



1. INTRODUCCION

Se entiende por residuos, aquellos materiales o productos que quedan inservibles tras realizar una determinada operación. Un laboratorio de química genera muchos y muy variados residuos químicos. No se conoce un método universal para tratar dichos residuos, no obstante pueden diseñarse estrategias las cuales aplican los principios de la química y el sentido común.

Para unas buenas condiciones de trabajo en el laboratorio debe incluirse en la organización del mismo un programa o plan de gestión de residuos que permita una adecuada protección de la salud y del medio ambiente. No debe olvidarse que un residuo de laboratorio es una sustancia o un preparado que casi siempre presenta características de toxicidad y peligrosidad y cuya identificación o almacenamiento inadecuados incrementa los riesgos a los propios de la actividad del laboratorio.

Como principio básico, los residuos químicos generados en el laboratorio no deben eliminarse por el desagüe sin desactivar aunque sea en pequeñas cantidades, o a menos que se especifique de esta manera. Este principio debe observarse especialmente cuando se trate de sustancias que reaccionan violentamente con el agua, como los metales alcalinos; las tóxicas, incluyendo los derivados de metales pesados; las corrosivas, como ácidos y álcalis fuertes; las cancerígenas y mutagénicas, y las no biodegradables y peligrosas para el medio ambiente acuático.⁵

No todos los desechos son igualmente peligrosos o se tratan de la misma manera, por lo tanto es importante incluir en todo laboratorio un lugar para almacenar los residuos en frascos debidamente rotulados y determinar su grado de toxicidad para luego ser tratados.



La clasificación y caracterización de los residuos especiales es un aspecto clave en su gestión. Un programa de gestión de residuos químicos del laboratorio y mientras se espera su entrega al gestor autorizado, tiene que establecer procedimientos de trabajo que incluyan los siguientes puntos:

- Clasificación y segregación de los residuos según tipología, propiedades fisicoquímicas, las posibles reacciones de incompatibilidad y el tratamiento final.
- Recogida selectiva (tipo de envases, etiquetado, almacenamiento temporal).
- Normas de seguridad para la manipulación, transporte y almacenamiento.³

En el presente proyecto se muestran las técnicas de eliminación disponibles y se ofrece una orientación sobre la preparación de un plan de eliminación según las necesidades y recursos disponibles del laboratorio de la planta de potabilización de agua de la Empresa Multipropósito de Calarcá S.A ESP, y se evalúan teniendo en cuenta su idoneidad para la eliminación de residuos químicos. Los criterios principales son: la inocuidad de la tecnología para el medio ambiente, la seguridad de los trabajadores, la viabilidad técnica en lo que respecta a la destrucción de la cantidad de residuos químicos en desuso, la adecuación a las circunstancias habituales según el laboratorio que los genera y la eficacia en función de los costos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la medida que ha incrementado la dependencia de productos químicos para satisfacer los requerimientos de la vida moderna, se ha identificado la necesidad de establecer un control para los residuos químicos generados, indicando aquellos aspectos que deben tenerse en cuenta en un plan o programa de gestión de residuos.

En el laboratorio de química de la planta de potabilización de agua de la Empresa Multipropósito de Calarcá S.A ESP se efectúan diversas operaciones que conllevan la generación de residuos, aunque el volumen de residuos que se generan en el laboratorio es generalmente pequeño en relación al proveniente del sector industrial, no por ello debe menospreciarse su impacto.

Esta planta de potabilización de agua aún no maneja un adecuado tratamiento de estos residuos químicos, vertiéndolos directamente por el drenaje. Por esto se debe implementar unas adecuadas condiciones en el laboratorio que impliquen inevitablemente el control, tratamiento, y desactivación. La finalidad de estas indicaciones es transformar pequeñas cantidades de productos químicos reactivos en productos derivados menos agresivos ó más inocuos, y así de este modo asegurar un almacenaje y eliminación segura, dando condiciones adecuadas para su posterior vertimiento al drenaje, minimizando su impacto sobre el medio ambiente.

3. JUSTIFICACION

La disposición adecuada de residuos químicos es esencial para la salud y seguridad de las personas que manipulan estos residuos, tanto en los laboratorios de las industrias, plantas de tratamiento, e instituciones académicas como a la comunidad circundante. La disposición responsable de los residuos químicos también reducirá presentes y futuras amenazas sobre el medio ambiente. De esta manera, resulta imperativa la disposición de todos los residuos químicos de una manera segura, eficiente, legal, y de costo adecuado.

La minimización de residuos químicos peligrosos que son generados en los laboratorios, implica en lo posible, un adecuado tratamiento, almacenamiento, o descarga. Incluye cualquier reducción en las fuentes, reciclaje, o actividades de tratamiento que resulten en la minimización del volumen total o en la cantidad de producción de residuos químicos peligrosos, o la disminución de la toxicidad de estos residuos, o ambos.

Este proyecto intenta proveer instrucciones en el manejo de residuos químicos, y técnicas que podrían reducir la cantidad de residuos químicos generados al más bajo nivel y si es posible la eliminación total de estos residuos.

Las regulaciones y opciones para el manejo de residuos varían de un sitio a otro, y por esto los procedimientos en esta investigación no son necesariamente aplicables a otras instituciones o industrias, aunque sirve como material de apoyo en la creación de un sistema de gestión de residuos peligrosos dentro de una empresa y/o institución.



4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer un protocolo de manejo integral de los residuos químicos generados en el laboratorio de la planta de potabilización de aguas de Empresa Multipropósito de Calarcá S.A E.S.P., logrando que dispongan de una metodología efectiva para la separación, almacenamiento, tratamiento y destino final de los residuos químicos que generen y que permita su desactivación, y optimizar las condiciones adecuadas de vertimiento según lo reglamentado en el decreto 1594 del 26 de junio de 1984.

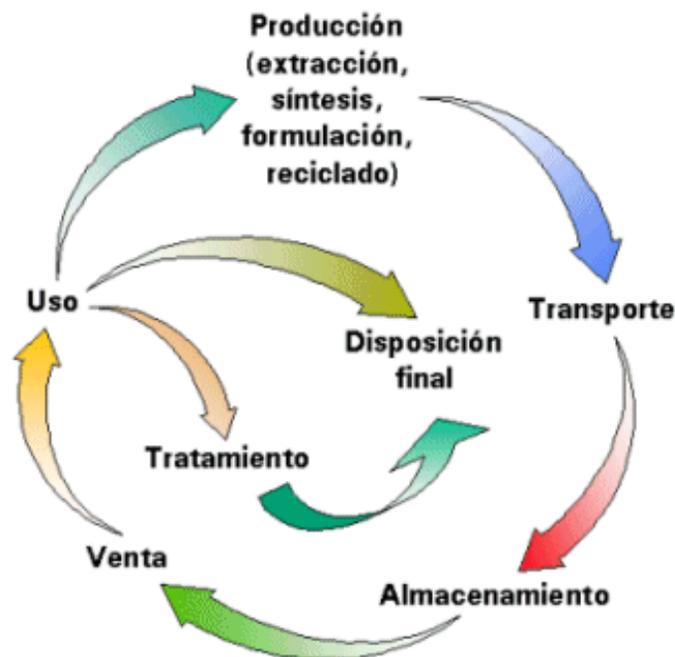
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Generar un sistema de recolección y clasificación de residuos que permita una mayor eficiencia para su posterior tratamiento.
- Transformar los residuos químicos contaminantes en compuestos menos tóxicos mediante la aplicación de los procesos de precipitación y neutralización química.
- Evaluar el efecto de diferentes coagulantes en los residuos generados buscando la mayor eficiencia en la prueba de JAR-TEST.
- Determinar la variación en la turbiedad entre dosis y los distintos tipos coagulantes.
- Lograr un procedimiento adecuado de los residuos químicos de las plantas de tratamientos de aguas cumpliendo las disposiciones del decreto 1594 de 1984 de vertimientos.
- Implementar un protocolo y una carta de control para el tratamiento de residuos químicos desde su generación hasta su disposición definitiva.

5. MARCO TEORICO

Los residuos químicos peligrosos, como lo indica la siguiente figura, se generan en la fase final del ciclo de vida de los materiales peligrosos, cuando quienes los poseen los desechan porque ya no tienen interés en seguirlos aprovechando. Es decir, se generan al desechar productos de consumo que contienen materiales peligrosos, al eliminar envases contaminados con ellos; al desperdiciar materiales peligrosos que se usan como insumos de procesos productivos (industriales, comerciales o de servicios) o al generar subproductos o desechos peligrosos no deseados en esos procesos.

Figura 1: Ciclo de Vida de los Materiales Peligrosos



Estos residuos pueden causar o contribuir significativamente al aumento de un riesgo inmediato o potencial para la salud de las personas y el medio ambiente cuando se trata, almacena, transporta o dispone de una manera impropia e inconveniente, ya que los residuos peligrosos poseen propiedades inherentes o intrínsecas que le confieren la capacidad de provocar corrosión, reacciones, explosiones, toxicidad, incendios o enfermedades infecciosas. ¹

5.1 PICTOGRAMAS DE PELIGROSIDAD

Para manejar con seguridad las sustancias químicas se han ideado diversos códigos dependiendo de la casa fabricante, pero en general los sistemas clasifican las sustancias en las siguientes categorías:

Figura 2. Incompatibilidades de almacenamiento de algunos productos químicos peligrosos

					
	+	-	-	-	+
	-	+	-	-	-
	-	-	+	-	+
	-	-	-	+	0
	+	-	+	0	+

+	Se pueden almacenar juntos
0	Solamente podrán almacenarse juntos, adoptando ciertas medidas
-	No deben almacenarse juntos

En la figura 2 se muestra un esquema en el que se resumen las incompatibilidades de almacenamiento de los productos peligrosos.

5.1.1 Sustancias explosivas E

Peligro. Este símbolo señala sustancias que pueden explotar bajo determinadas condiciones. Ejemplo: dicromato de amonio.

Precaución. Evitar choques, percusión, fricción, formación de chispas y contacto con el calor.

5.1.2 Sustancias oxidantes (comburentes) O

Peligro. Los compuestos comburentes pueden inflamar sustancias combustibles o favorecer la amplitud de incendios ya declarados, dificultando su extinción.

Ejemplo: permanganato de potasio, peróxido de sodio.

Precaución. Evitar cualquier contacto con sustancias combustibles.

5.1.3 Sustancias extremadamente inflamables F⁺

Sustancias y preparados líquidos cuyo punto de destello sea inferior a 0° C, y su punto de ebullición inferior o igual a 35°C.

5.1.4 Sustancias fácilmente inflamables F

a. Sustancias auto inflamables. Ejemplo: alquilos de aluminio, fósforo.

Precaución. Evitar contacto con el aire

b. Gases fácilmente inflamables. Ejemplo: butano, propano.

Precaución. Evitar la formación de mezclas inflamables gas-aire y aislar de fuentes de ignición.

c. Sustancias sensibles a la humedad

Productos químicos que desarrollan emanaciones de gas inflamable al contacto con el agua. Ejemplo: litio, boro hidruro de sodio.

Precauciones: evitar contacto con agua o con humedad.

5.1.5 Líquidos inflamables

En términos muy sencillos, los líquidos inflamables son aquellos que fácilmente pueden arder. El que un líquido arda con más o menos facilidad depende de su

punto de llama. Entre más bajo sea este punto más fácilmente arde el reactivo y por lo tanto mayor cuidado se ha de tener en su manejo, almacenamiento y transporte. Con estos líquidos se ha realizado una clasificación teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y su solubilidad en el agua:

5.1.5.1 PELIGRO CLASE A

Esta clasificación se le asigna a líquidos que tienen un punto de llama por debajo de 100 °C y que no se disuelven en el agua a 15 °C.

AI	Líquidos con punto de llama por debajo de 21 °C.
AII	Líquidos con punto de llama entre 21 y 55 °C.
AIII	Líquidos con punto de llama entre 55 y 100 °C.

5.1.5.2 PELIGRO CLASE B

Esta clasificación se le asigna a líquidos que tienen punto de llama por debajo de 21 °C y que se disuelven en agua a 15 °C, o a aquellos cuyos componentes inflamables se disuelven en agua también a 15 °C. Este tipo de líquidos no se puede apagar con agua.

5.1.6 Sustancias muy tóxicas T⁺

Peligro. Sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan entrañar riesgos extremadamente graves agudos o crónicos e incluso la muerte.

Precaución. Evitar cualquier contacto con el cuerpo y en caso de malestar acudir inmediatamente al médico.

5.1.7 Sustancias tóxicas T

Peligro. Tras una inhalación, ingestión o absorción a través de la piel pueden presentarse, en general, trastornos orgánicos de carácter grave o incluso la muerte. Ejemplo: trióxido de arsénico, cloruro de mercurio(II).

Precaución. Evitar cualquier contacto con el cuerpo y en caso de malestar acudir inmediatamente al médico.

5.1.8 Sustancias nocivas X_n

Peligro. La incorporación de estas sustancias por el organismo produce efectos nocivos de poca trascendencia. Ejemplo: tricloroetileno.

Precaución. Evitar el contacto con el cuerpo humano así como la inhalación de vapores. En caso de malestar acudir al médico.

5.1.9 Sustancias corrosivas C

Peligro. Por contacto con estas sustancias se destruye el tejido vivo y también otros materiales. Ejemplo: bromo, ácido sulfúrico.

Precaución. No inhalar los vapores y evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa.

5.1.10 Sustancias irritantes X_i

Peligro. Este símbolo destaca en aquellas sustancias que pueden producir acción irritante sobre la piel, los ojos y sobre los órganos respiratorios. Ejemplo: amoníaco, cloruro de bencilo.

Precaución. No inhalar los vapores y evitar el contacto con la piel y los ojos.

5.1.11 Sustancias peligrosas para el medio ambiente N

Sustancias y preparados cuya utilización presenta o puedan presentar riesgos inmediatos o diferidos para el medio ambiente. ²

5.2. ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICA

Un adecuado almacenamiento de las sustancias químicas, tiene como objetivo primordial evitar que se llegue a juntar productos químicos incompatibles, ya que de ocurrir así, se pueden producir reacciones violentas con la posibilidad de que se generen incendios explosiones y/o emanaciones de gases venenosos o corrosivos, que pueden comprometer a las personas, instalaciones y/o medio

ambiente.

Para cumplir con el propósito planteado, las sustancias químicas deben almacenarse en sus respectivos envases, en lugares seguros, considerándose los riesgos inherentes y la incompatibilidad con otros productos químicos y las condiciones del medio, como el calor, fuentes de ignición, luz y humedad.

En relación a los reactivos químicos para análisis y sus soluciones, se propone, en base a normas norteamericanas, realizar una separación considerando cinco categorías de riesgo, de acuerdo a características químicas similares.

5.2.1 CÓDIGO DE ALMACENAMIENTO

De acuerdo a las consideraciones indicadas y con el propósito de lograr un almacenamiento seguro de sustancias químicas, se utiliza el Código de colores representativos, como son el rojo (inflamables), amarillo (oxidantes), blanco (corrosivos), azul (tóxicos) y verde (normal). Para casos especiales de productos químicos pertenecientes al mismo grupo de riesgo, pero que presentan un peligro especial, sobre el color correspondiente, se escribe la palabra "SEPARADO", lo que significa que se deben guardar en la misma área, pero alejados del resto de las sustancias químicas. ³

Tabla 1: Código de almacenamiento ³

<u>clasificación</u>	<u>significado</u>	<u>código de almacenaje(color)</u>
inflamable	Área de almacenamiento de reactivos y soluciones químicas con riesgo de inflamación. Sustancias químicas presentan riesgo de incendio.	
oxidantes	Área de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo de oxidación y reactividad. Sustancias químicas que pueden reaccionar violentamente con el aire, agua u otras condiciones o productos químicos. Posibilitan la ocurrencia de incendios y lo acrecientan si están presentes.	

corrosivos	Área de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo de oxidación y reactividad. Sustancias químicas que pueden reaccionar violentamente con el aire, agua u otras condiciones o productos químicos. Posibilitan la ocurrencia de incendios y lo acrecientan si están presentes.	
tóxicos	Área de almacenamiento de reactivos y soluciones químicas con riesgo para la salud: Sustancias químicas tóxicas por inhalación, ingestión o absorción a través de la piel.	
normal	Área general de almacenamiento de reactivos y soluciones químicas. Sustancias químicas que no ofrecen un riesgo importante para ser clasificadas en alguno de los grupos anteriores.	

5.3 INCOMPATIBILIDADES ENTRE SUSTANCIAS

El principal riesgo en la recogida selectiva de residuos químicos son las posibles reacciones de incompatibilidad. La mejor manera de evitar esta situación consiste en separar las sustancias químicas cuando se consideren residuos. Como esta situación no es posible en la mayor parte de las ocasiones, entonces es fundamental que si se envasan varias sustancias químicas que se encuentran mezcladas en un recipiente, al menos estas deberán ser compatibles para prevenir reacciones indeseables. En este sentido es especialmente importante lo expuesto en el apartado referente a la identificación de los envases. Las incompatibilidades son especialmente destacables en el grupo VII, por lo que debe tenerse en cuenta que éstos jamás se mezclarán entre ellos ni con los otros grupos. Siempre que sea posible, los residuos de este grupo, en cantidades iguales o inferiores a 1 litro, se mantendrán en su envase original. En caso de duda, se ha de consultar al responsable o a la empresa gestora.

A continuación relacionamos una serie de sustancias químicas utilizadas en los diferentes laboratorios junto con las condiciones que se deben evitar o las sustancias con las que no se deben mezclar: ⁴

Tabla 2: Ácidos inorgánicos, sales ácidas y soluciones ácidas

PRODUCTOS TIPO	INCOMPATIBILIDADES
Ácido nítrico Ácido fosfórico Ácido sulfúrico Bifosfatos Bisulfatos Ácido clorhídrico	Bases Aminas Metales en general

Tabla 3: Ácidos orgánicos

PRODUCTOS TIPO	INCOMPATIBILIDADES
Ácido acético butírico fenilantranílico naftalensulfónico sulfanílico etc...	Bases aminas

Tabla 4: Bases, aminas, sales básicas y soluciones básicas

PRODUCTOS TIPO	INCOMPATIBILIDADES
Dietilamina trietanolamina hidróxido amónico hidróxido de sodio carbonato potásico etc...	Ácidos derivados halogenados metales en general

Tabla 5: Azidas

PRODUCTOS TIPO	INCOMPATIBILIDADES
Azida de sodio	Compuestos oxidantes

Tabla 6: Azocompuestos

PRODUCTOS TIPO	INCOMPATIBILIDADES
Azobenceno	Compuestos oxidantes

5.4 TIPOS DE RESIDUOS

En el laboratorio, considerando los conceptos anteriores y las características de los residuos generados, se pueden distinguir los siguientes grupos:

- Residuos inertes (de origen mineral, escombros).
- Residuos no peligrosos (asimilables a municipales).
- Residuos especiales (tóxicos o peligrosos): Incluyen los residuos químicos, los gases, los aceites usados y aquellos que exigen una gestión diferenciada y que están legislados específicamente como son los residuos radiactivos, los residuos cancerígenos y los residuos biológicos como se muestra a continuación:

5.4.1 Grupo I: Disolventes halogenados

Se entiende por tales, los productos líquidos orgánicos que contienen más del 2% de algún halógeno. Se trata de productos muy tóxicos e irritantes y, en algún caso, cancerígenos. Se incluyen en este grupo también las mezclas de disolventes halogenados y no halogenados, siempre que el contenido en halógenos de la mezcla sea superior al 2%. Ejemplos: Cloruro de metileno, bromoformo, etc.

5.4.2 Grupo II: Disolventes no halogenados

Se clasifican aquí los líquidos orgánicos inflamables que contengan menos de un 2% en halógenos. Son productos inflamables y tóxicos y, entre ellos, se pueden citar los alcoholes, aldehídos, amidas, cetonas, ésteres, glicoles, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos y nitrilos.

Es importante, dentro de este grupo, evitar mezclas de disolventes que sean inmiscibles ya que la aparición de fases diferentes dificulta el tratamiento posterior.

5.4.3 Grupo III: Disoluciones acuosas

Este grupo corresponde a las soluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos. Se trata de un grupo muy amplio y por eso es necesario establecer

divisiones y subdivisiones, tal como se indica a continuación. Estas subdivisiones son necesarias ya sea para evitar reacciones de incompatibilidad, ya sea por requerimiento de su tratamiento posterior:

5.4.3.1 Soluciones acuosas inorgánicas:

- Soluciones acuosas básicas: Hidróxido sódico, hidróxido potásico.
- Soluciones acuosas de metales pesados: Níquel, plata, cadmio, selenio, fijadores.
- Soluciones acuosas de cromo VI.
- Otras soluciones acuosas inorgánicas: Reveladores, sulfatos, fosfatos, cloruros.

5.4.3.2 Soluciones acuosas orgánicas o de alta DQO:

- Soluciones acuosas de colorantes.
- Soluciones de fijadores orgánicos: Formol, fenol, glutaraldehído.
- Mezclas agua/disolvente: Eluyentes de cromatografía, metanol/agua.

5.4.4 Grupo IV: Ácidos

Corresponden a este grupo los ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas (más del 10% en volumen). Debe tenerse en cuenta que su mezcla, en función de la composición y la concentración, puede producir alguna reacción química peligrosa con desprendimiento de gases tóxicos e incremento de temperatura. Para evitar este riesgo, antes de hacer mezclas de ácidos concentrados en un mismo envase, debe realizarse una prueba con pequeñas cantidades y, si no se observa reacción alguna, llevar a cabo la mezcla. En caso contrario, los ácidos se recogerán por separado.

5.4.5 Grupo V: Aceites

Este grupo corresponde a los aceites minerales derivados de operaciones de mantenimiento y, en su caso, de baños calefactores.

5.4.6 Grupo VI: Sólidos

Se clasifican en este grupo los productos químicos en estado sólido de naturaleza orgánica e inorgánica y el material desechable contaminado con productos químicos. No pertenecen a este grupo los reactivos puros obsoletos en estado sólido (grupo VII). Se establecen los siguientes subgrupos de clasificación dentro del grupo de Sólidos:

5.4.6.1 Sólidos orgánicos: A este grupo pertenecen los productos químicos de naturaleza orgánica o contaminada con productos químicos orgánicos como, por ejemplo, carbón activo o gel de sílice impregnados con disolventes orgánicos.

5.4.6.2 Sólidos inorgánicos: A este grupo pertenecen los productos químicos de naturaleza inorgánica. Por ejemplo, sales de metales pesados.

5.4.6.3 Material desechable contaminado: A este grupo pertenece el material contaminado con productos químicos. En este grupo se pueden establecer subgrupos de clasificación, por la naturaleza del material y la naturaleza del contaminante y teniendo en cuenta los requisitos marcados por el gestor autorizado.

5.4.7 Grupo VII: Especiales

A este grupo pertenecen los productos químicos, sólidos o líquidos, que, por su elevada peligrosidad, no deben ser incluidos en ninguno de los otros grupos, así como los reactivos puros obsoletos o caducados. Estos productos no deben mezclarse entre sí ni con residuos de los otros grupos. Ejemplos:

- Comburentes (peróxidos).

- Compuestos pirofóricos (magnesio metálico en polvo).
- Compuestos muy reactivos [ácidos fumantes, cloruros de ácido (cloruro de acetilo), metales alcalinos (sodio, potasio), hidruros (borohidruro sódico, hidruro de litio), compuestos con halógenos activos (bromuro de benzilo), compuestos polimerizables (isocianatos, epóxidos), compuestos peroxidables (éteres), restos de reacción, productos no etiquetados].
- Compuestos muy tóxicos (tetraóxido de osmio, mezcla crómica, cianuros, sulfuros, etc.).
- Compuestos no identificados.

Todos ellos exigen un plan que comporta una recolección selectiva, una identificación y un tratamiento, que puede ser intra o extralaboratorio, para disminuir su peligrosidad. ⁵

5.5. TIPOS DE ENVASES PARA ALMACENAR RESIDUOS QUIMICOS

Para el envasado y correspondiente separación de los residuos se emplean distintos tipos de bidones o recipientes, dependiendo del tipo de residuo y de la cantidad producida. Para los residuos del grupo I al VII es recomendable emplear envases homologados para el transporte de materias peligrosas. La elección del tipo de envase también depende de cuestiones logísticas como la capacidad de almacenaje del laboratorio o centro. Algunos tipos de posibles envases a utilizar son los siguientes:

- Contenedores (garrafas) de polietileno de 5 o 30 litros de capacidad. Se trata de polietileno de alta densidad resistente a la mayoría de productos químicos y los envases son aptos **para los residuos**, tanto sólidos como líquidos, **de los grupos I a VII**. También pueden emplearse envases originales procedentes de productos, siempre que estén correctamente etiquetados y marcados.

- Bidones de polietileno de 60 y 90 litros de capacidad y boca ancha, destinados al material desechable contaminado.
- Cajas estancas de polietileno con un fondo de producto absorbente, preparadas para el almacenamiento y transporte de **reactivos obsoletos y otros productos especiales**.
- Envases de seguridad, provistos de cortafuegos y compensación de presión, idóneos para productos **muy inflamables (muy volátiles) o que desprendan malos olores**.

Los recipientes de acumulación y transporte de residuos, serán de material y tamaño más apropiados a las características del residuo a transportar. Deben tener un sistema de cierre seguro y ser perfectamente identificables entre sí, rotulándolos de forma clara con el tipo de sustancias contenidas. Se recomiendan los siguientes recipientes colectores:

- A. Para disolventes y reactivos orgánicos no halogenados.
- B. Para disolventes y reactivos orgánicos halogenados.
- C. Para residuos orgánicos sólidos.
- D. Para disoluciones previamente neutralizadas a pH 6-8.
- E. Para sales metálicas regenerables.
- F. Para productos cancerígenos y compuestos combustibles muy tóxicos
- G. Para mercurio y sales mercuriales.
- H. Para residuos que contengan metales preciosos
- I. Para residuos químicos sólidos
 - Bolsas rojas para residuos biológicos

5.6. ETIQUETADO E IDENTIFICACION DE LOS ENVASES

Todo envase de residuos peligrosos debe estar correctamente **etiquetado** (indicación del contenido) e identificado (indicación del productor). La identificación incluye los datos de la empresa productora, la referencia concreta de la unidad

(nombre, clave o similar), el nombre del responsable del residuo y las fechas de inicio y final de llenado del envase. La función del etiquetado es permitir una rápida identificación del residuo así como informar del riesgo asociado al mismo, tanto al usuario como al gestor.

Para los residuos de los grupos I al VII, además de la identificación completa del punto anterior, se utilizan etiquetas identificativas del grupo de clasificación. A continuación se propone una codificación de etiquetas de distinto color:

- Grupo I: Etiqueta de color naranja.
- Grupo II: Etiqueta de color verde.
- Grupo III: Etiqueta de color azul.
- Grupo IV: Etiqueta de color rojo.
- Grupo V: Etiqueta de color marrón.
- Grupo VI: Etiqueta de color amarillo.
- Grupo VII: Etiqueta de color lila.

El contenido de estas etiquetas debe contener también:

- a. Pictogramas e indicaciones de peligro.
- b. Los riesgos específicos que correspondan mediante una o más frases R.
- c. Los consejos de prudencia que correspondan mediante las frases S.
- d. Un espacio en blanco donde el productor hará constar el principal componente tóxico o peligroso del residuo (p.e., metanol, metales pesados, cromo, plomo, etc.). ⁶

5.7 TRATAMIENTO EN EL PUNTO DE GENERACION (EL LABORATORIO)

El tratamiento es la reducción o eliminación de la toxicidad de un residuo químico peligroso por:

- ❖ **Alteración de los constituyentes tóxicos** del residuo a formas menos tóxicas o no tóxicas,
- ❖ **Disminución de la concentración de constituyentes tóxicos** en el residuo, significando esto otros distintos a la dilución. Los pasos de tratamiento están incluidos como parte de el procedimiento de laboratorio (por ejemplo en el mismo laboratorio donde y cuando lo subproductos son generados) previniendo la inclusión de subproductos en la regular corriente de residuos. Idealmente, estos pasos de tratamiento deberían estar escritos en todos los procedimientos de laboratorio.

La reducción en la fuente, reciclaje y tratamiento en el laboratorio, son sugerencias para los académicos, y laboratorio clínicos y de desarrollo (investigación), y para el caso de empresas e instituciones a los laboratorios que les pertenezcan. Los residuos son usualmente generados en cantidades menores a 12L. Los residuos de laboratorio son usualmente mezclas, soluciones contaminadas y sustancias, e inusuales agentes químicos. ²

5.8. GESTION DE RESIDUOS

Se entiende por gestión el conjunto de actividades encaminadas a dar a los residuos tóxicos y peligrosos el destino final más adecuado de acuerdo con sus características; comprende las operaciones de:

- Recolección
- Clasificación
- Transporte
- Tratamiento
- Eliminación

La adecuada gestión de los residuos en el laboratorio no es solamente una necesidad con el objeto de mejorar las condiciones de trabajo sino que constituye una pieza fundamental en la aplicación de criterios de calidad y gestión ambiental en el laboratorio, siendo también, obviamente, una de las exigencias de aplicación de las buenas prácticas. Un programa de gestión de residuos para el laboratorio debe abarcar todos los residuos generados en el mismo, tanto los no peligrosos como los peligrosos y este programa debe manejar los siguientes parámetros:

- **Responsables:** debe nombrarse un responsable o responsables que supervisen y comprueben la correcta aplicación y ejecución del programa.
- **Nivel de recursos necesarios:** debe conocerse y evaluarse el coste del programa considerando todas las operaciones (recolección, transporte, reutilización, recuperación, tratamiento, etc.)
- **Identificación:** todos los productos considerados como residuos deben estar clasificados e identificados en función de su peligrosidad y/o destino final.
- **Minimización/Reducción:** debe estudiarse y valorarse las posibilidades de reutilización, recuperación, tratamiento en el propio laboratorio o racionalización de compras al objeto de reducir en lo posible la generación de residuos.
- **Inventario:** debe confeccionarse una relación de los residuos generados y mantenerla actualizada.
- **Almacén:** debe disponerse de un espacio separado del laboratorio para almacén de residuos, provisto de los elementos de seguridad necesarios.
- **Recolección y transporte:** se debe facilitar los recipientes y etiquetas adecuados para la recogida y el transporte de los residuos.
- **Medidas de seguridad:** deben establecerse las medidas de seguridad necesarias indicando las prendas de protección que deben utilizarse.

- **Actuación en caso de accidentes/incidentes:** se deben dar las instrucciones de actuación en caso de vertidos o derrames, o de cualquier incidente que pueda producirse. Asimismo deben indicarse las pautas de actuación en caso de una emergencia.
- **Formación e información:** todo el personal debe conocer el programa de gestión de residuos adoptado, su ejecución y la responsabilidad de cada uno en el mismo. Todas las informaciones sobre el programa deben proporcionarse por escrito.

El programa de gestión de residuos debe aplicarse a todo tipo de residuos generados en el laboratorio, tanto a los no peligrosos como a los peligrosos y debe incluir los reactivos caducados, los reactivos no caducados pero innecesarios, los materiales de un solo uso contaminados o no, los patrones y todos aquellos materiales o productos que se hayan utilizado o generado en el mismo.

5.8.1 Factores a considerar para la eliminación de residuos

Los residuos generados en el laboratorio pueden tener características muy diferentes y producirse en cantidades variables, aspectos que inciden directamente en la elección del procedimiento para su eliminación.

Entre otros, se pueden citar los siguientes factores:

- Volumen de residuos generados.
- Periodicidad de generación.
- Facilidad de neutralización.
- Posibilidad de recuperación, reciclado o reutilización.
- Coste del tratamiento y de otras alternativas.
- Valoración del tiempo disponible.

Todos estos factores combinados deberán ser convenientemente valorados con el objeto de optar por un modelo de gestión de residuos adecuado y concreto. Es recomendable tratar estos residuos donde se generan directamente. ⁷

5.9 METODOS PARA ELIMINAR RESIDUOS QUÍMICOS

La eliminación de restos de reacciones y de pequeñas cantidades de productos químicos exige la aplicación de unos procedimientos adecuados que minimicen la contaminación de los vertederos que reciben estos desechos. Los procedimientos para la eliminación de los residuos son varios y el que se apliquen unos u otros dependerá de los factores citados anteriormente, siendo generalmente los más utilizados, los siguientes:

5.9.1 DESACTIVACIÓN

Es la transformación de productos químicos reactivos en productos derivados inocuos, dándole condiciones adecuadas a estos residuos. Para llevarlo a cabo se deben colocar en recipientes de acumulación y transporte de residuos, y serán de material y tamaño más apropiados a las características del residuo a transportar.

5.9.1.1 Procedimientos de desactivación

- 1. Ácidos Inorgánicos, sales Ácidas y Soluciones Ácidas:** Diluir con agua aproximadamente a 1:5 y neutralizar hasta pH 6-8. añadiendo lentamente sodio hidróxido en solución o en escamas. Los ácidos o soluciones ácidas derramadas se cubren con un exceso de calcio hidróxido o con sodio bicarbonato. Una vez finalizada la reacción, disolver en agua. Recipiente colector D. Productos tipo: Ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, bifosfatos, bisulfatos, etc. Incompatibilidades: Bases, aminas, metales en general.
- 2. Ácidos Orgánicos:** Neutralizar como en 1 o incinerar a pequeñas dosis en vitrina con buen tiro de aire y con las máximas precauciones. En la primera

opción recipiente colector D. Productos tipo: Ácidos acético, butírico, fenilantranílico, naftalensulfónico, succínico, toluensulfónico, etc. Incompatibilidades: Bases, aminas.

3. **Reactivos orgánicos:** los reactivos orgánicos relativamente inertes se recogen en el recipiente colector A. Si contienen halógenos se pasan al recipiente colector B. Los residuos sólidos al recipiente colector C.
4. **Bases, aminas:** Sales Básicas y Soluciones Básicas Diluir con agua, aproximadamente a 1:5 y neutralizar hasta pH 6-8. añadiendo lentamente ácido sulfúrico diluido. La solución resultante se diluye a 1:10. Las bases o soluciones de sales básicas derramadas se cubren con un exceso de sodio bisulfato. Una vez finalizada la reacción, disolver en agua y diluir. En ambos casos, recipiente colector D. Productos tipo: Dietilamina, trietanolamina, amonio hidróxido, potasio hidróxido, sodio hidróxido, potasio carbonato, sodio carbonato. Incompatibilidades: Ácidos, derivados halogenados, metales en general.
5. **Azidas:** Oxidar con una solución diluida y fría (hielo) de Cerio IV Amonio Nitrato. Separar la fase orgánica –si ésta se produce e incinerarla. El resto de subproductos neutralizarlos y diluirlos con agua abundante. Recipiente colector D. Productos tipo: Sodio azida. Incompatibilidades: Compuestos oxidantes.
6. **Azocompuestos:** Incinerar a PEQUEÑAS DOSIS en una vitrina con buen tiro de aire y con las máximas precauciones de seguridad. Productos tipo: Azobenceno. Incompatibilidades: Compuestos oxidantes.
7. **Cianuros, Mercaptanos:** Mezclar bien en una solución de sodio hidróxido y de sodio hipoclorito, agitando de vez en cuando. Dejar en contacto 24 horas como mínimo. Diluir con agua abundante. Eliminar el exceso de hipoclorito con una solución de sodio tiosulfato y neutralizar. Recipiente colector D. Productos tipo: Cianuros varios, mercaptobenzotiazol. Incompatibilidades: Alimentos, tabaco. Ácidos. Sales ácidas; oxidantes fuertes como dicromatos, permangatos, cloratos, nitratos.
8. **Compuestos de Arsénico:** Cadmio, Plomo, Selenio y Talio Estos productos se transformarán en sales insolubles, por ejemplo disolviendo en ácido

clorhídrico, diluir la solución y saturar con ácido sulfhídrico en vitrina con buen tiro de aire. Lavar el precipitado de sulfuro formado. Recipiente colector E. Productos tipo: Compuestos de metales pesados. Incompatibilidades: Alimentos, tabaco, etc.

9. **Compuestos de Bario:** Estos productos se transformarán en sales insolubles, por ejemplo disolviendo en ácido, neutralizando con precaución con amonio hidróxido y precipitando luego por adición de sodio carbonato. Lavar el precipitado de carbonato formado. Recipiente colector E. Productos tipo: Compuestos de bario. Incompatibilidades: Alimentos, tabaco, etc.
10. **Compuestos Oxidantes, Aldehídos:** Estos productos se transformarán en sales insolubles, por ejemplo disolviendo en ácido, neutralizando con precaución con amonio hidróxido y precipitando luego por adición de sodio carbonato. Lavar el precipitado de carbonato formado. Recipiente colector E. Productos tipo: Benzaldehído, cloratos, cloritos, formaldehído, nitratos, nitritos, percloratos, permanganatos, peróxidos, persulfatos, etc. Incompatibilidades: Sustancias combustibles, sustancias reductoras, materias orgánicas como madera, papel, etc.
11. **Compuestos Radiactivos:** Mantener aislados estos compuestos de otros productos o materiales. Con las debidas precauciones se intentará recuperar estos compuestos. De lo contrario, transportarlos en envases apropiados de acuerdo a la legislación local vigente. Productos tipo: Sales de uranio y transuránicos. Incompatibilidades: Contaminación de personas y objetos.
12. **Disolventes Miscibles con Agua:** Recipiente colector A. Productos tipo: Acetona, alcohol etílico, etilo acetato, etilenglicol, piridina. Incompatibilidades: Fuentes de calor o zonas calientes.
13. **Disolventes no Miscibles con Agua:** evaporar a pequeñas dosis en vitrina de gases o a la intemperie, evitando la formación de mezclas combustibles de vapor / aire y manteniéndolos alejados de llamas abiertas o de cualquier otra fuente de inflamación. Recolectar en recipiente colector A. Productos tipo: Alcohol amílico, benceno, carbono sulfuro, ciclohexano, xileno. Incompatibilidades: Fuentes de calor o zonas calientes.

14. **Éteres:** Evaporar a pequeñas dosis en vitrina de gases o a la intemperie, añadiendo aproximadamente 1% de hierro II sulfato 7-hidrato, evitando la formación de mezclas combustibles de vapor / aire y manteniéndolos alejados de llamas abiertas o de cualquier otra fuente de inflamación. Otra opción, recipiente colector A. Productos tipo: Éter etílico, 1,4-dioxano, tetrahidrofurano. Incompatibilidades: Compuestos oxidantes, fuentes de calor o zonas calientes.
15. **Fluoruros:** Mezclar bien con lechada de cal, agitando de vez en cuando hasta precipitación del calcio fluoruro insoluble. Lavar el precipitado de calcio fluoruro formado. Recipiente colector I. Filtrado recipiente colector D Productos tipo: Fluoruros varios. Incompatibilidades: Ácidos fuertes, alimentos, tabaco, etc.
16. **Fósforo, fosfuros:** Preparar por separado soluciones acuosas frías de calcio hipoclorito y de sodio hidróxido. Mezclarlas. En vitrina de gases, bajo atmósfera de nitrógeno, disolver en esta mezcla fría el material a destruir, en pequeñas porciones y agitando continuamente. Precaución, las emanaciones que se producen son de productos tóxicos. La solución obtenida diluirla con agua y, si procede, se neutraliza. Recipiente colector D. El fósforo rojo no es tóxico. No debe entrar en contacto con sustancias comburentes, recipiente colector I. Productos tipo: Fósforo, rojo o blanco, fosfuros. Incompatibilidades: Compuestos oxidantes, fricción.
17. **Disolventes orgánicos halogenados:** Evaporar a pequeñas dosis en vitrina de gases o a la intemperie. Si la cantidad a eliminar es notable y no puede recuperarse por destilación, mezclar con sodio carbonato o calcio hidróxido e incinerar a pequeñas dosis en vitrina de gases o en horno de combustión. Otra opción, recipiente colector B. Productos tipo: Cloroformo, diclorometano, carbono tetracloruro. Incompatibilidades: Bases.
18. **Mercurio:** Compuestos de Mercurio Antes de cualquier manipulación, retirar oro, plata y cobre. El mercurio derramado debe recogerse inmediatamente mediante aspiración por vacío, en un frasco. Las pequeñas gotas apenas perceptibles o inasequibles, se tratan con una mezcla de calcio hidróxido y azufre empastada con poca agua. Dejar secar al aire y lavar con abundante agua. Las sales de mercurio se tratan con una solución de sodio cloruro, en

exceso. Lavar el precipitado formado. Recipiente colector G. Producto tipo: Mercurio metal, compuestos de mercurio en general. Incompatibilidades: Alimentos, tabaco, oro, plata, cobre, acetilenos, gases amoniacaes.

19. **Metales Alcalinos y Alcalinotérreos:** En una vitrina con buen tiro de aire o en lugar ventilado, limpio y seco y en ausencia de fuentes de ignición, cubrir el metal con sodio carbonato anhidro. ES IMPRESCINDIBLE QUE SEA ANHIDRO. Introducir la mezcla en un recipiente colector metálico limpio y seco. Recoger bien los posibles residuos. Añadir lentamente alcohol n-butílico seco, agitando hasta cubrir sobradamente el sólido. Es aconsejable agitar hasta disolución completa. Si no se logra en poco tiempo dejarlo en contacto hasta el día siguiente con las debidas precauciones de NO TOCAR. Concluida la reacción, diluir cuidadosamente con agua y neutralizar. Recipiente colector D. Productos tipo: Sodio, litio, magnesio, hidruros. Incompatibilidades: Agua, humedad, ácidos.
20. **Nitrocompuestos:** Por tratarse de productos generalmente explosivos, si son sólidos, mezclarlos íntimamente con mucha arena, de modo que quede bien repartido e incinerarlo con precaución y a pequeñas dosis en vitrina de buen tiro de aire y con las máximas precauciones. Si se trata de líquidos o soluciones, absorber con tiras de papel de filtro e incinerar con las mismas precauciones. Productos tipo: Nitrobenceno, ácido pícrico (2, 4, 6 trinitrofenol), nitrofenol, nitroanilina, nitrometano. Incompatibilidades: Ácidos fuertes, álcalis, aminas, oxidantes fuertes, materias combustibles.
21. **Productos y Soluciones Solubles en agua:** Tratarlas de acuerdo con la identidad del soluto. Productos tipo: Acetamida, Amonio Sulfuro solución 10%, etc. Nota: En este apartado se han incluido algunos productos poco solubles o insolubles en agua, que, tratándose de muy pequeñas cantidades, pueden suspenderse en agua y evacuar como se ha indicado.
22. **Productos y Soluciones insolubles en agua:** Evaporar el producto o la solución a pequeñas dosis en vitrina de gases o a la intemperie, evitando la formación de mezclas combustibles de vapor / aire y manteniéndolos alejados de llamas abiertas o de cualquier otra fuente de inflamación. El residuo

obtenido, con precaución se disuelve o empasta con agua y, si procede, se neutraliza. Recipiente colector D. Productos tipo: Ácidos grasos, Hidroquinona, etc. Incompatibilidades: Fuentes de calor.

