

## 1. JUSTIFICACIÓN

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 constituye un riesgo añadido a los propios de la actividad del laboratorio. Es asimismo necesario, tanto por razones de seguridad como económicas, que se contemplen las posibilidades de minimización de los residuos, procurando reutilizar o reciclar productos cuando sea posible, así como optimizando la gestión de stocks para no generar residuos por la vía de productos no utilizables o caducados.

Además se busca un control de las sustancias que se manipulan en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de las Empresas Públicas de Armenia, donde se manejan gran cantidad de sustancias y se efectúan diversas operaciones que conllevan a la generación de residuos; en la mayoría de los casos peligrosos para la salud y el medio ambiente. Aunque el volumen de residuos que se generan en los laboratorios es generalmente pequeño, en relación al proveniente del sector industrial, no por ello debe minusvalorarse el problema.

Unas adecuadas condiciones de trabajo en el laboratorio implican inevitablemente el control, tratamiento y eliminación de los residuos generados en el mismo, por lo que su gestión es un aspecto imprescindible en la organización de todo laboratorio.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Durante las últimas décadas ha surgido una gran preocupación ambiental y de salud por los problemas que originan los residuos, principalmente los denominados peligrosos. Esta preocupación que nació en los países con mayor desarrollo económico, obligó a encarar problemas de contaminación del medio ambiente y sus consecuentes efectos adversos en la salud pública.

La experiencia ha demostrado que para lograr un manejo adecuado de los residuos peligrosos, es necesaria una infraestructura que facilite tomar las acciones necesarias.

Se entiende que una adecuada gestión es aquella que contempla los procesos de generación, de manipulación, de acondicionamiento, de almacenamiento, de transporte, de nuevo almacenamiento y de destino o tratamiento final, todo ello sin causar impactos negativos ni al medio ambiente ni a los seres vivos, y a ser posible, con un coste reducido.

Los daños que se pueden ocasionar al medio ambiente y a la salud de la humanidad, y por tanto a los trabajadores, por la incorrecta gestión de los residuos peligrosos, son de una enorme importancia.

### 3. OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL

Elaborar e implementar un manual de procedimiento para la recolección, clasificación y eliminación de pequeñas cantidades de desechos químicos, en el laboratorio de control de calidad de la planta de tratamiento de agua de las Empresas Públicas De Armenia.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▶ Plantear políticas de procedimientos adecuados y correctos en la recolección, clasificación y eliminación de desechos químicos, con el fin de proteger el medio ambiente.
- ▶ Diseñar un control mediante la recolección, clasificación y eliminación de los residuos químicos, teniendo en cuenta el impacto ambiental.
- ▶ Diseñar un control para la eliminación de los residuos microbiológicos generados también en el laboratorio de control de calidad.
- ▶ Clasificar los reactivos utilizados en los análisis de acuerdo a las normas nacionales e internacionales de almacenamiento de sustancias químicas .
- ▶ Diseñar un plan de contingencia en caso de presentarse derrames químicos en el laboratorio de control de calidad.

#### 4. MARCO TEÓRICO

La actividad docente e investigadora en los laboratorios de ciencias experimentales tiene un fuerte impacto ambiental, ya no en términos cuantitativos (el volumen de residuos especiales representa aproximadamente un 3 % de la totalidad de los residuos producidos por la actividad humana) sino desde una perspectiva cualitativa.

Los residuos especiales y concretamente los residuos químicos que se generan en los laboratorios y centros similares, debido a sus características físico-químicas pueden tener asociado un alto grado de peligrosidad. Por esto los laboratorios que emplean este tipo de productos requieren una gestión específica para evitar daños a la salud de las personas y al medio ambiente.

La legislación establece que las operaciones de gestión son responsabilidad del productor del residuo.

Al igual que sucede con otros tipos de residuos, también la gestión de los residuos químicos del laboratorio debe incluir operaciones encaminadas a la *minimización de la producción* (por ejemplo, ajustando el estoc de reactivos a las necesidades y reutilizando los residuos de unos procesos como materia prima en otros procesos); a la *promoción de la recogida selectiva* de los residuos y a la *optimización de los métodos de eliminación* (elección de la solución técnicamente más correcta).

La clasificación y caracterización de los residuos especiales es un aspecto clave en su gestión. Un programa de gestión de residuos químicos del laboratorio, 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.

#### **4.1 TRATAMIENTO EN EL PUNTO DE GENERACIÓN, EL LABORATORIO**

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

- A. Alteración de los constituyentes tóxicos del residuo a formas menos tóxicas o no tóxicas,
- B. 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 del procedimiento de laboratorio (por ejemplo en el mismo laboratorio donde y cuando los 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 4 L. Las corrientes típicas de residuos químicos incluyen ácidos inorgánicos y bases, solventes orgánicos, metales, y un largo número de polvos secos, y productos de reacción de experimentos. Los residuos de laboratorio son usualmente mezclas, soluciones contaminadas y sustancias, e inusuales agentes químicos.

