarias a nivel de la planta de tratamiento de aguas residuales negras de Ind. del Alkali, S.A. de C.V.
4	Resultados de los análisis realizados a los parámetros indicadores al dosificar lodo solvay en forma lavada-seca.
5	Resultados de los análisis realizados a los parámetros indicadores al dosificar lodo solvay en forma lavada-húmeda.
6	Resultados de los análisis realizados a los parámetros indicadores al dosificar lodo solvay en forma líquida.
7	Remoción de grasas y aceites al adicionar lodo solvay en forma lavada-húmeda.
8	Resultados de la remoción de la demanda química de oxígeno a nivel de planta de tratamiento de aguas residuales de Ind. del Alkali, S.A. de C.V.

STV	Sólidos totales volátiles, mg/l
SST	Sólidos suspendidos totales, mg/l
SSF	Sólidos suspendidos fijos, mg/l
SSV	Sólidos suspendidos volátiles, mg/l
SSEDIM	Sólidos sedimentables, ml/l
TMSA	Tonelada métrica de soda ash

## **RESUMEN AUTOBIOGRAFICO**

## **RESUMEN AUTOBIOGRAFICO**

**DINORAH GEORGINA PEÑA WING**

Química Bacterióloga Parasitóloga

Candidata para el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS** con

Especialidad en *Ingeniería Ambiental*

### **Tesis:**

**APROVECHAMIENTO DE UN RESIDUO SOLIDO NO PELIGROSO  
GENERADO EN EL PROCESO SOLVAY.**

### **Biografía:**

***Datos Personales:*** Nacida en Minatitlán, Veracruz el 26 de octubre de 1970, hija de Jorge Peña Ordaz y María Teresa Wing de Peña.

***Educación:*** Química Bacterióloga Parasitóloga, egresada de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en 1992.

### **Presentaciones en Congresos:**

- \* Congreso: XXIV Congreso Nacional de Microbiología  
Trabajo: "Optimización de las condiciones operacionales de un proceso de fermentación de *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* a nivel de planta semipiloto".  
Fecha: 25 de mayo de 1993.  
Lugar: Guadalajara, Jalisco.
  
- \* Congreso: XVI Congreso Nacional de Control Biológico  
Trabajo: "Producción de *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* (GM-10), a nivel de planta semipiloto: la optimización y sus efectos".  
Fecha: 7 de octubre de 1993.  
Lugar: Monterrey, N.L.

### **Reconocimientos:**

- \* Evento: "XIII Juegos Culturales para la Niñez"  
Organizador: DIF y Comité Municipal de Poza Rica, Ver.  
Lugar obtenido: 3er. lugar en pintura  
Fecha: 21 de marzo de 1980.
  
- \* Reconocimiento por destacado aprovechamiento académico a nivel Licenciatura al obtener el 4o. Lugar de la carrera de Quím. Bacteriólogo Parasitólogo, Fac. de Ciencias Biológicas, U.A.N.L.  
Obtenido en el semestre: 3º  
Fecha: Enero de 1989 a julio de 1989
  
- \* Reconocimiento por destacado aprovechamiento académico a nivel Licenciatura al obtener el 3er. Lugar de la carrera de Quím.

Bacteriólogo Parasitólogo, Fac. de Ciencias Biológicas, U.A.N.L.

Obtenido en el semestre: 5°

Fecha: Enero de 1990 a julio de 1990

\* Reconocimiento por destacado aprovechamiento académico a nivel

Licenciatura al obtener el 1er. Lugar de la carrera de Quím.

Bacteriólogo Parasitólogo, Fac. de Ciencias Biológicas, U.A.N.L.

Obtenido en el semestre: 9°

Fecha: Enero de 1992 a julio de 1992.

\* Evento: "Certamen Estatal de Ciencia y Tecnología"

Organizador: Secretaría de Desarrollo Social, INJUDE, Gob. del Edo. de N.L.