23. Productos cancerígenos y compuestos combustibles calificados como “muy tóxicos” o “tóxicos”: recipiente colector F. El benceno si embargo, se puede eliminar junto con los solventes orgánicos combustibles, recipiente colector A. Los sulfatos de alquilo son cancerígenos, evitar a toda costa inhalarlos y cualquier contacto con la piel. Para su desactivación se gotean desde una bureta y bajo fuere agitación en una solución amoniaca concentrada y enfriada con hielo, antes de depositar en un recipiente colector D controlar el valor de pH.

24. Residuos biológicos: generados en el área de microbiología, siguiendo el procedimiento de esterilización en autoclave especificado en el MP-IT-PR-020, para su posterior desecho en bolsas rojas especiales para residuos biológicos.⁸

5.9.2 VERTIDO

Recomendable para residuos no peligrosos y para peligrosos, una vez reducida ésta mediante neutralización o tratamiento adecuado mediante desactivación. El vertido se puede realizar directamente a las aguas residuales o bien a un vertedero. Los vertederos deben estar preparados convenientemente para prevenir contaminaciones en la zona y preservar el medio ambiente.⁹

5.9.3 INCINERACIÓN

La incineración es un proceso de oxidación térmica a alta temperatura mediante el cual las moléculas de los residuos químicos se descomponen en gases y sólidos incombustibles. Los sólidos se denominan residuos y comprenden las cenizas y la escoria.

Los residuos son quemados en un horno y reducidos a cenizas. Es un método muy utilizado para eliminar residuos de tipo orgánico y material biológico. Debe controlarse la temperatura y la posible toxicidad de los humos producidos. La instalación de un incinerador sólo está justificada por un volumen importante de

residuos a incinerar o por una especial peligrosidad de los mismos. En ciertos casos se pueden emplear las propias calderas disponibles en los edificios.

5.9.3.1 Procedimientos de incineración

Aldehídos: Absorber en vermiculita ó mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Alcalinos, alcalinotérreos, alquilos, alcóxidos: Mezclar con Na_2CO_3 , cubrir con virutas. Incinerar.

Clorhidrinas, nitroparafinas ():** Incinerar.

Compuestos orgánicos halogenados: Absorber sobre vermiculita, arena o bicarbonato. Incinerar.

Ácidos orgánicos sustituidos ():** Absorber sobre vermiculita y añadir alcohol, o bien disolver directamente en alcohol. Incinerar.

Aminas aromáticas: Absorber sobre arena y Na_2CO_3 . Mezclar con papel o con un disolvente inflamable. Incinerar.

Aminas aromáticas halogenadas, nitrocompuestos: Verter sobre NaHCO_3 . Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Aminas alifáticas ():** Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Fosfatos orgánicos y compuestos: Mezclar con papel, o arena y cal apagada. Incinerar.

Disulfuro de carbono: Absorber sobre vermiculita y cubrir con agua. Incinerar. (Quemar con virutas a distancia).

Mercaptanos, sulfuros orgánicos: Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Eteres: Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar. Si hay peróxidos llevarlos a lugar seguro (canteras, etc.) y explosionarlos.

Hidracinas ():** Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.*

Hidruros ():** Quemar en paila de hierro.

Hidrocarburos, alcoholes, cetonas, esteres: Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Amidas orgánicas: Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Ácidos orgánicos: Mezclar con papel o con un disolvente inflamable. Incinerar.

5.9.4 RECUPERACIÓN

Este procedimiento consiste en efectuar un tratamiento al residuo que permita recuperar algún o algunos elementos o sus compuestos que su elevado valor o toxicidad hace aconsejable no eliminar. Es un procedimiento especialmente indicado para los metales pesados y sus compuestos.

5.9.4.1 Procedimientos de recuperación

Desechos metálicos: Recuperar y almacenar (según costes).

Mercurio metal: Aspirar, cubrir con polisulfuro cálcico y Recuperar.

Mercurio compuestos: Disolver y convertirlos en nitratos solubles. Precipitarlos como sulfuros. Recuperar.

Arsénico, bismuto, antimonio: Disolver en HCL y diluir hasta aparición de un precipitado blanco (SbOCl y BiOCl). Añadir HCl 6M hasta redisolución. Saturar con sulfhídrico. Filtrar, lavar y secar.

Plomo, cadmio: Añadir HNO₃ (Se producen nitratos). Evaporar, añadir agua y saturar con H₂S. Filtrar y secar.

(**) Estas sustancias o sus residuos también pueden eliminarse mediante un procedimiento de tratamiento y vertido. (Ver apartado sobre "tratamiento y vertido").

Selenio, telurio: Disolver en HCl. Adicionar sulfito sódico para producir SO₂ (reductor). Calentar. (Se forma Se gris y Te negro). Dejar en reposo (12h). Filtrar y secar.

Berilio: Disolver en HCl 6M, filtrar. Neutralizar (NH₄ OH 6M). Filtrar y secar.

Estroncio, bario: Disolver en HCl 6M, filtrar. Neutralizar (NH₄ OH 6M). Precipitar (Na₂ CO₃). Filtrar, lavar y secar.

Vanadio: Añadir a Na₂ CO₃ (capa) en una placa de evaporación. Añadir NH₄ OH 6M (pulverizar). Añadir hielo (agitar). Reposar (12h). Filtrar (vanadato amónico) y secar.

Otros metales (talio, osmio, deuterio, erbio, etc.): Recuperación

Disolventes halogenados: Destilar y almacenar. ^{9,10}

5.9.5 REUTILIZACIÓN - RECICLADO

Una vez recuperado un compuesto, la solución ideal es su reutilización o reciclado, ya que la acumulación de productos químicos sin uso previsible en el laboratorio no es recomendable. El mercurio es un ejemplo claro en este sentido. En algunos casos, el reciclado puede tener lugar fuera del laboratorio, ya que el producto recuperado (igual o diferente del contaminante originalmente considerado) puede ser útil para otras actividades distintas de las del laboratorio. ⁹

5.10 ANALISIS QUIMICO PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Después de la desactivación de los residuos químicos generados en el laboratorio se procede al tratamiento de estos residuos y si es posible su eliminación. De esta manera darle condiciones adecuadas para que estos no afecten la salud humana ni el medio ambiente.

Los parámetros químicos que se tendrán en cuenta para aplicar a los residuos químicos son:

5.10.1 PRECIPITACION.

Un precipitado es un sólido formado a partir de una solución. La mayoría de los precipitados que se encuentra en análisis cualitativos son sales ligeramente solubles formadas por la combinación de iones de una solución saturada, la cual es temporalmente sobresaturada por la adición del agente precipitante. La solución sobresaturada se revierte rápidamente a soluciones saturadas, conforme los iones se combinan para formar un precipitado.

5.10.2 PRECIPITACIÓN DE METALES.

Un análisis cualitativo inorgánico sistemático de iones mediante un método por vía húmeda, supone la separación de iones en grupos por reacciones de precipitación selectiva. Se aíslan los iones individuales de los grupos, a través de una reacción de precipitación adicional, y se confirma la identidad del ion con un test de reacción, que produce un determinado precipitado o color. Tanto para cationes (iones con carga positiva) como para aniones (iones con carga negativa), existen diversas fórmulas para obtener estos resultados. ¹¹

5.10.3 pH.

El término pH es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidrógeno en una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, esos valores miden el grado de acidez o basicidad de una solución. Los valores inferiores a 7 y próximos a cero indican aumento de la acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de la basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indican neutralidad.

El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9. Las aguas de pH menor de 6,5 son

corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución.

En el análisis de pH en laboratorio se suelen utilizar métodos colorimétricos o potenciométricos.

En el análisis de pH para métodos “in situ” se suelen utilizar métodos más rápidos como son el pHmetro y las tiras de papel indicador.

5.10.4 TURBIDEZ.

La turbidez o turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua.

La turbidez en el agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente divididas, organismos planctónicos y microorganismos.

El método que se utiliza actualmente para determinar la turbidez es el método nefelométrico, en el cual se expresa la turbidez en unidades de turbidez nefelométricas (NTU). Con este método se compara la intensidad de la luz dispersa por la muestra con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia en las mismas condiciones de medida. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada mayor será la turbiedad. Como suspensión estándar de referencia se utiliza una suspensión de un polímetro de formalina.

Los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y consecuentemente, la tasa de filtración mas adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

5.10.5 SÓLIDOS.

Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, como materia sólida. Es necesario medir la cantidad del material sólido contenido en sustancias líquidas y semilíquidas que van desde aguas potables hasta aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales y lodos producidos en los procesos de tratamiento.

5.10.5.1 Sólidos totales: Se define como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).

5.10.5.2 Sólidos disueltos (o residuo filtrable): Son determinados directamente o por diferencia entre sólidos totales y sólidos suspendidos.

5.10.5.3 Sólidos suspendidos (residuos no filtrables o material no disuelto): Los sólidos en suspensión son aquellos que se encuentran en el agua sin estar disueltos en ellas, pueden ser sedimentables o no.

5.10.5.4 Sólidos volátiles y sólidos fijos: esta determinación suele hacerse a aguas residuales y lodos con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente.

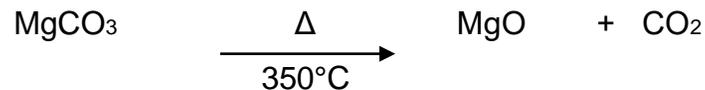
El procedimiento estándar consiste en someter las cazuelas, con el residuo retenido después de completar el ensayo para sólidos totales, luego de completar el ensayo para sólidos suspendidos, a calcinamiento en una mufla, a una temperatura de $550 \pm 50^\circ\text{C}$, durante quince a veinte minutos. La pérdida de peso se registra como mg/L de sólidos volátiles y el residuo como mg/L de sólidos fijos.

El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica, teniendo en cuenta que a $550 \pm 50^\circ\text{C}$, la materia orgánica se oxida a una velocidad razonable, formando CO_2 y H_2O que se volatiliza; sin embargo, la interpretación no es exacta puesto que la pérdida de peso incluyen también

perdidas debidas a descomposición o volatilización de sales minerales. Compuestos de amonio, como el bicarbonato de amonio, se volatiliza completamente durante la ebullición.



Otros carbonatos de magnesio, no son estables:



En la practica es preferible cuantificar el contenido de materia orgánica en aguas mediante ensayos como el de la demanda química de oxigeno o el de la demando bioquímica de oxigeno.

5.10.5.5 Sólidos sedimentables: La denominación se aplica a los sólidos en suspensos que se sedimentaran, en condiciones tranquilas, por acción de la gravedad.

Los procedimientos usados en la determinación del contenido de sólidos son métodos gravimetricos, por lo tanto es necesario que los crisoles tengan un peso constante para no introducir errores en la determinación.

En aguas potables, la determinación de sólidos totales es la de mayor interés, por ser muy pequeña la cantidad existente de sólidos suspendidos. En general, las aguas para consumo público se recomiendan un contenido de sólidos totales menor de 1.000 mg/L.

En aguas residuales, la determinación de sólidos totales es ordinariamente de poco valor, ya que es difícil interpretar su significado en forma real y exacta.

La determinación de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles es importante para evaluar la concentración o «fuerza» de aguas residuales y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento.

La determinación de sólidos sedimentables es básica para establecer la necesidad de tanques sedimentación como unidades de tratamiento y para controlar su eficiencia. ¹²

5.10.6 OXIGENO DISUELTO (O.D).

En los desechos líquidos, el oxígeno disuelto es el factor que determina si los cambios biológicos son efectuados por organismos aeróbicos o anaeróbicos. Los primeros usan el oxígeno para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica y originan productos finales inocuos, mientras que los últimos efectúan tales oxidaciones a través de la reducción de ciertas sales inorgánicas tales como sulfatos. De aquí que las mediciones de oxígeno disuelto sean indispensables conocer y procurar el mantenimiento de la condiciones aeróbicas en la aguas naturales que reciben materia poluyente y en los procesos de tratamiento aeróbicos proyectados para purificar desechos domésticos e industriales.

Las determinaciones de oxígeno disuelto se usan para mantener condiciones favorables para el crecimiento y la reproducción de una población normal de peces y otros organismos acuáticos, sirven también como base para cuantificar DBO.

El método mas usado para la determinación de O.D es le de la modificación del nitruro al método Winkler, el cual es el mas indicado para la elijación de interferencias producidas por nitritos presentes en la muestra. Los nitritos constituyen la interferencia más común en muestras incubadas para el análisis de DBO.

Todos los procesos de tratamiento aeróbicos dependen de la presencia del oxigeno disuelto, y las pruebas para cuantificarlo son indispensables como un medio de controlar la aireación y tener así la seguridad de que se esta suministrando cantidades adecuadas de aire para mantener las cantidades aeróbicas y también para impedir el uso excesivo de aire.

El oxigeno es un factor de significación en la corrosión del hierro y el acero, particularmente en los sistemas de distribución de agua en las calderas de vapor.

Debido a que el agua contiene cerca de 0.8% en volumen, el medio acuático es particularmente sensible a las demandas de oxigeno que lo pueblan. Por consiguiente, la determinación de oxigeno disuelto en el agua en relación con su valor de saturación y de la cantidad y velocidad de utilización del oxigeno, (demanda bioquímica del oxigeno), proporciona un medio rápido y útil para

identificar el estado de contaminación del agua e indirectamente también, la cantidad de materia orgánica sujeta a descomposición contenida en ésta a un tiempo determinado.

La solubilidad del oxígeno varía directamente con la presión atmosférica a determinada temperatura. Las altas temperaturas son especialmente importantes para los estudios de polución de corrientes porque el oxígeno disuelto es menor y la demanda de oxígeno es más alta debido a que la tasa de oxidación biológica aumenta al aumentar la temperatura.

La solubilidad del oxígeno atmosférico en aguas frescas va desde 14.6 mg/L a 0°C hasta 7 mg/L a 35°C bajo una atmósfera de presión. Podemos apreciar los siguientes niveles de oxígeno disuelto. ¹³

5.10.7 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).

La oxidación microbiana o mineralización de la materia orgánica es una de las principales reacciones que ocurren en los cuerpos naturales de agua y constituye una de las demandas de oxígeno, ejercida por los microorganismos heterotróficos que hay que cuantificar.



Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas residuales es el ensayo de DBO a cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días y a 20°C.

En aguas, aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a cinco días representa en promedio un 65 a 75% del total de la materia orgánica oxidable.

La DBO como todo ensayo biológico, requiere cuidados especiales su realización, el ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente en el residuo; por tanto, es

necesario garantizar que durante el periodo del ensayo exista suficiente O.D para ser utilizado por los organismos.

Este método se sigue utilizando como indicadores de la calidad de las aguas y como norma básica en la evaluación de cargas contaminantes. La demanda de oxígeno de las aguas residuales y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas negras, aguas contaminadas y desechos industriales, esta se debe a tres clases de materiales.

- Materiales orgánicos carbonosos (hidratos de carbono-proteínas) que son aprovechados como fuente de nutrientes por los organismos aeróbicos.
- Materiales nitrogenados oxidables que se derivan de los nitritos, amoníaco y nitrógeno orgánico, que sirven de alimento a bacterias específicas como NITROSOMAS y NITROBACTER.
- Ciertos compuestos químicos reductores (hierro ferroso, sulfitos y sulfuros), que reaccionan con el oxígeno molecular disuelto. En las aguas negras, domesticas, crudas y sedimentadas la mayor parte del a demanda de oxígeno se debe a la primera clase de materiales y se determina por la estabilización de DBO.

En las aguas contaminadas, el proceso de oxidación biológica se realiza en dos etapas más o menos distintas.

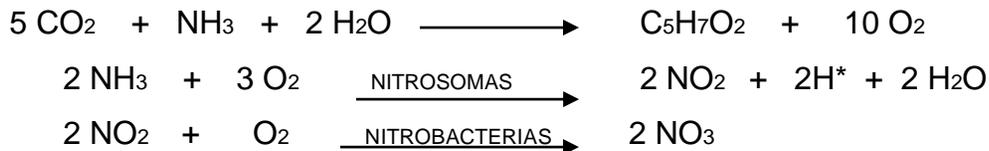
1 ETAPA

Esta con una duración aproximada de 7 a 10 días o más, tiene la oxidación exclusiva de materia carbónica, cuya reacción general se puede resumir de la siguiente manera:



2 ETAPA

En esta etapa solo se realiza en presencia de materias nitrogenadas, en cuyo caso las reacciones se inician posiblemente a partir del CO₂ producido en la oxidación de la materia carbónica y gracias a microorganismos nitrificantes.



Por tanto, la DBO es solo una medida del oxígeno consumido en la oxidación de la mezcla de los compuestos existentes en la muestra, por la población microbiana existente en la misma al hacer el ensayo. Así, el ensayo de DBO es un proceso de oxidación húmeda en el cual los organismos son el medio para oxidar la materia orgánica en dióxido de carbono y agua. Es posible interpretar los valores de DBO en términos de materia orgánica mediante relaciones cuantitativas que expresan matemáticamente la relación entre la concentración de materia orgánica y la cantidad de oxígeno requerido para convertirla en dióxido de carbono, agua y amoníaco.

5.10.8 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La demanda química de oxígeno es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico (oxidante fuerte). Específicamente, representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en una solución ácida.

El ensayo tiene la ventaja de ser más rápido que el de la DBO y no está sujeto a tantas variables como las que pueden presentarse en el ensayo biológico. Todos los compuestos orgánicos, con unas pocas excepciones pueden ser oxidados a

CO₂ y agua mediante la acción de agentes oxidantes fuertes, en condiciones ácidas.

En la determinación de la DQO interfieren los cloruros, los nitritos y otros iones inorgánicos como hierro ferroso, manganeso manganeso, sulfitos y sulfuros, susceptibles de oxidación por dicromato en las condiciones generales del ensayo; el amoníaco no está incluido en la DQO. En general, en aguas residuales los cloruros constituyen la interferencia más importante, pues introducen un error por exceso en el valor de la DQO.



No es posible establecer una relación fija entre DBO y DQO mientras no se determine ambos parámetros para cada muestra en particular. Si la muestra contiene esencialmente compuestos oxidables por ambos procedimientos, DBO y DQO, puede establecerse una relación. En este caso un ensayo puede sustituir al otro y el de DQO puede usarse como indicador de las disoluciones requeridas para hallar el valor de la DBO:

Si la muestra se caracteriza por un predominio de material químicamente oxidable pero no biológicamente, el valor de la DQO será mayor que el de la DBO. En general, esto se observa en aguas residuales crudas, residuos textiles y residuos de procesadoras de papel. En aguas residuales domésticas típicas es común suponer una relación DQO/DBO igual a dos, pero en efluente de plantas de tratamiento la relación puede ser igual a tres

Si el caso es contrario al anterior, es decir, si predomina en la muestra el material oxidable biológicamente, la DBO será mayor que la DQO; como ejemplo puede citarse algunos residuos de destilerías o plantas de refinación que pueden tener una DBO alta y una DQO baja.

El valor de la DQO se utiliza exclusivamente en el análisis de aguas residuales, junto con el valor de la DBO, permite determinar las condiciones de biodegradabilidad y contenido de sustancias tóxicas de la muestra, así como la eficiencia en las unidades de tratamiento. ^{12, 13}

5.10.9 COLOIDES.

Son, en general, sólidos finamente divididos que no se sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero que pueden removerse del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica.

Con base en su tamaño, los coloides han sido definidos como partículas cuyo diámetro varían entre 1 y 100 nm. Dos propiedades únicas están asociadas a los coloides. Movimiento browniano y área superficial extremadamente grande, estas dos propiedades le permitan desafiar la ley de gravedad y, por tanto, impide su remoción por sedimentación simple. Debido a su inmensa área superficial, los coloides adsorben iones en cantidades desiguales, originando la formación de una carga eléctrica que contribuye a su estabilidad. El resultado de la formación de esa carga eléctrica y del movimiento browniano es una colisión constante entre partículas. La tasa de coagulación puede tomarse entonces como medida de la cantidad de partículas que se adhieren, durante la colisión, en un periodo determinado.

Dependiendo de su afinidad con el agua, los coloides se dividen en hidrofóbicos e hidrófilicos. Los coloides hidrófilicos tienen la habilidad de reaccionar espontáneamente con el agua para formar suspensiones coloidales, las cuales pueden ser deshidratadas y convertidas en el material original o redispersadas repentinamente, por ello se les llama coloides reversibles.

Los coloides hidrofóbicos, a su vez, se obtienen casi siempre por medios físicos o químicos; no se dispersan espontáneamente en el agua y por ello se les llama coloides irreversibles. Entre los coloides hidrofóbicos se incluyen la arcilla, el oro y otros metales; entre los hidrófilicos, las proteínas y los detergentes.

En la coagulación, los coloides hidrófilicos reaccionan químicamente con el agua y con los coagulantes, los hidrofóbicos no reaccionan con el agua y su coagulación se logra predominantemente por reacciones físicas no químicas. En los coloides hidrófilicos la estabilidad se mantiene por la hidratación, pues la molécula de agua es atraída a la superficie de partículas y actúan como una barrera de contacto entre ellas. En los hidrofóbicos la estabilidad es predominantemente un fenómeno

eléctrico, explicado por la teoría de la doble capa, o sea por la existencia de una carga opuesta envolvente a dicha superficie.

En su forma más simple, la teoría establece que las partículas hidrofóbicas suspendidas en el agua transportan cargas eléctricas en su superficie. En aguas naturales, dichas cargas son comúnmente negativas.

El grado de estabilidad de una partícula es determinado por un valor llamado potencial zeta, el cual está relacionado con la carga de la partícula y la distancia a través de la cual la carga es efectiva. El concepto de potencial zeta surge de la teoría de la doble capa.

Las partículas coloidales se caracterizan por poseer dos capas eléctricas alrededor de ellas, las cuales derivan su estabilidad. La capa interna consiste tanto en cationes como en aniones, pero en general tiene una carga neta negativa. La capa interna comprende cationes intercambiables tales como Na^+ , K^+ , Mg^+ , H^+ , etc. ¹⁴

5.10.10 COAGULANTES.

En general, se puede decir que coagulantes son aquellos compuestos de hierro o aluminio capaces de formar un floc y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua. Por otra parte, ayudas de coagulación son sustancias que producen poco o ningún floc al ser usadas solas, pero mejoran los resultados obtenidos con simples coagulantes.

Hay que distinguir entre **coagulación**, el proceso por el cual se añade un coagulante (sustancia química) al agua con el objeto de destruir la estabilidad de los coloides y promover su agregación, y **floculación**, el proceso físico de mezcla rápida y lenta por medio del cual se incrementa la posibilidad de choque entre partículas y, por consiguiente, la formación de floc. Sin embargo, es común referirse a la coagulación como proceso de adición de coagulante, mezcla rápida, flocculación y sedimentación.

Los coagulantes más empleados son:

5.10.10.1 Coagulantes principales.

- ❖ Alumina [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$] o sulfato de aluminio
- ❖ Sulfato férrico
- ❖ Cloruro férrico
- ❖ Sulfato ferroso
- ❖ Carbonato de magnesio
- ❖ Aluminato de sodio

5.10.10.2 Ayudantes de coagulación

- ❖ Sílice activado
- ❖ Poli electrolitos aniónicos
- ❖ Poli electrolitos Catiónico
- ❖ Polímetro no iónico

5.10.10.3 Agentes oxidantes

- ❖ Cloro
- ❖ Dióxido de cloro
- ❖ Permanganato de potasio
- ❖ Hipoclorito de calcio
- ❖ Hipoclorito de sodio

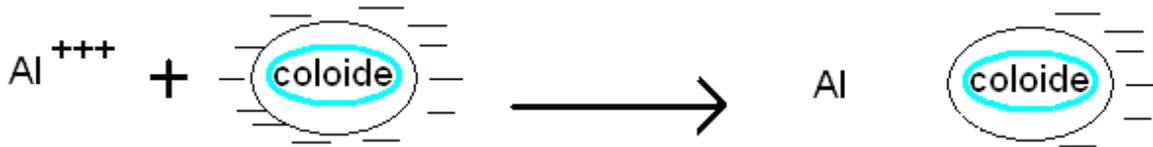
5.10.10.4 Álcalis

- ❖ Carbonato e calcio
- ❖ Cal dolomítica
- ❖ (58% CaO, 40% MgO)
- ❖ Cal hidratada

- ❖ Oxido de magnesio
- ❖ Carbonato de sodio
- ❖ Hidróxido de sodio ¹⁵

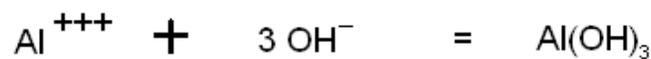
5.10.10.5 Sulfato de Aluminio (Alumbre)

El sulfato de aluminio es el agente coagulante estándar empleado en tratamiento e aguas. Cuando se añade soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+++} y $SO_4=$. El Al^{+++} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal.



Reduciendo el potencial a un valor en que la unión de las partículas pueden ocurrir.

El Al^{+++} puede combinarse también con OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio

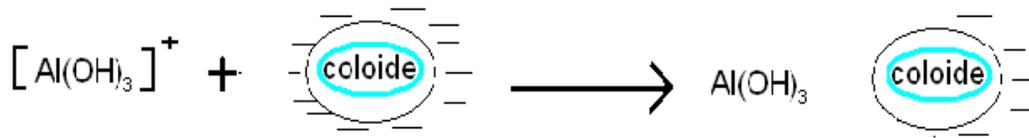


y



Este hidróxido de aluminio es de carácter coloidal, ya que adsorbe iones positivos en solución para formar un sol cargado positivamente.

Dichos sol neutralizan la carga de los coloides negativos y ayuda a completar su aglomeración.



Casi siempre se forma un exceso de sol de hidróxido de aluminio, y su destrucción y precipitación se logran mediante los iones de sulfato y otros iones negativos presentes en el agua.

Los iones acuímetálicos son adsorbidos por el coloide negativo y neutralizan su carga superficial, permitiendo la coagulación. La coagulación por absorción y neutralización de carga es posiblemente el fenómeno predominante en soluciones de alta concentración de coloides.

Como se dijo previamente, los coloides también pueden ser barridos por los floc formados, al resultar atrapados dentro de ellos durante la floculación y sedimentación; en otras palabras, los precipitados de $Al(OH)_3$ atrapan los coloides efectuando una coagulación de barrido, el cual predominan en una solución de concentración coloidal baja. Debe tenerse en cuenta, que si se sobre dosifica el coagulante, el fenómeno puede revertirse y resurgir el coloide negativo, causando nuevamente el problema de turbidez y color.

Es importante que el sulfato de aluminio se distribuya a través de toda la masa de agua rápidamente, con el fin de lograr el contacto con todas las partículas coloidales antes de que se presenten la formación de las especies menos deseables. Esto se obtiene mediante una mezcla instantánea que provea una buena distribución del coagulante en el menor tiempo posible (un periodo no mayor de diez segundos).

Durante la floculación, generalmente un periodo que oscila entre diez a treinta minutos, se completa la aglomeración de las partículas y crecen los floc hasta una condición adecuada para su sedimentación. Durante la sedimentación, el floc se asienta para dejar un líquido clarificado, cuando se añade sulfato de aluminio al agua, este reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar el floc de hidróxido de aluminio. ¹⁶

5.10.11 PRUEBA DE JARRAS.

La coagulación química es uno de los más importantes procesos que se aplica extensivamente en la práctica de tratamiento del agua especialmente cuando se trata de aguas superficiales. Aunque la coagulación química no puede ser clasificada como un procedimiento analítico, las pruebas de laboratorio empleadas en su estudio proporcionan una excelente oportunidad para practicar las determinaciones del color, turbiedad, pH, el dióxido de carbono y la alcalinidad.

Los propósitos de la coagulación química consisten en la eliminación de:

- Turbiedad tanto inorgánica como orgánica
- Color ya sea real o aparente
- Bacterias nocivas y otros organismos patógenos
- Algas
- Sustancias que producen olores y sabores indeseados.

La eliminación de lo anterior mencionado produce un agua que es estéticamente aceptable y que puede ser fácilmente desinfectada.

Gran parte de la materia suspendida en el agua es de naturaleza coloidal. Esto es particularmente cierto en las sustancias que ocasionan el color y la turbiedad. Estas materias coloidales están cargadas negativamente y por esta razón se usan para coagular las sales de metales trivalentes, especialmente el aluminio y el hierro, en forma de sulfatos.

La coagulación implica tres etapas: adición de coagulante desestabilización de la partícula coloidal y formación del flóculos, la adición de las sales coagulantes producen cationes poliméricos cuyas cargas positivas neutralizan las cargas negativas de los coloides, permitiendo que las partículas se unan en forma de aglomerados pequeños llamados flocos.

La prueba de floculación se hace sobre muestras de agua cruda a las cuales se les adiciona cantidades variables de coagulante en forma de solución con una concentración conocida, es necesario tener en cuenta algunas condiciones del

ensayo en lo que se refiere a tiempo de retención y velocidad de agitación. Generalmente es 100 rpm durante un periodo de un minuto, luego se disminuye la velocidad de agitación a 40 rpm durante un periodo de 20 minutos; el tiempo de sedimentación varia entre 15 y 30 minutos. ^{15, 16, 17}

6. METODOLOGIA

De los métodos anteriormente descritos se aplica a los residuos químicos generados en el laboratorio de la planta de potabilización de aguas de la empresa multipropósito de Calarcá S.A E.S.P. la desactivación, neutralización, precipitación y su posterior vertido, según el procedimiento propuesto en el documento del INSTITUTO DE LOS SEGUROS SOCIALES “EL a b c de la seguridad en el laboratorio” Merck Colombia Departamento L PRO y PANREAC. Seguridad en los laboratorios químicos. Moniplot y Esteban S.A. Barcelona, 1988 de la siguiente forma:

Se recolecta aproximadamente por mes entre 12 y 20 litros de la determinación de **sulfatos**: (muestra, solución acondicionadora para sulfatos y $BaCl_2$) en una caneca, se procede a separar el bario que estos contienen realizando una neutralización con solución de amoníaco y adición posterior de carbonato de sodio, se filtra, el sólido obtenido se caracteriza por absorción atómica para corroborar la presencia de bario. Y el líquido se adiciona al colector donde se encuentran los demás residuos, los cuales se neutralizan con hidróxido de sodio. Este colector es clasificado como D y contiene los residuos provenientes de:

Cloro residual (8 L): muestra, sulfato ferroso amoniacal, solución indicadora de DPD, buffer fosfato y KI

Cloruros (16.8 L): muestra, fenolftaleína, NaOH 0.02 N, K_2CrO_4 5%, y $AgNO_3$ 0.0141 N.

Alcalinidad (18 L): muestra, fenolftaleína, indicador mixto y H_2SO_4 .

Dureza (18 L): muestra, EDTA 0.02 N, buffer pH 10, NaOH 1 N, negro de ericromo T, y murexida (curpurado ácido de amonio)

Hierro (10 L): muestra, HCL concentrado, hidroxilamina, fenantrolina y solución amortiguadora de acetato de amonio.

Acidez (4 L): muestra, fenolftaleína, tiosulfato de sodio, y NaOH 0.02 N,

* **Determinación de color:** semestralmente preparan la solución madre y soluciones patrón de trabajo, y esta consta de: $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, K_2PtCl_3 y HCl.

De estos residuos aproximadamente recogen entre 80 y 135 L al mes.

Para realizar las pruebas de jarras para el colector D con sulfato de aluminio sólido y líquido tipo A y B, y sulfato férrico productos de sulfoquímicas S.A, se prepara soluciones al 1 % que equivale a 10000 ppm y con esta solución 1 ml es 10 ppm en vasos de 1litro. Para el manhidrox (manganato potásico) producto distribuido por agrica S.A., fabricante minero San Antonio LTDA se prepara soluciones al 2% = 20000 ppm que equivale a 20 ppm 1 ml adicionados a vasos de 1 litro, y para el sulfato de aluminio líquido tipo B se prepara soluciones al 2% que equivale a 10 ppm 1 ml en jarras de 2 litros.

Para determinar la dosis óptima de cada coagulante se utiliza un equipo de jarras compuesto por seis vasos de acrílico, cada uno de los cuales contiene 1 litro de la muestra y volúmenes variables del coagulante en estudio. A continuación se determina las turbiedades finales y el pH, se considera como dosis óptima la menor concentración del coagulante necesario para obtener la turbiedad más baja. Para determinar la calidad del floculo formado en cada vaso de la prueba de jarras se toma del índice de floculación de wilcomb descrito en el anexo de la hoja de control de prueba de jarras de la empresa multipropósito de Calarca S.A.ESP. Esta prueba de jarras se realiza según la norma técnica colombiana NTC 3903 de 1996 llamada "procedimiento para el método de jarras en la coagulación"

Para realizar las pruebas de DQO, DBO, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos al líquido y pruebas de porcentaje de materia orgánica e inorgánica, porcentaje de humedad y densidad a los sólidos obtenidos después de realizar prueba de jarras, se realiza de acuerdo con la normatividad colombiana vigente o de acuerdo con el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de la APHA, AWWA y WEF en su última edición. Los coagulantes que mejor

porcentaje de remoción presente se analizan los lodos por absorción atómica para determinar su composición.

MES 1

DESACTIVACION DE SULFATOS:

Volumen recogido en 1 mes: 12.810 L

pH inicial = 1.55 UN

Color del residuo: blanco

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: amoniaco 5%

Volumen gastado de amoniaco hasta neutralización = 13.0 ml

Gráfica 1. Desactivación de sulfatos.

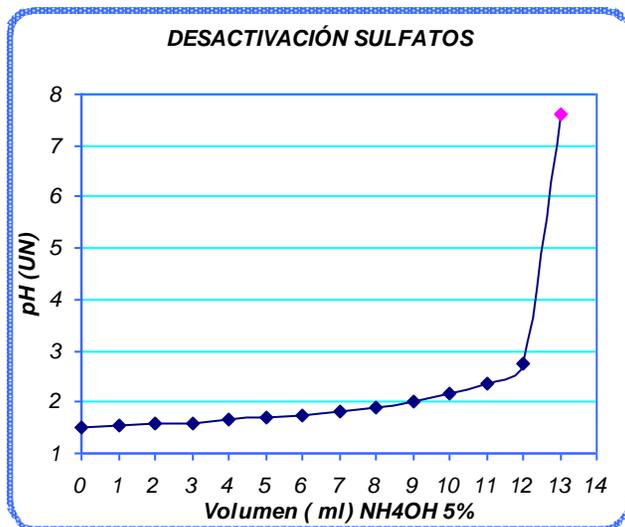


Tabla de datos 7. Desactivación de sulfatos			
Volumen NH ₄ OH 5% (ml)	pH (UN)	Volumen NH ₄ OH 5% ml	pH (UN)
0	1,52	7	1,82
1	1,55	8	1,9
2	1,57	9	2
3	1,6	10	2,15
4	1,65	11	2,35
5	1,69	12	2,74
6	1,74	13	7,6

- ◆ Indica el pH (7.6) al que fue dejado el residuo para adicionar el carbonato de sodio y luego ser agregado al recipiente colector D.

Volumen adicionado de amoniaco a todo el volumen de residuo=155 mL.

pH final = 7.25 UN

Gramos adicionados de Na₂ CO₃= 1g por volumen de residuo= 11.81g

Peso del sólido seco= 15.35 g

Observaciones: el color inicial del residuo no cambia al agregar la solución de amoníaco, al adicionar el carbonato de sodio el color cambia a blanco lechoso, al filtrar el líquido vuelve a su color inicial transparente y el sólido es de color blanco.

DESACTIVACIÓN COLECTOR D

Volumen recogido en 1 mes: 80.84L+12.965 L proveniente de sulfatos = 93.808L

pH inicial = 3.18 UN

pH después de agregar los residuos de sulfatos= 3.63 UN

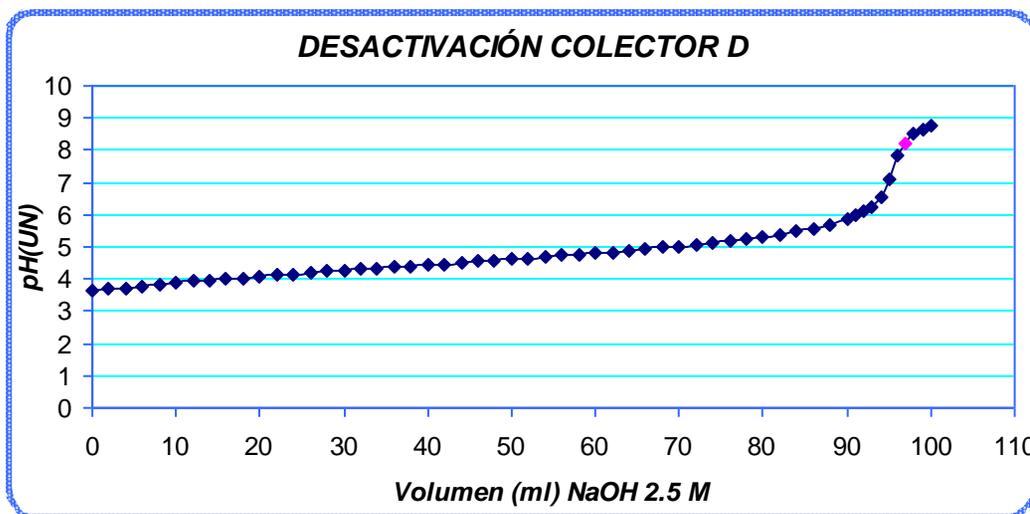
Color del residuo: rosa tenue

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: NaOH = 2.5 M

Volumen gastado de NaOH hasta neutralización = 97mL

Gráfica 2. Desactivación colector D.



- ◆ Indica el pH (8.23) al que fue dejado el residuo para realizar las pruebas de jarras.

Tabla de datos 8. Desactivación colector D

Vol NaOH 2.5 M	pH (UN)	Vol NaOH 2.5 M	pH (UN)	Vol NaOH 2.5 M	pH (UN)	Vol NaOH 2.5 M (ml)	pH (UN)
0	3,63	28	4,23	56	4,73	84	5,47
2	3,68	30	4,26	58	4,76	86	5,58
4	3,72	32	4,3	60	4,8	88	5,7
6	3,78	34	4,33	62	4,84	90	5,85
8	3,82	36	4,37	64	4,88	91	5,96
10	3,86	38	4,4	66	4,93	92	6,1
12	3,92	40	4,44	68	4,97	93	6,26
14	3,95	42	4,47	70	5,02	94	6,54
16	3,99	44	4,51	72	5,07	95	7,11
18	4,03	46	4,54	74	5,12	96	7,85
20	4,08	48	4,58	76	5,18	97	8,23
22	4,11	50	4,62	78	5,24	98	8,49
24	4,15	52	4,65	80	5,31	99	8,64
26	4,19	54	4,69	82	5,38	100	8,78

Volumen total adicionado de NaOH a todo el volumen de residuo= 9.09 L

pH final = 8.13 UN

Volumen final del recipiente D= 102.90 L

Observaciones:

El color inicial del residuo no cambia al adicionar los residuos de sulfatos. El color cambia a verde lima cuando se alcanza el pH neutro con la adición del NaOH.

PRUEBAS DE JARRAS

Las siguientes gráficas de las pruebas de jarras se realizaron con los siguientes parámetros:

Color de la muestra = verde lima claro

Volumen de muestra por jarra = 1 L para un total de 6 L por prueba

Equipo= floculador E y Q

Velocidad mezcla rápida (rpm) = 100

Velocidad mezcla lenta (rpm) = 40

Tiempo de mezcla lenta (min) = 15

Tiempo de sedimentación (min) = 20

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO TIPO B

Concentración del coagulante = 1% = 10000 ppm

Gráfica 3. Sulfato Aluminio Sólido tipo B

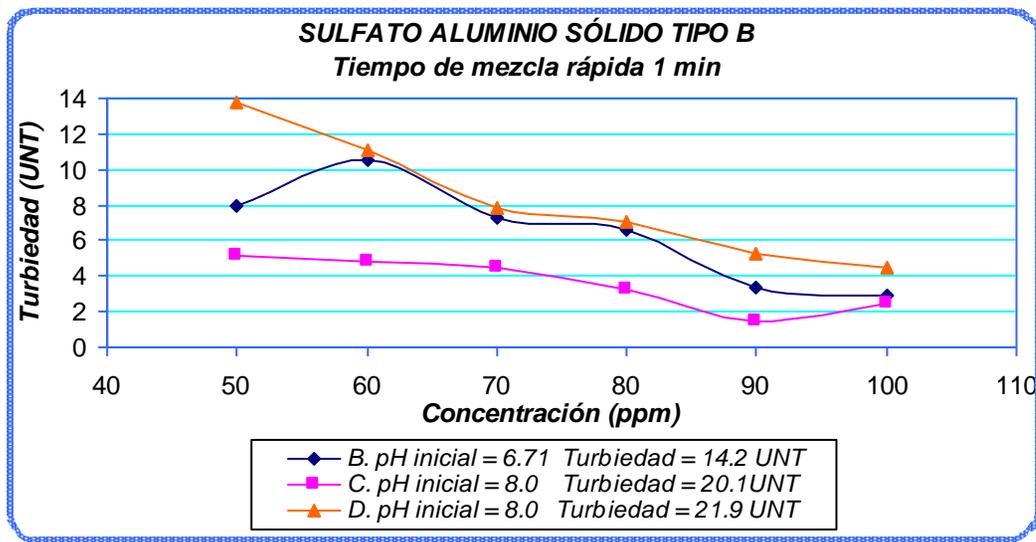


Tabla de datos 9. Prueba de jarras con sulfato aluminio sólido tipo B. Tiempo de mezcla rápida 15 seg

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT) B	pH (UN)	Índice de wilcomb	Turbiedad (UNT) C	pH (UN)	Índice de wilcomb	Turbiedad (UNT) D	pH (UN)	Índice de wilcomb
50	7,93	6.69	4	5,19	7.81	2	13.8	7.78	2
60	10,5	6.67	4	4,85	7.80	4	11.1	7.74	2
70	7,31	6.66	4	4,46	7.78	4	7.87	7.72	2
80	6,65	6.65	6	3,2	7.76	6	7.06	7.68	4
90	3,32	6.63	8	1,44	7.72	10	5.24	7.67	6
100	2,91	6.62	6	2,42	7.72	8	4.44	7.65	6

Gráfica 4. Sulfato Aluminio Sólido tipo B

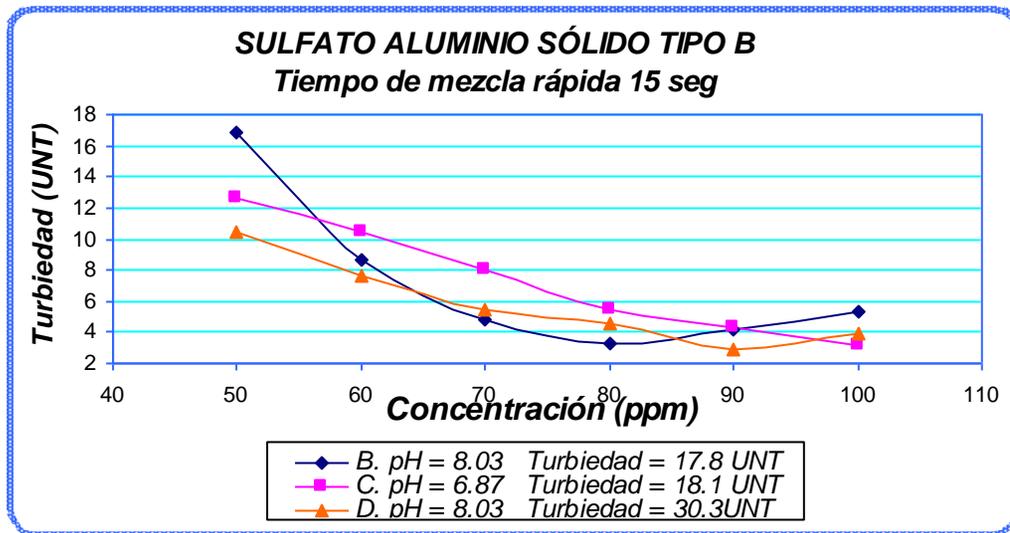


Tabla de datos 10. Prueba de jarras con sulfato aluminio sólido tipo B.