#### **4.2 DETERMINANDO SI LOS RESIDUOS QUÍMICOS SON RESIDUOS PELIGROSOS O NO PELIGROSOS**

Las regulaciones requieren que una persona que ha generado un residuo químico clasifique el residuo como residuo químico no peligroso o como residuo químico peligroso.

Siempre revise una Hoja de Datos de Seguridad de Materiales para asegurarse de las características peligrosas de un compuesto químico. Cuando exista

incertidumbre acerca de la clasificación de algún residuo, se debe contactar al proveedor del producto.

Un residuo químico peligroso es cualquier residuo químico o compuesto líquido, gaseoso o sólido que:

- A. Es un producto químico inusual o fuera de especificación comercial.
- B. Es una sustancia o una mezcla que contiene una sustancia en lista, en una concentración que excede la concentración aceptada para su correspondiente característica.
- C. Exhibe cualquiera de las siguientes características:

4.2.1 Inflamabilidad: Un residuo químico exhibe la característica de inflamabilidad si el residuo posee cualquiera de las siguientes propiedades:

↳ Un líquido cuyo punto de flash sea menor que 60 °C;

↳ No es líquido y es capaz, bajo temperaturas y presión estándar, de causar fuego bajo la acción de fricción, absorción de humedad o debido a cambios químicos espontáneos y, cuando igniciona, se quema tan vigorosamente y persistentemente que crea un peligro.

↳ Un sólido, líquido o gas que elimine o libere oxígeno, ya sea a temperatura ambiente o bajo pequeños calentamientos. Esto incluye peróxidos, cloratos, percloratos, nitratos y permanganatos.

#### 4.2.2. Corrosividad

Un residuo químico exhibe la característica de corrosividad si el residuo posee cualquiera de las siguientes propiedades:

a. Una solución acuosa que posee un pH menor o igual a 2, o mayor o igual que 12.5 es considerado corrosivo; o

b. Sólidos que, cuando son mezclados con una parte igual de agua, forman soluciones con un pH como es descrito anteriormente.

#### 4.2.3. Reactividad

Un residuo químico exhibe la característica de reactividad si el residuo posee cualquiera de las siguientes propiedades:

- a. Normalmente es inestable y fácilmente realiza un cambio violento sin detonación;
- b. Cuando se mezcla con agua, reacciona violentamente, forma mezclas potencialmente explosivas, o genera gases tóxicos en cantidades suficientes como para presentar un peligro a la salud humana;
- c. Contiene cianuros o sulfuros que, cuando son expuestos a condiciones de pH entre 2.0 y 12.5, pueden generar gases tóxicos en cantidades suficientes como para presentar un peligro a la salud humana.

#### 4.2.4. Toxicidad

La siguiente Tabla de Categorías Tóxicas establece categorías X, A, B, C ó D para niveles de toxicidad particulares. La categoría X es la más tóxica y la categoría D es la menos tóxica. Sustancias bajo la categoría D son consideradas no tóxicas.

**Tabla 1. Categorías Tóxicas**

CATEGORÍA	RATA ORAL LD <sub>50</sub> (mg/L)	RATA INHALACIÓN LC <sub>50</sub> ( mg/ L)	CONEJO DÉRMICO LD <sub>50</sub> ( mg/L)
X	< 0.5	< 0.02	< 2
A	0.5 – 5	0.02 – 0.2	2 –20
B	5 – 50	0.2 – 2	20 – 200
C	50 -500	2 – 20	200 –2000
D	500 – 5000	20 –200	2000-20000

Una mezcla que contenga residuos "tóxicos" como se define en la tabla anterior puede o no ser clasificado como tóxico.

#### 4.2.5. Carcinógenos

Una mezcla que contenga un residuo "carcinógeno" en una concentración que exceda al 0.01% es un residuo carcinógeno.

#### 4.2.6. Persistencia Medioambiental

Un residuo químico exhibe la característica de Persistencia Medioambiental si el residuo contiene:

- a. Un hidrocarburo halogenado (Los halógenos incluyen F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, y Br<sup>-</sup>. Esta categoría no incluye sales);
- b. Un hidrocarburo aromático policíclico con cuatro, cinco o seis anillos.

Una mezcla que contiene un residuo "persistente" en una concentración total mayor que las mostradas en la Tabla 2 es un residuo persistente.

**Tabla 2. Categoría persistente**

Categoría persistente	Concentración Mínima
Hidrocarburos Halogenados	0.01%
Aromáticos Policíclicos (4, 5 ó 6)	1.0%

Un residuo químico no peligroso es simplemente cualquier sustancia o compuesto químico líquido, gaseoso o sólido que no exhibe cualquiera de las características peligrosas citadas anteriormente. Los residuos químicos no pueden ser diluidos para cumplir el criterio de residuo no peligroso (se debe realizar su neutralización).