Lugar obtenido: 1er. lugar en el Area de Ecología

Título del trabajo: "Optimización del proceso de producción de un  
bioinsecticida a base de *Bacillus thuringiensis* var.  
*aizawai* a nivel planta semipiloto".

Celebrado en: Monterrey, N.L.

Fecha: Noviembre 6 de 1992.

\* Evento: "Premio a la Mejor Tesis de Licenciatura"

Organizador: Universidad Autónoma de Nuevo León

Lugar obtenido: Mejor Tesis de Licenciatura presentada en el período Agosto  
1992 - Julio 1993 en el Area de Ingeniería y Tecnología.

Título del trabajo: "Optimización de las condiciones operacionales de un  
proceso de fermentación de *Bacillus thuringiensis* var.  
*aizawai* a nivel planta semipiloto".

Celebrado en: Monterrey, N.L.

Fecha: Diciembre 10 de 1993.

### ***Experiencia profesional:***

Laboro como Ingeniero de Proyectos en la empresa Tecnosser, S.A. de C.V.  
desde enero de 1995, cuyo domicilio es Teotihuacan 303, col. Mitras Centro,  
Monterrey, N.L.

## BIBLIOGRAFIA

**BIBLIOGRAFIA:**

1. Al Azhamia Samia. Uso apropiado de coagulantes naturales para el abastecimiento de agua en el medio rural. CEPIS/OPS/OMS. Perú. pp: 61-129. (1989).
2. American Water Works Association, Inc. Water Quality and treatment. USA. pp: 66-75, 534. (1971).
3. Arboleda Valencia Jorge. Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS. Lima, Perú. 2a. reimpresión. pp: 158. (1981).
4. Degrémont. Manual técnico del agua. 4a edición en español. España. pp: 135-147. (1979).
- 5.- Diario Oficial de la Federación. 15 de septiembre de 1977. pp: 3-4. México.
- 6.- Diario Oficial de la Federación. 25 de marzo de 1980. México. pp: 5-6. México.
- 7.- Diario Oficial de la Federación. 15 de julio de 1980. México.
- 8.- Diario Oficial de la Federación. 23 de julio de 1980. pp: 9-10. México.
- 9.- Diario Oficial de la Federación. 8 de agosto de 1980. pp: 37-39. México.
- 10.- Diario Oficial de la Federación. 5 de septiembre de 1980. pp: 5-6. México.
- 11.- Diario Oficial de la Federación. 17 de septiembre de 1980. pp: 20-21. México.
- 12.- Diario Oficial de la Federación. 27 de abril de 1981. pp: 39-41. México.
- 13.- Diario Oficial de la Federación. 3 de julio de 1981. pp: 12-14. México.
- 14.- Diario Oficial de la Federación. 6 de julio de 1981. pp: 22-25. México.

15. Hazen and Sawyer. Process design manual for suspended solids removal. Environmental Protection Agency. Technology transfer. USA. (1975). Capítulo 4.
16. Frank Kemmer, John McCallion. Manual del Agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Nalco Chemical company. Ed McGraw-Hill. México D.F. 8-1, 8-9. (1982).
- 17.- Gordon Maskew Fair y John Charles Geyer. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. 3a edición. Ed Limusa. pp: 205, 276, 491-495. (1979).
- 18.- Huerta G. Omar. Comunicación personal. Julio 1993.
- 19.- Metcalf Eddy. Tratamiento, evacuación y reutilización de las aguas residuales. Ed Labor. España. pp: 83-84, 252-261, 284-287, 483. (1977).
- 20.- Nemerow L. Nelson. Liquid waste of industry, theories, practices and treatment. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA. pp: 78-95. (1971).
21. Segoviano Mendoza Miguel. Aprovechamiento de los lodos de desecho del proceso solvay. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). 1994.
- 22.- Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association: American Water Works Association. Water pollution Control Federation. 15e edición. Washington, D.C. 1981. pp: 2-69, 5-45.