Tiempo de mezcla rápida 15 seg

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT) B	pH (UN)	Índice de wilcomb	Turbiedad (UNT) C	pH (UN)	Índice de wilcomb	Turbiedad (UNT) D	pH (UN)	Índice de wilcomb
50	16,8	7.80	2	12,6	6.80	2	10,5	7.84	4
60	8,68	7.80	2	10,5	6.78	2	7,65	7.84	4
70	4,84	7.75	4	7,99	6.76	2	5,41	7.84	4
80	3,33	7.76	6	5,51	6.74	4	4,52	7.81	6
90	4,14	7.69	8	4,36	6.73	6	2,93	7.72	6
100	5,29	7.65	6	3,13	6.72	4	3,89	7.71	6

Gráfica 5. Sulfato aluminio sólido tipo B

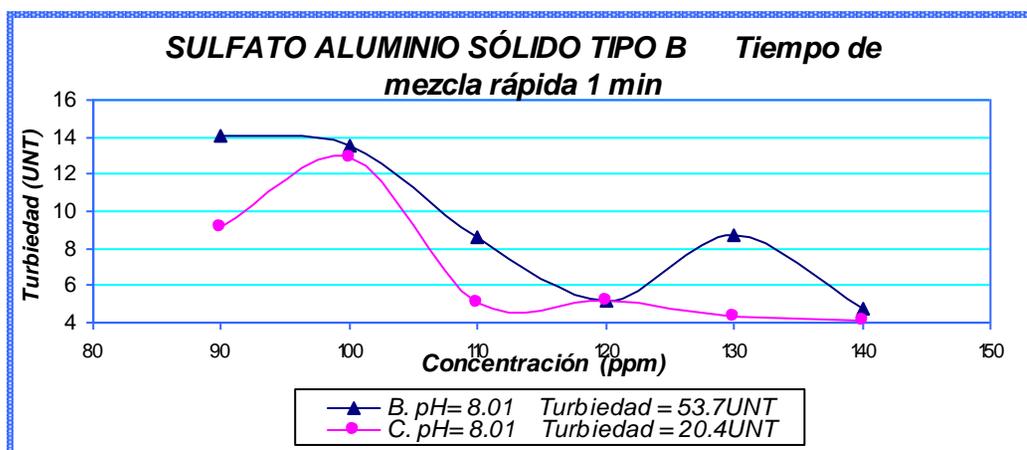


Tabla de datos 11. Prueba de jarras con sulfato aluminio sólido tipo B.

Tiempo de mezcla rápida 1min seg

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT) B	pH (UN)	Índice de wilcomb	Turbiedad (UNT) C	pH (UN)	Índice de wilcomb
90	14,1	7.65	2	9,09	7.73	2
100	13,5	7.60	2	12,9	7.67	2
110	8,59	7.57	2	5,06	7.66	2
120	5,17	7.53	2	5,15	7.62	2
130	8,76	7.51	2	4,33	7.59	2
140	4,73	7.45	2	4,16	7.57	2

Observaciones:

Se observa de las anteriores gráficas que un tiempo de mezcla rápida de 15 segundos es el más adecuado para efectuar las pruebas de jarras ya que a este tiempo se puede ver la tendencia característica de disminuir la turbiedad a medida que aumenta la concentración del coagulante hasta llegar a su dosis óptima y volver a aumentar la turbiedad si el intervalo de la dosis agregada está en alguna de las 6 jarras, como se puede observar en la gráfica 4B y 4D, y también que la turbiedad solamente disminuye si no ha llegado a la dosis óptima en el intervalo adicionado del coagulante a cada una de las 6 jarras, como lo muestra la gráfica 4C.

En cuanto a un tiempo de mezcla rápida de 1 minuto se puede observar una tendencia contraria al de 15 segundos ya que como lo muestra las gráficas 3B, 5B y 5C las turbiedades son discordantes ya que aumenta, disminuye, vuelven a aumentar y así sucesivamente. Esto es debido a que es demasiado tiempo de mezcla rápida y los flóculos sufren una ruptura por este tiempo de agitación quedando un floc muy fino distorsionando la turbiedad.

El pH es otro factor para tener en cuenta al realizar las pruebas de jarras ya que a un pH ácido o neutro no es adecuado para este tipo de coagulante (sulfato de aluminio) ya que está es una sustancia ácida la cual consume alcalinidad para

desestabilizar las partículas coloidales especialmente por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas.

Lo anterior explica por que en las gráficas 3B y 4C que se realizaron con un pH de 6.71 y 6,87 respectivamente no se observa el punto de dosis óptima, tal vez necesitando la adición de más reactivo como muestran el punto de dosis óptima las demás gráficas con pH de 8.0

Por lo anterior se decidió realizar todas las pruebas a un tiempo de mezcla rápida de 15 segundos, a un pH cercano a 8.0 y con los siguientes parámetros:

Volumen de muestra por jarra= 1 L

Equipo= floculador E y Q

Velocidad mezcla rápida (rpm) = 100

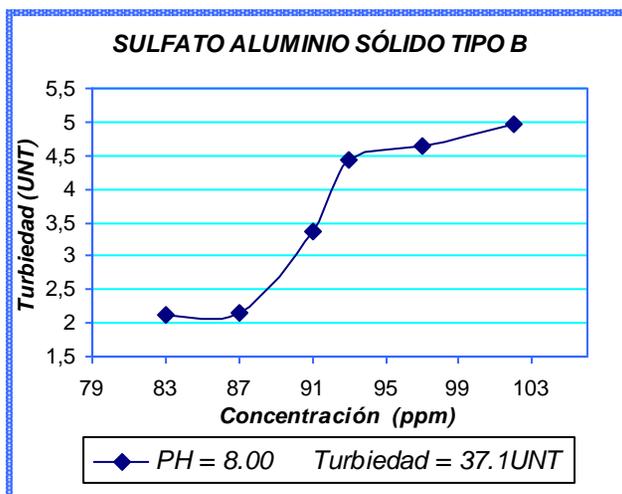
Tiempo de mezcla rápida (seg) = 15

Velocidad mezcla lenta (rpm) = 40

Tiempo de mezcla lenta (min) = 15

Tiempo de sedimentación (min) = 20

Gráfica 6. Sulfato aluminio sólido tipo B



Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
83	2,11	7.74	8
87	2,15	7.74	6
91	3,37	7.73	6
93	4,42	7.73	6
97	4,63	7.73	6
102	4,96	7.70	6

Observaciones:

El color cambia su color inicial verde lima a café al agregar el coagulante, después de 40 minutos al terminar la prueba el color oscurece más.

La gráfica 6 nos muestra que la dosis óptima no se encuentra entre los rangos de dosis que se ha agregado a cada jarra ya que la turbiedad asciende a medida que aumenta la concentración y esto nos lo corrobora la calidad del floculo ya que el aumento en la dosis del sulfato de aluminio sólido tipo B hace que los coloides se desestabilicen formándose más dispersos y con poco peso para precipitar, indicándonos que la dosis óptima se encuentra en un rango entre 83 y 91 ppm.

Gráfica 7. Sulfato aluminio sólido tipo B

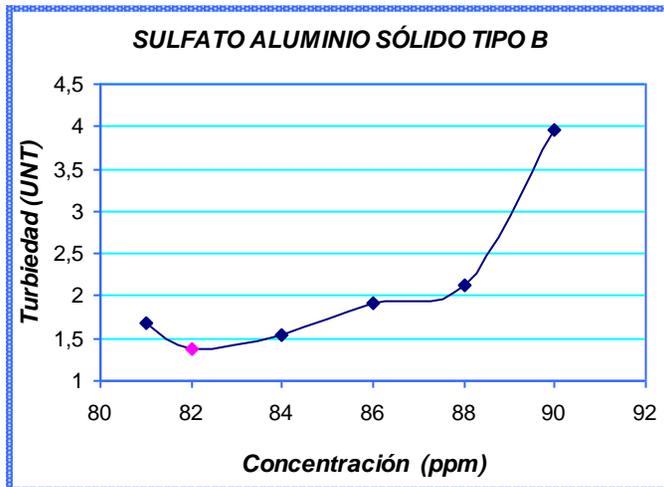


Tabla de datos 13. Prueba de jarras con sulfato aluminio sólido tipo B

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
81	1,69	7.78	6
82	1,38	7.78	6
84	1,55	7.77	6
86	1,91	7.77	6
88	2,13	7.77	6
90	3,95	7.15	6

◆ Indica la dosis óptima 82 (ppm) del sulfato aluminio sólido tipo B.

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO SÓLIDO TIPO A

Color de la muestra: verde cristalino. Al adicionar el coagulante no cambia de color

Gráfica 8. Sulfato aluminio sólido tipo A

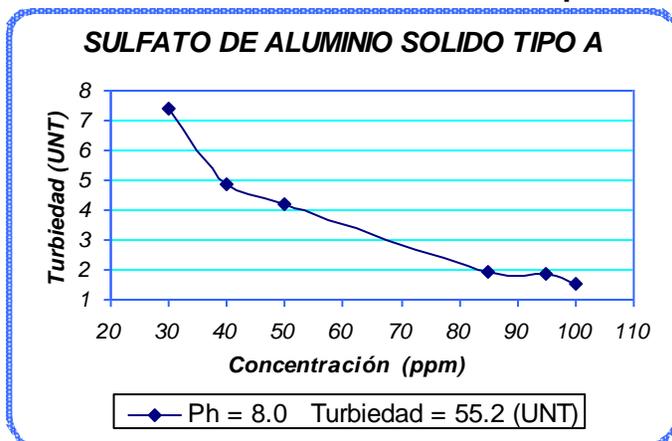


Tabla de datos 14. Prueba de jarras con sulfato aluminio sólido tipo A

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
30	7.41	7.93	6
40	4.85	7.90	6
50	4.19	7.86	6
85	1.96	7.77	8
95	1.84	7.72	8
100	1.56	7.70	8

Gráfica 9. Sulfato aluminio sólido tipo A

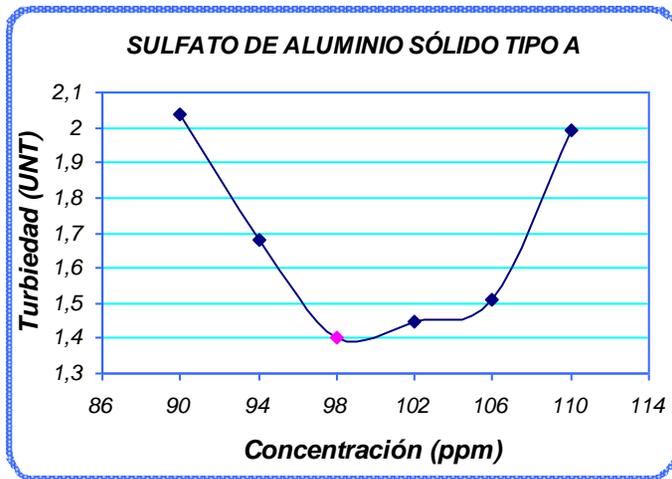


Tabla de datos 15. Prueba de jarras con sulfato aluminio sólido tipo A

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
90	2.04	7.78	8
94	1.68	7.77	8
98	1.40	7.75	8
102	1.45	7.74	8
106	1.51	7.74	8
110	1.99	7.78	8

- ◆ Indica la dosis óptima 98 (ppm) del sulfato de aluminio sólido tipo A. Con una turbiedad final de 1.40 (UNT)

Observaciones:

El color inicial verde lima no cambia al adicionar el sulfato de aluminio sólido tipo A. el color cambia un poco más oscuro al finalizar la prueba.

En las gráficas 8 y 9 podemos observar una tendencia contraria al del sulfato de aluminio sólido tipo B ya que nos muestra gráficas con líneas descendientes que indican que la turbiedad disminuye al aumentar la concentración hasta encontrar la dosis óptima en 98 ppm como lo muestra la gráfica 11.

Se puede observar también en las tablas de datos que el pH disminuye a medida que se aumenta la concentración del coagulante, ya que pasa de un pH inicial de 8.0 UN a un pH final de 7.74 UN que es donde encontramos las dosis óptima.

MES 2

DESACTIVACION DE SULFATOS

Volumen recogido en 1 mes: 13 L

pH inicial = 1.49 UN

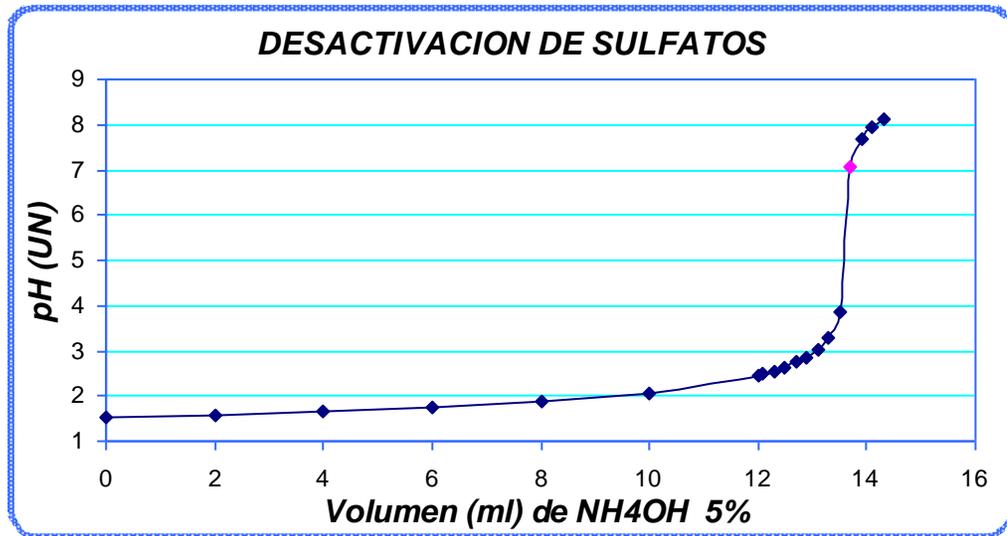
Color del residuo: blanco

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: amoniaco 5%

Volumen gastado de amoniaco hasta neutralización = 13.7ml.

Gráfica 10. Desactivación de sulfatos.



- ♦ Indica el pH (7.08 UN) al que fue dejado el residuo para adicionar el carbonato de sodio y luego ser agregado al recipiente colector D.

Tabla de datos 16. Desactivación de sulfatos

VOLUMEN (ML) NH ₄ OH 5%	PH (UN)	VOLUMEN (ML) NH ₄ OH 5%	PH (UN)	VOLUMEN (ML) NH ₄ OH 5%	PH (UN)
0	1,51	12,1	2,5	13,3	3,3
2	1,56	12,3	2,56	13,5	3,84
4	1,66	12,5	2,63	13,7	7,08
6	1,73	12,7	2,77	13,9	7,69
8	1,87	12,9	2,85	14,1	7,94
10	2,06	13,1	3,01	14,3	8,12
12	2,47				

Volumen total adicionado de amoniaco a todo el volumen de residuo=164.4 mL.

pH final = 7.02 UN.

Gramos adicionados de Na_2CO_3 = 1g por volumen de residuo= 12.164g

Peso del sólido seco= 19.17 g

Observaciones:

El color inicial del residuo no cambia al agregar la solución de amoniaco, al adicionar el carbonato de sodio el color cambia a blanco lechoso, al filtrar el líquido vuelve a su color inicial transparente y el sólido es de color blanco.

DESACTIVACIÓN COLECTOR D

Volumen recogido en 1 mes: 81.3L+13.137L proveniente de sulfatos=94.437L

pH inicial = 2.94 UN

pH después de agregar los residuos de sulfatos= 2.60 UN

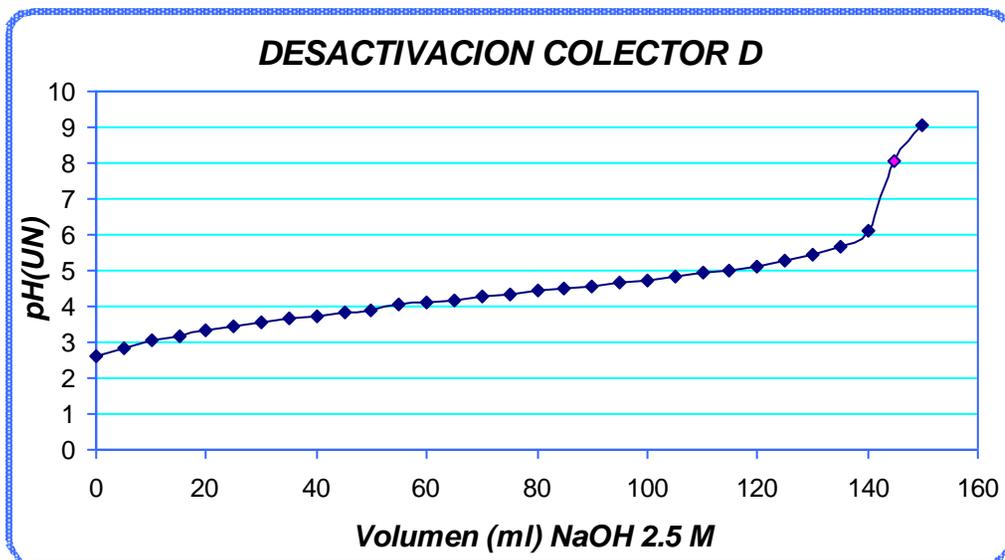
Color del residuo: rosa tenue

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: NaOH = 2.5 M

Volumen gastado de NaOH hasta neutralización = 145 mL.

Gráfica 11. Desactivación colector D.



- ◆ Indica el pH (8.06 UN) al que fue dejado el residuo para realizar las pruebas de jarras

Tabla de datos 17. Desactivación colector D

Volumen (mL) NaOH 2.5 M	pH (UN)	Volumen (mL) NaOH 2.5 M	pH (UN)	Volumen (mL) NaOH 2.5 M	pH (UN)
0	2,6	55	4,03	105	4,83
5	2,84	60	4,1	110	4,92
10	3,03	65	4,19	115	5,02
15	3,18	70	4,27	120	5,13
20	3,31	75	4,35	125	5,27
25	3,42	80	4,43	130	5,45
30	3,54	85	4,5	135	5,66
35	3,64	90	4,58	140	6,09
40	3,74	95	4,66	145	8,06
45	3,83	100	4,74	150	9,03
50	3,9				

Volumen total adicionado de NaOH a todo el volumen de residuo=13.69 L

pH final = 8.13 UN

Volumen final del recipiente D= 108.127 L

Observaciones:

El color inicial del residuo no cambia al adicionar los residuos de sulfatos. El color cambia a verde lima cuando se alcanza el pH neutro con la adición del NaOH.

PRUEBAS DE JARRAS

Todas las pruebas de jarras se realizaron con los mismos parámetros del mes anterior:

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO TIPO A

Concentración del coagulante = 1% = 10000 ppm.

Gráfica 12. Sulfato aluminio líquido A

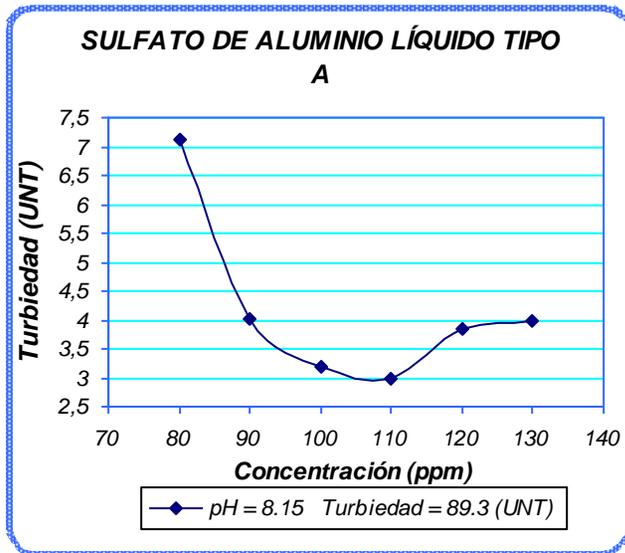


Tabla de datos 18. Prueba de jarras con sulfato aluminio líquido tipo A

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
80	7,12	8.0	4
90	4,01	7.99	6
100	3,2	7.99	8
110	2,98	7.98	8
120	3,84	7.97	6
130	3,99	7.97	6

Observaciones:

De la gráfica se puede establecer que la dosis óptima se puede encontrar entre 100 y 110 ppm.

Gráfica 13. Sulfato aluminio líquido A.

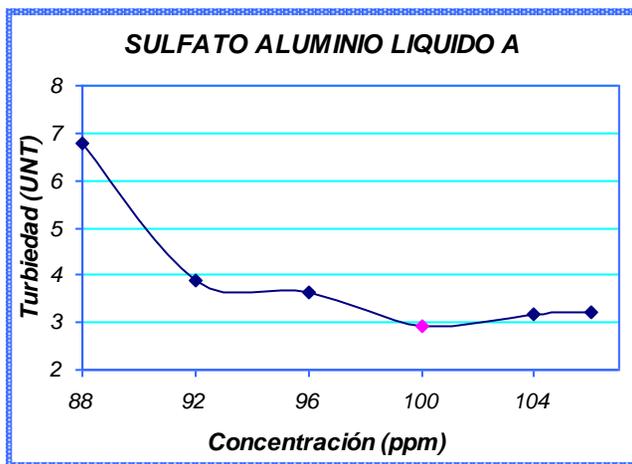


Tabla de datos 19. Prueba de jarras con sulfato aluminio líquido tipo A

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
88	6,77	8.0	6
92	3,89	7.98	8
96	3,64	7.97	8
100	2,94	7.97	10
104	3,18	7.96	8
106	3,23	7.95	6

- ◆ Indica la dosis óptima del sulfato de aluminio líquido tipo A con una turbiedad de 2.94 (UNT).

Observaciones:

Al realizar las pruebas de jarras con las diferentes dosis el color final cambia de verde lima a un verde más claro.

Podemos encontrar el punto de dosis óptima en la gráfica 18 con una concentración de 100 ppm para este tipo de coagulante con un floc relativamente grande y que se deposita fácilmente.

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO TIPO B

Concentración del coagulante = 2 % = 20000 ppm

Gráfica 14. Sulfato aluminio líquido tipo B.

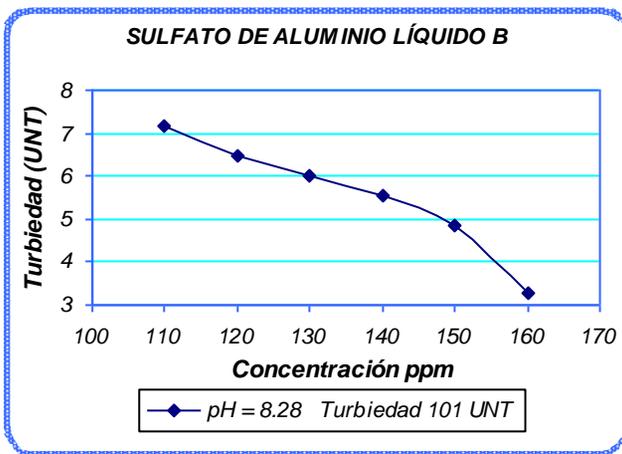


Tabla de datos 20. Prueba de jarras con sulfato aluminio líquido tipo B

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
110	7,17	8.20	4
120	6,48	8.19	4
130	6,01	8.19	4
140	5,56	8.18	4
150	4,84	8.17	4
160	3,26	8.16	4

Gráfica 15. Sulfato aluminio líquido tipo B.

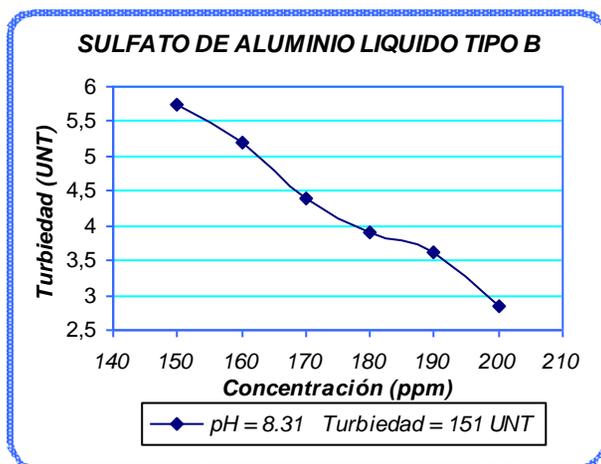


Tabla de datos 21. Prueba de jarras con sulfato aluminio líquido tipo B

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
150	5,73	8.18	8
160	5,19	8.16	8
170	4,4	8.15	8
180	5,28	8.14	8
190	3,63	8.11	8
200	2,84	8.10	10

Gráfica 16. Sulfato aluminio líquido tipo

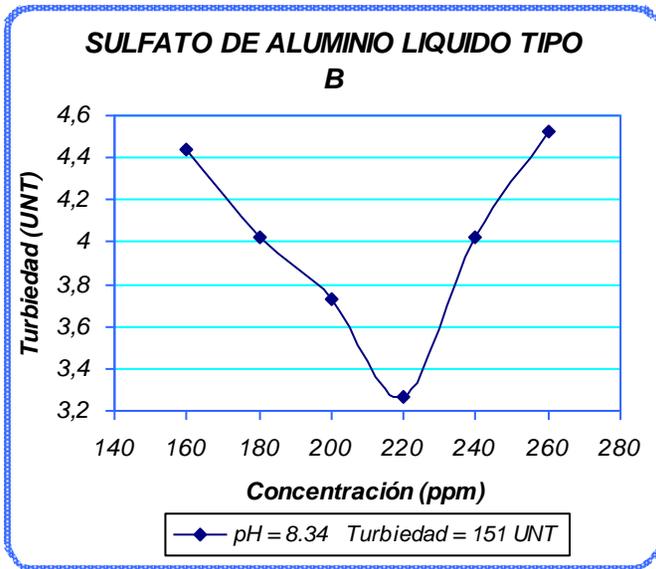


Tabla de datos 22. Prueba de jarras con sulfato aluminio líquido tipo B

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
160	4,44	8.15	6
180	4,02	8.14	8
200	3,73	8.12	8
220	3,27	8.11	8
240	4,02	8.10	8
260	4,52	8.9	8

Observaciones:

En esta gráfica podemos establecer que el punto de dosis óptima se puede encontrar entre 200 y 220 ppm.

Gráfica 17. Sulfato de aluminio líquido tipo B

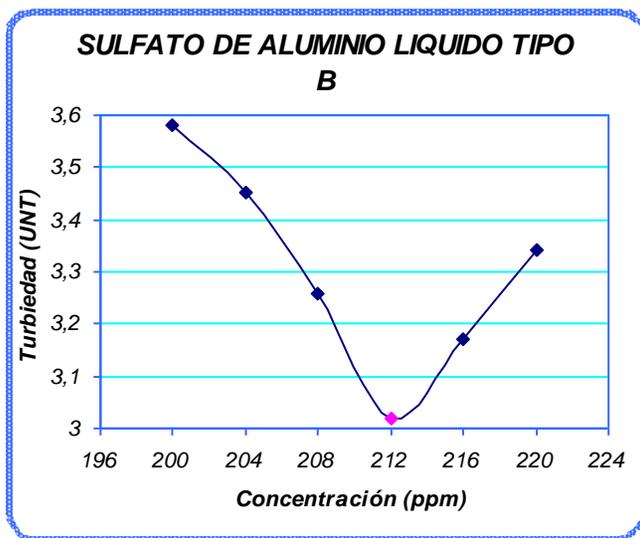


Tabla de datos 23. Prueba de jarras con sulfato aluminio líquido tipo B

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
200	3,58	8.15	8
204	3,45	8.14	8
208	3,26	8.12	8
212	3,02	8.11	8
216	3,17	8.10	8
220	3,34	8.9	8

- ◆ Indica la dosis óptima del sulfato de aluminio líquido tipo B con una turbiedad de 3.02 UNT.

Observaciones: Al adicionar el sulfato de aluminio líquido tipo B el color inicial del residuo que es verde lima cambia a café claro.

Podemos encontrar el punto de dosis óptima en la gráfica 23 con una concentración de 212 ppm con un floc relativamente grande y que se deposita fácil.

También se puede notar que como en los demás coagulantes usados el pH disminuye a medida que se aumenta la dosis del coagulante.

MES 3

DESACTIVACION DE SULFATOS:

Volumen recogido en 1 mes: 12 L

pH inicial = 1.55 UN

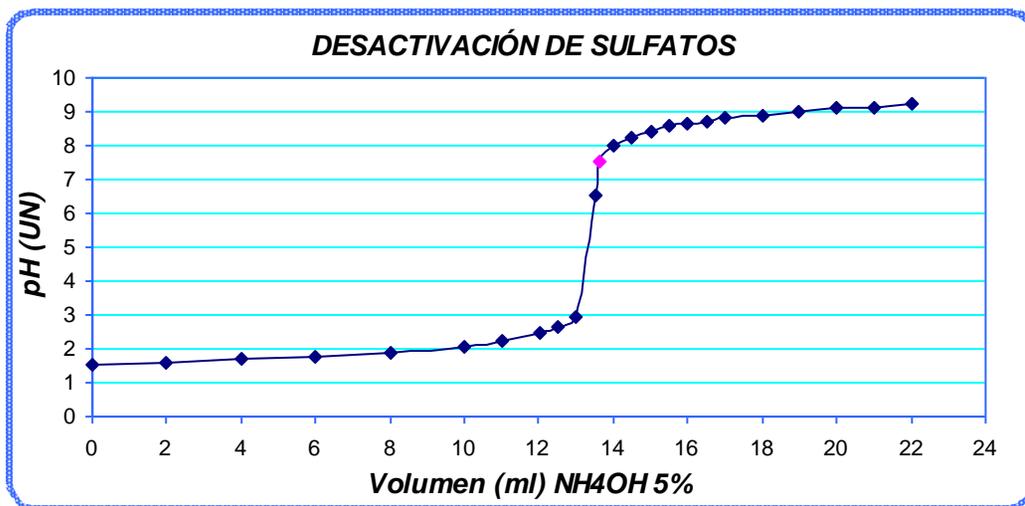
Color del residuo: blanco

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante : amoniaco 5%

Volumen gastado de amoniaco hasta neutralización = 13.65 mL.

Gráfica 18. Desactivación de sulfatos.



- ◆ Indica el pH (7.54) al que fue dejado el residuo para adicionar el carbonato de sodio y luego ser agregado al recipiente colector D.

Tabla de datos 24. Desactivación de sulfatos.

VOLUMEN NH ₄ OH 5%	PH (UN)						
0	1,55	11	2,24	14	7,99	17	8,8
2	1,57	12	2,46	14,5	8,23	18	8,91
4	1,68	12,5	2,63	15	8,44	19	9,01
6	1,75	13	2,96	15,5	8,57	20	9,09
8	1,88	13,5	6,53	16	8,67	21	9,14
10	2,06	13,65	7,54	16,5	8,73	22	9,21

Volumen total adicionado de amoniaco a todo el vol de residuo =150.15 mL.

pH final = 7.42 UN

Gramos adicionados de Na₂ CO₃= 1g por volumen de residuo= 11g

Peso del sólido después de filtrar= 12.82 g

Observaciones: al realizar la desactivación tiene las mismas características al del mes anterior.

DESACTIVACIÓN COLECTOR D

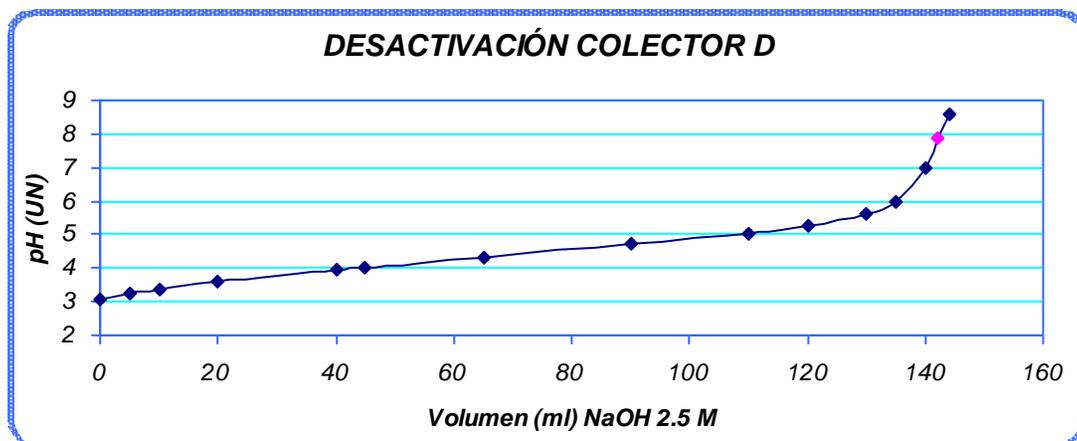
Volumen recogido en 1 mes: 77L+12.150L proveniente de sulfatos=89.150L

pH inicial = 3.0 UN

pH después de agregar los residuos de sulfatos= 3.09 UN

Color del residuo: rosa tenue

Gráfica 19. Desactivación colector D



- ◆ Indica el pH (7.9 UN) al que fue dejado el residuo para realizar las pruebas de jarras.

Tabla de datos 25. Desactivación colector D

VOLUMEN (ML) NAOH 2.5 M	PH (UN)						
0	3,09	40	3,96	110	5,03	140	7,01
5	3,22	45	3,99	120	5,29	142	7,9
10	3,36	65	4,3	130	5,61	144	8,59
20	3,58	90	4,7	135	5,95		

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: NaOH = 2.5 M

Volumen gastado de NaOH hasta neutralización = 142mL

Volumen total adicionado de NaOH a todo el volumen de residuo=12.65L

pH final = 7.84 UN

Volumen final del recipiente D= 101.80L

PRUEBAS DE JARRAS

Todas las pruebas de jarras se realizaron con los mismos parámetros de los meses anteriores.

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA DE MANHIDROX (base manganeso y sodio)

Concentración del coagulante = 1% = 10000 ppm

Gráfica 20. Manhidrox

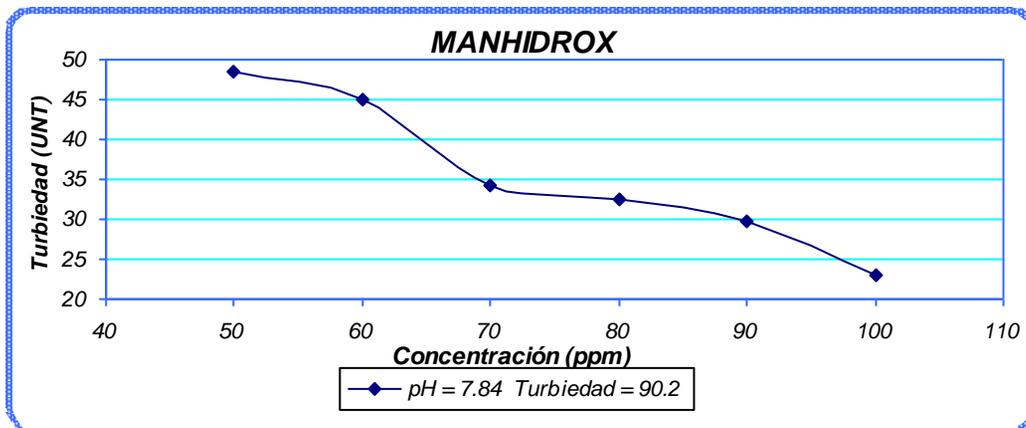


Tabla de datos 26. Prueba de jarras con manhidrox

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
50	48,5	7.89	2
60	45,1	7.91	2
70	34,3	7.92	2
80	32,5	7.94	2
90	29,7	7.95	2
100	23	7.97	2

Observaciones:

Como se puede observar en la gráfica tenemos turbiedades muy altas, por eso se establece realizar pruebas de jarras entre 160 a 260 aumentando cada dosis en 20 ppm.

Gráfica 21. Manhidrox

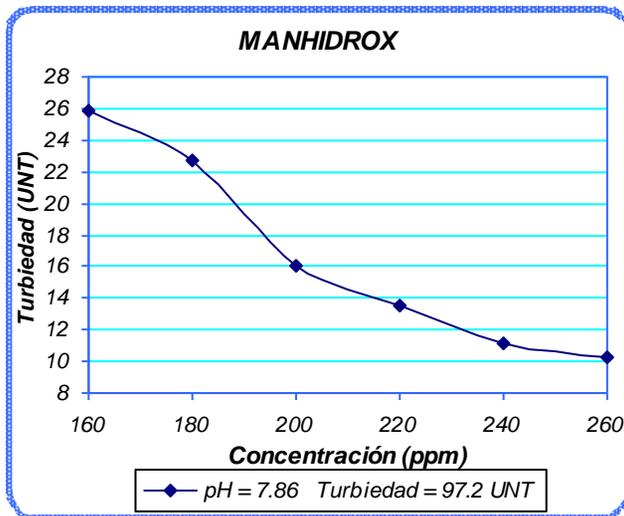


Tabla de datos 27. Prueba de jarras con manhidrox			
Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
160	25,9	8.11	4
180	22,7	8.13	4
200	16	8.16	4
220	13,5	8.18	4
240	11,1	8.21	4
260	10,3	8.22	4

Observaciones

Podemos observar el mismo comportamiento de la prueba anterior. Se ajusta la prueba para un rango de dosis entre 260 y 360 aumentando la concentración en 40 ppm.

Gráfica 22. Manhidrox

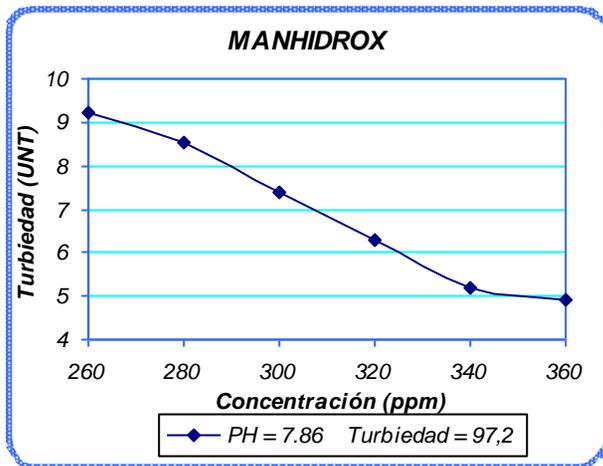
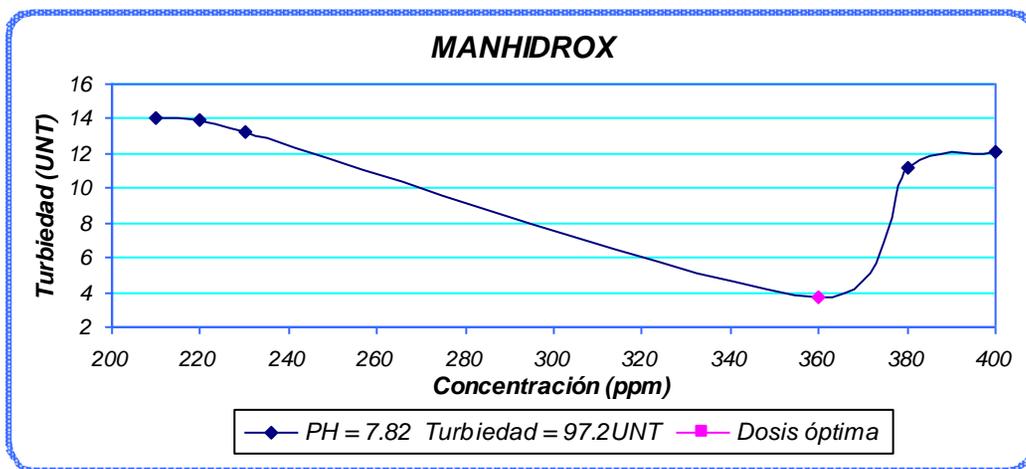


Tabla de datos 28. Prueba de jarras con manhidrox

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
260	9,2	8.21	4
280	8,53	8.24	4
300	7,38	8.26	6
320	6,29	8.28	6
340	5,18	8.3	6
360	4,92	8.33	8

Gráfica 23. Manhidrox



- ◆ Indica la dosis óptima del manhidrox con una turbiedad de 3.7 UNT

Tabla de datos 29. Prueba de jarras con manhidrox.

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
210	14,1	8.18	4
220	13,9	8.19	4
230	13,3	8.20	4
360	3,7	8.34	8
380	11,2	8.36	8
400	12,1	8.90	8

Observaciones:

El color inicial al preparar la solución al 2 % de manhidrox es verde oscuro que cambia en muy poco tiempo a morado.

A medida que aumenta la concentración del manhidrox el residuo va cambiando su color a una tonalidad más oscura entre amarillo y café. Al adicionar las primeras dosis del coagulante se observa buena formación del floc, pero son partículas muy finas.

Cuando este coagulante se inyecta a cada jarra el color cambia inmediatamente a rosa y después de 11 segundos cambia a café pardo.

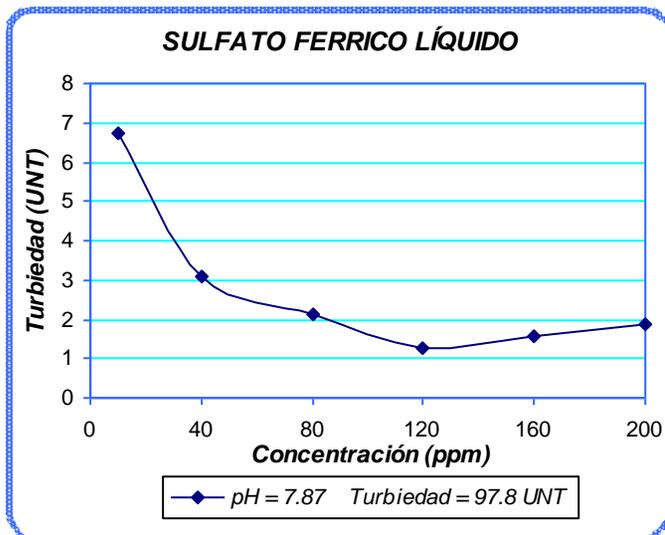
Podemos observar en la gráfica 23 el punto de dosis óptima en 360 ppm un valor alto en comparación con los otros coagulantes.