#### 4.4. MANEJO DE RESIDUOS NO PELIGROSOS

La disposición de residuos no peligrosos, a través de basura o sistema de alcantarillado puede ser apropiado bajo determinadas condiciones. Aquellos que planean usar ya sea la basura o la ruta de disposición vía alcantarillado, deben seguir las indicaciones que se presentan a continuación.

Los residuos no peligrosos que no pueden ser descargados en la basura o descargados en el sistema de alcantarillado debe ser manejado como residuo peligroso.

*a. Descarga al sistema de alcantarillado:* Los residuos químicos peligrosos, tal como se definen anteriormente, no pueden ser descargados al sistema de alcantarillado. Es mejor asumir que una sustancia o compuesto químico es peligroso si es que existe alguna duda. Por favor, notar que la dilución de los residuos para lograr las concentraciones aceptables de disposición descarga es *inaceptable*.

Los residuos no peligrosos que exhiban cualquiera de estas cualidades no pueden ser descargados en el alcantarillado:

1. Residuos que contengan sólidos precipitables > 7.0 mg/l;
2. Residuos corrosivos con un pH < 5.0 o > 12.0;
3. Residuos que contengan grasas o aceites en concentraciones > 100mg/l; o
4. Residuos que contengan metales o cianuro en concentraciones señaladas en la tabla 3; o
5. Insolubles en agua, o residuos gaseosos.

**Tabla. 3 Residuos no peligrosos restringidos**

Nombre Químico	Promedio Diario (ppm)	Máximo Instantáneo (ppm)	Máximo Diario (ppm)
Arsénico	1.0	4.0	4.0
Cadmio	0.5	0.6	0.6
Cromo	2.75	5.0	5.0
Cobre	3.0	8.0	8.0
Plomo	2.0	4.0	4.0
Mercurio	0.1	0.2	0.2
Níquel	2.5	5.0	5.0
Plata	1.0	3.0	3.0
Zinc	5.0	10.0	10.0
Cianuro	2.0	3.0	3.0

*B. Disposición en la Basura.* Los residuos químicos peligrosos como se definieron anteriormente no pueden ser descartados a la basura. Es mejor suponer que un químico es peligroso si es que hubiese alguna duda.

Los residuos no peligrosos que exhiban cualquiera de las siguientes cualidades no pueden ser descargados a la basura:

1. Residuos gaseosos;
2. Residuos líquidos, o que contengan líquidos libres; o
3. Residuos que contengan cualquiera de los metales listados en la tabla 4, no importando su concentración.

#### **4.5. MANEJO DE RESIDUOS QUÍMICOS PELIGROSOS.**

Residuos químicos peligrosos deben ser manejados de una manera tal que se minimicen los riesgos presentes y futuros sobre la salud humana y el medio ambiente. Algunos residuos químicos peligrosos son efectivamente manejados en

el punto de generación, tratamiento en el laboratorio. Por otro lado, los residuos químicos más peligrosos generados en la Universidad (empresa e instituciones) serán temporalmente almacenados, y luego colectados por el personal del programa de residuos químicos peligrosos para su apropiada disposición. No es muy aceptable la disposición de solventes peligrosos residuales pues implica evaporación, aún sobre la cubierta sintética.

#### A. Punto de generación, Tratamiento en el laboratorio.

El tratamiento en el punto de generación, en el laboratorio, de los residuos químicos peligrosos es consistente con el fin de minimizar los riesgos para la salud humana y para el medio ambiente. El tratamiento en el laboratorio reduce o elimina las características que hacen de un residuo químico, un residuo peligroso. Los pasos del tratamiento que están incluidos como parte del procedimiento de laboratorio no necesitan ser autorizados, pero a veces se requiere de la supervisión del especialista en manejo de residuos peligrosos.

1. Use los siguientes procedimientos generales para neutralizar ácidos minerales concentrados:

Peligro: Calor y vapores son generados durante este procedimiento. Realizar este procedimiento en un campana de vapores con el apropiado equipo de protección personal. Varias quemaduras podrían resultar si se utiliza inapropiadamente el equipo de protección personal.

No neutralizar ácido fluorhídrico usando este método.

- Lentamente diluya el ácido mineral concentrado de 1 a 10 con agua fría, adicionando el ácido en el agua.
- Adicione 30 mg/l de fosfato de sodio o 20 mg/l de fosfato hidrógeno de sodio en el ácido diluido.
- Mientras se agita, lentamente adicione hidróxido de sodio 1 N al ácido mineral diluido hasta que la solución obtenga un pH entre 5.5 y 12.