En las tablas se puede ver que el pH aumenta a medida que se aumenta la dosis del coagulante, en tanto que con los otros coagulantes ensayados el pH disminuye al aumentar la dosis.

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO FERRICO LÍQUIDO

Concentración = 1% = 100000 ppm

Gráfica 24. Sulfato férrico líquido.



Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
10	6,71	7.78	2
40	3,08	7.68	4
80	2,15	7.55	6
120	1,27	7.42	8
160	1,58	7.32	8
200	1,86	7.17	6

Gráfica 25. Sulfato férrico líquido.

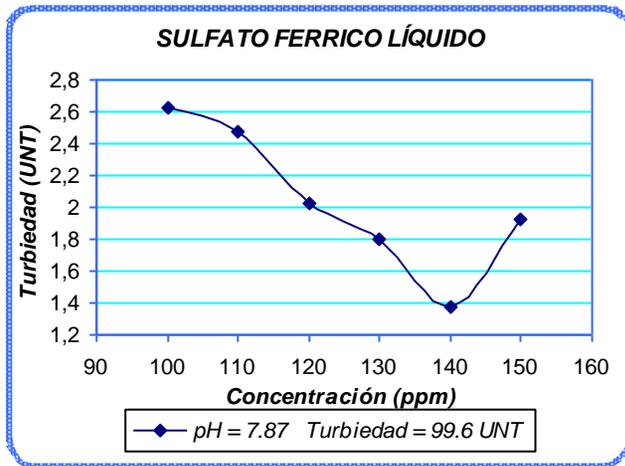


Tabla de datos 31. Prueba de jarras con Sulfato férrico líquido.

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
100	2,62	7,46	6
110	2,47	7,43	6
120	2,02	7,36	8
130	1,8	7,34	8
140	1,37	7,31	10
150	1,92	7,27	6

Gráfica 26. Sulfato férrico líquido.

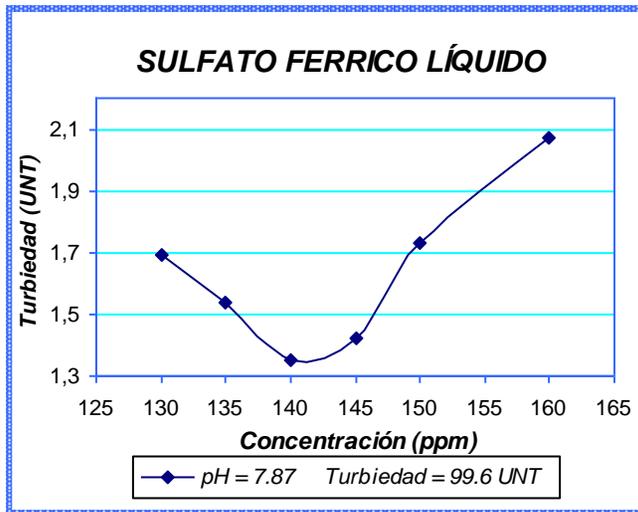


Tabla de datos 32. Prueba de jarras con Sulfato férrico líquido.

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
130	1,69	7,35	8
135	1,54	7,33	8
140	1,35	7,32	10
145	1,42	7,31	8
150	1,73	7,29	8
160	2,07	7,26	6

Gráfica 27. Sulfato férrico líquido.

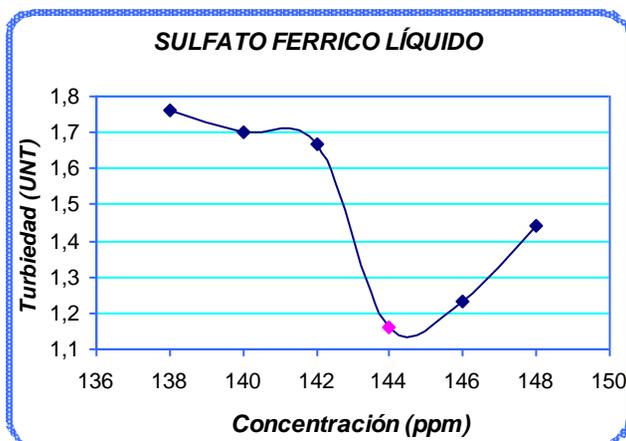


Tabla de datos 33. Prueba de jarras con Sulfato férrico líquido.

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
138	1,76	7,33	8
140	1,7	7,32	8
142	1,67	7,32	8
144	1,16	7,31	10
146	1,23	7,31	8
148	1,44	7,30	6

- ◆ Indica la dosis óptima del sulfato férrico líquido con una turbiedad de 1,16 UNT

Observaciones:

El sulfato férrico al 1 % es de color dorado cuando se le adiciona una mínima cantidad de residuo cambia su coloración a un rojo intenso.

Podemos hallar la dosis óptima en 144 ppm con una turbiedad 1.12 UNT.

PRUEBA DE JARRAS CON TODOS LOS COAGULANTES Y SUS RESPECTIVAS DOSIS POR TRIPLICADO

Gráfica 28. Prueba de jarras con todos los coagulantes.

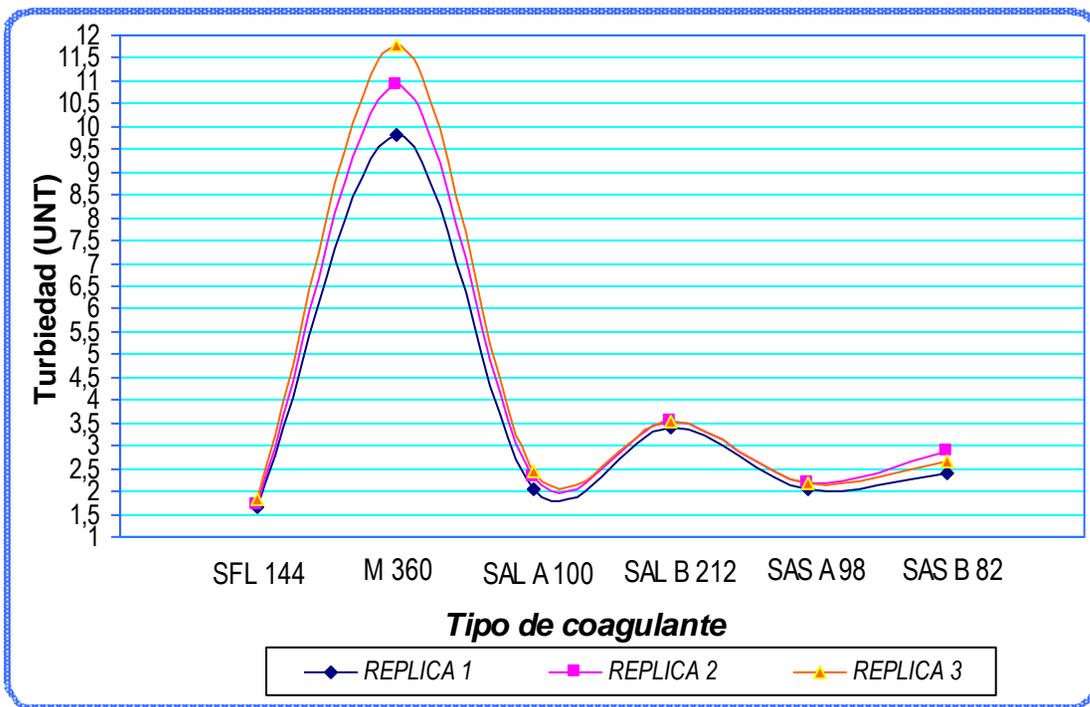


Tabla de datos 34. Prueba de jarras con todos los coagulantes. Replica 1

pH inicial = 8.04 UN

Turbiedad inicial = 99.6 UNT



Tipos de Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	120	98	82
Turbiedad (UNT)	1.67	9.8	2.05	3.42	2.03	2.41
pH (UN)	7.76	8.42	7.83	7.81	7.72	7.87
Temperatura °C	20.7	20.6	20.5	20.3	20.4	20.4
Índice de wilcomb	10	6	10	8	10	8
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Tabla de datos 35. Prueba de jarras con todos los coagulantes. Replica 2

pH inicial = 8.05 UN

Turbiedad inicial = 101 UNT

Tipos de Coagulantes	Sulfato Férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	120	98	82
Turbiedad (UNT)	1.72	10.9	2.31	3.51	2.17	2.89
pH	7.58	8.47	7.68	7.64	7.49	7.71
Temperatura °C	20.9	21	21.2	2	20.4	20.4
Índice de wilcomb	10	6	10	8	10	8
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Tabla de datos 36. Prueba de jarras con todos los coagulantes. Replica 3

pH inicial = 8.02 UN

Turbiedad inicial = 103 UNT

Tipos de Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	120	98	82
Turbiedad UNT	1.84	11.8	2.43	3.54	2.20	2.67
pH (UN)	7.76	8.49	7.87	7.84	7.73	7.92
Temperatura °C	20.7	20.6	20.5	20.3	20.4	20.4
Índice de wilcomb	10	6	10	8	10	8
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Observaciones: se puede notar que el sulfato férrico líquido presenta la turbiedad más baja indicándonos mejor remoción de turbiedad a diferencia del manhidrox que tiene la turbiedad más alta.

MES 4

DESACTIVACION DE SULFATOS:

Volumen recogido en 1 mes: 20 L

pH inicial = 1.52 UN

Color del residuo: blanco

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: amoniaco 5%

Volumen gastado de amoniaco hasta neutralización = 13.7 mL

Gráfica 29. Desactivación de sulfatos.

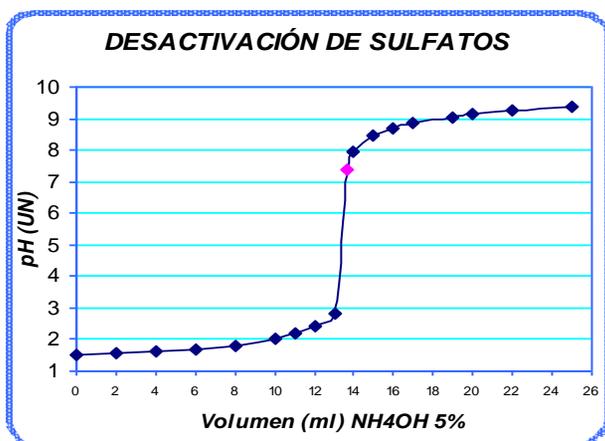


Tabla de datos 37. Desactivación de sulfatos			
Volumen(ml) NH ₄ OH 5%	pH (UN)	Volumen(ml) NH ₄ OH 5%	pH (UN)
0	1,52	13,7	7,4
2	1,57	14	7,93
4	1,63	15	8,45
6	1,71	16	8,7
8	1,82	17	8,87
10	2	19	9,06
11	2,18	20	9,15
12	2,42	22	9,26
13	2,85	25	9,4

- ◆ Indica el pH (7.4 UN) al que fue dejado el residuo para adicionar el carbonato de sodio y luego ser agregado al recipiente colector D.

Volumen total adicionado de amoniaco a todo el volumen de residuo= 260 mL.

pH final = 7.36 UN

Gramos adicionados de $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 16 \text{ g}$

Peso del sólido después de filtrar = 17.70 g

Observaciones: al realizar la desactivación tiene las mismas características al del mes anterior.

DESACTIVACIÓN COLECTOR D

Volumen recogido en 1 mes: 133L+20.260L proveniente de sulfatos=153.26L

pH inicial = 3.97 UN

pH después de agregar los residuos de sulfatos = 4.0 UN

Color del residuo: rosa tenue

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: NaOH = 2.5 M

Volumen gastado de NaOH hasta neutralización = 56.5 mL.

Gráfica 30. Desactivación colector D.

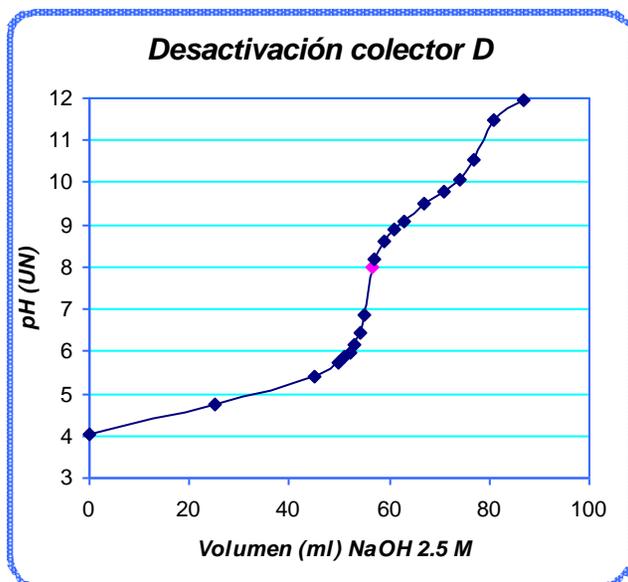


Tabla de datos 38. Desactivación colector D			
Vol NaOH 2.5 M	pH	Vol NaOH 2.5 M	pH
0	4,02	57	8,19
25	4,72	59	8,62
45	5,4	61	8,87
50	5,73	63	9,1
51	5,88	67	9,49
52	5,99	71	9,79
53	6,16	74	10,05
54	6,42	77	10,52
55	6,86	81	11,49
56,5	8,01	87	11,97

- ♦ Indica el pH (8.01 UN) al que fue dejado el residuo para realizar las pruebas de jarras.

Volumen total adicionado de NaOH a todo el volumen de residuo=8.60 L

pH final = 8.23 UN

Volumen final del recipiente D= 161.86 L

Observaciones:

El color inicial del residuo no cambia al adicionar los residuos de sulfatos. El color cambia a verde lima cuando se alcanza el pH neutro con la adición del NaOH.

COMPORTAMIENTO EN MEZCLA DEL SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO TIPO A Y MANHIDROX (0.15 Y 1.5 ppm) EN LA PRUEBA DE JARRAS

La prueba de jarras con mezcla de coagulantes se efectúa primero agregando 3 mL de solución de manhidrox a 100 ppm a cada jarra de 2 L obteniendo en cada jarra solución de 0.15 ppm del manhidrox. La dosis de coagulante se agrega a una velocidad de agitación de 20 rpm durante 5 minutos, luego se aumenta la velocidad de agitación a 100 rpm, se adiciona cada dosis del sulfato de aluminio líquido tipo al 2 % a cada jarra y el proceso se continua con los mismos parámetros de las pruebas de jarras anteriores.

Para la mezcla entre el sulfato de aluminio líquido tipo A y manhidrox a 1.5 ppm se adiciona 3 mL de solución de manhidrox a 1000 ppm a cada jarra de 2 L.

Gráfica 31. Mezcla sulfato aluminio líq A – manhidrox.

Turbiedad inicia = 166 UNT

pH inicial = 8.26 UN

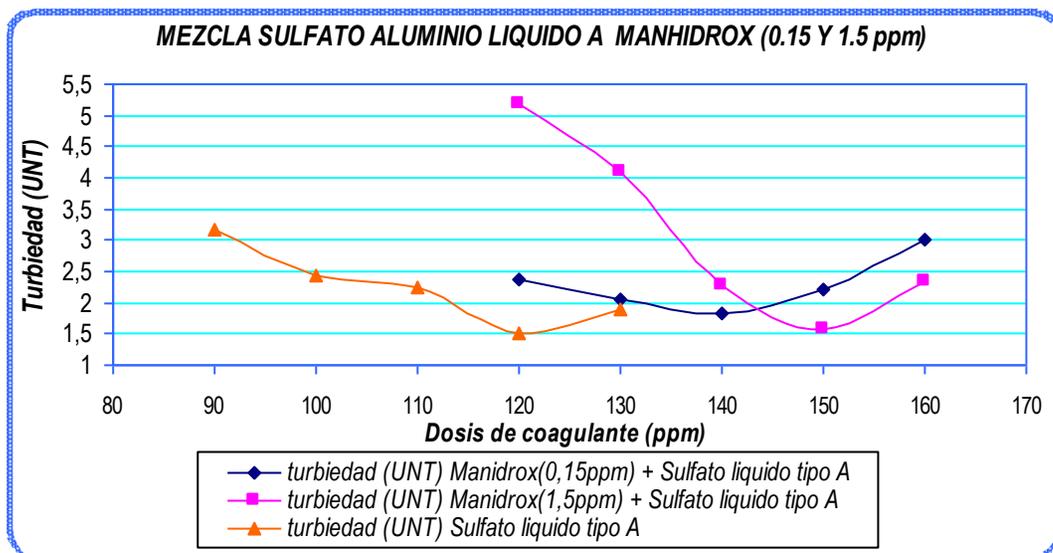




Tabla de datos 39. Mezcla sulfato aluminio líquido A – Manhidrox.

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT) manhidrox 0,15ppm + SAL A	pH (UN)	Índice de wilcomb	Turbiedad (UNT) manhidrox 1.5 ppm + SAL A	pH (UN)	Índice de wilcomb
120	2,38	8.06	6	5,19	8.12	4
130	2,06	8.05	8	4,1	8.11	4
140	1,82	8.03	8	2,27	8.11	6
150	2,21	8	6	1,58	8.1	8
160	3,02	7.97	8	2,34	8.09	6

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT) Sulfato aluminio líquido A	pH (UN)	Índice de wilcomb
90	3,16	7.92	6
100	2,43	7.92	8
110	2,25	7.93	8
120	1,51	7.94	10
130	1,89	7.94	8

Observaciones:

El rango de dosis para el sulfato de aluminio líquido A se tomó de acuerdo al cercano a la dosis óptima ya encontrada anteriormente.

Podemos observar de la gráfica 40 que el sulfato de aluminio líquido A presenta la menor turbiedad y a una concentración menor con respecto a la mezcla entre este coagulante y el manhidrox a 0.15 y 1.5 ppm, y entre las dos mezclas la de manhidrox a 1.5 ppm presenta menor turbiedad (1.58 UNT) pero a mayor concentración del sulfato de aluminio líquido A (150 ppm).

PRUEBA DE JARRAS CON TODOS LOS COAGULANTES Y SUS RESPECTIVAS DOSIS POR TRIPLICADO



Gráfica 32. Prueba de jarras con todos los coagulantes.

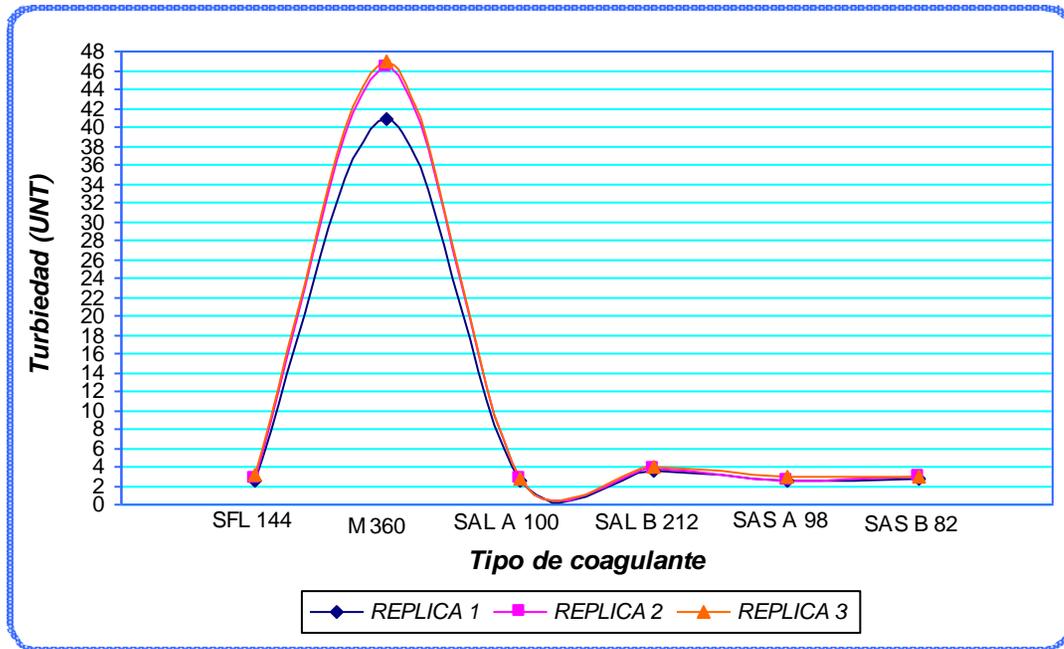


Tabla de datos 40. Prueba de jarras con todos los coagulantes. Replica 1

pH inicial = 8.09 UN

Turbiedad inicial = 158 UNT

Tipos de Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	220	98	82
Turbiedad (UNT)	2.54	40.8	2.61	3.68	2.45	2.80
pH (UN)	7.69	8.42	7.77	7.72	7.67	7.79
Temperatura °C	22	20.6	22.1	20.3	21.5	20.4
Índice de wilcomb	10	6	10	8	10	8
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Tabla de datos 41. Prueba de jarras con todos los coagulantes. Replica 2

pH inicial = 8.09 UN

Turbiedad inicial = 163 UNT



Tipos de Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	220	98	82
Turbiedad (UNT)	2.72	46.4	2.72	3.79	2.62	2.88
pH (UN)	7.71	8.48	7.79	7.76	7.68	7.84
Temperatura °C	21.2	20.9	21.1	21.3	21.5	21.4
Índice de wilcomb	10	6	10	8	10	8
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Tabla de datos 42. Prueba de jarras con todos los coagulantes. Replica 3

pH inicial = 8.03 UN

Turbiedad inicial = 168 UNT

Tipos de Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	220	98	82
Turbiedad (UNT)	3.14	47	2.8	3.9	2.89	2.93
pH (UN)	7.68	8.45	7.83	7.74	7.67	7.86
Temperatura °C	21.2	20.9	21.1	21.3	21.5	21.4
Índice de wilcomb	10	6	10	8	10	8
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Observaciones: se puede notar que el sulfato de aluminio sólido tipo A presenta la turbiedad más baja indicándonos mejor remoción de turbiedad a diferencia del manhidrox que tiene la turbiedad más alta.

MES 5

DESACTIVACION DE SULFATOS:

Volumen recogido en 1 mes: 17.6 L

pH inicial = 1.42 UN

Color del residuo: blanco

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: amoniaco 5%

Volumen gastado de amoniaco hasta neutralización = 14 mL.

Gráfica 33. Desactivación de sulfatos.

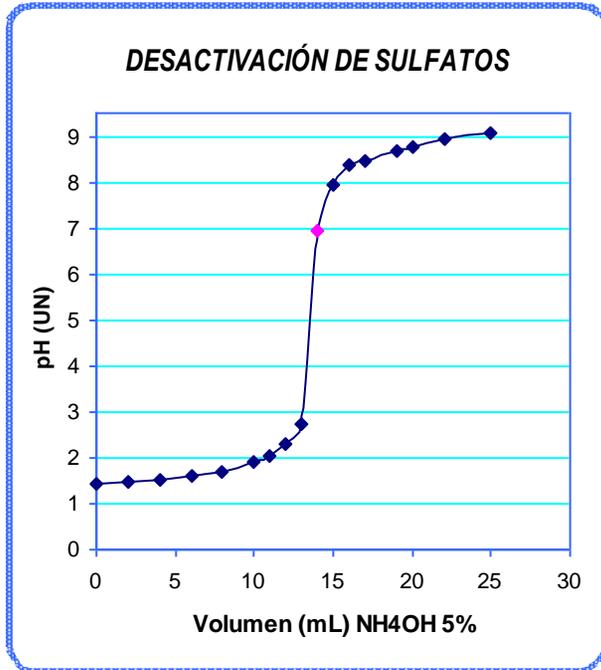


Tabla de datos 43. Desactivación de sulfatos

Volumen (ml) NH ₄ OH 5%	pH (UN)	Volumen (ml) NH ₄ OH 5%	pH (UN)
0	1,42	14	6,96
2	1,47	15	7,92
4	1,52	16	8,39
6	1,59	17	8,47
8	1,7	19	8,66
10	1,89	20	8,77
11	2,06	22	8,94
12	2,29	25	9,07
13	2,73		

- ◆ Indica el pH (6.96) al que fue dejado el residuo para adicionar el carbonato de sodio y luego ser agregado al recipiente colector D.

Volumen total adicionado de amoniaco a todo el volumen de residuo = 247 mL.

pH final = 7.2 UN

Gramos adicionados de Na₂ CO₃= 15.5 g

Peso del sólido después de filtrar= 16.56 g

Observaciones: al realizar la desactivación tiene las mismas características al del mes anterior.

DESACTIVACIÓN COLECTOR D

Volumen recogido en 1 mes: 98.4L+17.847L proveniente de sulfatos = 116.277L

pH inicial = 3.48 UN

pH después de agregar los residuos de sulfatos= 3.51 UN

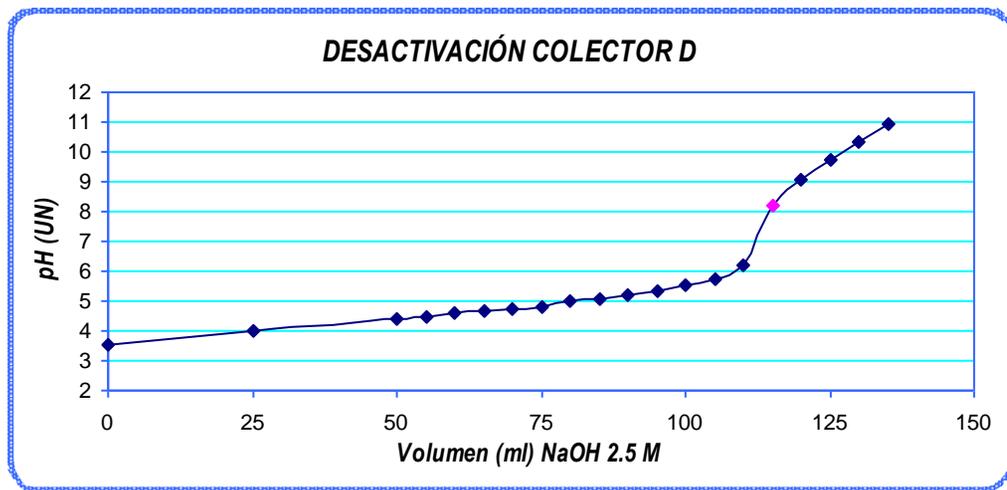
Color del residuo: rosa tenue

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: NaOH = 2.5 M

Volumen gastado de NaOH hasta neutralización = 115 mL

Gráfica 34. Desactivación de sulfatos.



- ◆ Indica el pH (8.2) al que fue dejado el residuo para realizar las pruebas de jarras.

Tabla de datos 44. Desactivación colector D

Volumen (mL) NaOH 2.5 M	pH (UN)	Volumen (mL) NaOH 2.5 M	pH (UN)
0	3,51	90	5,21
25	4,03	95	5,35
50	4,43	100	5,53
55	4,5	105	5,74
60	4,58	110	6,17
65	4,66	115	8,2
70	4,74	120	9,08
75	4,83	125	9,71
80	4,97	130	10,31
85	5,1	135	10,91

Volumen total adicionado de NaOH a todo el volumen de residuo=115 L

pH final = 8.16 UN

Volumen final del recipiente D= 116.362 L

Observaciones:

El color inicial del residuo no cambia al adicionar los residuos de sulfatos. El color cambia a verde lima cuando se alcanza el pH neutro con la adición del NaOH.

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA DE LA MEZCLA DEL SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO TIPO A Y MANHIDROX 30 ppm

La prueba de jarras con mezcla de coagulantes se efectúa primero agregando 3 ml de solución de manhidrox a 20000 ppm a cada jarra de 2 L obteniendo en cada jarra solución de 30 ppm del manhidrox. La dosis de coagulante se agrega a una velocidad de agitación de 20 rpm durante 5 minutos, luego se aumenta la velocidad de agitación a 100 rpm, se adiciona cada dosis del sulfato de aluminio líquido tipo al 2 % a cada jarra y el proceso se hace con los mismos parámetros de las pruebas de jarras anteriores:

Color de la muestra = verde lima claro

Volumen de muestra por jarra = 2 L para un total de 12 L por prueba

Equipo= floculador E y Q

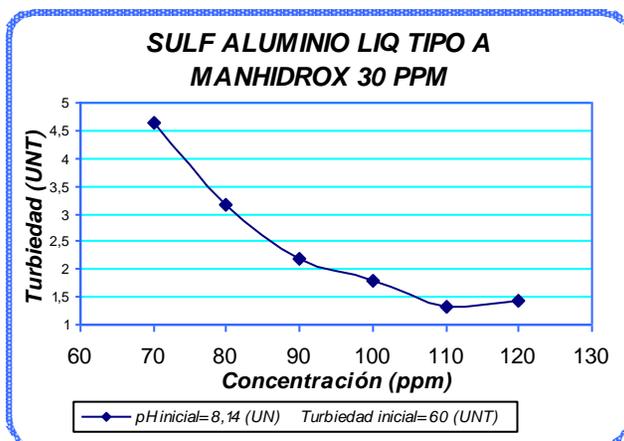
Velocidad mezcla rápida (rpm) = 100

Velocidad mezcla lenta (rpm) = 40

Tiempo de mezcla lenta (min) = 15

Tiempo de sedimentación (min) = 20

Gráfica 35. Mezcla sulfato aluminio líquido A – manhidrox 30 ppm



Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
70	4,64	8.04	4
80	3,16	8.01	6
90	2,18	7.98	6
100	1,8	7.97	6
110	1,33	7.95	8
120	1,45	7.92	8

Gráfica 36. Mezcla sulfato aluminio líquido A – manhidrox 30 ppm.

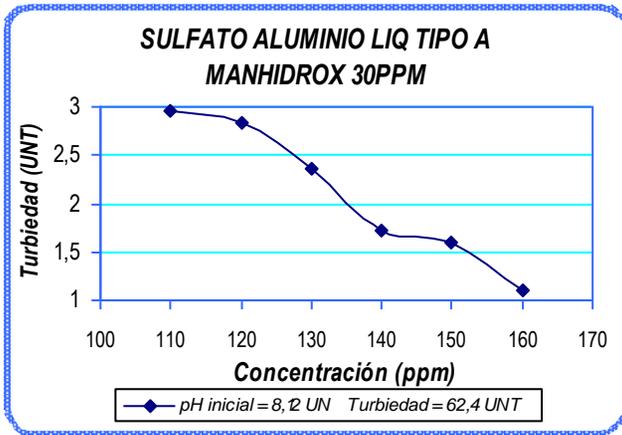


Tabla de datos 46. Sulfato aluminio líquido A – Manhidrox 30 ppm

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
110	2,95	7.93	6
120	2,83	7.91	6
130	2,36	7.89	6
140	1,72	7.87	6
150	1,59	7.85	10
160	1,1	7.84	10

Gráfica 37. Mezcla sulfato aluminio líquido A – manhidrox 30 ppm.

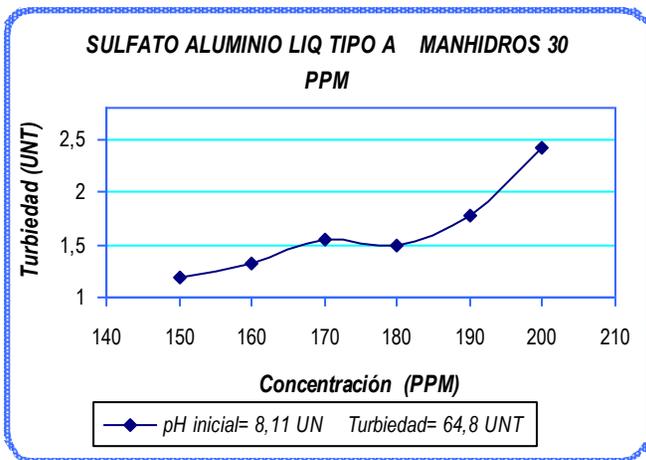


Tabla de datos 47. Sulfato aluminio líquido A – Manhidrox 30 ppm

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
150	1,19	7.83	10
160	1,33	7.81	10
170	1,55	7.79	8
180	1,49	7.77	8
190	1,78	7.75	8
200	2,43	7.3	8

Gráfica 38. Mezcla sulfato aluminio líquido A – manhidrox 30 ppm.

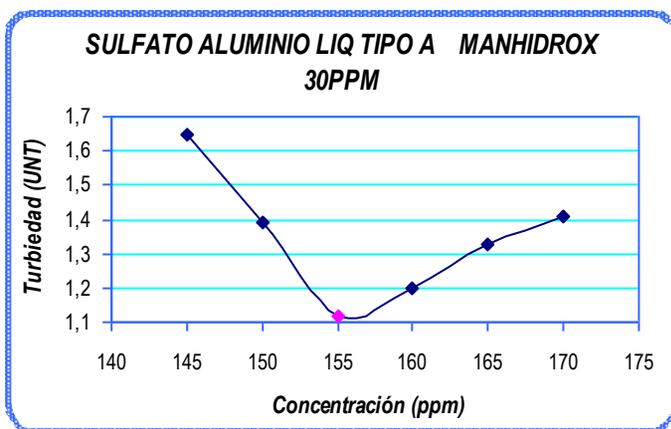


Tabla de datos 48. Sulfato aluminio líquido A – Manhidrox 30 ppm

Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
145	1,65	7.86	18
150	1,39	7.85	10
155	1,12	7.85	10
160	1,2	7.84	10
165	1,33	7.84	8
170	1,41	7.83	8

- ◆ Indica la dosis óptima 155 ppm.

Observaciones:

Podemos encontrar la dosis óptima de esta mezcla en 155 (ppm) con una turbiedad de 1.12 (UNT) y a una turbiedad inicial de 64,8 (UNT), en cambio para el sulfato de aluminio líquido tipo A encontramos la dosis óptima en 100 ppm a una turbiedad de 2.94 (UNT) a una turbiedad inicial de 89.2 (UNT), una dosis menor que al ser mezclado con manhidrox a 3 (ppm), pero turbiedad más alta, obviamente la turbiedad inicial también más alta.

PRUEBA DE JARRAS MEZCLANDO MANHIDROX Y TODOS LOS COAGULANTES

La prueba de jarras con mezcla manhidrox y todos los coagulantes anteriormente usados se efectúa primero agregando de manhidrox 360 ppm (dosis óptima) a cada jarra de 2 L a una velocidad de agitación de 20 rpm durante 5 minutos, luego se aumenta la velocidad de agitación a 100 rpm, se adiciona la dosis óptima de cada coagulante anteriormente hallada el proceso se hace con los mismos parámetros de las pruebas de jarras anteriores:

Gráfica 39. Mezcla con cada coagulante – manhidrox 360 ppm.

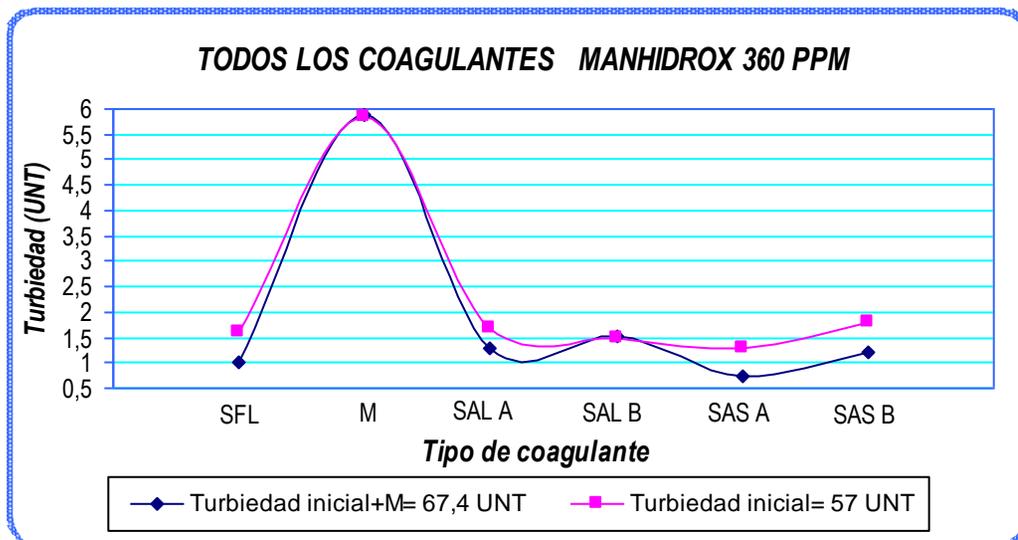




Tabla de datos 49. Mezcla con cada coagulante – manhidrox 360 ppm

pH inicial = 8.01 UN

Turbiedad inicial = 67.4 UNT

Tipos De Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	220	98	82
Turbiedad (UNT)	1.03	5,87	1,28	1,51	0,73	1,22
pH (UN)	8.22	8.43	8.34	8.24	8.27	8.36
Temperatura °C	21.7	21.6	21.5	21.7	22.1	21.6
Índice de wilcomb	10	8	10	8	10	10
Color	Morado verdoso	Café	Morado verdoso	Morado verdoso	Morado verdoso	Morado verdoso

Tabla de datos 50. Todos los coagulantes con dosis optima

pH inicial = 8.09 UN

Turbiedad inicial = 57 UNT

Tipos De Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	220	98	82
Turbiedad (UNT)	1,59	5,83	1,69	1,49	1,29	1,81
pH (UN)	7.69	8.49	7.94	7.75	7.83	7.93
Temperatura °C	20.8	20.9	21	20.9	21.1	21
Índice de wilcomb	10	6	10	10	10	10
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Observaciones:

Podemos observar en la gráfica 39 que la mezcla entre cada coagulante a su dosis óptima con el manhidrox a 360 ppm, presenta un poco menor de turbiedad que cada coagulante sólo.



PRUEBA DE JARRAS CON TODOS LOS COAGULANTES Y SUS RESPECTIVAS DOSIS POR TRIPLICADO

Gráfica 40. Replica de todos los coagulantes.

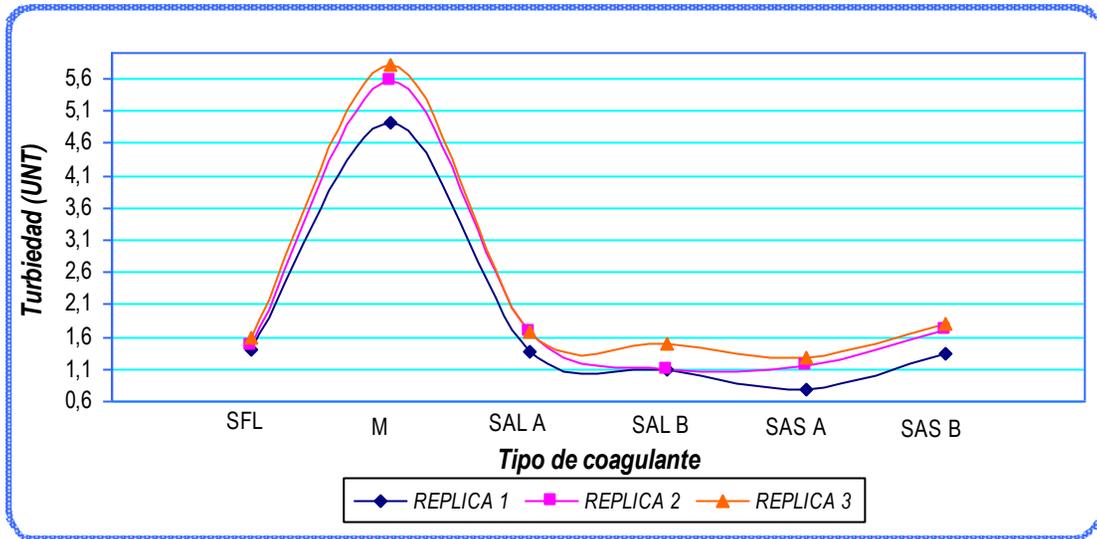


Tabla de datos 51. Prueba de jarras con todos los coagulantes. Replica 1

pH inicial = 8.09 UN

Turbiedad inicial = 55.7 UNT

Tipos De Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	220	98	82
Turbiedad (UNT)	1,4	4,93	1,36	1,09	0,77	1,33
pH (UN)	7.72	8.48	7.93	7.72	7.57	7.86
Temperatura °C	22	20.6	22.1	20.3	21.5	20.4
Índice de wilcomb	10	6	10	8	10	8
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Tabla de datos 52. Prueba de jarras con todos los coagulantes. Replica 2

pH inicial = 8.09 UN

Turbiedad inicial = 163 UNT



Tipos De Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	220	98	82
Turbiedad (UNT)	1,47	5,58	1,68	1,1	1,17	1,7
pH (UN)	7.64	8.4	7.89	7.69	7.78	7.88
Temperatura °C	22.8	22.9	23.1	23	23.3	23.4
Índice de wilcomb	10	6	10	8	10	8
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Tabla de datos 53. Prueba de jarras con todos los coagulantes. Replica 1

pH inicial = 8.09 UN

Turbiedad inicial = 57 UNT

Tipos De Coagulantes	Sulfato férrico líquido	Manhidrox	Sulfato aluminio líquido A	Sulfato aluminio líquido B	Sulfato aluminio sólido A	Sulfato aluminio sólido B
Dosis (ppm)	144	360	100	220	98	82
Turbiedad (UNT)	1,59	5,83	1,69	1,49	1,29	1,81
pH (UN)	7.69	8.49	7.94	7.75	7.83	7.93
Temperatura °C	20.8	20.9	21	20.9	21.1	21
Índice de wilcomb	10	6	10	10	10	10
Color	Verde oliva	Café	Verde lima	Verde lima	Verde lima	Verde lima

Observaciones: se puede notar que el sulfato de aluminio sólido tipo A presenta la turbiedad más baja indicándonos mejor remoción de turbiedad a diferencia del manhidrox que tiene la turbiedad más alta.

SEPTIMO MES

DESACTIVACION DE SULFATOS:

Volumen recogido en 1 mes: 14.4 L

pH inicial = 1.73 (UN)

Color del residuo: Transparente

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: amoniaco 5%

Volumen gastado de amoniaco hasta neutralización = 12.08 mL

Gráfica 41. Desactivación de sulfatos

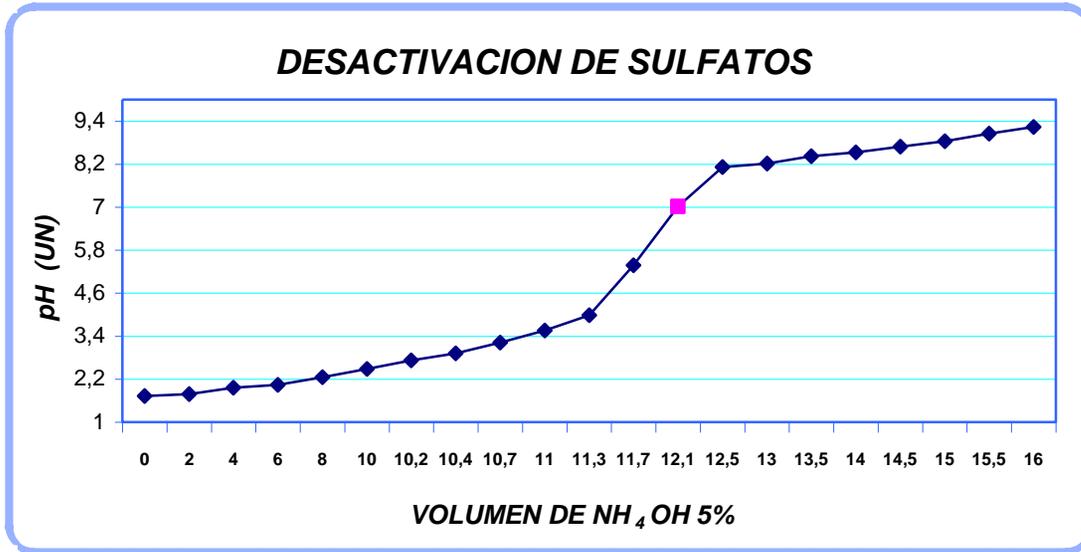


Tabla de datos 54. Desactivación de sulfatos.

Volumen NH ₄ OH 5%	pH (UN)	Volumen NH ₄ OH 5%	pH (UN)	Volumen NH ₄ OH 5%	pH (UN)
0	1,73	10,4	2,92	13	8,22
2	1,78	10,7	3,22	13,5	8,42
4	1,96	11	3,56	14	8,53
6	2,04	11,3	3,98	14,5	8,69
8	2,25	11,7	5,38	15	8,84
10	2,48	12,1	7,02	15,5	9,05
10,2	2,72	12,5	8,12	16	9,24

Observaciones: al realizar la desactivación tiene las mismas características al del mes anterior.

Volumen total adicionado de amoniaco a todo el volumen de residuo de sulfatos = 174 mL.

pH final = 7.12 (UN)

Gramos adicionados de Na₂ CO₃ = 1g por volumen de residuo = 14.4g

Peso del sólido después de filtrar = 9.2 gramos.

DESACTIVACIÓN COLECTOR D

Volumen recogido en 1 mes: 115.7 (L) + 14.574 (L) proveniente de los residuos de sulfatos = 89.150 (L)

pH inicial = 3.27 (UN)

pH después de agregar los residuos de sulfatos = 3.46 (UN)

Color del residuo: rosa tenue

Gramos adicionados de NaOH hasta pH de 8.3 (UN) = 1180 gramos

Volumen total de residuo del recipiente D = 130.274 (L)

NOTA: Este mes se adiciono el NaOH sólido debido a que el volumen de residuos es mucho mayor y de esa manera el residuos es mas concentrado

PRUEBAS DE JARRAS

Las siguientes gráficas de las pruebas de jarras se realizaron con los siguientes parámetros:

Color de la muestra = verde lima claro

Volumen de muestra por jarra = 2 L para un total de 12 L por prueba

Equipo = floculador E y Q

Velocidad mezcla rápida (rpm) = 100

Tiempo de mezcla rápida (seg) = 15

Velocidad mezcla lenta (rpm) = 40

Tiempo de mezcla lenta (min) = 15

Tiempo de sedimentación (min) = 20

COMPARACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE TODOS LOS COAGULANTES.

Concentración del coagulante 1% = 10000 ppm

Turbiedad inicial = 75.3UNT

Temperatura = 21.4 °C



pH inicial = 8.28 UN

Gráfica 42. Comparación de turbiedades con los diferentes coagulante.

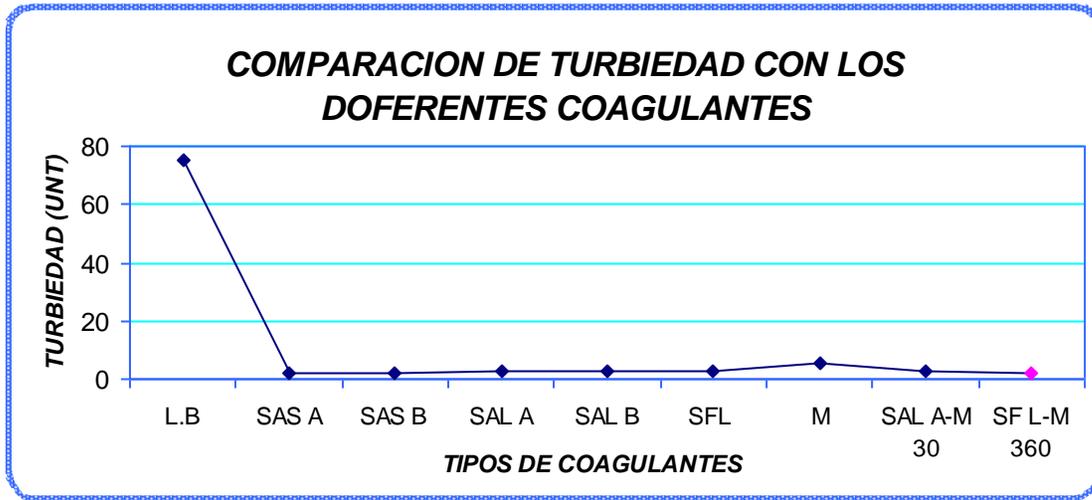


Tabla de datos 55. Comparación de comportamiento de dosis optima de los diferentes coagulante

Coagulantes.	Dosis optima (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de wilcomb
Sulfato aluminio sólido tipo A	98	2.09	7.97	6
Sulfato aluminio Sólido tipo B	82	2.11	7.82	6
Sulfato aluminio liquido tipo A	100	3.01	7.95	6
Sulfato aluminio liquido tipo B	212	2.77	7.91	6
Sulfato ferrico liquido	144	2.98	7.98	6
Manhidrox	360	5.4	8.01	6
Manh 30 - liquido A 130	30 - 155	2.4	8.59	6
Manh 360 -ferrico 144	360 -144	1.98	8.76	6

En el grafico observamos que el coagulante que mejor comportamiento mostró fue la mezcla manhidrox – ferrico con una turbiedad de 1,98 (UNT) y un pH de 8.76 (UN), el color final es un verde lima muy claro.

Cada una de los líquidos que resultaron después de hacer las jarras es llevada al laboratorio para ser analizados.

ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Tabla de datos 56. Análisis de laboratorio quinto mes

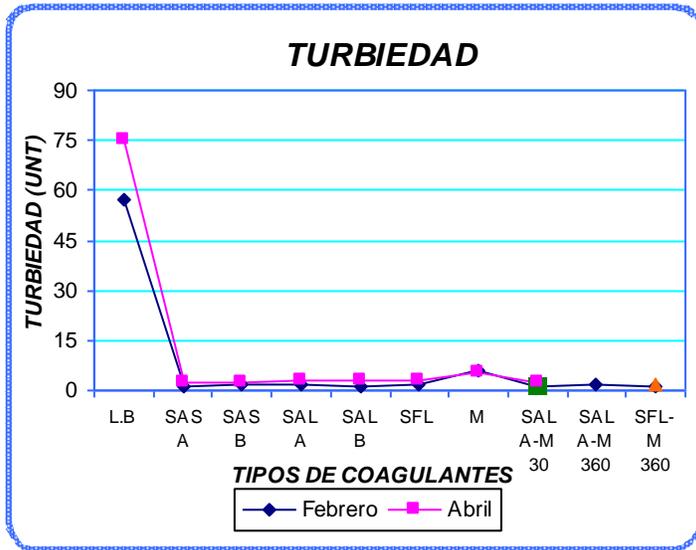
COAGULANTE	Dosis óptima (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	DQO (mg/L)	% remoción DQO (%)	DBO (mg/L)	% remoción DBO (%)	Sólidos totales (mg/L)	% remoción Sólidos totales (%)	Sólidos Disueltos (mg/L)	% remoción Sólidos Disueltos (%)	Sólidos suspendidos (mg/L)	% remoción Sólidos suspendidos (%)
<i>Línea base</i>		57	8.09	13600		9212		24260		20050		4210	
<i>Sulf aluminio sólido tipo A</i>	98	1,29	7.57	4133	69,61	2654	72,18	16778	30,84	15822	21,08	956	77,29
<i>Sulf aluminio sólido tipo B</i>	82	1,81	7.86	7733	43,13	5188	43,68	17022	29,83	15946	20,46	1076	74,44
<i>Sulf aluminio líquido tipo A</i>	100	1,69	7.89	8400	38,23	5600	39,2	17866	26,31	16388	18,26	1478	64,89
<i>Sulf aluminio líquido tipo B</i>	212	1,49	7.69	8000	41,17	5337	42,06	17218	29,02	16216	19,12	1002	76,19
<i>Sulf ferrico líquido</i>	144	1,59	7.69	5200	61,76	3432	62,74	17012	29,87	15978	20,3	1034	75,43
<i>Manhidrox</i>	360	5,83	8.40	6800	50	4461	51,57	17302	28,68	16032	20,03	1270	69,83
<i>Manhidrox 30- líquido A 130</i>	30 130	1,04	7.92	3866	71,57	2483	73,04	17252	21,04	16050	19,95	1202	72,44
<i>Manhidrox 360-líquido A 100</i>		1,86	8.21	2400	82,35	1534	83,34	19194	20,88	17850	10,7	1344	68,07
<i>Manhidrox 360 - ferrico 144</i>	360 144	1,24	8.29	2000	85,29	1285	86,05	19154	28,88	17300	13,72	1854	55,96

ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Tabla de datos 57. Análisis de laboratorio séptimo mes.

COAGULANTE	Dosis optima (ppm)	Turbiedad (UNT)	Ph (UN)	DQO (mg/L)	% remoción DQO (%)	DBO (mg/L)	% remoción DBO (%)	Sólidos totales (mg/L)	% remoción Sólidos totales (%)	Sólidos Disueltos (mg/L)	% remoción Sólidos Disueltos (%)	Sólidos suspendidos (mg/L)	% remoción Sólidos suspendidos (%)
Línea base		75.3	8.28	15747		15747		22260		18032		4228	
Sulf aluminio sólido tipo A	98	2.09	7.97	5200	66.97	831	79.19	14778	33.61	13904	22.89	874	79.32
Sulf aluminio sólido tipo B	82	2.11	7.82	8000	49.19	1636	59.04	16076	27.78	15090	16.31	986	76.67
Sulf aluminio líquido tipo A	100	3.01	7.95	10272	34.76	1739	56.46	15022	32.51	13928	22.75	1094	74.12
Sulf aluminio líquido tipo B	212	2.77	7.91	10361	34.20	2381	40.39	16354	26.53	15282	15.25	1072	74.64
Sulf ferrico líquido	144	2.98	7.98	8664	44.97	1789.9	55.19	15984	28.19	14904	17.34	1080	74.45
Manhidrox	360	5.4	8.01	4640	70.53	527.1	86.80	15012	32.56	14014	22.28	998	76.39
Manhidrox 360 - ferrico 144	360 144	2.4	8.76	691	95.61	314.2	92.13	12822	42.39	12046	33.19	776	81.64
Manhidrox 30-líquido A 155	3 155	1.98	8.59	9280	41.06	776.6	80.55	15302	31.25	13960	22.58	1342	68.25

Gráfica 43. Turbiedad.

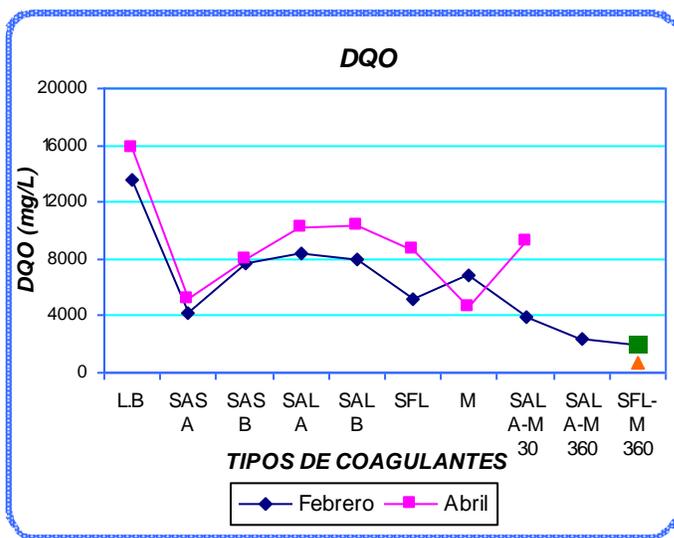


Coagulantes	Febrero	Abril
Línea base	57	75,3
Sólido A	1,29	2,09
Sólido B	1,81	2,11
Líquido A	1,69	3,01
Líquido B	1,49	2,77
Ferrico	1,59	2,98
Manhidrox	5,83	5,4
Ma-Liq A 30	1,04	2,4
Ma-Liq A 360	1,86	
Ma-Ferrico	1,24	1,98

Observaciones:

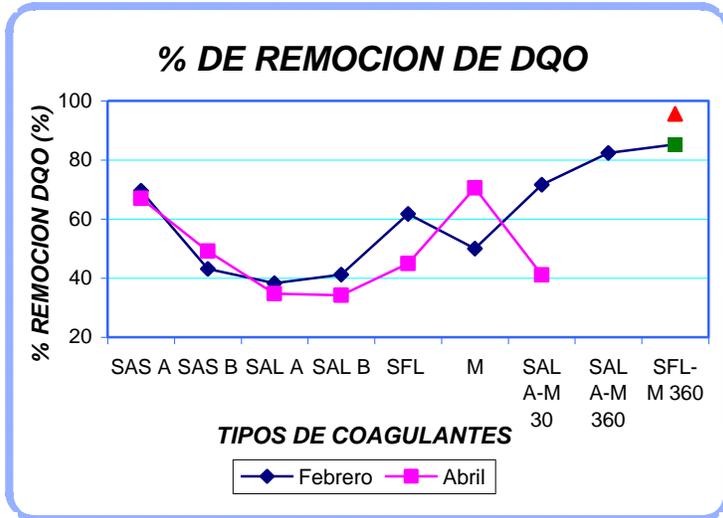
En la gráfica podemos notar que la mezcla líquido A – Manhidrox 30 ppm presenta la menor turbiedad para el mes de febrero. En cambio para el mes de abril tenemos con menor turbiedad la mezcla férrico – Manhidrox 360 ppm.

Gráfica 44. DQO



Coagulantes	Febrero	Abril
Línea base	13600	15747
Sólido A	4133	5200
Sólido B	7733	8000
Líquido A	8400	10272
Líquido B	8000	10361
Ferrico	5200	8664
Manhidrox	6800	4640
Ma -Liq A 30	3866	9280
Ma -Liq A 360	2400	
Ma-Ferrico	2000	691

Gráfica 45. Porcentaje de remoción DQO

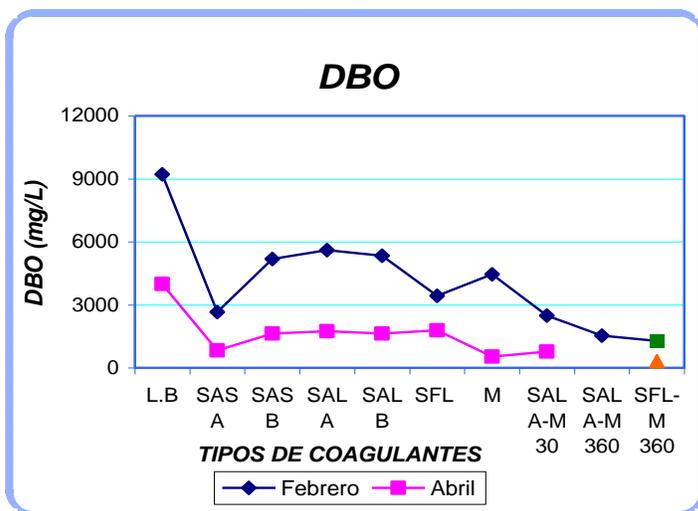


Coagulantes	Febrero	Abril
Sólido A	69,61	66,97
Sólido B	43,13	49,19
Líquido A	38,23	34,76
Líquido B	41,17	34,2
Ferrico	61,76	44,97
Manhidrox	50	70,53
Ma-Liq A 30	71,57	41,06
Ma -Liq A 360	82,35	
Ma-Ferrico	85,29	95,61

Observaciones:

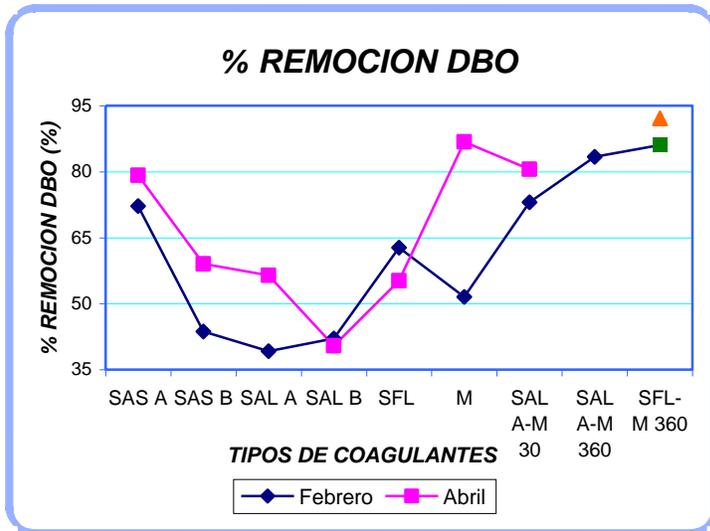
Para ambos meses podemos decir de las gráficas 44 y 45 que el coagulante que presenta mayor porcentaje de remoción de D.Q.O es la mezcla férrico – Manhidrox 360 ppm con un valor de remoción de 85.29% para febrero y 95.61% para el mes de abril.

Gráfica 46. DBO



Coagulantes	Febrero	Abril
Línea base	9212	3994
Sólido A	2654	831
Sólido B	5188	1636
Líquido A	5600	1739
Líquido B	5337	1636
Ferrico	3432	1789
Manhidrox	4461	527
Ma - Liq A 30	2483	776
Ma - Liq A 360	1534	
Ma - Ferrico	1285	314

Gráfica 47. Porcentaje de remoción DBO

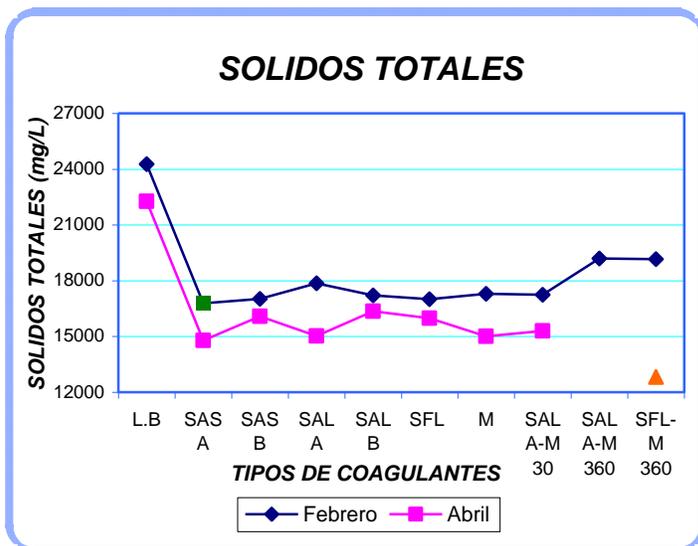


Coagulantes	Febrero	Abril
Sólido A	72,18	79,19
Sólido B	43,68	59,04
Líquido A	39,2	56,46
Líquido B	42,06	40,39
Ferrico	62,74	55,19
Manhidrox	51,57	86,8
Ma - Liq A 30	73,04	80,55
Ma - Liq A 360	83,34	
Ma - Ferrico	86,05	92,13

Observaciones:

Para este parámetro tenemos que la mezcla férrico – Manhidrox 360 ppm presenta el valor más bajo de D.B.O, con un % de remoción de 86.05% para el mes de febrero y 92.13% para el mes de abril, este comportamiento es de esperarse ya que está misma mezcla presenta la menor D.Q.O.

Gráfica 48. Sólidos totales



Coagulantes	Febrero	Abril
Línea base	24260	22260
Sólido A	16778	14778
Sólido B	17022	16076
Líquido A	17866	15022
Líquido B	17218	16354
Ferrico	17012	15984
Manhidrox	17302	15012
Ma - Liq A 30	17252	15302
Ma - Liq A 360	19194	
Ma - Ferrico	19154	12822

Gráfica 49. Porcentaje de remoción Sólidos totales

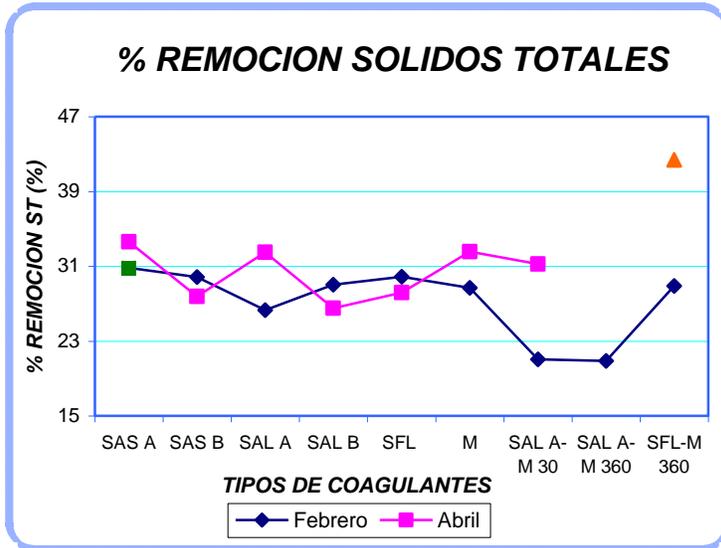


Tabla de datos 64. % de remoción Sólidos totales (%)

Coagulantes	Febrero	Abril
Sólido A	30,84	33,61
Sólido B	29,83	27,78
Líquido A	26,31	32,51
Líquido B	29,02	26,53
Ferrico	29,87	28,19
Manhidrox	28,68	32,56
Ma - Liq A 30	21,04	31,25
Ma- Liq A 360	20,88	
Ma - Ferrico	28,88	42,39

Observaciones:

Según las gráficas 48 y 49 se puede notar que para el mes de febrero tenemos que el sólido A presenta un % de remoción de 30.84%, y en el mes de abril el coagulante que obtuvo mejor comportamiento es la mezcla férrico – Manhidrox 360 ppm con un % de remoción de 42.39 %, obteniendo este último el mejor % de remoción.

Gráfica 50. Sólidos disueltos

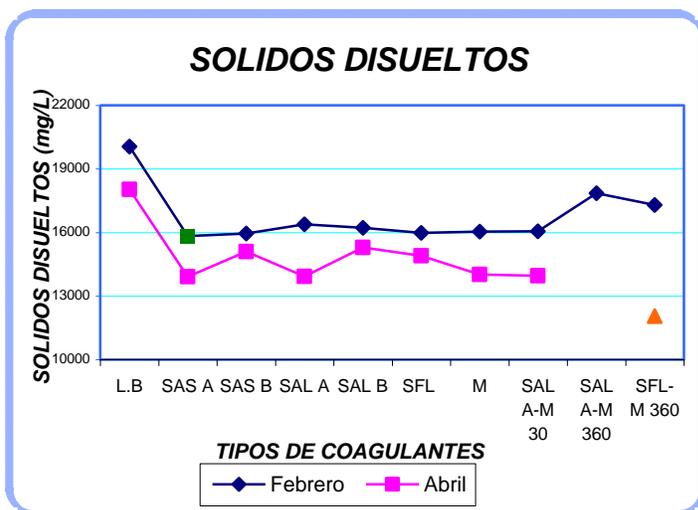


Tabla de datos 65. Sólidos disueltos (mg/L)

Coagulantes	Febrero	Abril
Línea bases	20050	18032
Sólido A	15822	13904
Sólido B	15946	15090
Líquido A	16388	13928
Líquido B	16216	15282
Ferrico	15978	14904
Manhidrox	16032	14014
Man-Liq A 30	16050	13960
Ma - Liq A 360	17850	
Manh-Ferrico	17300	12046

Gráfica 51. Porcentaje de remoción Sólidos disueltos

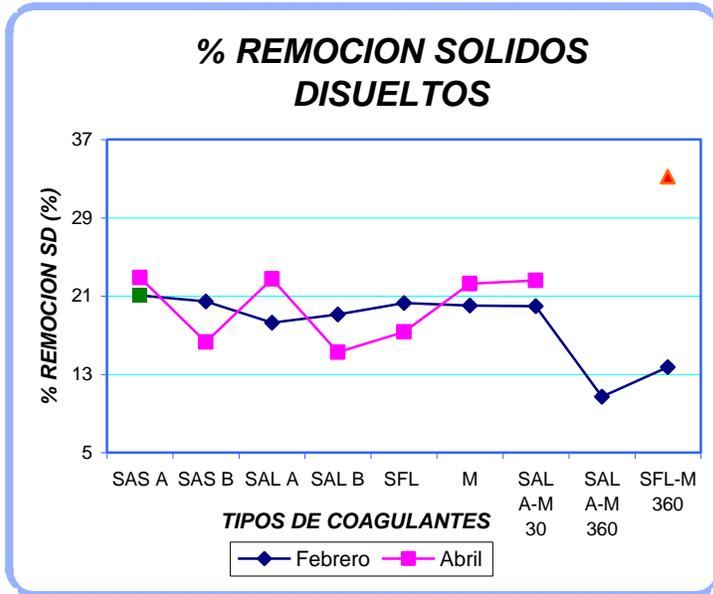


Tabla de datos 66. % de remoción Sólidos disueltos (%)

Coagulantes	Febrero	Abril
Sólido A	21,08	22,89
Sólido B	20,46	16,31
Líquido A	18,26	22,75
Líquido B	19,12	15,25
Ferrico	20,3	17,34
Manhidrox	20,03	22,28
Ma - Liq A 30	19,95	22,58
Ma- Liq A 360	10,7	
Ma - Ferrico	13,72	33,19

Observaciones:

Este parámetro como se puede observar en las gráficas 50 y 51 tienen un comportamiento similar al de los sólidos totales ya que los mismos coagulantes que presentaron un mejor comportamiento en ese análisis son los mismos para los sólidos disueltos. Los % de remoción son 21.08% para el sólido A en el mes de febrero y 33.19% para la mezcla férrico – Manhidrox 360 ppm en el mes de abril.

Gráfica 52. Sólidos suspendidos

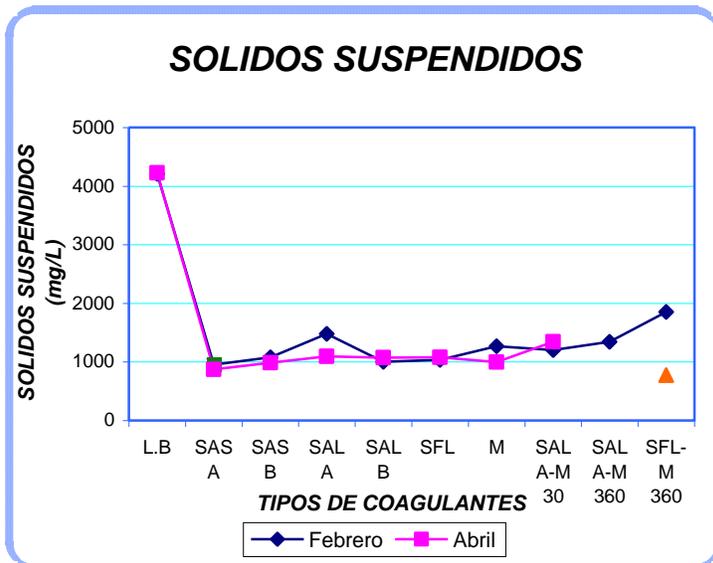
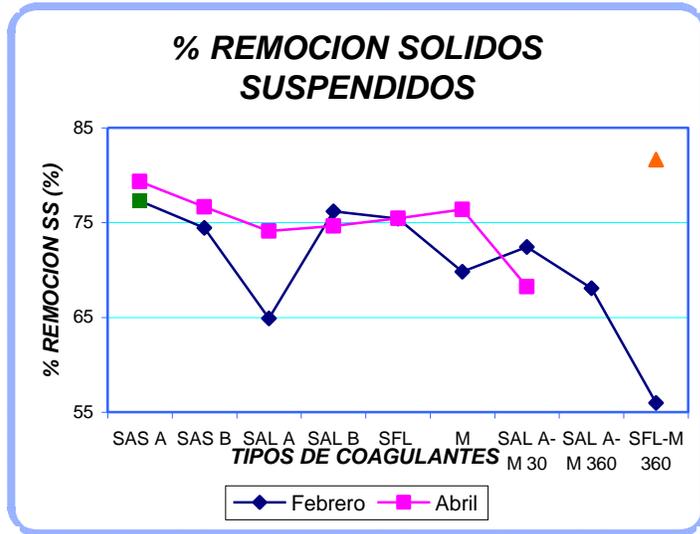


Tabla de datos 67. Sólidos suspendidos (mg/L)

Coagulantes	Febrero	Abril
Línea base	4210	4228
Sólido A	956	874
Sólido B	1076	986
Líquido A	1478	1094
Líquido B	1002	1072
Ferrico	1034	1080
Manhidrox	1270	998
Ma - Liq A 30	1202	1342
Ma- Liq A 360	1344	
Ma - Ferrico	1854	776

Gráfica 53. Porcentaje de remoción Sólidos suspendidos



Coagulantes	Febrero	Abril
Sólido A	77,29	79,32
Sólido B	74,44	76,67
Líquido A	64,89	74,12
Líquido B	76,19	74,64
Ferrico	75,43	75,45
Manhidrox	69,83	76,39
Ma -Liq A 30	72,44	68,25
Ma - Liq A 360	68,07	
Ma - Ferrico	55,96	81,64

Observaciones:

Este parámetro como se puede observar en las gráficas 52 y 53 tienen un comportamiento similar a los sólidos totales y sólidos disueltos ya que los mismos coagulantes que presentaron un mejor comportamiento en los análisis anteriores también lo son para los sólidos suspendidos. Para este análisis tenemos que los % de remoción son 77.29% para el sólido A en el mes de febrero y 81.64% para la mezcla férrico – Manhidrox 360 ppm en el mes de abril.

Tabla de datos 69. ANALISIS DE LODOS.

Coagulante	Dosis optima (ppm)	Densidad de lodos	% de humedad de lodos	% de materia orgánica	% de materia inorgánica
Sulfato aluminio Sólido tipo A	98	1.0818	26.25	28.41	71.59
Sulfato aluminio Sólido tipo B	82	0.725	23.49	17.51	82.49
Sulfato aluminio liquido tipo A	100	0.818	24.75	23.48	76.52
Sulfato aluminio Liquido tipo B	212	0.925	26.77	26.16	73.84
Sulfato ferrico liquido	144	1.003	22.26	15.66	84.34
Mezcla man - ferrico	144 x 360	0.842	26.91	29.68	70.32
Manhidrox	360	0.808	29.50	32.11	67.89

Observaciones:

Según los datos obtenidos de los análisis de los lodos producidos después de aplicar el tratamiento con cada coagulante podemos encontrar que hay mayor contenido de materia inorgánica que de materia orgánica. Se puede notar que en el sulfato férrico líquido tiene mayor % de materia inorgánica que los otros coagulantes y por tanto menor % de materia orgánica.

Después de analizar las graficas anteriores podemos decir que el mejor coagulante a utilizar es la mezcla manhidrox-ferrico debido a que en todos los análisis predomina sus excelentes resultados, esto puede ser debido a que el coagulante manhidrox es un oxidante y este sigue reaccionando y por lo tanto ayuda al los análisis de DQO y DBO. Con respecto a los análisis de sólidos estos puede ser debido a que cuando se hace el procedimiento de jarras el floc formado es de gran peso y el lodo es abundante mientras que los otros coagulantes a excepción de el manhidrox y sus mezclas forman un floc abundante pero de menor peso.

Otro punto que hay que tener en cuenta es la gran cantidad de coagulante de que gasta en esta mezcla ya quede manhidrox son 360 (ppm) y de sulfato ferrico liquido es de 144 (ppm) y el procedimiento tiene un grado de dificultad para el operario encargadote manejar estos residuos.

Por estas razones es coherente revisar los resultados de los coagulantes tradicionales como lo son los sulfatos de aluminio sólidos y líquidos tipo A y B y el sulfato ferrico líquido.

Al analizar estos coagulante podemos observar que el sulfato de aluminio sólido tipo A es el que obtiene mejor resultado del resto de los coagulante además de que este obtiene resultados muy similares a los de la mezcla manhidrox-sulfato ferrico, su tratamiento es mucho mas sencillo y el gasto de coagulante es mucho menor en comparación del coagulante mezcla manhidrox-ferrico y su generación

de lodos es menor de esa manera también se reduce los gastos de este tratamiento debido a que la entidad que se encargaría de este sólido tienen tarifas dependiendo de su peso.

Por todas estas razones se recomienda el uso de coagulante sulfato de aluminio sólido tipo A para el tratamiento de los desechos líquidos generados en el laboratorio de química de la planta de potabilización de la empresa multipropósito de calarcá.

DISEÑO EXPERIMENTAL.

Para este diseño se realizaron tres meses de repeticiones por triplicado con la dosis optima de cada coagulante, luego se realiza el análisis estadístico aleatorio por bloques completos. Este diseño se compara por medio de la prueba de DUNETT los resultados de cada coagulante con la línea base tomando como control esta, así se determino la diferencia significativa y el coagulante que mejor comportamiento presenta estadísticamente.

ANÁLISIS ESTADISTICO.

Tabla de datos 70. Análisis estadístico.

		3 MES DICIEMBRE			4 MES ENERO			5 MES FEBRERO			
		REP 1	REP 2	REP 3	REP 1	REP 2	REP 3	REP 1	REP 2	REP 3	
COAGULANTE	DOSIS	TURBIEDAD			TURBIEDAD			TURBIEDAD			
1	MANHIROX	360	9.8	10.9	11.8	40.8	46.4	5.3	4.93	5.58	5.83
2	SÓLIDO B	82	2.41	2.89	2.67	2.80	2.88	2.93	1.33	1.70	1.81
3	LIQUIDO A	100	2.05	2.31	2.43	2.61	2.72	2.8	1.36	1.68	1.69
4	LIQUIDO B	212	3.42	3.51	3.54	3.68	3.79	3.9	1.09	1.10	1.49
5	FERRICO	144	1.67	1.72	1.84	2.54	2.72	3.14	1.40	1.47	1.59
6	SÓLIDO A	98	2.03	2.17	2.20	2.45	2.62	2.89	0.77	1.17	1.29
7	LINEA BASE	0	99.6	101	103	158	163	168	55.7	56.2	57

Este análisis estadístico es utilizado un diseño aleatorio por bloques completos en el cual se compara los coagulantes con respecto a la línea base y si el método es repetible.

ANALISIS DE VARIANZA POR TURBIEDAD –COAGULANTE REPETICION.

FUENTE	DF	SS	MS	F	P
COAGULANTE (A)	6	82020.3	13670.1	35.97	0.0000
REPETICIONES (B)	2	32.1192	16.0596	0.04	0.9587
RESIDUAL	54	20520.3	380.006		
TOTAL	62	102573			

No hay diferencia significativa entre las repeticiones realizadas, o sea el método es repetible, con respecto al coagulante hay una diferencia significativa entre ellos debido a que el valor de $P = 0$ y el (**criterio de aceptación es $P > 0.05$**).

LSD (T) COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE TURBIEDAD CON LOS DIFERENTES COAGULANTES.

COAGULANTE	MEDIA	GRUPOS HOMOGENIOS
1	21.260	.. I
4	2.8356 I
2	2.3800 I
3	2.1833 I
5	2.0100 I
6	1.9544 I
7	106.83	I

Hay tres grupos en que las medias no tienen diferencias significativas entre ellos el 3, 5 y 6 que son sulfato de aluminio líquido tipo A, sulfato ferrico líquido y sulfato de aluminio sólido respectivamente.

VALOR T CRÍTICO.	2.005	NIVEL DE RECHAZO	0.050
VALOR CRÍTICO POR COMPARACION.	18.424		
ERROR STANDARD POR COMPARACION.	9.1894		
ERROR TÉRMINO USADO: RESIDUAL.	54	DF	

Con la comparación de las medias se observa que el coagulante uno (Manhidrox) muestra diferencias con los demás coagulantes por lo que este puede sacarse del modelo.

Después de estos análisis se utiliza la línea base como control y se hace comparaciones aplicando la prueba de dunnett.

$$d_{0.05(6,60)} \sqrt{\frac{2MSE}{n}}$$

$$(2.64) \sqrt{\frac{2(380.006)}{9}} = 24.260$$

El tratamiento debe considerarse significativamente diferente del control si la diferencia es mayor que 24.260. Las diferencias observadas son:

1 Vs 7: $\bar{x}_1 - \bar{x}_7$

$$1 \text{ y } 7 = 21.260 - 106.83 = - 85.57$$

$$2 \text{ y } 7 = 2.3800 - 106.83 = - 104.45$$

$$3 \text{ y } 7 = 2.1833 - 106.83 = - 104.64$$

$$4 \text{ y } 7 = 2.8356 - 106.83 = - 103.99$$

$$5 \text{ y } 7 = 2.0100 - 106.83 = - 104.82$$

$$6 \text{ y } 7 = 1.9544 - 106.83 = - 104.87$$

Podemos observar que no hay diferencia significativa entre los diferentes coagulantes y el control que es línea base, aunque se sigue apreciando la diferencia del coagulante número uno (Manhidrox) que en este caso es el

Manhidrox con el resto de los coagulantes. Y mejor coagulante en este caso es el numero seis que es el sulfato de aluminio sólido tipo A ya que tiene la menor media de todos los coagulantes con respecto a la línea base (control) y se encuentra mas alejado del valor arrojado de la prueba de comparación de tratamiento con un control (prueba de DUNNETT).

SEXTO MES.

Para este mes se ensaya aplicando otro método a los residuos y comparar cada uno de los parámetros fisicoquímicos, observando cual es más efectivo en cuanto a facilidad de realizar el proceso, rentabilidad para aplicar el método y remoción en carga contaminante.

El método consiste en separar en el lugar donde se genera los residuos de la siguiente manera:

- **Residuos volumétricos:** son procedentes de los análisis de acidez, alcalinidad, dureza, cloruros, y calcio.
- **Residuo colorimétricos:** son procedentes de los análisis de sulfatos, hierro, nitritos, fosfatos y aluminio.

Los reactivos que contienen cada análisis y los volúmenes que se generan por mes ya fueron descritos anteriormente con el otro método.

Los residuos volumétricos se neutralizan hasta un pH entre 7 y 8 UN con ácido sulfúrico al 10% ya que estos residuos poseen un pH básico. Luego se realizan las pruebas de jarras con cada coagulante para determinar las dosis óptimas.

Los residuos colorimétricos con un pH inicial ácido se neutralizan con hidróxido de calcio también hasta alcanzar un pH entre 7 y 8 UN, y luego se efectúan las correspondientes pruebas de jarras.

Las pruebas de jarras se realizan con los mismos parámetros ya descritos con el método anterior.

Después de realizar el tratamiento con cada coagulante se realiza pruebas de DQO, DBO, sólidos totales, sólidos disueltos, y sólidos suspendidos.

TRATAMIENTO RESIDUOS VOLUMETRICOS:

Volumen recogido en 1 mes: 38.500 L

pH inicial = 8.77 (UN)

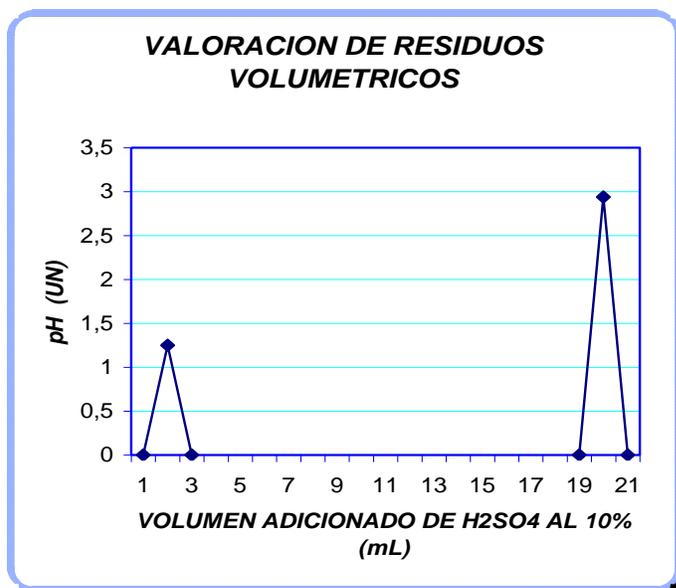
Color del residuo: Rojo

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: Ácido sulfúrico al 10%

Volumen gastado de ácido hasta pH 7.7 UN = 21.7 mL

Gráfica 54. Valoración de residuos volumétricos



- Indica el pH 7.7 (UN) al que fue dejado el residuo para empezar a hacer las jarras.

Tabla de datos 71. Valoración de residuos volumétricos.			
Volumen H ₂ SO ₄ 10%	pH	Volumen H ₂ SO ₄ 10%	pH
0	8.77	11	7.40
1	8.72	12	7.26
2	8.65	13	7.14
3	8.55	14	7.02
4	8.45	15	6.92
5	8.34	16	6.79
6	8.20	17	6.68
7	8.04	18	6.56
8	7.87	19	6.45
9	7.70	20	6.32
10	7.55		

Volumen total adicionado de ácido a todo el volumen de residuo=346.5 mL

pH final = 7.72 (UN)

Observaciones: el color inicial del residuo de un color inicial rojo pasa a ser de color verde transparente después de ser agregado al ácido.

TRATAMIENTOS RESIDUOS COLORIMETRICOS:

Volumen recogido en 1 mes: 14.7 L

pH inicial = 3.49 (UN)

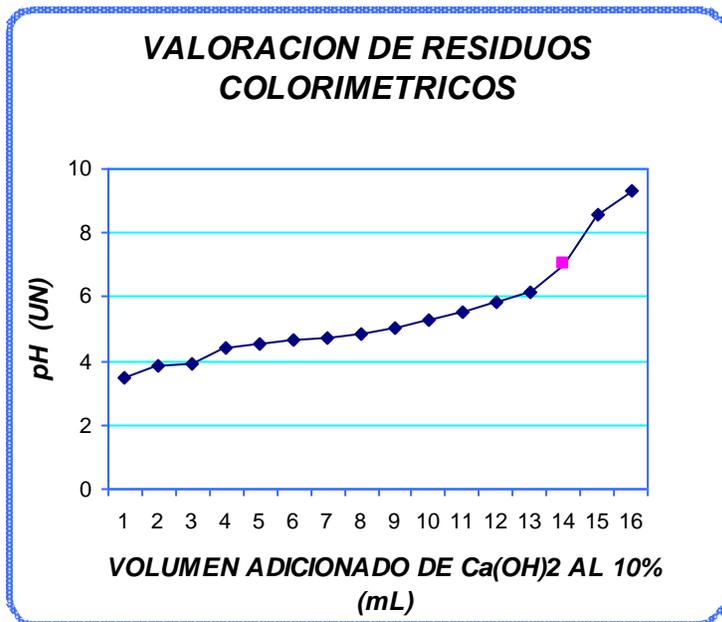
Color del residuo: rosa tenue

Volumen de muestra para titular: 1L

Titulante: Hidróxido de calcio al 10%

Volumen gastado de Ca(OH)_2 hasta neutralización = 260 mL

Gráfica 55. Valoración de residuos colorimétricos



Vol Ca(OH)_2 10%	pH (UN)	Vol Ca(OH)_2 10%	pH (UN)
0	3,49	160	5,01
20	3,82	180	5,28
40	3,93	200	5,53
60	4,39	220	5,82
80	4,51	240	6,12
100	4,63	260	7,02
120	4,75	280	8,56
140	4,87	300	9,3

- Indica el pH 7.02 (UN) al que fue dejado el residuo para realizar las pruebas de jarras

Volumen total adicionado de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a todo el volumen de residuo=3.75L

pH final = 7.08 (UN)

Volumen final = 18.45L

Observaciones: El color inicial es de un color rosado tenue, al adicionar el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y alcanzar el pH neutro pasa a ser de color naranja. Al dejarse un tiempo en reposo se forma un precipitado abundante el cual es filtrado.