2. Use los siguientes procedimientos generales para neutralizar bases concentradas:

Peligro: Calor y vapores son generados durante este procedimiento. Realizar este procedimiento en un campana de vapores con el apropiado equipo de protección personal. Varias quemaduras podrían resultar si se utiliza inapropiadamente el equipo de protección personal.

a. Lentamente diluya la base concentrada de 1 a 10 con agua fría, adicionando la base en el agua.

b. Adicione 30 mg/l de fosfato de sodio o 20 mg/l de fosfato hidrógeno de sodio en la base diluida.

c. Mientras se agita, lentamente adicione ácido clorhídrico 1 M a la base diluida hasta que la solución obtenga un pH entre 5.5 y 12.

#### **4.6. PROCEDIMIENTOS GENERALES DE ACTUACIÓN**

Seguidamente se describen los procedimientos generales de tratamiento y eliminación para sustancias y compuestos o grupos de ellos que por su volumen o por la facilidad del tratamiento pueden ser efectuados en el laboratorio, agrupados según el procedimiento de eliminación más adecuado.

##### **Tratamiento y vertido**

Haluros de ácidos orgánicos: Añadir  $\text{NaHCO}_3$  y agua. Verter al desagüe.

Clorhidrinas y nitroparafinas: Añadir  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Neutralizar. Verter al desagüe.

Ácidos orgánicos sustituidos (\*): Añadir  $\text{NaHCO}_3$  y agua. Verter al desagüe.

Aminas alifáticas (\*): Añadir  $\text{NaHCO}_3$  y pulverizar agua. Neutralizar. Verter al desagüe.

Sales inorgánicas: Añadir un exceso de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y agua. Dejar en reposo (24h). Neutralizar (HCl 6M). Verter al desagüe.

Oxidantes: Tratar con un reductor (disolución concentrada). Neutralizar. Verter al desagüe.

Reductores: Añadir  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y agua (hasta suspensión). Dejar en reposo (2h). Neutralizar. Verter al desagüe.

Cianuros: Tratar con  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  (disolución alcalina). Dejar en reposo (24h). Verter al desagüe.

Nitrilos: Tratar con una disolución alcohólica de NaOH (conversión en cianato soluble), evaporar el alcohol y añadir hipoclorito cálcico. Dejar en reposo (24h). Verter al desagüe.

Hidracinas (\*): Diluir hasta un 40% y neutralizar ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Verter al desagüe.

Álcalis cáusticos y amoníaco: Neutralizar. Verter al desagüe.

Hidruros: Mezclar con arena seca, pulverizar con alcohol butílico y añadir agua (hasta destrucción del hidruro). Neutralizar (HCl 6M) y decantar. Verter al desagüe. Residuo de arena: enterrarlo.

Amidas inorgánicas: Verter sobre agua y agitar. Neutralizar (HCl 3M ó  $\text{NH}_4\text{OH}$  6M). Verter al desagüe.

Compuestos internometálicos (cloruro de sulfúrico, tricloruro de fósforo, etc.): Rociar sobre una capa gruesa de una mezcla de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y cal apagada. Mezclar y atomizar agua. Neutralizar. Verter al desagüe.

Peróxidos inorgánicos: Diluir. Verter al desagüe.

Sulfuros inorgánicos: Añadir una disolución de  $\text{FeCl}_3$  con agitación. Neutralizar ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Verter al desagüe.

Carburos: Adicionar sobre agua en un recipiente grande, quemar el hidrocarburo que se desprende. Dejar en reposo (24h). Verter el líquido por el desagüe. Precipitado sólido: tirarlo a un vertedero.

(\*) Estas sustancias o sus residuos también pueden eliminarse por incineración

### **Incineración**

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

Alcalinos, alcalinotérreos, alquilos, alcóxidos: Mezclar con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 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  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Mezclar con papel o con un disolvente inflamable. Incinerar.

Aminas aromáticas halogenadas, nitrocompuestos: Verter sobre  $\text{NaHCO}_3$ . 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, esterres: 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.

(\*\*) Estas sustancias o sus residuos también pueden eliminarse mediante un procedimiento de tratamiento y vertido.

### **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.

Selenio, telurio: Disolver en HCl. Adicionar sulfito sódico para producir SO<sub>2</sub> (reductor). Calentar. (se forma Se gris y Te negro). Dejar en reposo (12h). Filtrar y secar.

Plomo, cadmio: Añadir  $\text{HNO}_3$  (Se producen nitratos). Evaporar, añadir agua y saturar con  $\text{H}_2\text{S}$ . Filtrar y secar.

Berilio: Disolver en  $\text{HCl}$  6M, filtrar. Neutralizar ( $\text{NH}_4\text{OH}$  6M). Filtrar y secar.

Estroncio, bario: Disolver en  $\text{HCl}$  6M, filtrar. Neutralizar ( $\text{NH}_4\text{OH}$  6M). Precipitar ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Filtrar, lavar y secar.

Vanadio: Añadir a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (capa) en una placa de evaporación. Añadir  $\text{NH}_4\text{OH}$  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.

#### **4.7. CLASIFICACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS**

La clasificación de los residuos en diferentes grupos se basa en su composición y pretende facilitar la posterior gestión de los residuos por las empresas tratadoras. Los grupos propuestos, en función de la cantidad que cada laboratorio genera, se pueden modificar.

Una posible clasificación puede ser la que separa los residuos en 7 grandes grupos:

Grupo I: disolventes halogenados. Se trata de los productos líquidos orgánicos que contienen más de un 2% de algún halógeno. Están en este grupo el cloruro de metileno y el bromoformo.

Grupo II: disolventes no halogenados. Se incluye aquí los líquidos orgánicos inflamables con menos de un 2% en halógenos. Por ejemplo: alcoholes, aldehídos, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos y nitrilos.

Grupo III: disoluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos. Es un grupo muy amplio y es imprescindible establecer subdivisiones. Los 2 subgrupos más importantes son:

#### Soluciones acuosas inorgánicas

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

#### Soluciones acuosas orgánicas o con DQO (Demanda Química de Oxígeno) elevada

- Soluciones colorantes.
- Soluciones con fijadores orgánicos: formol, fenol, glutaraldehído.
- Mezclas agua/disolvente: eluyentes cromatográficos, metanol/agua.

Grupo IV: ácidos. Forman este grupo los ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas (más del 10% en volumen).

Grupo V: aceites. Constituido por los aceites minerales derivados de las operaciones de mantenimiento y si se da el caso, de baños calefactores.

Grupo VI: sólidos. En este grupo se incluyen los materiales en estado sólido tanto orgánicos como inorgánicos y el material desechable contaminado. Los reactivos sólidos caducados no pertenecen a este grupo. Se establecen 3 subgrupos:

- Sólidos orgánicos: por ejemplo, el carbón activo o el gel de sílice impregnados con disolventes orgánicos.
- Sólidos inorgánicos como por ejemplo las sales de los metales pesados.
- Material desechable contaminado con productos químicos.

Grupo VII: Especiales. Forman parte de este grupo los productos químicos sólidos o líquidos que por su elevada peligrosidad no han sido incluidos en ninguno de los 6 anteriores y no se pueden mezclar entre sí.

Ejemplos:

- Comburentes (peróxidos).
- Compuestos pirofóricos (magnesio metálico en polvo).
- Compuestos muy reactivos: ácidos fumantes, cloruros de ácidos, metales alcalinos, compuestos peroxidables, etc.
- Compuestos muy tóxicos (tetraóxido de osmio, mezcla crómica, cianuros, sulfuros, etc).
- Compuestos no identificados.
- También en este grupo se incluyen los reactivos puros obsoletos o caducados.

Cada grupo de residuos, en función de la naturaleza y de la cantidad que se genera, debe envasarse en bidones o en recipientes separados.

Todo envase de residuos peligrosos ha de estar correctamente etiquetado (indicando su contenido) e identificado (indicando el productor). La identificación incluye los datos de la empresa productora, la referencia de la unidad (nombre, clave o similar), el nombre del responsable del residuo y las fechas indicando cuándo se empieza y se acaba de llenar el recipiente.

Además de los datos mencionados, es conveniente utilizar una etiqueta de color diferente para cada grupo.

Existe también un conjunto de métodos de tratamiento de agentes químicos que pueden utilizarse para eliminar las características peligrosas de una amplia variedad de productos.

Los métodos recogidos se basan principalmente en:

- Procesos de neutralización
- Procesos de oxidación

- Procesos de precipitación, floculación y decantación
- Procesos de concentración y deshidratación
- procesos de hidrólisis

La utilización de operaciones de degradación y de inertización de sustancias va encaminada a eliminar sus características peligrosas para la salud y para el medio ambiente.

Para hacer una descripción de métodos de degradación de agentes químicos hay que agrupar los productos con características químicas similares y después, considerar a escala individual los que tienen más riesgos adicionales. La mayoría de los procedimientos que se describen a continuación han estado comprobados internacionalmente.

La seguridad en el manejo y en la eliminación de productos químicos peligrosos es un requisito esencial para trabajar con estas sustancias y por esto es mejor no proceder si no se está familiarizado con los peligros potenciales y la química de los materiales que se han de destruir y los reactivos a utilizar.

Estas técnicas de neutralización o de destrucción sólo se pueden aplicar a cantidades pequeñas de producto.

#### **4.8. PROPIEDADES IDEALES DE LA TÉCNICA DE DESTRUCCIÓN**

El procedimiento ha de ser sencillo y fácil de realizar en el laboratorio y se debe de poder aplicar tanto a materiales sólidos o líquidos como a disoluciones en diversos solventes.

- Es conveniente intentar destruir los productos químicos peligrosos en el lugar donde han sido generados, ya que esto comporta muchas ventajas. Es importante considerar las propiedades deseables de la técnica de destrucción.
- Ha de eliminar la característica peligrosa de un residuo químico.
- La destrucción del producto químico ha de ser completa.