PRUEBAS DE JARRAS

Las siguientes gráficas de las pruebas de jarras se realizaron con los siguientes parámetros:

RESIDUOS VOLUMÉTRICOS.

Color de la muestra = verde claro transparente

Volumen de muestra por jarra = 1 L para un total de 6 L por prueba

Equipo = floculador E y Q

Velocidad mezcla rápida (rpm) = 100

Tiempo de mezcla rápida (seg) = 15

Velocidad mezcla lenta (rpm) = 40

Tiempo de mezcla lenta (min) = 15

Tiempo de sedimentación (min) = 20

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO TIPO B.

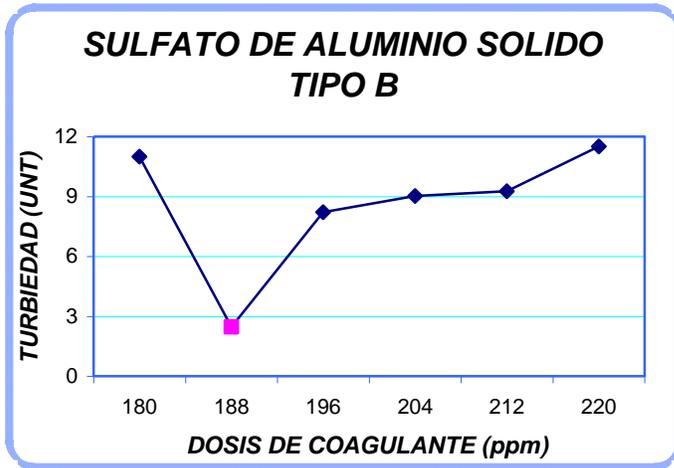
Concentración del coagulante 1% = 10000 ppm

Turbiedad inicial = 48.5 UNT

Temperatura = 21.4 °C

pH inicial = 7.32 UN

Gráfica 56. Dosis optima de sulfato aluminio sólido tipo B



Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice W
180	11.0	6.83	2
188	2.47	6.80	4
196	8.21	6.72	2
204	9.02	6.70	2
212	9.27	6.69	2
220	11.5	6.70	2

- Indica la dosis optima de sulfato sólido tipo B 188 (ppm) obteniendo una turbiedad de 2.47 (UNT).

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO TIPO B.

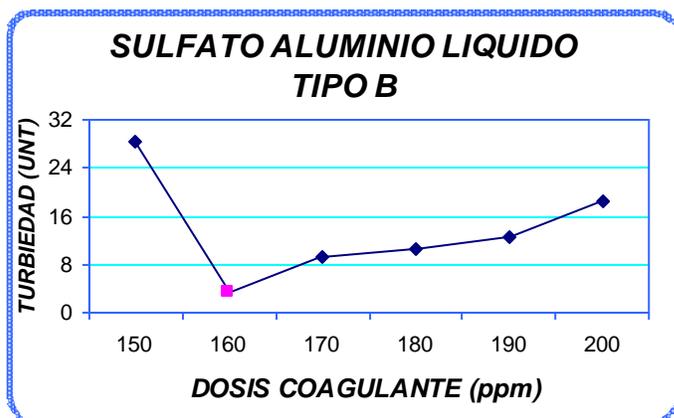
Concentración del coagulante 1% = 10000 ppm

Turbiedad inicial = 56.8 UNT

Temperatura = 20.6°C

pH inicial = 7.27 UN

Gráfica 57. Sulfato aluminio liquido tipo B



Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice W
150	28.5	7.01	2
160	3.54	6.98	4
170	9.11	6.92	2
180	10.5	6.90	2
190	12.6	6.88	2
200	18.41	6.86	2

- Indica la dosis óptima de sulfato líquido tipo B 160 (ppm) obteniendo una turbiedad de 3.54 (UNT).

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO TIPO A.

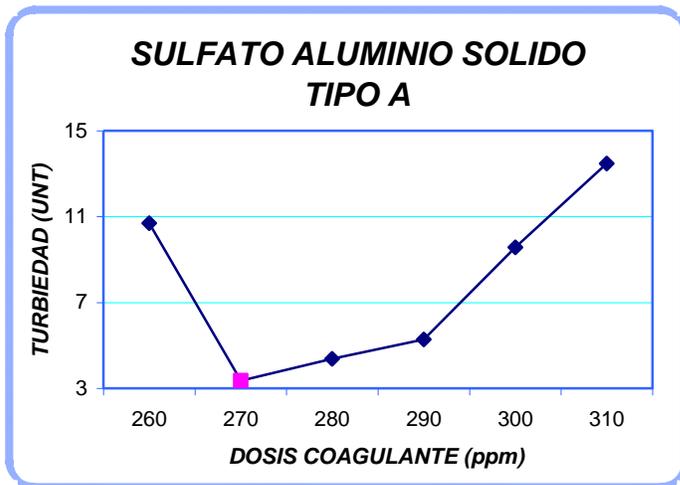
Concentración del coagulante 1% = 10000 ppm

Turbiedad inicial = 48.5 UNT

Temperatura = 21.6°C

pH inicial = 7.15 UN

Grafica 58. Sulfato aluminio sólido tipo A



Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice W
260	10.7	7.05	2
270	3.36	7.03	4
280	4.37	6.98	2
290	5.28	6.92	2
300	9.57	6.83	2
310	13.48	6.79	2

- Indica la dosis óptima de sulfato sólido tipo A 270 (ppm) obteniendo una turbiedad de 3.36 (UNT).

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO TIPO A

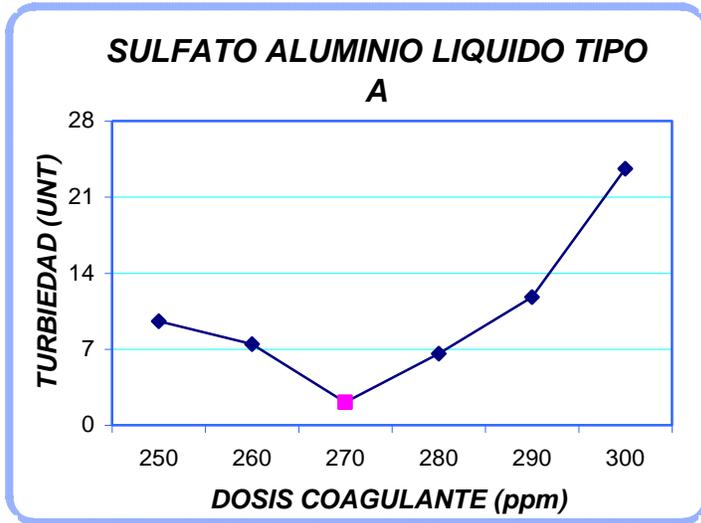
Concentración del coagulante 1% = 10000 ppm

Turbiedad inicial = 48.9UNT

Temperatura = 21.1°C

pH inicial = 7.18 UN

Gráfica 59. Sulfato aluminio liquido tipo A



Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice W
250	9,57	7.11	2
260	7,45	7.08	2
270	2,11	6.97	4
280	6,58	6.91	2
390	11,8	6.87	2
300	23,6	6.85	2

- Indica la dosis optima de sulfato líquido tipo A 270 (ppm) obteniendo una turbiedad de 2.11 (UNT).

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA SULFATO FERRICO LIQUIDO.

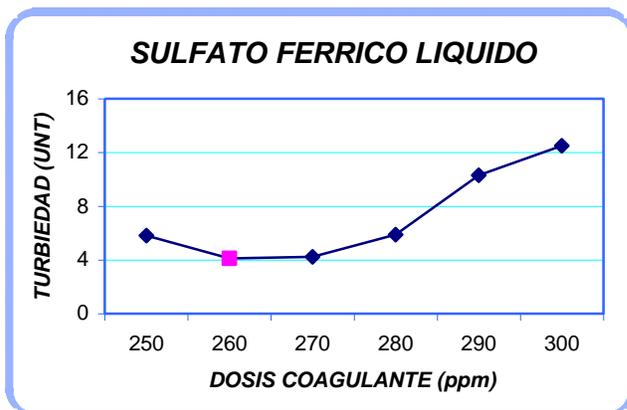
Concentración del coagulante 1% = 10000 ppm

Turbiedad inicial = 53.7 UNT

Temperatura = 21.1°C

pH inicial = 7.04 UN

Gráfica 60. Sulfato ferrico líquido



Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice W
250	5,81	6.57	2
260	4,11	6.51	4
270	4,22	6.46	2
280	5,88	6.44	2
390	10,3	6.41	2
300	12,5	6.38	2

- Indica la dosis óptima de sulfato ferrico liquido 260 (ppm) obteniendo una turbiedad de 4.11 (UNT).

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA MANHIDROX.

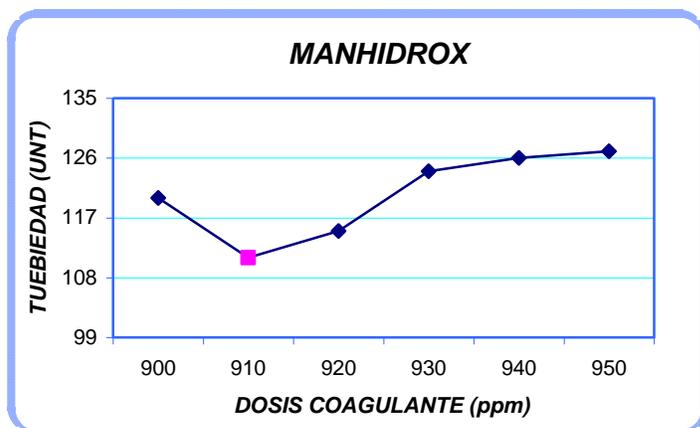
Concentración del coagulante 1% = 10000 ppm

Turbiedad inicial = 48.7 UNT

Temperatura = 21.4°C

pH inicial = 7.32 UN

Grafica 61. Manhidrox



Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice w
900	120	7.48	2
910	111	7.51	2
920	115	7.56	2
930	124	8.02	2
940	126	8.16	2
950	127	8.22	2

- Indica la dosis óptima de manhidrox 910 (ppm) aumentando la turbiedad en 111 (UNT).

Nota. Al observar el cambio de color de el liquido de Manhidrox tomamos nuevamente la turbiedad y esta es de un valor 48.5 (UNT)

RESIDUOS COLORIMETRICOS.

Color de la muestra = Naranja

Volumen de muestra por jarra = 1 L para un total de 6 L por prueba

Equipo = floculador E y Q

Velocidad mezcla rápida (rpm) = 100

Tiempo de mezcla rápida (seg) = 15

Velocidad mezcla lenta (rpm) = 40

Tiempo de mezcla lenta (min) = 15

Tiempo de sedimentación (min) = 20

DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA DE TODOS LOS COAGULANTES.

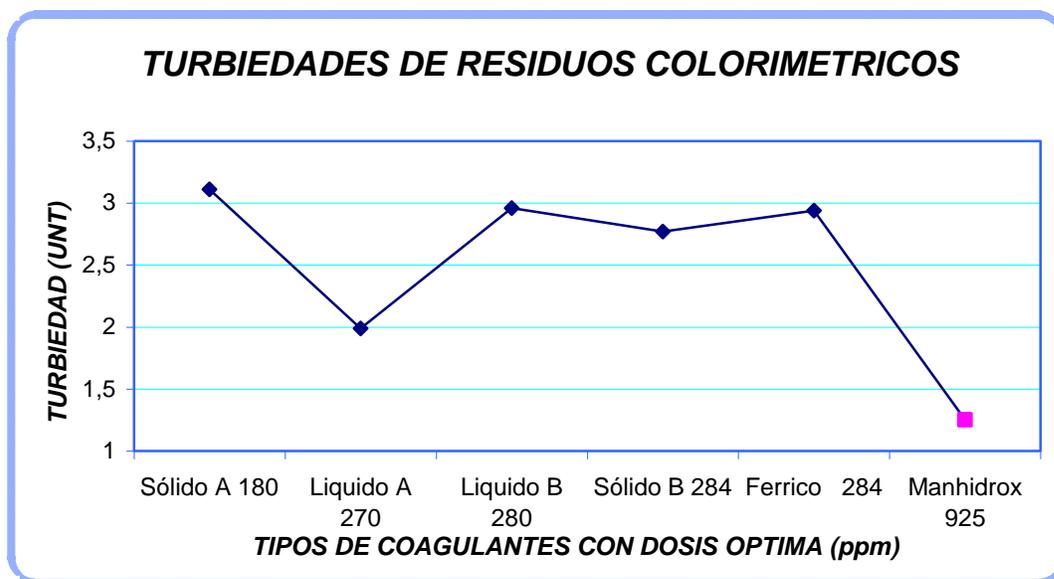
Concentración del coagulante 1% = 10000 ppm

Turbiedad inicial = 46.2 UNT

Temperatura = 21.4 °C

pH inicial = 7.56 UN

Gráfica 62. Turbiedad de residuos colorimétricos con dosis optima de los diferentes coagulante



Con esta grafica observamos que el coagulante que obtuvo mejor comportamiento es el manhidrox a una dosis optima de 925 (ppm) y una turbiedad de 1.25 (UNT).

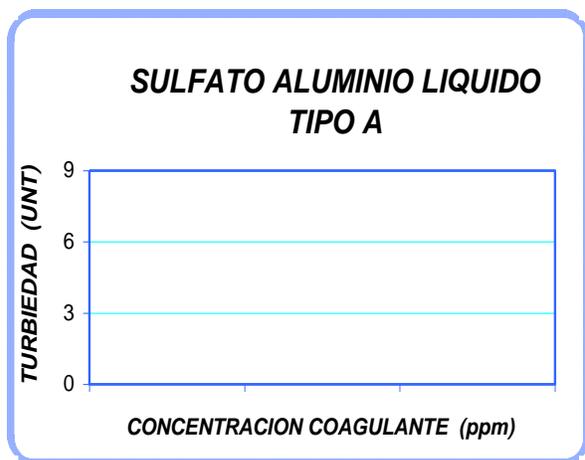
Tabla de datos 79. Comparación de comportamiento Todos los coagulantes en los residuos colorimétricos.

Coagulantes.	Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice Wilcomb
Sulfato aluminio sólido tipo A	270	3. 11	7.22	6
Sulfato aluminio liquido tipo A	284	1. 99	7.18	6
Sulfato aluminio liquido tipo B	280	2. 96	7.21	6
Sulfato aluminio Sólido tipo B	180	2. 77	7.16	6
Sulfato ferrico liquido	284	2. 94	7.05	6
Manhidrox	925	1. 25	8.90	6

Nota. Al observar el cambio de color de el liquido de Manhidrox tomamos nuevamente la turbiedad y esta es de un valor 0.33 (UNT)

DOSIS OPTIMA DE COAGULANTES SULFATO ALUMINIO LIQUIDO TIPO A

Gráfica 63. Sulfato aluminio líquido tipo A

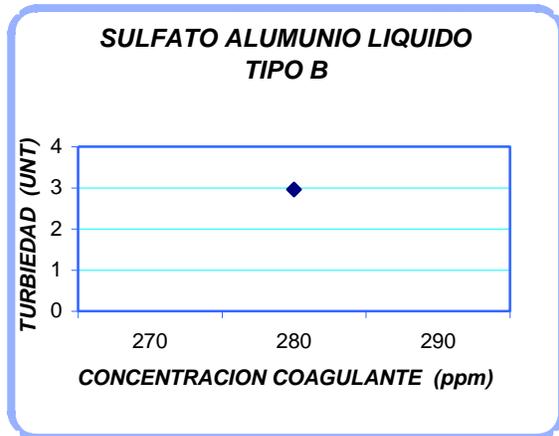


Coagulante	Dosis (ppm)	Turb (UNT)	pH (UN)	Índice W
Sulfato aluminio liquido tipo A	274	7.94	7.22	4
Sulfato aluminio liquido tipo A	284	1. 99	7.18	6
Sulfato aluminio liquido tipo A	294	6.56	7.18	4

- Indica el punto de la dosis óptima de sulfato aluminio liquido tipo A 284 (ppm) obteniendo una turbiedad de 1.99 (UNT), este coagulante fue el único que presento flor en todas sus jarras y tomas como referencia el que mejor comportamiento presento.

DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTES SULFATO ALUMINIO LÍQUIDO TIPO B

Grafica 64. Sulfato aluminio líquido tipo B



Coagulante	Dosis (ppm)	Turb (UNT)	pH (UN)	Índice W
Sulfato aluminio líquido tipo B	270	N.A	N.A	N.A
Sulfato aluminio líquido tipo B	280	2. 96	7. 21	6
Sulfato aluminio líquido tipo B	290	N.A	N.A	N.A

- Indica el punto de la dosis óptima de sulfato aluminio líquido tipo B 280 (ppm) obteniendo una turbiedad de 2.96 (UNT), se representa este único punto debido a que en las otras jarras no se observó presencia de formación de floc.

Tabla de datos 82. Determinación de dosis óptima de residuos colorimétricos.

Coagulante	Dosis (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	Índice de Wilcomb
Manhidrox	915	N.A	N.A	N.A
Manhidrox	925	1. 25	8.90	6
Manhidrox	935	N.A	N.A	N.A
Sulfato ferrico líquido	274	N.A	N.A	N.A
Sulfato ferrico líquido	284	2. 94	7. 05	6
Sulfato ferrico líquido	294	N.A	N.A	N.A
Sulfato aluminio sólido tipo A	260	N.A	N.A	N.A
Sulfato aluminio sólido tipo A	270	3. 11	7. 22	6
Sulfato aluminio sólido tipo A	280	N.A	N.A	N.A
Sulfato aluminio Sólido tipo B	170	N.A	N.A	N.A
Sulfato aluminio Sólido tipo B	180	2. 77	7. 16	6
Sulfato aluminio Sólido tipo B	190	N.A	N.A	N.A



Nota:

Con los coagulantes sulfato de aluminio sólido tipo A, sulfato de aluminio sólido tipo B, sulfato férrico líquido y Manhdrox presentaron el mismo comportamiento que nos muestra la gráfica 64 del sulfato de aluminio líquido tipo B, el cual representa un único punto debido a que en las otras jarras no se observó presencia de formación de floc, por esa razón no se tomó el dato de turbiedad y pH de las otras ya que si no hay formación de floc los datos son descartables.

Los datos arrojados por la prueba de jarras de los diferentes coagulantes se pueden observar en la tabla de datos 82.

ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Tabla de datos 83. Análisis de laboratorio de los residuos volumétricos.

Coagulante	Dosis optima (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	DQO (mg/L)	% remoción DQO (%)	DBO (mg/L)	% remoción DBO (%)	Sólidos totales (mg/L)	% remoción Sólidos totales (%)	Sólidos Disueltos (mg/L)	% remoción Sólidos Disueltos (%)	Sólidos suspendidos (mg/L)	% remoción Sólidos suspendidos (%)
<i>Línea base</i>		58.5	7.38	3216		723		1908		1725		183	
<i>Sulf aluminio sólido tipo A</i>	270	3.36	7.08	2086	35.1	690	4.56	1768	7.33	1602	7.13	166	9.28
<i>Sulf aluminio sólido tipo B</i>	188	2.47	6.80	2638	17.97	387.5	46.40	1856	2.72	1695	1.73	161	12.02
<i>Sulf aluminio líquido tipo A</i>	270	2.11	6.97	2040	36.56	480	33.6	1846	3.25	1700	1.44	146	20.21
<i>Sulf aluminio líquido tipo B</i>	160	3.54	6.98	2735	14.95	256.8	64.48	1890	0.943	1722	0.17	168	8.19
<i>Sulf ferrico líquido</i>	260	4.11	6.51	2920	9.2	584.6	19.14	1734	9.11	1615	6.37	119	34.97
<i>Manhidrox</i>	910	48.5	7.51	2826	12.12	616	14.8	1762	7.65	1645	4.63	117	36.06

Nota. Como al volver a tomar la turbiedad se presentó una disminución evidente se decidió tomar esta como el real debido que inmediatamente se realizaron los análisis de laboratorio.

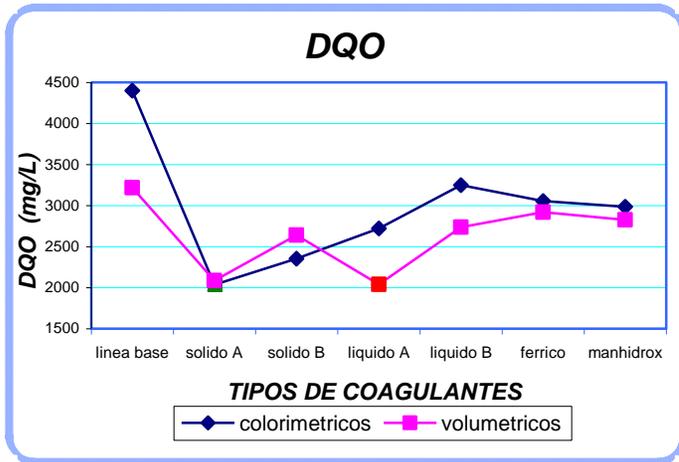
ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Tabla de datos 84. Análisis de laboratorio de los residuos colorimétricos.

Coagulante	Dosis optima (ppm)	Turbiedad (UNT)	pH (UN)	DQO (mg/L)	% remoción DQO (%)	DBO (mg/L)	% remoción DBO (%)	Sólidos totales (mg/L)	% remoción Sólidos totales (%)	Sólidos Disueltos (mg/L)	% remoción Sólidos Disueltos (%)	Sólidos suspendidos (mg/L)	% remoción Sólidos suspendidos (%)
<i>Línea base</i>		46.2	7.56	4400		540.98		1876		1658		218	
<i>Sulf aluminio sólido tipo A</i>	270	3.11	7.22	2034	53.77	156.57	71.50	1756	6.39	1598	3.618	158	27.52
<i>Sulf aluminio sólido tipo B</i>	284	1.99	7.18	2352	46.54	230.77	57.34	1767	5.83	1563	5.72	204	6.64
<i>Sulf aluminio líquido tipo A</i>	280	2.96	7.21	2720	38.18	457.12	15.50	1613	14.01	1496	9.77	117	46.36
<i>Sulf aluminio líquido tipo B</i>	180	2.77	7.16	3248	26.18	299.97	44.55	1682	10.34	1509	8.98	173	20.64
<i>Sulf ferrico líquido</i>	284	2.94	7.05	3056	30.54	210	61.18	1815	3.25	1617	2.47	198	9.17
<i>Manhidrox</i>	925	0.33	8.90	2986	32.13	150	72.27	1732	7.67	1637	1.26	95	56.42

Nota. Como al volver a tomar la turbiedad se presento una disminución evidente se decidió tomar esta como el real debido que inmediatamente se realizaron los análisis de laboratorio.

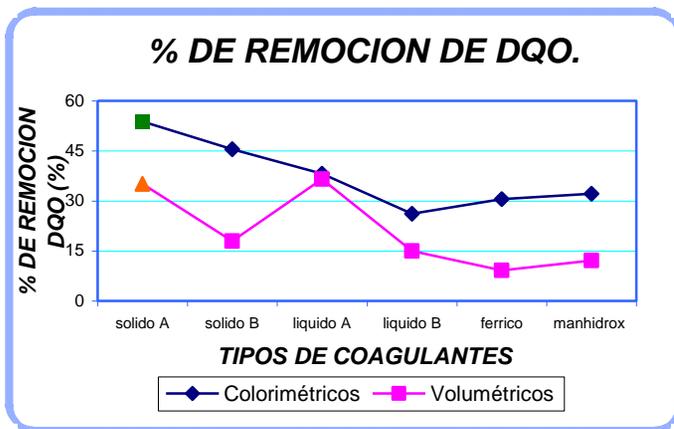
Gráfica 65. DQO



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
línea base	4400	3216
sólido A	2034	2086
sólido B	2352	2638
líquido A	2720	2040
líquido B	3248	2735
ferrico	3056	2920
manhidrox	2986	2826

En este grafico observamos que en los residuos colorimétricos el sulfato de aluminio sólido A es el que presenta mejor comportamiento, en cuanto a los residuos volumétricos es el sulfato de aluminio liquido tipo A.

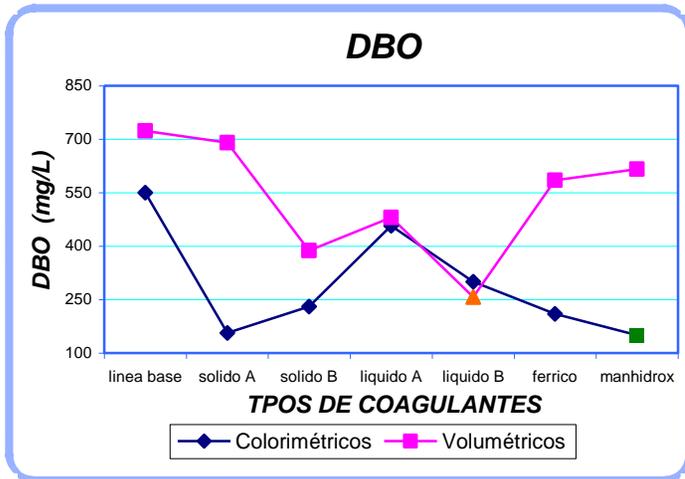
Gráfica 66. Porcentaje de remoción DQO



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
sólido A	53,77	35,1
sólido B	45,54	17,97
líquido A	38,18	36,56
líquido B	26,18	14,95
ferrico	30,54	9,2
manhidrox	32,16	12,12

Los coagulantes que presentaron un mejor porcentaje de remoción en los residuos colorimétricos y volumétricos son el sulfato de aluminio sólido tipo A y el sulfato de aluminio liquido tipo A respectivamente, esto es de esperarse ya que estos dos coagulantes obtuvieron la meno DQO.

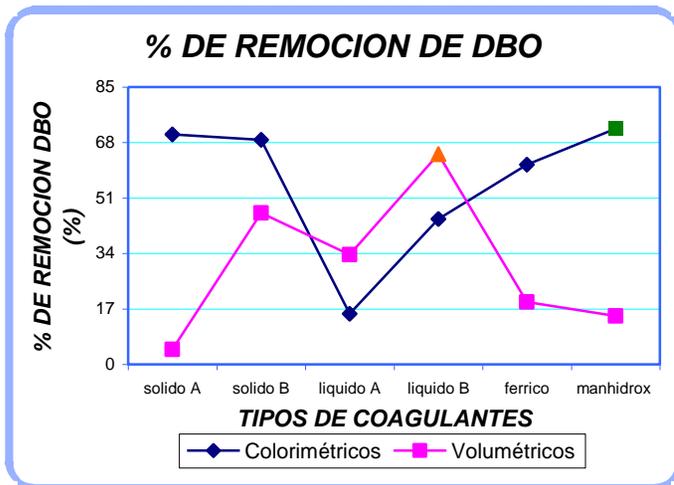
Gráfica 67. DBO



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
línea base	549,98	723
sólido A	156,57	690
sólido B	230,77	387,5
líquido A	457,12	480
líquido B	299,97	256,8
ferrico	210	584,6
manhidrox	150	616

Este análisis arrojó como resultados en los residuos colorimétricos y volumétricos que los coagulantes que mejor comportamiento presentaron son los de Manhidrox y sulfato de aluminio líquido tipo B respectivamente, estas DBO son relativamente bajas para ser provenientes de aguas residuales industriales.

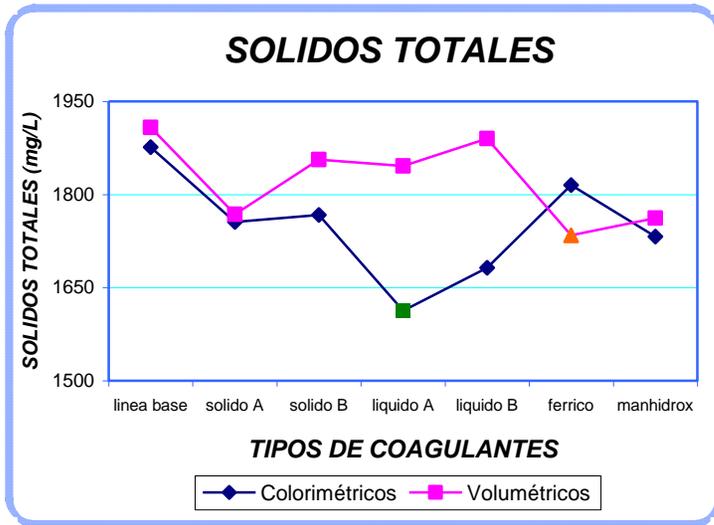
Gráfica 68. Porcentaje de remoción DBO



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
sólido A	70,5	4,56
sólido B	68,78	46,4
líquido A	15,5	33,6
líquido B	44,55	64,48
ferrico	61,18	19,14
manhidrox	72,27	14,8

En este gráfico apreciamos que en los residuos colorimétricos el Manhidrox obtuvo un % de remoción de 72.27% y en los residuos volumétricos el mayor % de remoción fue del coagulante sulfato de aluminio líquido tipo B con un valor de 64.48%.

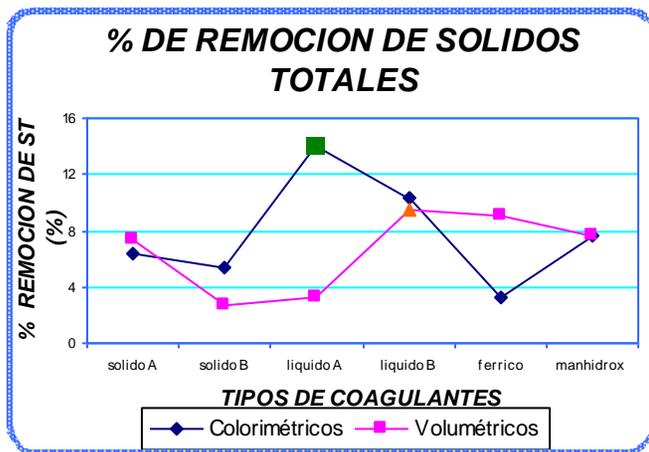
Gráfica 69. Sólidos totales



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
línea base	1876	1908
sólido A	1756	1768
sólido B	1767	1856
liquido A	1613	1846
liquido B	1682	1890
ferrico	1815	1734
manhidrox	1732	1762

El comportamiento de sólidos totales para los residuos colorimétricos lo obtuvo el coagulante sulfato de aluminio liquido tipo A, en los volumétricos es el sulfato ferrico liquido.

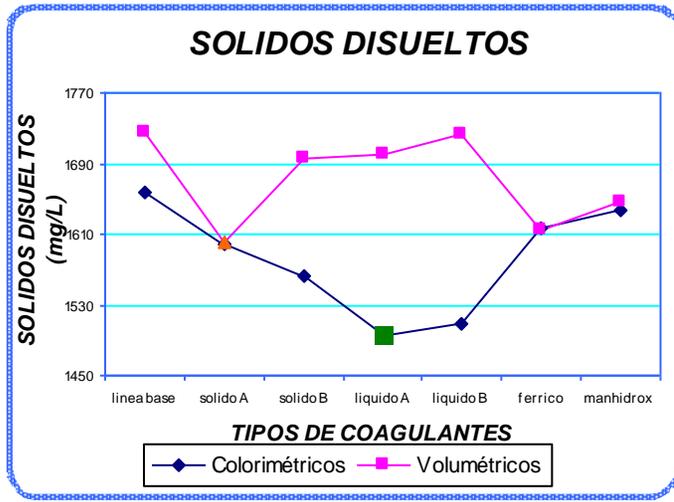
Gráfica 70. Porcentaje de remoción Sólidos totales



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
sólido A	6,39	7,33
sólido B	5,38	2,72
liquido A	14,01	3,25
liquido B	10,34	9,43
ferrico	3,25	9,11
manhidrox	7,67	7,65

Los porcentajes de remoción de sólidos totales en este análisis es muy bajo por debajo del 15%, en los residuos colorimétricos el mayor % es de 14.41% obtenido por el coagulante sulfato de aluminio liquido A, en los residuos volumétricos el sulfato de aluminio liquido tipo B es el que obtuvo mayor % de remoción con un valor de 9.43%.

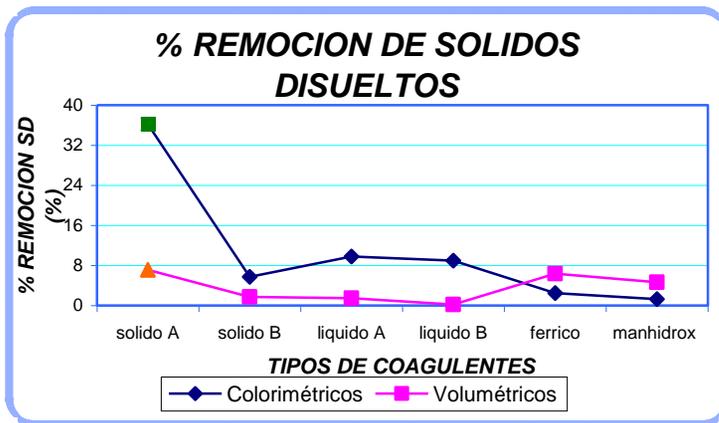
Gráfica 71. Sólidos disueltos



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
línea base	1658	1725
sólido A	1598	1602
sólido B	1563	1695
líquido A	1496	1700
líquido B	1509	1722
ferrico	1617	1615
manhidrox	1637	1645

En los sólidos disueltos los residuos colorimétricos obtuvieron una menor cantidad de sólidos disueltos con un valor de 1496 (mg/L), en los residuos volumétricos es el sulfato de aluminio sólido tipo A el que obtuvo una menor cantidad de sólidos disueltos con un valor de 1602 (mg/L).

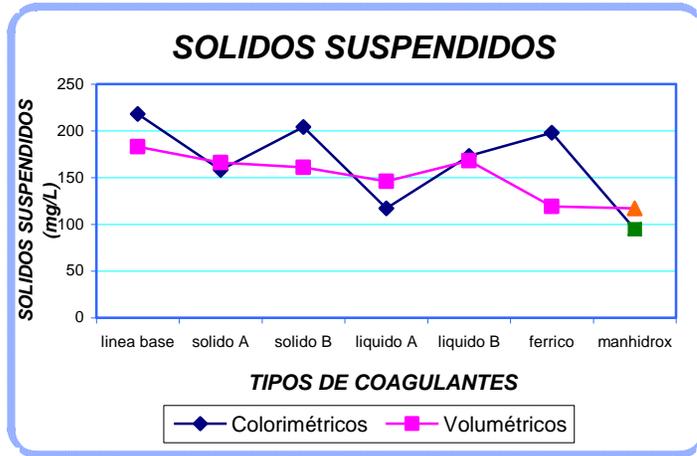
Gráfica 72. Porcentaje de remoción Sólidos disueltos



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
sólido A	36,18	7,13
sólido B	5,72	1,73
líquido A	9,77	1,44
líquido B	8,98	0,17
ferrico	2,47	6,37
manhidrox	1,26	4,63

El sulfato de aluminio sólido tipo A obtuvo el mayor % de remoción en los residuos colorimétricos y volumétricos con un valor de 36.18% y 7.13% respectivamente. En este caso observamos la diferencia de % entre los dos tipos de residuos.

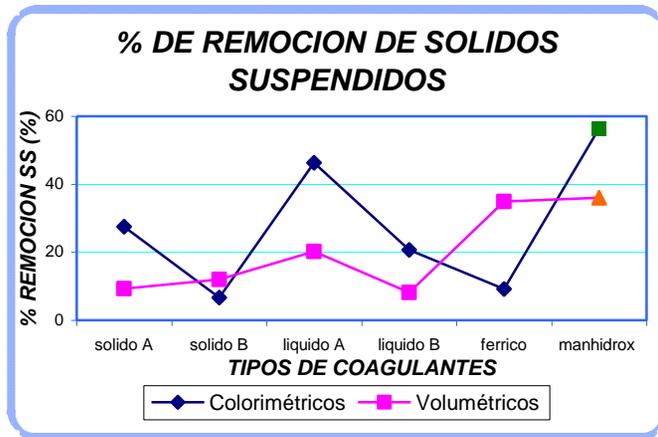
Gráfica 73. Sólidos suspendidos



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
línea base	218	183
sólido A	158	166
sólido B	204	161
líquido A	117	146
líquido B	173	168
ferrico	198	119
manhidrox	95	117

El Manhidrox mostró el mejor comportamiento en las dos clases de residuos. Los residuos colorimétricos y volumétricos obteniendo como resultado 95 (mg/L) y 117(mg/L) respectivamente.

Gráfica 74. Porcentaje de remoción Sólidos suspendidos



Coagulantes	Colorimétricos	Volumétricos
sólido A	27,52	9,28
sólido B	6,64	12,02
líquido A	46,33	20,21
líquido B	20,64	8,19
ferrico	9,17	34,94
manhidrox	56,42	36,06

El Manhidrox obtuvo el mejor comportamiento en a remoción de sólidos suspendidos pero aun así este no cumple con el decreto de vertimientos.

Observaciones:

En este método aplicado a los residuos, se puede notar que los coagulantes al ser adicionado al la muestra no varia su color a excepción del manihidrox que debido

a su gran cantidad torna la muestra totalmente morado lo cual hace que se incremente la turbiedad debido que al equipo le es mas difícil leerla, aunque después de un día es evidente el cambio de color y la disminución de la turbiedad y su comportamiento con respecto a la DBO la remoción de sólidos suspendidos fueron relativamente buenos, esto puede deberse a que el Manhdrox es un oxidante y por lo tanto esto favorece la DBO, por estas razones se deja abierto el uso de este coagulante en este tratamiento aunque reafirmamos el incremento de costos debido a su gran cantidad utilizadas para este tratamiento

A pesar de que se duplico la dosis de coagulantes el floculo formado es de un tamaño pequeño aunque abundante y de peso relativamente bueno con las observaciones de este mes podemos determinar que no es viable este método por los inconvenientes ya mencionado y su inconsistencia con los datos no podemos decir que determinado coagulante va a cumplir con el decreto de vertimiento debido a que las diferentes pruebas realizadas obtuvimos que diferentes coagulante presentaban los mejores resultados pero que ninguno de estos cumple con el decreto de vertimientos, aunque en este procedimiento la remoción de sólidos aparentemente es mucho mayor al realizar los cálculos correspondientes no cumplen con las expectativas .

COMPARACIÓN ENTRE MESES

Gráfica 75. Comparación de turbiedades de todos los meses

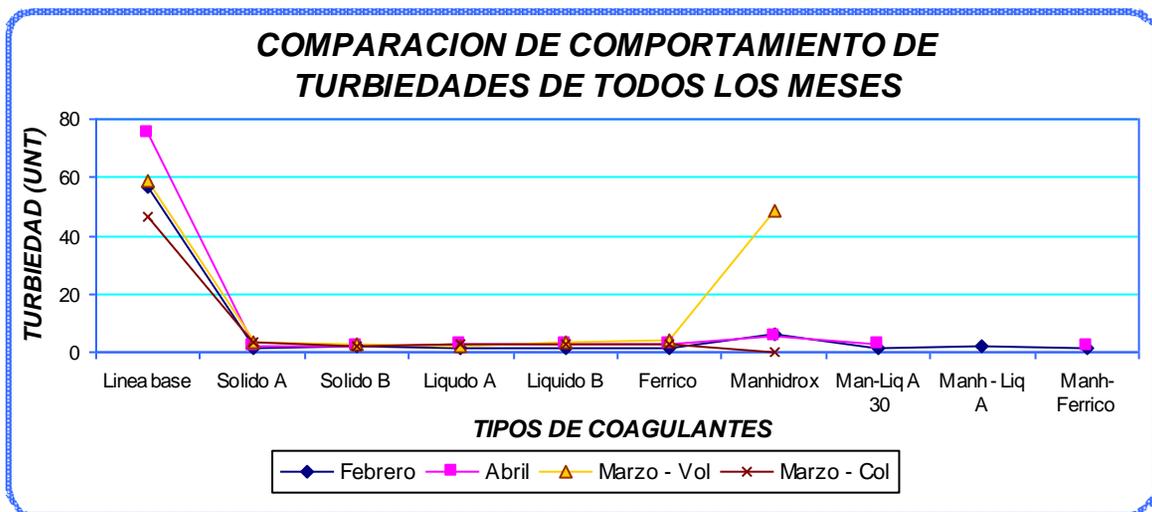


Tabla de datos 95. Comparación de turbiedades de todos los meses

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Línea base	57	75,3	58,5	46,2
Sólido A	1,29	2,09	3,36	3,11
Sólido B	1,81	2,11	2,47	1,99
Líquido A	1,69	3,01	2,11	2,96
Líquido B	1,49	2,77	3,54	2,77
Ferrico	1,59	2,98	4,11	2,94
Manhidrox	5,83	5,4	48.5	0.33
Man-Liq A 30	1,04	2.4		
Manh - Liq A	1,86			
Manh-Ferrico	1,24	1,98		

■ en el mes de febrero el coagulante que mostró una mejor turbiedad es la mezcla manhidrox – líquido A 30 (ppm) arrojando un valor de 1,04 (UNT), en el mes el
 ■ abril el coagulante mezcla manhidrox – líquido A 30 (ppm), mostró un mejor comportamiento obteniendo una turbiedad de 1.45 (UNT).

En el mes de marzo que se divide en ■ colorimétricos y ■ volumétricos observamos es que el coagulante que menor turbiedad mostró es el manhidrox aunque cabe aclarar que la primera toma de la turbiedad después de hacer las jarras fue de 111 (UNT) para los residuos volumétricos, y para los colorimétricos fue de 1,25 (UNT), pero debido al cambio de color que observamos al día siguiente al realizar los análisis de laboratorio se tomo nuevamente la turbiedad y obtuvimos un valor muy inferior al obtenido inicialmente para los colorimétricos fue 0.33 (UNT) con un color inicial naranja claro a un color final transparente, para los volumétricos fue 48.5 (UNT) con un color inicial morado a un color final amarillo muy claro, estos cambios pueden ser debidos a que el manhidrox es un oxidante y puede seguir reaccionado.