- Es necesario que todos los productos obtenidos de la destrucción del residuo sean inocuos (si esto no se consigue es necesario evaluar el riesgo químico o biológico de los productos de descomposición).
- Es necesario poder evaluar la efectividad del proceso de destrucción analíticamente y por un método sencillo.
- El equipamiento y los reactivos tienen que estar disponibles y han de ser baratos, sencillos y seguros en su utilización.
- El proceso de destrucción no tiene que necesitar operaciones elaboradas (como por ejemplo destilaciones y extracciones), sino operaciones rápidas y fáciles de realizar (diluciones, lavados, filtraciones, precipitaciones).
- El método de destrucción tiene que ser aplicable a situaciones reales dentro del laboratorio; es decir, tiene que ser capaz de destruir tanto el compuesto en estado original como las soluciones del compuesto y sus derrames.

Estas propiedades caracterizan un proceso de destrucción ideal. La mayoría de los métodos no pueden cumplir todos estos criterios, los cuales representan una meta que se debería intentar alcanzar.

#### **4.9. PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS EN EL MISMO LABORATORIO**

##### **4.9.1. ÁCIDOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS Y SUS DISOLUCIONES**

###### *Peligrosidad y principio de la destrucción*

Los ácidos inorgánicos fuertes, como por ejemplo el ácido clorhídrico (HCl), el ácido bromhídrico (HBr), el ácido yodhídrico (HI), el ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), el ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) y el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), son agentes corrosivos fuertes que afectan las proteínas de los tejidos celulares. La gravedad de las lesiones depende de la concentración del ácido, de la temperatura y del tiempo de contacto. Por otro lado, los aerosoles de estos ácidos provocan intensas irritaciones del aparato respiratorio.

La destrucción de estas sustancias se basa en la neutralización con una base inorgánica: bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) o de potasio ( $\text{KOH}$ ), etc.

#### *Procedimiento de destrucción*

En un recipiente amplio que contenga un exceso de disolución acuosa de  $\text{NaOH}$  del 10% en peso y a temperatura ambiente, se vierte lentamente y con agitación el ácido a destruir (si se trata de un ácido concentrado se ha de diluir previamente vertiéndolo con precaución sobre 5 volúmenes de agua fría). Es conveniente controlar la temperatura al principio de la adición, porque la reacción es exotérmica. La mezcla resultante, que ha de tener pH básico, se vierte entonces en pequeñas porciones sobre un gran exceso de agua. Después de ajustar el pH entre 6 y 8, si es necesario utilizando solución diluida de ácido sulfúrico, la disolución resultante se puede eliminar por el desagüe.

Para eliminar derrames de ácidos inorgánicos fuertes, se debe cubrir la superficie contaminada con un exceso de bicarbonato de sodio sólido. La reacción es exotérmica y se produce una fuerte efervescencia. El residuo resultante se vierte en pequeñas porciones sobre un gran exceso de agua, se lleva hasta a pH 6-8 y se vierte al desagüe.

Estas operaciones se han de realizar con la protección adecuada: gafas de seguridad, guantes de caucho y pantalla protectora (en caso de reacción muy violenta).

En general, los ácidos orgánicos más habituales, cuyas sales sódicas son solubles en agua, se pueden tratar de la forma anteriormente descrita. Dentro de esta categoría se incluyen los tipos de ácidos orgánicos siguientes:

- ácidos carboxílicos de cadena corta (fórmico, acético, propiónico, butírico, valérico, acrílico, metacrílico, pirúvico, etc.),
- ácidos halogenocarboxílicos de cadena corta (mono-, di- y tricloroacético, trifluoroacético, etc.)
- ácidos sulfónicos de cadena corta ( $\text{RSO}_2\text{H}$ ),
- ácidos fosfónicos ( $\text{RPO}(\text{OH})_2$ ),

- Ácidos borónicos ( $RB(OH)_2$ ).

Los ácidos de elementos peligrosos, como por ejemplo los ácidos de arsénico ( $RA_sO(OH)_2$ ) y de antimonio ( $RSbO(OH)_2$ ), se separan, se guardan en los recipientes adecuados y se envían a vertederos controlados.

El ácido fluorhídrico o fluoruro de hidrógeno (HF) es un gas extremadamente corrosivo que provoca heridas necróticas difícilmente cicatrizables. La mejor manera de destruir una solución acuosa de ácido fluorhídrico es mediante precipitación en forma de fluoruro de calcio ( $CaF_2$ ) por adición de una solución de hidróxido de calcio (cal apagada o cal muerta), o de carbonato de calcio. El fluoruro de calcio resultante se elimina como residuo sólido.