Gráfica 76. Comparación de DQO de todos los meses

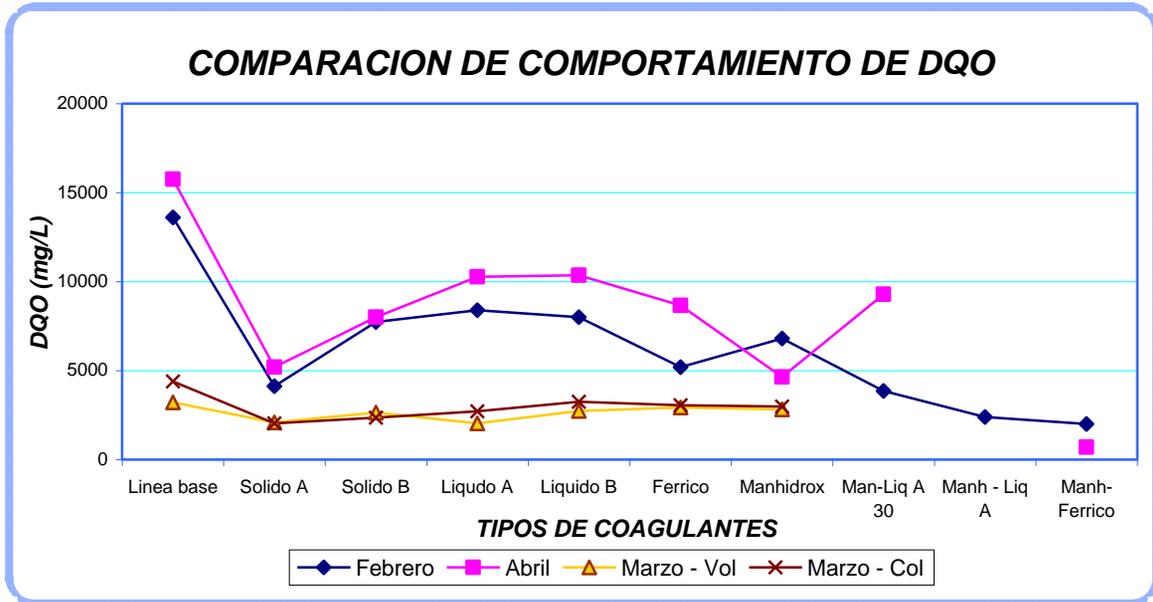


Tabla de datos 96. Comparación de DQO de todos los meses

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Línea base	13600	15747	3216	4400
Sólido A	4133	5200	2086	2034
Sólido B	7733	8000	2638	2352
Líquido A	8400	10272	2040	2720
líquido B	8000	10361	2735	3248
Ferrico	5200	8664	2920	3056
Manhidrox	6800	4640	2826	2986
Man-Liq A 30	3866	9280		
Manh - Liq A	2400			
Manh-Ferrico	2000	691		

En esta gráfica observamos el coagulante mezcla manhidrox – ferrico en el mes de abril, este es el que obtuvo un mejor comportamiento con respecto a los otros coagulantes y a los otros meses obteniendo un valor de 691 (mg/L), en los residuos volumétricos y colorimétricos el valor obtenido es de 2040 (mg/L) correspondiente a el coagulante sulfato de aluminio líquido tipo A este es en los

residuos volumétricos, en los residuos colorimétricos es el coagulante sulfato de aluminio sólido tipo A con un valor de 2034 (mg/L), en estos residuos del mes de marzo observamos que sus diferentes DQO son muy próximas en su valor aun con la diferencias de que estas son con diferentes coagulante.

Gráfica 77. Comparación de % de remoción de DQO de todos los meses

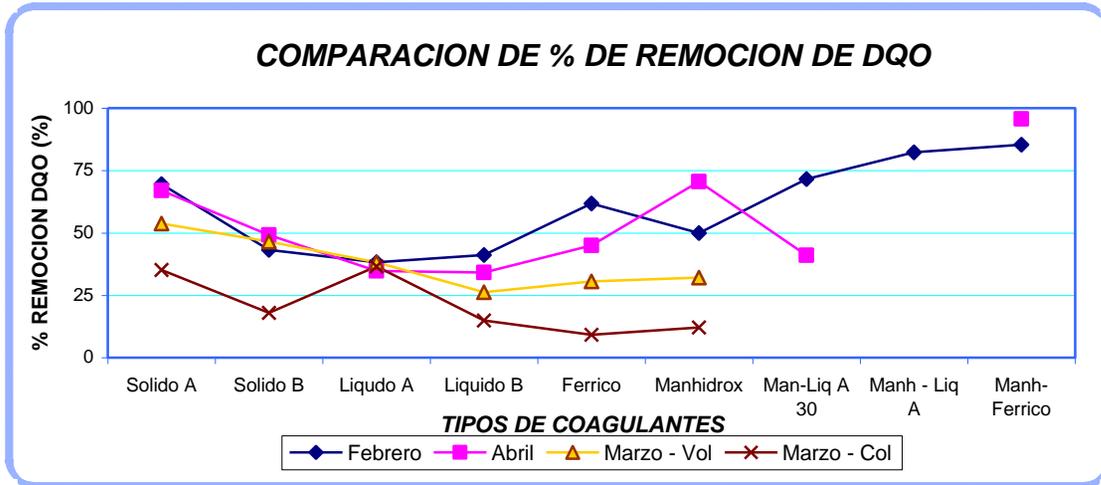


Tabla de datos 97. Comparación de % de remoción DQO de todos los meses.

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Sólido A	69,61	66,97	53,77	35,1
Sólido B	43,13	49,19	46,54	17,97
Líquido A	38,23	34,76	38,18	36,56
Líquido B	41,17	34,2	26,18	14,95
Ferrico	61,76	44,97	30,54	9,2
Manhidrox	50	70,53	32,13	12,12
Man-Liq A 30	71,57	41,06		
Manh - Liq A	82,35			
Manh-Ferrico	85,29	95,61		

Observamos en el grafico que el coagulante que mostró el mejor comportamiento es la mezcla manhidrox – ferrico en el mes de abril obteniendo un resultado de 95,61% este resultado supera las expectativas ya que cumple con el decreto de vertimiento 1594 del 26 de junio de 1984. El los residuos volumétricos es el sulfato de aluminio sólido tipo A dando un valor de 53.77% y el colorimétricos es el sulfato de aluminio liquido tipo a arrojando un valor de 36.56%.

Gráfica 78. Comparación de DBO de todos los meses

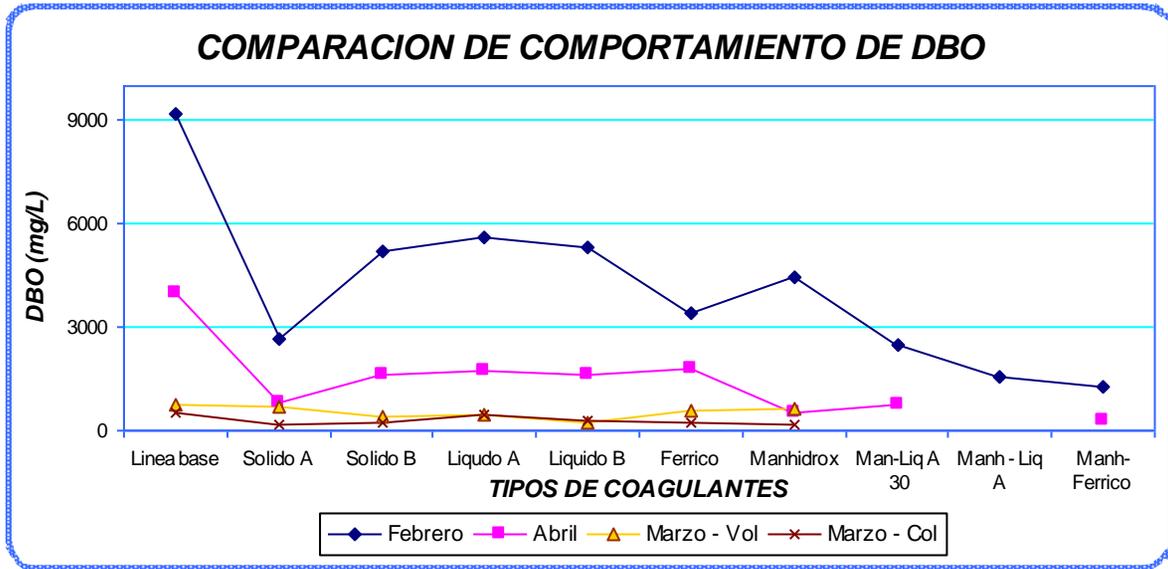


Tabla de datos 98. Comparación de DBO de todos los meses

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Línea base	9212	3994	723	540
Sólido A	2654	831	690	156
Sólido B	5188	1636	387,5	230
Líquido A	5600	1739	480	457
Líquido B	5337	1636	256,8	299
Ferrico	3432	1789	584,6	210
Manhdrox	4461	527	616	150
Man-Liq A 30	2483	776		
Manh - Liq A	1534			
Manh - Ferrico	1285	314		

En este gráfico observamos que el coagulante que mostró un mejor comportamiento es la mezcla manhidrox – ferrico con un valor de 314 (mg/L) este resultado se obtuvo en el mes de ■ abril, en el mes de marzo se obtuvieron unos resultados de 256.8 (mg/L) correspondiente al coagulante sulfato de aluminio líquido tipo B este en los residuos ■ volumétricos, y para los residuos ■ colorimétricos el coagulante que arrojó el mejor resultado es el manhidrox con un valor de 150 (mg/L).

Gráfica 79. Comparación de % de remoción de DBO de todos los meses.

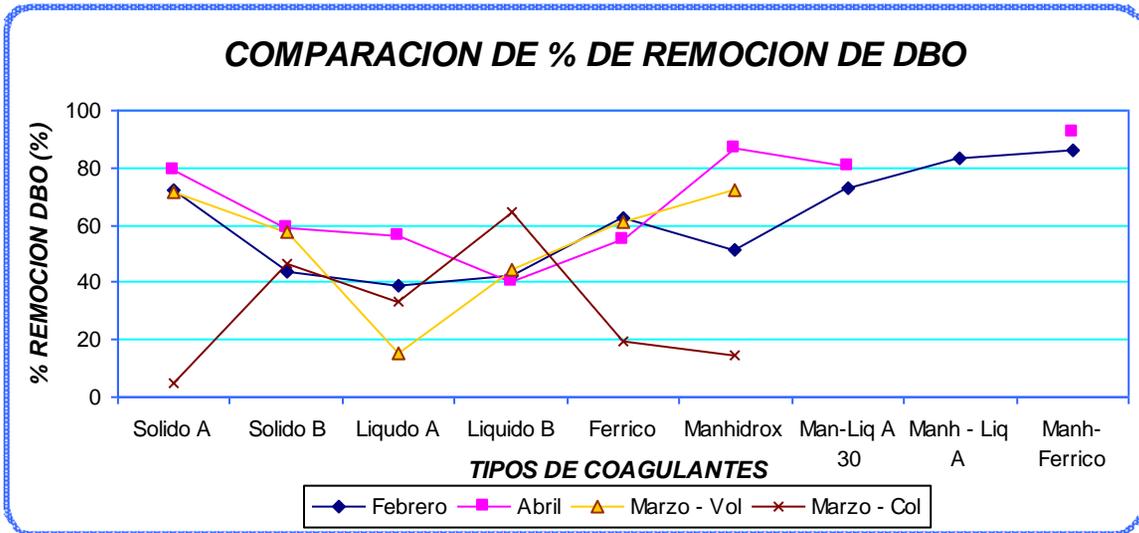


Tabla de datos 99. Comparación de % de remoción de DBO de todos los meses.

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Sólido A	72,18	79,19	71,5	4,56
Sólido B	43,68	59,04	57,34	46,4
Líquido A	39,2	56,46	15,5	33,6
Líquido B	42,06	40,39	44,55	64,48
Ferrico	62,74	55,19	61,18	19,14
Manhidrox	51,57	86,8	72,27	14,8
Man-Liq A 30	73,04	80,55		
Manh - Liq A	83,34			
Manh-Ferrico	86,05	92,13		

En el gráfico observamos que el coagulante manhidrox – ferrico sigue teniendo el mejor % de remoción en este caso es de 92.13%.

En los residuos volumétricos es el manhidrox con un valor de 72.27% y en los colorimétricos es el sulfato de aluminio liquido tipo B con un valor de 64.48% estos dos últimos no cumplen con el decreto de vertimientos.

Gráfica 80. Comparación de sólidos totales de todos los meses.

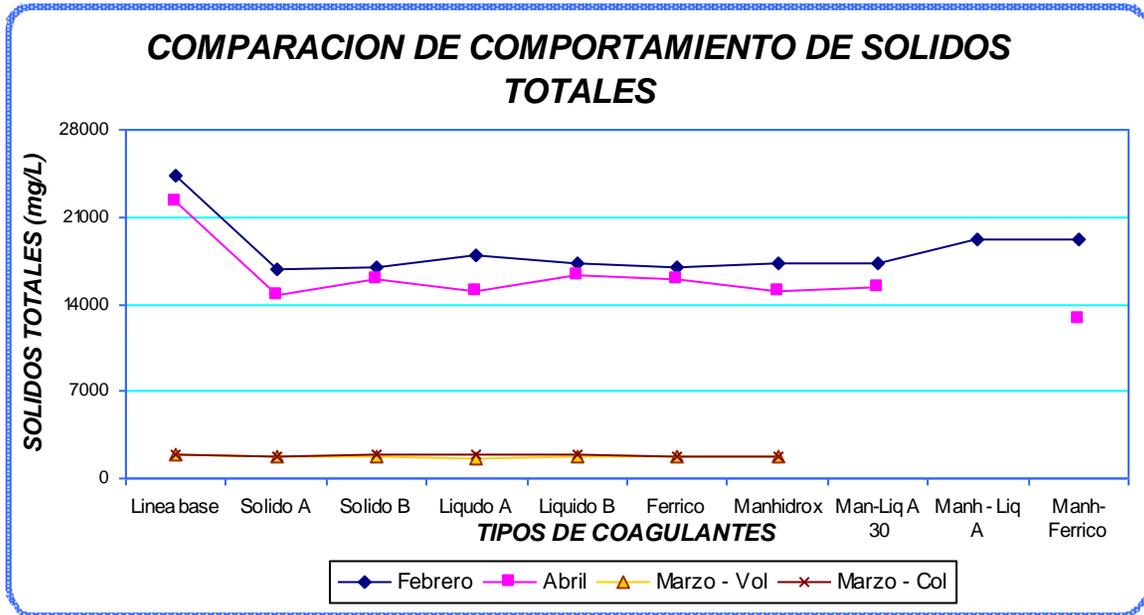


Tabla de datos 100. Comparación de Sólidos totales de todos los meses

Coagulante	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Línea base	24260	22260	1908	1876
Sólido A	16778	14778	1768	1756
Sólido B	17022	16076	1856	1767
Líquido A	17866	15022	1846	1613
Líquido B	17218	16354	1890	1682
Ferrico	17012	15984	1734	1815
Manhidrox	17302	15012	1762	1732
Man-LiqA 30	17252	15302		
Manh-Liq A	19194			
Man-Ferrico	19154	12822		

En esta grafica observamos que el mejor coagulante que obtuvo la menor cantidad de sólidos totales es la mezcla manhidrox – ferrico en el mes de ■ abril con un valor total de 12822 (mg/L).

En el mes de marzo el los residuos ■ volumétricos el coagulante que menor cantidad de sólidos totales es el sulfato ferrico liquido con un valor de 1734 (mg/L),

y en los ■ colorimétricos es el coagulante sulfato de aluminio líquido tipo A con un valor de 1613 (mg/L).

Gráfica 81. Comparación % de remoción de sólidos totales de todos los meses

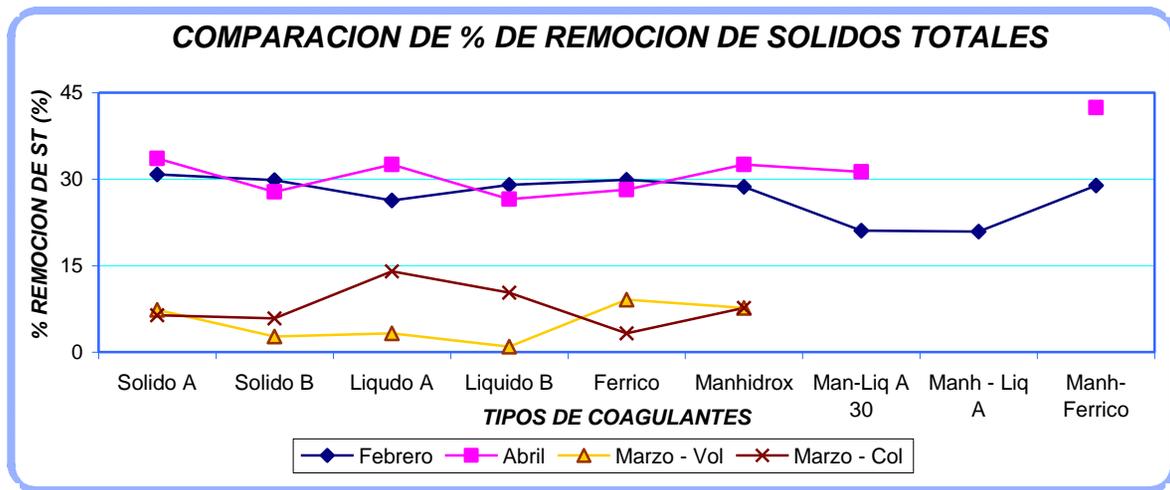


Tabla de datos 101. Porcentaje de remoción de Sólidos totales.

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Sólido A	30,84	33,61	7,33	6,39
Sólido B	29,83	27,78	2,72	5,83
Líquido A	26,31	32,51	3,25	14,01
Líquido B	29,02	26,53	0,943	10,34
Ferrico	29,87	28,19	9,11	3,25
Manhidrox	28,68	32,56	7,65	7,67
Man-Liq A 30	21,04	31,25		
Manh - Liq A	20,88			
Manh-Ferrico	28,88	42,39		

En esta grafica observamos que el mayor % de remoción lo obtuvo la mezcla manhidrox – ferrico con un valor de 42.39 % en los residuos colorimétricos podemos apreciar que su % de remoción son de 14.01 % obtenido por el coagulante sulfato de aluminio liquido tipo A y para los residuos volumétricos el mayor % de remoción es de 9.11% este resultado es obtenido por el sulfato ferrico

liquido. A pesar de que los sólidos totales de estos residuos son muchos menores en comparación del procedimiento realizado los meses (de octubre a febrero y abril) el % de remoción en estos residuos apenas sobrepasa el 10%.

Gráfica 82. Comparación de sólidos disueltos de todos los meses

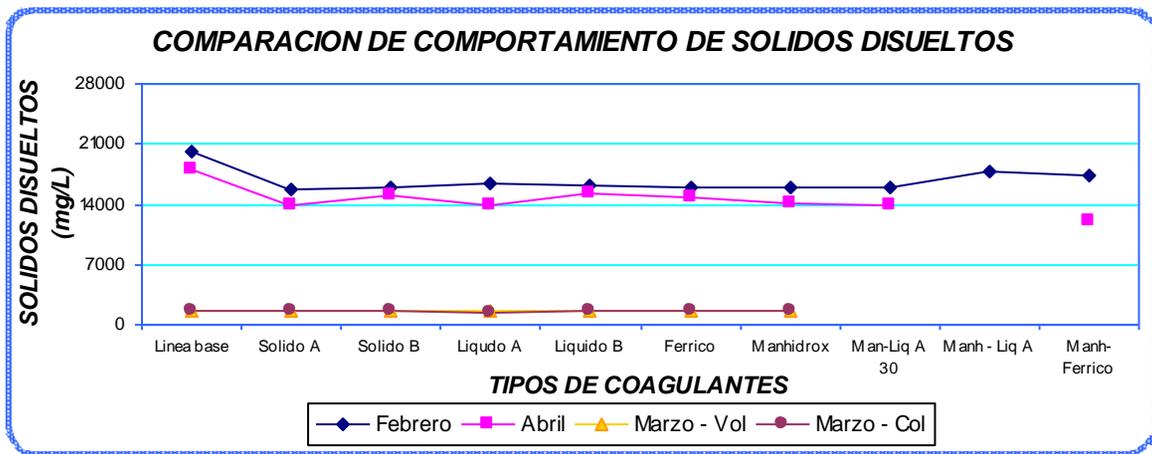


Tabla de datos 102. Comparación de Sólidos disueltos de todos los meses

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Línea base	20050	18032	1725	1658
Sólido A	15822	13904	1602	1598
Sólido B	15946	15090	1695	1563
Líquido A	16388	13928	1700	1496
Líquido B	16216	15282	1722	1509
Ferrico	15978	14904	1615	1617
Manhidrox	16032	14014	1645	1637
Man-Liq A 30	16050	13960		
Manh - Liq A	17850			
Manh-Ferrico	17300	12046		

En esta grafica observamos que el coagulante mezcla manhidrox – ferrico obtuvo la menor cantidad de sólidos disueltos con un valor total de 12046 (mg/L) este valor fue obtenido en el mes de abril. En los residuos volumétricos el sulfato de aluminio sólido tipo A fue el coagulante que menor cantidad de sólidos disueltos

Mostró con un valor de 1602 (mg/L), y en los residuos colorimétricos fue el coagulante sulfato de aluminio líquido tipo A con un valor de 1496 (mg/L).

Gráfica 83. Comparación de % de remoción de sólidos disueltos de todos los meses

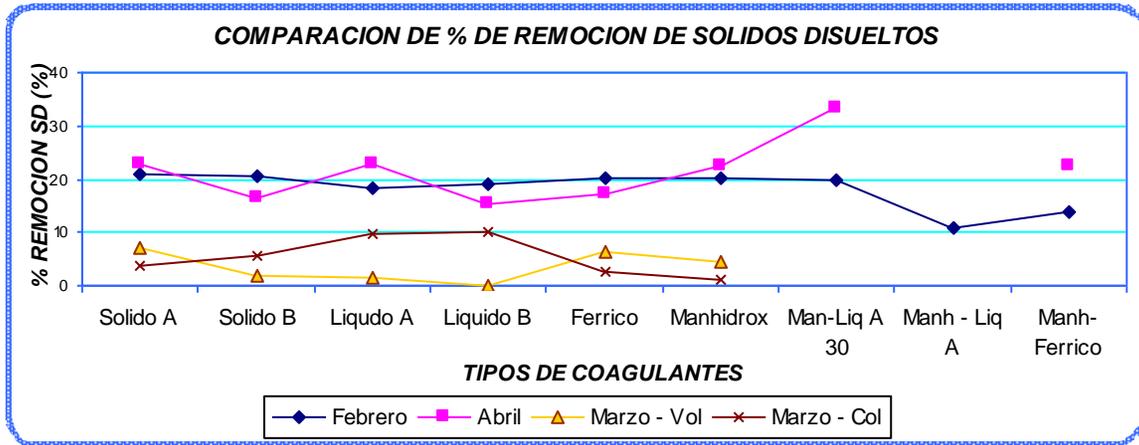


Tabla de datos 103. Comparación de % de remoción de sólidos disueltos de todos los meses.

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Sólido A	21,08	22,89	7,13	3,618
Sólido B	20,46	16,31	1,73	5,72
Líquido A	18,26	22,75	1,44	9,77
Líquido B	19,12	15,25	0,17	9,98
Ferrico	20,3	17,34	6,37	2,47
Manhidrox	20,03	22,28	4,63	1,26
Man-Liq A 30	19,95	33,19		
Manh - Liq A	10,7			
Manh-Ferrico	13,72	22,58		

Es te grafico observamos que el coagulante mezcla manhidrox – ferrico mostró el mejor comportamiento obteniendo un % de remoción de 33.19% este esto en el mes de abril.

En los residuos volumétricos el mejor coagulante fue el sulfato de aluminio sólido tipo A con un resultado de 7.13%, en los residuos colorimétricos el coagulante que

mejor comportamiento presento fue el sulfato de aluminio liquido tipo B con un resultado de 9.98% aunque en los dos casos el coagulante que mejor comportamiento es el mismo la diferencia es significativa en los porcentajes.

Gráfica 84. Comparación de sólidos suspendidos de todos los meses.

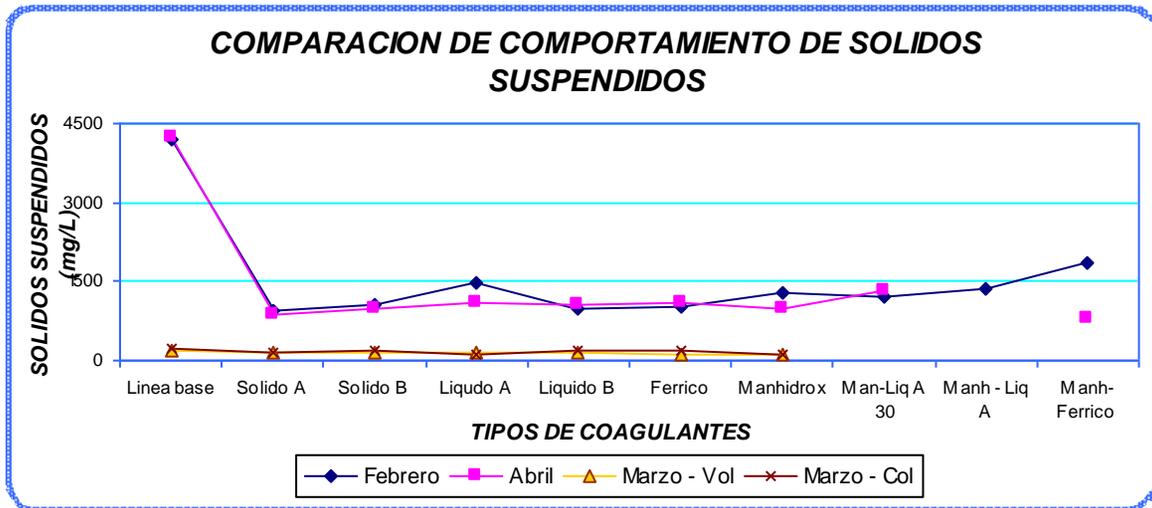


Tabla de datos 104. Comparación de Sólidos Suspendidos de todos los meses.

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo Vol	Marzo Col
Línea base	4210	4228	183	218
Sólido A	956	874	166	158
Sólido B	1076	986	161	204
Líquido A	1478	1094	146	117
Líquido B	1002	1072	168	173
Ferrico	1034	1080	119	198
Manhdrox	1270	998	117	95
Man-Liq A 30	1202	1342		
Manh - Liq A	1344			
Manh-Ferrico	1854	776		

En esta gráfico observamos que el coagulante es la mezcla Manhdrox- ferrico mostró el mejor comportamiento, con un valor de 776 (mg/L) esto es en el mes de abril. En el mes de marzo en los residuos volumétricos y colorimétricos el

coagulante que mejor comportamiento mostró fue el manhidrox arrojando un valor de 117 (mg/L) y 95 (mg/L) respectivamente.

Gráfica 85. Comparación de % de remoción de sólidos suspendidos de todos los meses.

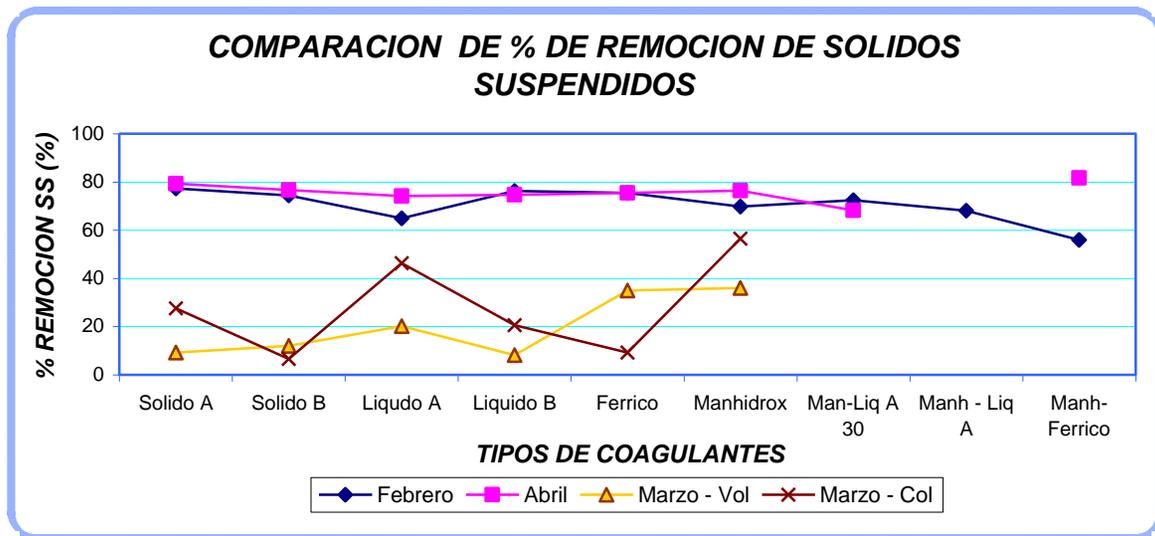


Tabla de datos 105. Comparación de % de remoción de sólidos suspendidos de todos los meses.

Coagulantes	Febrero	Abril	Marzo - Vol	Marzo - Col
Sólido A	77,29	79,32	9,28	27,52
Sólido B	74,44	76,67	12,02	6,64
Líquido A	64,89	74,12	20,21	46,36
Líquido B	76,19	74,64	8,19	20,64
Ferrico	75,43	75,45	34,97	9,17
Manhidrox	69,83	76,39	36,06	56,42
Man-Liq A 30	72,44	68,25		
Manh - Liq A	68,07			
Manh-Ferrico	55,96	81,64		

Observamos en este grafico que la mezcla manhidrox – ferrico presento el mayor % de remoción de sólidos suspendidos con un valor de 81.64%, en los residuos volumétricos y colorimétricos fue el Manhidrox con un valor de 36,06% y 56.42% respectivamente.

ANÁLISIS DE ABSORCIÓN ATÓMICA

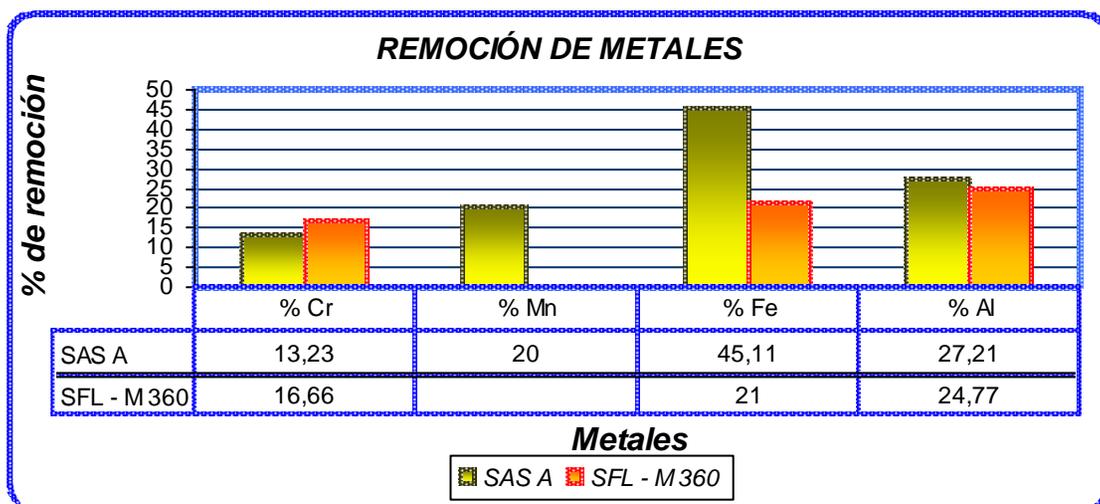
De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis de sólidos totales, disueltos y suspendidos, DQO Y DBO, se realiza análisis de absorción atómica a los líquidos después del tratamiento con sulfato de aluminio sólido tipo A y a la mezcla manhidrox 360 ppm – sulfato férrico líquido que fueron los coagulantes que mejor comportamiento presentaron en los análisis anteriores.

Tabla de datos 106. Resultados del análisis de absorción atómica

MUESTRA / PARAMETRO	CROMO (mg/L)	MANGANESO (mg/L)	HIERRO (mg/l)	ALUMINIO (mg/l)
Línea Base	7,86	0,05	1,33	3,27
SAS A	6,82	0,04	0,73	2,38
SFL - M 360	6,55	0,08	1,05	2,46

Observaciones: De acuerdo a los resultados de absorción atómica, tenemos que para la mezcla de manhidrox 360 ppm con sulfato de férrico 144 ppm hay aumento en la concentración de manganeso después de aplicar el tratamiento, en cambio para el Fe, Cr, y el Al hay remoción de estos metales. Con el sulfato de aluminio sólido A mostró remoción de todos los metales analizados.

Gráfica 86. % de remoción de metales.



7. ANALISIS DE RESULTADOS

El primer proceso del tratamiento de los residuos tanto para el colector D como para el colector de sulfatos es la neutralización hasta pH cercano a 8.0 UN (óptimo para la prueba de jarras) ya que poseen un pH inicial entre 2 y 3 UN, a este pH los residuos pueden ceder protones y como consecuencia seguir reaccionando con otras sustancias existentes en el medio al ser vertidos. La vida acuática es muy sensible a variaciones de pH fuera de un intervalo cercano a pH = 7 UN.

El tratamiento biológico funciona de forma más efectiva en un pH de 7. Variaciones en el pH pueden tener un gran impacto en la eficacia del tratamiento de los sistemas biológicos y llegar a inhibir totalmente la actividad microbiana. Por otra parte un pH menor de 5 el residuo es corrosivo si disuelve metales y es incrustante si precipita metales, así puede causar corrosión en la estructura del sistema colector; en cuanto a la alcalinidad no se considera que cause daño al hombre siempre y cuando no sobrepase a un pH de 10 UN ya que puede ocasionar quemaduras, la alcalinidad también se encuentra asociada a la dureza y los sólidos disueltos que si pueden producir efectos deletéreos.

Otra razón por la que se debe mantener el pH bajo control es para mejorar lo más posible los resultados del pretratamiento, ya que a un pH menor a 7 UN el tratamiento con los coagulantes no es tan efectivo pues afecta la solubilidad de los compuestos formados, así como la carga sobre las partículas coloidales y el tiempo requerido para la formación del floc, ya que existe una zona de pH donde se produce una buena floculación en corto plazo y con una dosis dada de coagulante.

Para precipitar el bario (elemento cancerígeno) de los residuos provenientes del colector de sulfatos se utiliza Na_2CO_3 que reacciona con el bario formándose parte en BaCO_3 compuesto sólido, estable y casi insoluble el cual precipita y

puede ser separado fácilmente por filtración, y otra parte se convierte en CO_2 que se detecta por la presencia de burbujas en el colector D.

Puede apreciarse en las gráficas de neutralización tanto del colector D como para sulfatos en cada mes que la relación entre el pH y la cantidad de amoníaco ó hidróxido de sodio adicionada no es lineal, en las cercanías del punto de neutralización (7 UN) el pH es muy sensible a adiciones pequeñas de estas sustancias.

Mientras se neutralizaban los residuos se pudo observar cambios en el color ya que inicialmente son de color rosado, cuando están por el punto de neutralización son de color verde y cuando están alcalinos son color rosa tenue, estos cambios de color son por los indicadores que los residuos ya traen de los análisis en el laboratorio en la planta.

De las gráficas para determinar la dosis óptima del sulfato de aluminio sólido tipo A, sulfato de aluminio sólido tipo B, sulfato de aluminio líquido tipo A, sulfato de aluminio líquido tipo B, sulfato férrico líquido, manhidrox, más las mezclas entre el manhidrox y el sulfato de aluminio líquido tipo A, manhidrox con las dosis óptimas de cada coagulante se puede observar gran remoción de turbiedad como en el caso del mes 4 que fue el que presento la mayor turbiedad inicial que los otros meses, pasó de 158 UNT a una turbiedad de 2.54 UNT con sulfato férrico líquido removiéndose así un 98 % como se puede observar en la gráfica 41. En los triplicados con las dosis óptimas se puede observar que el sulfato de aluminio sólido tipo A presenta la mejor remoción de turbiedad en dos meses de los tres meses en los que se hicieron los triplicados como también presenta una de las dosis óptimas más bajas. En cambio en el manhidrox podemos observar de las gráficas de los triplicados, que aunque remueve buena turbiedad presenta los valores más altos en los triplicados de los tres meses a diferencia de los otros 5 coagulantes, removiendo el 74.36 % con el manhidrox. Esta remoción se logra con la adición de estos coagulantes que tiene cargas positivas, ya que se distribuyen uniformemente con ayuda de las paletas en las jarras logrando desestabilizar las partículas coloidales (generalmente electronegativos) que representa la turbiedad, al neutralizar las fuerzas que los mantiene separados y por consiguiente

uniéndolos, formando así un floc que toma tamaño suficiente para precipitar, removiendo turbiedad y color.¹² En algunas de las gráficas de las pruebas de jarras se podía observar que con la adición de coagulante la turbiedad aumentaba en vez de disminuir esto es por que si se añade demasiado coagulante la superficie de la partícula se carga positivamente repelándose los coloides volviéndose a dispersar ocasionando turbiedad.

En las primeras pruebas de jarras del primer mes se ajustó el pH (8 UN) ya que es una variable de mucha importancia porque afecta la carga de las partículas y la precipitación del floc. Si no está dentro del intervalo adecuado para este caso tratar residuos químicos, la clarificación es pobre y pueden solubilizar el hierro o el aluminio, así a este pH se produce aluminio gelatinoso insoluble o hidróxido férrico.¹³ Un mezclado intenso y que dure mucho tiempo los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño.

En cuanto a las mezclas entre manhidrox a 0.15, 1.5 y 30 ppm se tiene mejor resultado a esas concentraciones tan bajas de manhidrox el sulfato de aluminio líquido tipo A sin mezcla, ya que mezclado necesita mayor concentración del sulfato y no tiene mucha diferencia en el valor de la turbiedad. En cambio en la mezcla de cada coagulante con su dosis óptima y el manhidrox a 360 ppm se nota valores más bajos de turbiedad que sin mezclar, aunque estos valores tampoco no varían mucho como se puede observar en la gráfica 47.

Se puede observar también de las pruebas de jarras como aumenta el pH a medida que se aumenta la concentración del manhidrox caso contrario sucede con el resto de los coagulantes ya que el pH disminuye al aumentar la concentración, esto es por que estos coagulantes son sales hidrolizables del tipo de ácido fuerte y base débil,¹⁶ pero esta variación en aumentar y disminuir el pH no afecta para verter estos residuos ya que están en el rango permitido por la normativa Colombiana (5 a 9 UN).

De las dosis óptimas hallamos el valor de concentración más bajo para el sulfato de aluminio sólido tipo B (82 ppm) con formación de floc que se deposita fácil pero no completamente en el rango de tiempo estipulado, y para el manhidrox el valor de concentración es el más alto (360 ppm) observándose en la jarra un floc claro,

de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud. En donde se pudo observar un floc excelente, que se depositaba más rápido fue para el sulfato de aluminio sólido tipo A (98 ppm), para el sulfato de aluminio líquido tipo A (100 ppm) y el sulfato férrico líquido (144 ppm). El sulfato de aluminio líquido tipo B tiene una concentración muy alta al hallar su dosis óptima (220 ppm).

En la turbiedad inicial de los residuos químicos recogidos se observa que varía significativamente de un mes a otro ya que podemos encontrar el primer mes con turbiedad de 20 UNT como turbiedades tan altas como el mes 4 con turbiedad de 158 UNT, esto puede ser por los cambios climáticos ya que los meses con lluvia el agua que entra a la planta es mucho más turbia, y durante el tiempo de investigación se tuvo meses con verano y otros con invierno.

De los parámetros analizados a los residuos después del tratamiento con cada uno de los coagulantes encontramos que para sólidos totales y sólidos disueltos presentan un comportamiento similar ya que hay una mayor presencia de sólidos tanto totales como disueltos en el mes 5 que en el mes 7 como muestra la gráficas 48 y 50, para el caso del mes 5 tenemos con mayor porcentaje de remoción el sulfato de aluminio sólido tipo A (30.84%) y (21.08%) respectivamente Y con el menor porcentaje de remoción las mezclas de sulfato de aluminio líquido tipo A y sulfato férrico líquido con manhidrox 360 ppm. Caso contrario se presenta en el mes 7 ya que la mezcla sulfato de aluminio férrico líquido con manhidrox 360 ppm muestra un mayor porcentaje de remoción con (42.39%) para sólidos totales y para sólidos disueltos (33.19%), a este le sigue el sulfato de aluminio sólido tipo A con un (33.61%) en sólidos totales y (22.89%) en sólidos disueltos, el que presenta menor porcentaje de remoción es el sulfato de aluminio líquido tipo B. Esta remoción se pudo lograr con la coagulación complementada con la sedimentación, ya que nos ayuda a eliminar una parte de los sólidos totales que compone los sólidos disueltos y suspendidos y estos contienen sólidos coloidales que interfieren en la turbiedad del residuo, por eso la turbiedad es una medida indirecta pero de mucha relación con los sólidos totales.

En las gráficas 52 y 53 nos muestra que para los sólidos suspendidos el cual además de estar muy relacionados con la turbiedad también influyen mucho en el

color, en el mes 5 el comportamiento es similar al descrito anteriormente en los sólidos totales y disueltos, pero para el mes 7 tenemos que la mezcla sulfato de aluminio líquido tipo A con manhidrox 30 ppm es el que presenta el menor porcentaje de remoción (68.25%) y el sulfato de aluminio sólido tipo B (76.67%) se encuentra en el tercer lugar de los coagulantes que mejor removieron a comparación con los sólidos totales y disueltos que se encontraba en el séptimo lugar de 10 coagulantes, aunque podemos encontrar que la mezcla férrico – manhidrox 360 ppm presenta el mejor porcentaje de remoción(81.64%).

Para la DQO y DBO podemos observar en las gráficas 45 y 47 que a diferencia de los sólidos el mes 5 presenta valores más bajos que el mes 7, así para el mes 5 tenemos que en DQO con mayores porcentajes de remoción son las mezclas de sulfato de aluminio líquido tipo A y sulfato férrico líquido con manhidrox 360 ppm (82.35%) y (85.29%) respectivamente, los cuales presentaron menor porcentaje de remoción en los sólidos. En DBO presenta igual comportamiento de los mismos coagulantes con unos % de remoción de (83.34%) y (86.05%) respectivamente. En el mes 7 podemos observar que también la mezcla de férrico con manhidrox 360 ppm presenta el mayor porcentaje de remoción (95.61%) en DQO y (92.13%) en DBO, seguido del sulfato de aluminio sólido tipo B que también obtuvo buen porcentaje de remoción en el mes 5.

Los sólidos que encontramos en los residuos químicos que son tratados son sustancias coloidales o disueltas y posiblemente algo de arena que deterioran la calidad del agua, a su vez estas sustancias son materia orgánica e inorgánica finamente dividida, compuestos coloreados, plancton y otros microorganismos, que tienen mucha relación con las pruebas de la demanda química de oxígeno (D.Q.O) y la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O), ya que la D.Q.O es una medida de estimación de las materias oxidables químicamente presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral. Y la D.B.O es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios.

Se puede observar en las gráficas 76 y 78 que se obtienen siempre valores más bajos en la DBO que en la DQO esto ocurre debido a que la acción del oxidante

usado para la prueba (dicromato potásico) afecta a toda la materia oxidable tanto constituyentes orgánicos como inorgánicos mientras que la DBO oxida bioquímicamente es decir una descomposición únicamente de la materia orgánica. También podemos observar que los valores arrojados por la D.Q.O y la D.B.O son demasiados altos en relación a los de un agua potable (0.75 a 1.5 mg/L en D.B.O), indicándonos que se requiere un elevado consumo de oxígeno disuelto para oxidar o descomponer la materia orgánica e inorgánica en disolución contenida en estos residuos químicos, de esta manera se ve afectada la vida acuática ya que el oxígeno disuelto en el agua puede ser consumido por la fauna acuática a una velocidad mayor a la que es reemplazado desde la atmósfera, lo que ocasiona que los organismos acuáticos compitan por el oxígeno.

En general para la D.Q.O y para la D.B.O podemos encontrar resultados muy buenos con el manhidrox y sobre todo cuando lo mezclamos con el sulfato de aluminio líquido tipo A y el sulfato férrico ya que el manhidrox es un bióxido de manganeso el cual tiene acción oxidante actuando como destructor de materia orgánica disuelta o en suspensión y como se mencionó anteriormente estas pruebas se basan en una oxidación química o bioquímica.

Para el otro tratamiento separando los residuos volumétricos de colorimétricos y posterior neutralización con ácido sulfúrico y con hidróxido de calcio, tenemos que en este procedimiento las turbiedades después de aplicar cada coagulante son un poco más altas y la dosis de coagulante se duplica en comparación al procedimiento realizado los meses anteriores como se puede ver en la gráfica 75 incrementando los costos al momento de aplicar el método.

En DQO los datos nos muestra que el que presenta mayor % de remoción en los residuos volumétricos es el sulfato de aluminio sólido tipo A (53.77%) y en cuanto a los residuos colorimétricos es el sulfato de aluminio líquido tipo A con un valor de 36.56%, pero se puede notar en la gráfica 77 mayor remoción en estos mismos coagulantes con el método de neutralización con hidróxido de sodio.

Para DBO tenemos que en los residuos volumétricos el manhidrox tiene más alto % de remoción con un valor de 72.27% y en los colorimétricos es el sulfato de aluminio líquido tipo B con un valor de 64.48%, este último supera en remoción a

los meses de febrero y abril inclusive al residuo volumétrico, pero con el método de NaOH como se dijo anteriormente tenemos % de remoción más alto con las mezclas.

En sólidos totales se presenta que en los residuos colorimétricos tenemos un % de remoción del 14.01 % para el sulfato de aluminio líquido tipo A y para los residuos volumétricos el mayor % de remoción es de 9.11% para el sulfato ferrico líquido, como podemos notar en la gráfica 81. Los valores obtenidos en cada prueba de sólidos totales, disueltos y suspendidos son menores en el mes de marzo que en los otros meses pero los % de remoción son más altos en febrero y abril como muestran las gráficas 80,82, y 84

Para sólidos disueltos obtenemos en los residuos volumétricos que el mejor coagulante fue el sulfato de aluminio sólido tipo A con un resultado de 7.13%, y en los residuos colorimétricos el sulfato de aluminio líquido tipo B con un resultado de 9.98%.

Y finalmente para sólidos suspendidos como podemos observar en la gráfica 85 el manhidrox presenta superior % de remoción tanto para los residuos volumétricos como colorimétricos con valores de 36,06% y 56.42% respectivamente, pero este coagulante en este mes no supera al % de remoción que obtuvo en los meses de febrero y marzo.

En los análisis de absorción atómica se presenta que para el sulfato de aluminio sólido tipo A tenemos mayor % de remoción en iones Mn, Al y Fe, este último metal con el valor más alto (45.11%). La mezcla manhidrox 360 ppm con sulfato ferrico líquido 144 ppm el Cr presenta mayor % de remoción (16.66 %) y también podemos observar que la concentración de Mn aumento después del tratamiento ya que paso de 0.05 ppm de la línea base a 0.08 ppm, este comportamiento se puede deber a que la descomposición química del permanganato de potasio (KMnO_4) consiste en reducir el Mn ⁺⁷ a Mn⁺⁴ (como MnO_2). Esta reducción es lo que convierte al KMnO_4 (manhidrox) en un poderoso agente oxidante, que genera óxidos de manganeso aumentando la concentración de Mn después del tratamiento con esta mezcla de coagulantes.

8. CONCLUSIONES

- Se evaluaron 2 tipos de tratamientos para neutralizar, uno con NaOH y NH_4OH y otro con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, para ambos tratamientos se aplicó sulfato de aluminio sólido tipo A y tipo B, sulfato de aluminio líquido tipo A y tipo B, sulfato férrico líquido, manhidrox y mezclas entre sulfato de aluminio líquido tipo A y sulfato férrico con manhidrox, obteniéndose una disminución considerable de la turbiedad en más del 80 % de remoción para los dos métodos y con todos los coagulantes, dejando un pH óptimo para verter según el exigido por el decreto 1594/84.
- El tratamiento con NaOH, muestra que la mezcla de sulfato de férrico líquido con manhidrox a 360 ppm reduce en más del 90 % la D.Q.O y D.B.O, del mismo modo que reduce el 80% de sólidos suspendidos debido a la acción oxidante del manhidrox.
- El sulfato de aluminio sólido tipo A presenta un resultado de más del 70% en remoción de turbiedad, DQO, DBO, sólidos totales, sólidos disueltos, y sólidos suspendidos, con una dosis óptima de 98 ppm, siendo el mejor de los 6 coagulantes cuando se utilizan individualmente.
- El tratamiento de neutralización con cal (separando residuos volumétricos de colorimétricos) presenta que algunos de los coagulantes tiene mayor remoción en algunos parámetros pero menor remoción en otros parámetros, este comportamiento no nos permite determinar que coagulante es más útil para remover carga contaminante lo que nos deja por concluir que en general todos los coagulantes remueven en promedio en un 40% entre sus parámetros.

- Podemos encontrar también que aplicando el tratamiento con cal hallamos dosis óptimas con valores del doble o más altos de lo que tiene el tratamiento con NaOH.
- Se logró remover algunos iones presentes en los residuos obteniéndose los mejores resultados con el sulfato de aluminio sólido tipo A, por lo que sería un buen candidato para ser usado en el tratamiento de los residuos, no solamente por este parámetro si no por que en todos los análisis mostró muy buenos resultados y tiene una de las dosis óptimas más bajas.
- De los dos métodos aplicados a los residuos químicos generados en el laboratorio de la planta de potabilización de la Empresa Multipropósito de Calarcá, podemos concluir que ambos tratamientos reducen los parámetros pero el método de neutralización con NaOH 2.5 M es más efectivo, ya que tiene mayor remoción en su carga contaminante cumpliendo con el decreto del vertimiento de los residuos líquidos 1594 del 26 de junio de 1984, además deja menos residuo sólido que el tratamiento con cal ya que este sólido después puede resultar un problema para desechar. Aunque podemos notar valores más bajos en todos los parámetros analizados con el tratamiento con cal pero en menor proporción de remoción.
- Con el método aplicando hidróxido de cal y ácido sulfúrico los costos son más altos al medir los parámetros fisicoquímicos para el control de vertimientos ya que se duplican los análisis para colorimétricos y análisis para volumétricos.
- El hidróxido de sodio ofrece ventajas sobre el hidróxido de cal con respecto a la uniformidad del reactivo, facilidad de almacenamiento, tiempo rápido de reacción, y el hecho de que los productos finales de la reacción (sales de sodio) son solubles.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar una gestión ambiental basada en la prevención de la contaminación y así obtener las siguientes ventajas.
 - Evitan el aumento de costos en disposición de basuras
 - Aumentan su eficiencia industrial
 - Mantienen o aumentan la competitividad
 - Disminuyen su responsabilidad legal en largo plazo
 - Cumplen mejor con las normas ambientales
 - Mejoran las condiciones ambientales y de seguridad en el lugar de trabajo
 - Garantizan la seguridad de la comunidad
 - Realzan la imagen de la compañía
 - La prevención de la contaminación

- Indiferentemente qué estrategia final se adopte para el tratamiento y disposición final de los residuos, es primordial que los residuos se clasifiquen (preferentemente en el lugar en el que se generan previamente a tratarlos y disponerlos).

- Debe brindarse educación y capacitación adecuadas a todos los trabajadores, para asegurar el entendimiento de los riesgos que los



desechos poseen, cómo protegerse; cómo manejarlos (especialmente cómo separarlos correctamente).

- Invertir en tratamientos y tecnologías de disposición final para los residuos químicos, que sean ambientalmente seguros y económicamente razonables. La elección del tratamiento debe ser hecha en función de conocer bien el tipo de residuo sin crear otros productos peligrosos.
- Definir estrategia: reutilización, reciclaje, tratamiento, o desecho
- Evitar el almacenaje de los productos químicos directamente en el suelo.
- Retirar los envases vacíos del almacén y las áreas de trabajo, los envases vacíos de productos pueden suponer un riesgo para la seguridad y la salud si no se gestionan adecuadamente.
- Si almacena en tambores o barriles, marque cada uno según su clasificación
 - Manténgalos en buenas condiciones, manéjelos con cuidado y reemplace los que presentan filtraciones o escapes
 - No almacene basura peligrosa en recipientes en que exista riesgo de ruptura, escape, corrosión u otra falla
 - Manténgalos cerrados excepto cuando se usen para llenar o vaciar
 - Inspeccione periódicamente por escapes o corrosión
 - Nunca almacene en el mismo recipiente basuras que son incompatibles, esto es, que puedan generar incendios o reacción química incontrolable, o que produzcan descargas nocivas al medio ambiente.
- Al seleccionar el compuesto químico neutralizador hay que tener en cuenta varios factores, entre ellos :

- El estado del compuesto químico (sólido o líquido)
 - La toxicidad
 - La facilidad de uso
 - Los subproductos que se produzcan en la reacción
 - La rapidez de reacción
 - La corrosividad
 - El costo de los productos químicos
 - Las concentraciones necesarias de los mismos
 - La producción de lodo residual, así como la facilidad de deshidratación y eliminación del mismo.
- Al almacenar los residuos químicos que sean por periodos cortos.
 - Realizar un evaluación de los desechos químicos para
 - Identificar y caracteriza flujo del residuo químico
 - Identificar proceso productivo que genera el residuo químico.
 - Determinar cantidad de residuo químico generado por cada flujo
 - Identificar con ventajas de costo las posibilidades de reducción del volumen y la peligrosidad del residuo químico generado
 - Permitir decisiones informadas sobre cómo asignar recursos para programas de reducción en la fuente o reciclaje
 - Identificar necesidades de inversiones de capital
 - Involucrar a todo el equipo de producción

GLOSARIO.

- **Aguas residuales:** Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.

- **Aguas residuales brutas:** Aguas residuales sin tratar y sus contenidos.

- **Aguas residuales crudas:** Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.

- **Aguas residuales tratadas:** Aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas.

- **Carcinógeno:** Algún contaminante disuelto que puede inducir cáncer.

- **Coágulos:** Residuo sólido precipitado en el filtro después de que la filtración tenga lugar.

- **Coagulación:** Desestabilización de partículas coloidales por la adición de un reactivo químico, llamado coagulante. Esto ocurre a través de la neutralización de las cargas.

- **Coagulantes:** Partículas líquidas en suspensión que se unen para crear partículas con un volumen mayor.

- **Coeficiente de ratio cinemática:** El número que describe la proporción en la que los componentes del agua como la demanda biológica de oxígeno disuelto suben o bajan.

- **Coloides:** Material de muy pequeño tamaño, en el rango de 10^{-5} a 10^{-7} de diámetro.

- **Compuestos:** Dos o más elementos diferentes sostenidos juntos en proporciones fijas por fuerzas de atracción llamado enlace químico.

- **Contaminación del agua:** Alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente.

- **Contenedor:** Recipiente de capacidad variable empleado para el almacenamiento de residuos sólidos

- **DBO (Demanda Biológica de Oxígeno):** La cantidad de oxígeno (medido en el mg/l) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales.

- **DBO₅:** La cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días por las bacterias que realizan la degradación biológica de la materia orgánica.

- **Densidad:** El peso de una cierta cantidad de agua. Esta es usualmente expresada en kilogramos por metro cúbico.

- **Descarga:** Vertido de aguas residuales crudas o tratadas en un cuerpo receptor.

- **DQO (Demanda Química de Oxígeno):** Cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es consumido en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. En contraposición al BOD, con el DQO prácticamente todos los compuestos son oxidados.

- **Dureza total:** La suma de la dureza del calcio y el magnesio, expresada como carbonato cálcico equivalente.

- **Efluente:** La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.



- **Filtrado:** Un líquido que ha sido pasado a través de un medio de filtro.

- **Floculación:** Acumulación de partículas desestabilizadas y micro partículas, y posteriormente la formación de copos de tamaño deseado. Uno debe añadir otra sustancia química llamada floculante en orden de facilitar la formación de copos llamados flóculos.

- **Flóculo:** Masa floculada que es formada por la acumulación de partículas suspendidas. Puede ocurrir de forma natural, pero es usualmente inducido e orden de ser capaz de eliminar ciertas partículas del agua residual.

- **Límite permisible:** Concentración máxima o mínima permitida, según corresponda, de un elemento, compuesto o microorganismo en el agua, para preservar la salud y el bienestar humanos y el equilibrio ecológico, en concordancia con las clases establecidas.

- **Lodos:** Residuo semisólido, que contiene microorganismos y sus productos, de cualquier sistema de tratamiento de aguas.

- **Neutralización:** La adición de sustancias para neutralizar el agua, tal que no sea ácida ni tampoco básica. Neutralización no significa especialmente pH de 7.0, solamente significa el punto de equivalencia de una reacción ácido-base.

- **No potable:** Agua que es insegura o desagradable para beber debido a su contenido en contaminantes, minerales o agentes infecciosos.

- **Oxígeno disuelto:** La cantidad de oxígeno disuelto en agua para un cierto tiempo, expresado en ppm o mg/L.

- **Parámetro:** Una variable, propiedad medible cuyo valor está determinado por las características del sistema en el caso del agua por ejemplo, estas pueden ser la temperatura, la presión, la densidad, etc.

- **Partes por millón:** Expresado como ppm; medida de la concentración. Un ppm es una unidad de peso de soluto por peso de solución. En análisis de agua un ppm es equivalente a mg/l.

- **pH:** El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.

- **Proceso de precipitación:** La alteración de compuestos disueltos a insolubles o compuestos malamente soluble, en orden de ser capaz de eliminar los compuestos por filtración.

- **Sólidos disueltos totales:** El peso por unidad de volumen de agua de sólidos suspendidos en un medio de filtro después de la filtración o evaporación.

- **Relleno de seguridad:** Relleno sanitario destinado a la disposición final adecuada de los residuos industriales o peligrosos.

- **Residuos sólidos:** Cualquier material incluido dentro de un gran rango de materiales sólidos, también algunos líquidos, que se tiran o rechazan por estar gastados, ser inútiles, excesivos o sin valor. Normalmente, no se incluyen residuos sólidos de instalaciones de tratamiento.

- **Residuo sólido especial:** Residuo sólido que por su calidad, cantidad, magnitud, volumen o peso puede presentar peligros y, por lo tanto, requiere un manejo especial. Incluye los residuos sólidos de establecimientos de salud, productos químicos y fármacos caducos, alimentos expirados, desechos de establecimientos que usan sustancias peligrosas, lodos, residuos voluminosos o pesados que, con autorización o ilícitamente, son manejados conjuntamente con los residuos sólidos municipales

- **Residuo peligroso:** Residuo sólido o semisólido que por sus características tóxicas, reactivas, corrosivas, radiactivas, inflamables, explosivas o patógenas plantea un riesgo sustancial real o potencial a la salud humana o al ambiente cuando su manejo se realiza en forma conjunta con los residuos sólidos municipales, con autorización o en forma clandestina.

- **Residuo sólido industrial:** Residuo generado en actividades industriales, como resultado de los procesos de producción, mantenimiento de equipos e instalaciones y tratamiento y control de la contaminación

- **Sedimentación:** Asentamiento de partículas sólidas en un sistema líquido debido a la gravedad.

- **Sedimentos:** Suelo, arena, y minerales lavados desde el suelo hacia la tierra generalmente después de la lluvia.

- **Sistema de alcantarillado unitario:** Aquél en el que las aguas residuales son colectadas juntamente con las aguas pluviales.

- **Sólidos disueltos:** Materiales sólidos que se disuelven totalmente en agua y pueden ser eliminados por filtración.

- **Sólidos sedimentables:** Producto sedimentables y son eliminados en ese camino. Aquellos sólidos suspendidos en las aguas residuales que se depositan después de un cierto periodo de tiempo.

- **Sólidos suspendidos:** Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

- **Sólidos totales:** Todos los sólidos en el agua residual o aguas de deshecho, incluyendo sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

- **Sólidos totales:** El peso de todos los sólidos presentes en el agua por unidad de volumen. Esto es usualmente determinado por evaporación. El peso total concierne tanto a materia suspendida y disuelta orgánica e inorgánica.

- **Test de la jarra:** Prueba de laboratorio con diferentes dosis químicas, mezcla a velocidad, tiempo de asentamiento, para estimar el mínimo o la dosis ideal de coagulante requerida para alcanzar los objetivos de calidad en un agua.
- **Tratamiento:** Proceso físico, químico y/o biológico que modifica alguna propiedad física, química y/o biológica del agua residual cruda.
- **Turbidez:** Medida de la no transparencia del agua debida a la presencia de materia orgánica suspendida, se mide en NTU.

11. SIGLAS.

N.A:	No aplica
TURB:	Turbiedad
INDICE W:	Índice de wilcomb
ST:	Sólidos totales
SD:	Sólidos disueltos
SS:	Sólidos suspendidos
SFL:	Sulfato férrico líquido
M:	Manhidrox
SAL A:	Sulfato de aluminio líquido tipo A
SAL B:	Sulfato de aluminio líquido tipo B
SAS A:	Sulfato de aluminio sólido tipo A
SAS B:	Sulfato de aluminio sólido tipo B
SAL A- M_x 360:	mezcla sulfato de aluminio líquido tipo A - Manhidrox 360 (ppm)
SAL A- M_x 30:	mezcla sulfato de aluminio líquido tipo A - Manhidrox 30 (ppm)
SFL - M_x 360:	mezcla sulfato férrico líquido - manhidrox

12. BIBLIOGRAFIA.

1. TURUGUET MAYOL D. Y GUARDINO SOLA X. Procedimientos para la eliminación de residuos (Traducción del “laboratory Waste Disposal Manual” Editado por la M. C. A.). Documento Técnico 20, INSHT, Madrid, 1983.
2. NTP 359: Seguridad en el laboratorio: gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades. http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_359.htm. 09/07/05
3. Eliminación de residuos en el laboratorio procedimientos generales <http://www2.udec.cl/sqrt/reglamento/reglresiduos.html>. 09/15/05.
4. Residuos peligrosos <http://www.us.es/smanten/uma/rp/rp.htm> 09/04/05
5. REGLAMENTO DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS ,UNIVERSIDAD DE CONCEPCION, Facultades y Organismos Involucrados, Barrio Universitario, Diciembre de 1998 <http://www2.udec.cl/sqrt/reglamento/reglresiduos.html#INDICE>.
6. Merck: Reactivos, diagnóstico, productos químicos. La etiqueta de seguridad. E. Merck, Darms-tadt: 1990/91:19.

7. E. GADEA, X. GUARDINO. Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales. INSHT (N.T.P.-276). Barcelona, 1998.

8. Informe Técnico sobre la Inactivación de sustancias químicas generadas en los laboratorios de la universidad del Quindío. Elaborado por el laboratorio de aguas de la universidad del Quindío. Noviembre del 2003.

9. ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen 1. METCALF Y EDDY, INC. McGraw – Hill. 1996.

10. GESTIÓN DE RESIDUOS TÓXICOS. TRATAMIENTO, ELIMINACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELOS. M.D. LaGrega, Ph.L. Buckingham, J.C. Evans. McGraw-Hill. 1996.

11. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. GORDON MASKEW FAIR, JOHN CHARLES GEYER, DANIEL ALEXANDER OKUN. Ciencia y Tecnología grupo noriega editores. 1993. Tomo 1.

12. Caracterización de aguas residuales. Ingeniero Julia Rosa Caicedo. Universidad del valle – División de ingeniería. Departamento de procesos químicos y biológicos. Sección de Saneamiento Ambiental. Cali febrero de 1980.

13. Manual de aguas para usos industriales. Volumen 1. Sheppard T.Powell. Ediciones Ciencia y Tecnología, S.A. 1988, Editorial limusa, S.A, de C.V – noriega editores.

14. Diagnóstico general del manejo y tratamiento de aguas residuales. http://sabanet.unisabana.edu.co/ingenieria/especializacion/ambiental/material/apoyo_lecturas/cicloII/4toxicos/Residuos%20municipales.pdf.

15. Norma técnica colombiana NTC 3903. 1996 – 07/24. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación – floculación del agua.
 - a. Guías de laboratorio de aguas Universidad del Quindío. (prueba de coagulación Jar Test).
 - b. <http://www.quipro.com/sp/PCasos.htm> 08/25/05

16. ROMERO R.,J.A. Acuanálisis. Bogota. Escuela Colombiana de Ingeniería. 1989.

17. FAIR. GEYER – OKUN. Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales. Primera Edición 1963.

18. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Sección II. Título E. Tratamiento de aguas residuales. República de Colombia. Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de agua potable saneamiento básico. Bogotá D.C, noviembre de 2000. <http://www.cra.gov.co/gc/www/resources/tituloE.pdf>.

Otra bibliografía revisada:

19. INSTITUTO DE LOS SEGUROS SOCIALES “ EL a b c de la seguridad en el laboratorio” Merck Colombia Departamento L PRO.
 - PANREAC. Seguridad en los laboratorios químicos. Moniplet y Esteban S.A. Barcelona, 1988.
20. CURTMAN, LUIS J. “Análisis químico cualitativo” The city Collage, the New Cork. Editorial MANUEL MARIN y CIA Editors 1959.
21. BRUMBLAY, RAY U. “Análisis cualitativo” University of Wisconsin. Milwaukee. COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL S.A .
22. SKOOG – WEST. Fundamentos de Química Analítica. 1ª Edición. 1977.
23. ROMERO ROJAS JAIRO ALBERTO. Calidad del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1ª Edición noviembre del 2002.
24. Ministerio de agricultura. Decreto 1594 del 26 de junio de 1984. En cuanto usos del agua y residuos líquidos.
<http://www.encolombia.com/medioambiente/hume-decreto159484.htm>
09/22/05.
25. Residuos químicos
http://www.frsr.utn.edu.ar/reynos/doc/desarrollo_sustentable/Residuos

Solidos.doc 09/15/05

- Gestión de residuos sólidos.
http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/33/legislacion_ocde.html 09/15/05
- Residuos químicos http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_426.htm
09/09/05.

- 26.** Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos. Michael D. Lagrega, P.L. Buckingham, J.C. Evans .
- 27.** CONTAMINACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL.PRINCIPIOS GENERALES Y ACTIVIDADES. CONTAMINANTES. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA. CONTAMINACIÓN DE AGUAS. DEGRADACIÓN DEL SUELO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS. GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN. J.L. Bueno, H. Sastre, A.G. Lavin. Ed. Fundación para el Fomento en Asturias de la Investigación Científica Aplicada y la Tecnológica. (F.I.C.Y.T.). Oviedo. 1997.
- 28.** MANUAL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. Fundación MAPFRE. ITSEMAP AMBIENTAL. 1994.
- 29.**IMPLICACIÓN AMBIENTAL DE LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS URBANOS, HOSPITALARIOS E INDUSTRIALES. Fundación MAPFRE. ITSEMAP AMBIENTAL. 1994.

- 30.** Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos. Selección, estimación, modificación de microorganismos y aplicaciones. MORRIS LEVIN. MICHAEL A. GEALT. McGraw – Hill.



13. ANEXO I

PROCEDIMIENTO DE DESACTIVACIÓN DE SULFATOS.

1. Homogenizar la muestra.
2. Medir el volumen total de la muestra de sulfatos.
3. Tomar un litro de muestra.
4. Tomar el pH.
5. Titular con NH_4OH al 5 % hasta pH neutro 7.0 (UN).
6. Para titular se debe adicionar de 1 mL en 1 mL.
7. Adicionar el NH_4OH necesitado para neutralidad al residuo de Sulfatos.
8. Tomar de nuevo el pH.
9. Tomar de nuevo el volumen de la muestra incluyendo en volumen de NH_4OH .
10. Adicionar 0.8 gramos de Na_2CO_3 por litro de muestra.



11. Agitar hasta disolución total.
12. Dejar sedimentar hasta total clarificación del líquido.
13. Filtrar todo el líquido.
14. Pesar el carbonato formado.
15. Recolectar el carbonato formado en el frasco **recolector E**.
16. El líquido adicionarlo en el contenedor de residuos **colector D**.

PROCEDIMIENTO DE DESACTIVACIÓN DE RESIDUOS DEL RECIPIENTE COLECTOR D.

1. medir le volumen total del residuo.
2. homogenizar el residuo.
3. tomar una muestra del residuo (1000 mL).
4. titular con NaOH al 2.5 M en agitación constante.
5. agitar fuertemente.
6. tomar de nuevo el pH.
7. realizar prueba de jarras.



**PROCEDIMIENTO PARA LA ELIMINACION DE LOS RESIDUOS
PRODUCIDOS EN EL LABORATORIO POR EL METODO DE
COAGULACION - FLOCULACION CON SULFATO DE ALUMINIO
SÓLIDO TIPO A.**

1. Tomar pH.
2. Medir el volumen total de los residuos del recipiente colector D.
3. Agregar 98 (ppm) de sulfato sólido tipo A.
4. Agitar.
5. Dejar en reposo 12 horas para que tenga mejores resultados de floculación.
6. Eliminar el sobrenadante por el desagüe con exceso de agua.
7. Secar el precipitado y almacenar.



**PROCEDIMIENTO PARA LA ELIMINACION DE LOS RESIDUOS
PRODUCIDOS EN EL LABORATORIO POR EL METODO DE
COAGULACION - FLOCULACION CON MEZCLA Manhidrox 360
(PPM) – SULFATO FERRICO LÍQUIDO 144 (PPM).**

1. Tomar pH.
2. Medir el volumen total de los residuos del recipiente colector D.
3. Agregar 360 (ppm) de manhidrox.
4. Agitar.
5. Dejar en reposo 1 hora para que tenga mejores resultados de floculación.
6. agregar 155 (ppm) de sulfato ferrico liquido.
7. agitar nuevamente.
8. Dejar en reposo 12 horas para que tenga mejores resultados de floculación.
8. Eliminar el sobrenadante por el desagüe con exceso de agua.
9. Secar el precipitado y almacenar.

ANEXO II.

PLANTA DE POTABILIZACION DE LA EMPRESA MULTIPROPÓSITO DE CALARCÁ S.A. ESP

LABORATORIO DE QUIMICA.

Tratamiento interno de los residuos químicos generados en el laboratorio de química en la planta de potabilización de Calarcá.

FECHA	OBSERVACIONES	CONTOL DEL SOBRENADANTE.							DESCARGA DE LODO SEDIMENTADO.			
		TURBIEDAD. (UNT)	CALIDAD DEL VERTIMIENTO.						CALIDAD DE LODO			
			pH. (UN)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	ST (mg/L)	SD (mg/L)	SS (mg/L)	Volumen lodos En (L)	% humedad	% materia. inorgánica	% materia. orgánica

ANEXO III.



Recipiente
Recolector de residuos.



Prueba de jarras.



Residuos después de procedimiento de jarras con la dosis
óptima de todos los coagulantes.



Residuos a los cuales se les realizo absorción atómica, de izquierda a derecho sulfato de aluminio sólido tipo A 98 (ppm), línea base y mezcla Manhidrox 360 (ppm) – sulfato ferrico liquido 144 (ppm).



Lodos formados después de hacer jarras con la dosis optima de cada coagulante.



Lodos a los que se les realizo absorción atómica.

ANEXO VI.

Ministerio de Agricultura DECRETO 1594 DEL 26 DE JUNIO DE 1984

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA,

en uso de las atribuciones que le confiere el numeral 3 del artículo 120 de la Constitución política,

<http://www.encolombia.com/medioambiente/hume-decreto159484.htm> 09/22/05

CAPITULO VI

DEL VERTIMIENTO DE LOS RESIDUOS LIQUIDOS

Artículo 60: Se prohíbe todo vertimiento de residuos líquidos a las calles, calzadas y canales o sistemas de alcantarillado para aguas lluvias, cuando quiera que existan en forma separada o tengan esta única destinación.

Artículo 61: Se prohíbe la inyección de residuos líquidos a un acuífero, salvo que se trate de la reinyección de las aguas provenientes de la exploración y explotación petrolífera y de gas natural, siempre y cuando no se impida el uso actual o potencial del acuífero.

Artículo 62: Se prohíbe la utilización de aguas del recurso, del acueducto público o privado y las de almacenamiento de aguas lluvias, con el propósito de diluir los vertimientos, con anterioridad a la descarga al cuerpo receptor.

Artículo 63: Se permite la infiltración de residuos líquidos siempre y cuando no se afecte la calidad del agua del acuífero en condiciones tales que impida los usos actuales o potenciales.

Artículo 64: Cuando en el presente Decreto se haga referencia a normas de vertimiento, se entenderá por tales las contenidas en este Capítulo con las modificaciones o adiciones que el Ministerio de Salud o la EMAR, establezcan de acuerdo con los procedimientos señalados en el Capítulo XI de este Decreto.

Artículo 65: Declarado nulo por el Consejo de Estado en Sentencia del 14 de agosto de 1992. Con fundamento en las disposiciones de este Decreto y las demás vigentes sobre la materia, la EMAR fijará en cada caso las normas que deben cumplir los vertimientos a un cuerpo de agua o a un alcantarillado, previamente a la instalación, modificación, ampliación de una fuente contaminante, o desarrollo de un plan de cumplimiento por parte de cualquier usuario.

Cuando se trate de normas específicas de vertimiento para protección de los recursos naturales, estas deberán ser fijadas por la EMAR.

Artículo 66: Las normas de vertimiento serán fijadas teniendo en cuenta los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados al recurso.

En los tramos en donde se asignen usos múltiples, las normas de vertimiento se establecerán teniendo en cuenta los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uso.

El control de los criterios de calidad se hará por fuera de la zona de mezcla, la cual será determinada para cada situación específica por la EMAR.



Artículo 67: Para el control del cumplimiento de las normas de vertimiento por parte de cada usuario, se deberá tener en cuenta que cuando la captación y la descarga se realicen en un mismo cuerpo de agua, en las mediciones se descontarán las cargas de los contaminantes existentes en el punto de captación.

Artículo 68: Los usuarios existentes que amplíen su producción, serán considerados como usuarios nuevos con respecto al control de los vertimientos que correspondan al grado de ampliación.

Artículo 69: Los responsables de todo sistema de alcantarillado deberán dar cumplimiento a las normas de vertimiento contenidas en el presente Decreto.

Artículo 70: Los sedimentos, lodos y sustancias sólidos provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control de contaminación ambiental, y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo, no podrán disponerse en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, estuarinas o sistemas de alcantarillado, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.

Artículo 71: Para efectos del control de la contaminación del agua por la aplicación de agroquímicos, se tendrá en cuenta:

- a. Se prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de tres (3) metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua.
- b. Se prohíbe la aplicación aérea de agroquímicos dentro de una franja de treinta (30) metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua.

c. La aplicación de agroquímicos en cultivos que requieran áreas anegadas artificialmente requerirá concepto previo del Ministerio de Salud o de su entidad delegada y de la EMAR.

d. Además de las normas contenidas en el presente artículo sobre aplicación de agroquímicos, se deberán tener en cuenta las demás disposiciones legales y reglamentarias sobre la materia.

DE LAS NORMAS DE VERTIMIENTO

Artículo 72: Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Referencia Usuario Existente Usuario Nuevo

pH 5 a 9 unidades 5 a 9 unidades

Temperatura < 40°C < 40°C

Material flotante Ausente Ausente

Grasas y aceites Remoción > 80% en carga Remoción > 80% en carga

Sólidos suspendidos,

domésticos o industriales Remoción > 50% en carga Remoción > 80% en carga

Demanda bioquímica de oxígeno:

Para desechos domésticos Remoción > 30% en carga Remoción > 80% en carga

Para desechos industriales Remoción > 20% en carga Remoción > 80% en carga

Carga máxima permisible (CMP), de acuerdo con lo establecido en los artículos 74 y 75 del presente Decreto.

Parágrafo: Declarado nulo por el Consejo de Estado en Sentencia del 14 de agosto de 1992. De acuerdo con las características del cuerpo receptor y del vertimiento, la EMAR decidirá cuál o cuáles de las normas de control de vertimiento señaladas en este artículo podrán excluirse.

Artículo 73: Todo vertimiento a un alcantarillado público deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Referencia Valor

pH 5 a 9 unidades

Temperatura < 40°C

Acidos, bases o soluciones ácidas o básicas que puedan causar contaminación; sustancias explosivas o inflamables. Ausentes

Sólidos sedimentables < 10 ml/l

Sustancias solubles en hexano < 100 mg/l

Referencia Usuario Existente Usuario Nuevo

Sólidos suspendidos para

desechos domésticos e

industriales Remoción > 50% en carga Remoción > 80% en carga

Demanda bioquímica de oxígeno:

Para desechos domésticos Remoción > 30% en carga Remoción > 80% en carga

Para desechos industriales Remoción > 20% en carga Remoción > 80% en carga

Caudal máximo 1.5 veces el caudal promedio horario

Carga máxima permisible (CMP) de acuerdo a lo establecido en los artículos 74 y 75 del presente Decreto.

Parágrafo: Declarado nulo por el Consejo de Estado en Sentencia del 14 de agosto de 1992. De acuerdo con las características del cuerpo receptor y del vertimiento, la EMAR decidirá cuál o cuáles de las normas de control de vertimiento anotadas, podrán excluirse.

Artículo 74: Las concentraciones para el control de la carga de las siguientes sustancias de interés sanitario, son:

Sustancia Expresada como Concentración (mg/l)

Arsénico As 0.5

Bario Ba 5.0

Cadmio Cd 0.1

Cobre Cu 3.0

Cromo Cr+6 0.5

Compuestos fenólicos Fenol 0.2

Mercurio Hg 0.02

Níquel Ni 2.0

Plata Ag 0.5

Plomo Pb 0.5

Selenio Se 0.5

Cianuro CN 1.0

Difenil policlorados Concentración de agente activo No detectable

Mercurio orgánico Hg No detectable

Tricloroetileno Tricloroetileno 1.0

Cloroformo Extracto Carbón

Cloroformo (ECC) 1.0

Tetracloruro de carbono Tetracloruro de
Carbono 1.0

Dicloroetileno Dicloroetileno 1.0

Sulfuro de carbono Sulfuro de carbono 1.0

Otros compuestos organoclorados, Concentración de
cada variedad agente activo 0.05

Compuestos organofosforados, Concentración de
cada variedad agente activo 0.1

Carbamatos 0.1

Parágrafo: Cuando los usuarios, aún cumpliendo con las normas de vertimiento, produzcan concentraciones en el cuerpo receptor que excedan los criterios de calidad para el uso o usos asignados al recurso, el Ministerio de Salud o las EMAR podrán exigirles valores más restrictivos en el vertimiento.

Artículo 75: La carga de control de un vertimiento que contenga las sustancias de que trata el artículo anterior, se calculará mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$A = (q) (cdc) (0.0864)$$

$$b = (q) (cv) (0.0864)$$

Parágrafo: Para los efectos de las ecuaciones a que se refiere el presente artículo adóptense las siguientes convenciones:

A: Carga de control, kg/día.

Q: Caudal promedio del vertimiento, l/seg.

B: Carga en el vertimiento, kg/día.

CDC: Concentración de control, mg/l.

CV: Concentración en el vertimiento, mg/l.

0.0864: Factor de conversión.

Parágrafo 2: La carga máxima permisible (CMP) será el menor de los valores entre A y B.

Artículo 76: Cuando la carga real en el vertimiento sea mayor que la carga máxima permisible (CMP), aquella se deberá reducir en condiciones que no sobrepase la carga máxima permisible.

Artículo 77: Cuando el caudal promedio del vertimiento se reduzca y por consiguiente la concentración de cualquiera de las sustancias previstas en el artículo 74 se aumente, la carga máxima permisible (CMP) continuará siendo la fijada según el parágrafo 2 del artículo 75 del presente Decreto.

Artículo 78: El control del pH, temperatura (T), material flotante, sólidos sedimentables, caudal y sustancias solubles en hexano, en el vertimiento, se hará con base en unidades y en concentración. El de los sólidos suspendidos y el de la demanda bioquímica de oxígeno con base en la carga máxima permisible (CMP), de acuerdo con las regulaciones que establezca la EMAR.

Artículo 79: Las normas de vertimiento correspondiente a las ampliaciones que hagan los usuarios del recurso se calcularán de acuerdo con lo establecido en los artículos 75, 76, 77 y 78 del presente Decreto.

Artículo 80: El control de vertimientos para las ampliaciones deberá efectuarse simultáneamente con la iniciación de las operaciones de ampliación o modificación.

Artículo 81: Las ampliaciones deberán disponer de sitios adecuados para la caracterización y aforo de sus efluentes.

Artículo 82: De acuerdo con su caracterización, todo vertimiento puntual o no puntual, además de las disposiciones del presente Decreto deberá cumplir con las normas de vertimiento que establezca la EMAR.

Artículo 83: Los usuarios que a la fecha de expedición del presente Decreto estén desarrollando obras conforme a las exigencias de la EMAR respectiva o del Ministerio de Salud, deberán cumplir con las normas de vertimiento establecidas en los plazos convenidos.

Parágrafo: Los usuarios a que hace referencia el presente artículo, una vez expirados los plazos de los permisos o autorizaciones correspondientes, deberán cumplir con las normas contenidas en el presente Decreto o cualesquiera otras que en desarrollo del mismo establezca la EMAR.

Artículo 84: Los residuos líquidos provenientes de usuarios tales como hospitales, lavanderías, laboratorios, clínicas, mataderos, así como los provenientes de preparación y utilización de agroquímicos, garrapaticidas y similares, deberán ser sometidos a tratamiento especial, de acuerdo con las disposiciones del presente Decreto y aquellas que en desarrollo del mismo o con fundamento en la ley establezcan el Ministerio de Salud y la EMAR.

Artículo 85: El Ministerio de Salud y la EMAR establecerán las normas que deberán cumplir los vertimientos de residuos líquidos radiactivos.

Artículo 86: Toda edificación, concentración de edificaciones o desarrollo urbanístico, turístico o industrial fuera del área de cobertura del sistema de alcantarillado público, deberá dotarse de sistemas de recolección y tratamiento de residuos líquidos conforme a las normas especiales que para cada caso señalen el Ministerio de Salud y la EMAR correspondiente.

Artículo 87: Se prohíbe el vertimiento de residuos líquidos no tratados provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, en aguas superficiales dulces, marinas y estuarinas.

Parágrafo: La EMAR fijará las normas de vertimiento para el caso contemplado en este artículo teniendo en cuenta lo establecido en el presente Decreto.

Artículo 88: Los puertos deberán contar con un sistema de recolección y manejo para los residuos líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves y otros medios de transporte. Dichos sistemas deberán cumplir con las normas de vertimiento.

Artículo 89: Las disposiciones del presente Decreto también se aplicarán a las exploraciones y explotaciones petroleras o de gas natural, el beneficio del café, los galpones, las porquerizas, los establos y similares.

Artículo 90: En ningún caso se permitirán vertimientos de residuos líquidos que alteren las características existentes en un cuerpo de agua que lo hacen apto para todos los usos señalados en el presente Decreto.

Artículo 91: No se admite ningún tipo de vertimiento:

- a. En las cabeceras de las fuentes de agua.
- b. En un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable, en extensión que determinará, en cada caso, la EMAR conjuntamente con el Ministerio de Salud.
- c. En aquellos cuerpos de agua que la EMAR y el Ministerio de Salud, total o parcialmente declaren especialmente protegidos.

Artículo 92: El Ministerio de Salud o su entidad delegada, así como la EMAR, establecerán el sitio de toma de muestras para la evaluación de las concentraciones de sustancias de interés sanitario en un vertimiento.

Artículo 93: Cuando en un cuerpo de aguas se presenten vertimientos accidentales o por fuerza mayor o caso fortuito, tales como de petróleo, hidrocarburos y otras sustancias, que originen situaciones de emergencia, el Ministerio de Salud coordinará con las EMAR los procedimientos tendientes a controlar dicha situación.

Artículo 94: Se prohíbe el lavado de vehículos de transporte aéreo y terrestre en las orillas y en los cuerpos de agua, así como el de aplicadores manuales y aéreos de agroquímicos y otras sustancias tóxicas y sus envases, recipientes o empaque.

Artículo 95: Se prohíbe el vertimiento de residuos líquidos sin tratar, provenientes del lavado de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

Parágrafo: Los residuos líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves o medios de transporte similares, se dispondrán de conformidad con el artículo 88 de este Decreto.

Artículo 96: Los usuarios que exploren, exploten, manufacturen, refinan, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos, deberán estar provistos de un plan de contingencia para la prevención y control de derrames, el cual deberán contar con la aprobación de la EMAR y el Ministerio de Salud o de su entidad delegada.

Artículo 97: El Ministerio de Salud o la EMAR podrán prohibir el vertimiento de residuos líquidos que ocasionen altos riesgos para la salud o para los recursos hidrobiológicos, o exigir la ejecución de un programa de control de emergencia.

<http://www.encolombia.com/medioambiente/hume-decreto159484-b.htm> 09-22-05

ANEXO V.

PRESUPUESTO

Presupuesto para tratar residuos de un mes en un promedio de 20 L de residuo proveniente del análisis de sulfatos y 80 L provenientes del colector D

Tabla de datos 106. Presupuesto para tratar 1 mes de residuos

TRATAMIENTO	REACTIVO	CANTIDAD	VALOR
NEUTRALIZACIÓN SULFATOS	- NH ₄ OH	50.55 ml	850
	- Na ₂ CO ₃	15 g	50
NEUTRALIZACIÓN COLECTOR D	NaOH	1.1 Kg	3080
COAGULACIÓN	- Sulfato de aluminio sólido A	9.8 g	10
	- Manhidrox	37 gr	540
FLOCULACIÓN	- Sulfato férrico líquido	15 ml	10
TOTAL \$			4540