El ácido oxálico es un compuesto corrosivo que provoca quemaduras internas por ingestión; además, es relativamente tóxico (la dosis mortal por ingestión de ácido oxálico oscila entre los 5 y los 15 g). El ácido oxálico y los oxalatos se pueden destruir por calefacción con ácido sulfúrico concentrado, pero este procedimiento es muy peligroso (se libera monóxido de carbono, extremadamente tóxico) y por lo tanto no es recomendable. Resulta mucho más seguro precipitarlos en una solución acuosa tratada con un exceso de solución acuosa de cloruro de calcio. El precipitado de oxalato de calcio se aísla por filtración y se elimina con los residuos sólidos.

#### 4.9.2. BASES INORGÁNICAS, SALES BÁSICAS Y SUS DISOLUCIONES

Principio de la destrucción

Las bases inorgánicas, como por ejemplo el hidróxido de litio (LiOH), el hidróxido de sodio (NaOH), el hidróxido de potasio (KOH), el amoníaco acuoso ( $NH_3aq.$ ,  $NH_4OH$ ), y las sales de hidrólisis básica, como por ejemplo el carbonato de potasio ( $K_2CO_3$ ), el carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ) y el amoníaco, se tienen que neutralizar con una disolución diluida de ácido sulfúrico o de ácido clorhídrico. Para destruir cal viva (CaO) o cal apagada ( $Ca(OH)_2$ ) es mejor utilizar ácido clorhídrico, porque el sulfato de calcio es insoluble.

### *Procedimiento de destrucción*

a) Diluir con agua, en relación 1:5, y neutralizar hasta pH 6-8, añadiendo lentamente una disolución al 50% de ácido sulfúrico. Se diluye la disolución obtenida a 1:10 y se vierte por el desagüe con un exceso de agua.

b) En un recipiente amplio que contenga una solución fría de ácido clorhídrico de concentración 6 mol L<sup>-1</sup> (solución al 50%), se vierte lentamente y con agitación la base a eliminar. Cuando el pH está cercano a la neutralidad, se detiene la adición y la solución resultante se vierte por el desagüe con un exceso de agua.

Para eliminar derrames, se recubre la superficie contaminada con un exceso de solución al 50% de ácido clorhídrico o de ácido sulfúrico. El residuo resultante se diluye con agua, se neutraliza si es necesario y se vierte al desagüe.

### 4.9.3. HIDROCARBUROS

Dentro del amplio grupo de los hidrocarburos se incluyen alcanos, alquenos, alquinos y arenos. Son compuestos que queman con facilidad y se pueden eliminar por incineración o con una fuente de energía suplementaria. Todos estos compuestos suelen considerarse peligrosos a causa de su inflamabilidad; sólo se pueden depositar en un vertedero controlado en pequeñas cantidades, que pueden empaquetarse en el mismo laboratorio. Como son insolubles en agua, no deben verterse nunca por el desagüe.

Algunos alquenos (los cíclicos, como por el ejemplo el ciclohexeno) pueden formar peróxidos explosivos al ser almacenados durante un largo período de tiempo en contacto con el aire. Las muestras antiguas tienen que ser examinadas mediante el test de detección de peróxidos, y deben ser tratadas adecuadamente si estos están presentes.

### 4.9.4. AMINAS AROMÁTICAS PRIMARIAS (PROCEDIMIENTO GENÉRICO)

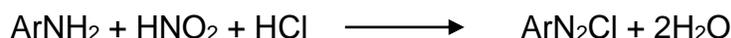
Las aminas alifáticas y aromáticas se utilizan principalmente como intermedios de síntesis.

Algunas aminas terciarias, como por ejemplo la piridina y la trietilamina, se utilizan como disolventes o catalizadores. No se pueden mezclar con residuos ácidos.

Las aminas aromáticas son compuestos relativamente tóxicos y muchas tienen un efecto adverso en la hemoglobina.

*Principio de la destrucción*

Las aminas aromáticas primarias pueden ser desaminadas a los correspondientes arenos, que son menos tóxicos, por diazoación seguida por reducción con ácido hipofosforoso ( $\text{H}_3\text{PO}_2$ ).



El procedimiento siguiente utiliza mucho más exceso de ácido nitroso y ácido hipofosforoso que la mayoría de las preparaciones de diazocompuestos descritos en la bibliografía, ya que el objetivo es la desaminación completa, más que la síntesis de un producto puro con alto rendimiento.

*Procedimiento de destrucción*

En un balón de tres bocas de 1 L de capacidad, equipado con agitador, termómetro y embudo de adición, se añaden 25 mL de agua, 75 mL de HCl al 36% y 0,2 moles de amina primaria aromática. La temperatura se mantiene entre  $-25^\circ\text{C}$  y  $0^\circ\text{C}$  con un baño de hielo mientras 25 g (0,211 moles) de nitrito sódico ( $\text{NaNO}_2$ ) al 97% se disuelven en 35 mL de agua y se añaden gota a gota a la disolución del hidrocloreuro de amina. Después de que la adición haya finalizado se mantiene la agitación durante 30 minutos más. Manteniendo la temperatura entre  $-5^\circ\text{C}$  y  $0^\circ\text{C}$ , se añaden 416 mL (4,0 moles) de  $\text{H}_3\text{PO}_2$  al 50% (enfriado previamente a  $0^\circ\text{C}$ ) en 10-15 minutos. La agitación se continúa durante 1 h. La mezcla se mantiene a temperatura ambiente durante 24 h y entonces se extrae con tolueno (2 x 100 mL). Los extractos orgánicos del producto de desaminación se eliminan como residuos con los disolventes no halogenados, y la fase acuosa se vierte al desagüe con un exceso de agua.

#### 4.9.5. AMINAS AROMÁTICAS

Las aminas aromáticas constituyen un grupo de productos químicos ampliamente utilizados en síntesis orgánica. Muchas han presentado efectos cancerígenos en animales de experimentación, y de algunas se piensa que son cancerígenos humanos. El 4-aminobifenil (4-ABP), la bencidina (Bz) y la 2-naftilamina (2-NAP) son cancerígenos humanos y animales, y la 3,3'-diclorobencidina (DCIB), la 3,3'-dimetoxibencidina (DMoB), el bis(4-amino-3-clorofenil) metano (MOCA), la 3,3'-dimetilbencidina (DMB) y el 2,4-diaminotolueno (TOL) provocan cáncer en animales de experimentación. La diaminobencidina (DAB) es sospechosa de provocar cáncer en animales de experimentación. La 3,3'-diclorobencidina puede provocar cáncer en seres humanos. En definitiva, la bencidina y sus derivados son cancerígenos.

Todos estos compuestos son sólidos cristalinos y generalmente son escasamente solubles en agua fría, son más solubles en agua caliente y son muy solubles en ácidos y disolventes orgánicos. Algunos se utilizan en la industria química. Se utilizan también en laboratorios y en investigación médica, por ejemplo como reactivos de teñido y analíticos.

#### Principio de la destrucción

Las aminas aromáticas pueden ser oxidadas con  $\text{KMnO}_4$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Los productos de la reacción no han sido identificados. Las aminas aromáticas también pueden ser eliminadas de una solución utilizando peroxidasa de rábano picante en presencia de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . La enzima cataliza la oxidación de la amina aromática en un radical. Estos radicales se difunden en la solución y polimerizan. Los polímeros son insolubles y precipitan en la solución. Aunque la solución resultante no es mutagénica, el polímero precipitado sí que lo es y por esto el método sólo se recomienda para el tratamiento de grandes cantidades de soluciones acuosas que contengan pequeñas cantidades de aminas aromáticas. En todos los casos la destrucción es  $> 99\%$ . Hace poco se ha comprobado que los procedimientos antes comentados se pueden aplicar a la diaminobencidina.

También se ha encontrado que cantidades residuales de  $H_2O_2$  en el procedimiento de la peroxidasa de rábano picante producen una respuesta mutagénica, y que la mutagenicidad puede ser eliminada por adición de una solución de ácido ascórbico (que reduce el  $H_2O_2$ ) a las mezclas finales de reacción.

#### *Procedimientos de destrucción*

##### *Destrucción de aminas aromáticas sólidas y en disolventes orgánicos*

Las disoluciones de aminas aromáticas en disolventes orgánicos se evaporan en sequedad bajo presión reducida. Las aminas aromáticas se disuelven como se indica a continuación:

Se disuelven 9 mg de bencidina (Bz), 3,3'-diclorobencidina (DCIB), 3,3'-dimetilbencidina (DMB), 3,3'-dimetoxibencidina (DMoB), diaminobencidina (DAB), 2-naftilamina (2-NAP) o 2,4-diaminotolueno (TOL) en 10 mL de HCl de concentración 0,1 mol L<sup>-1</sup>; se disuelven 2,5 mg de bis(4-amino-3-clorofenil)metano (MOCA) en 10 mg de  $H_2SO_4$  de concentración 1 mol L<sup>-1</sup>; se disuelven 2 mg de 4-aminobifenil (4-ABP) en 10 mL de AcOH (ácido acético) glacial; se añaden 2 mg de mezclas de aminas a 10 mL de AcOH glacial. Agitar estas disoluciones hasta que las aminas aromáticas se hayan disuelto completamente, y entonces por cada 10 mL de disolución se añaden 5 mL de  $KMnO_4$  de concentración 0,2 mol L<sup>-1</sup> y 5 mL de  $H_2SO_4$  de concentración 2 mol L<sup>-1</sup>. Se mantiene la mezcla al menos 10 h, y se analiza si la destrucción ha sido completa.

Se decolora la mezcla por adición de ácido ascórbico, se neutraliza y se vierte al desagüe con un exceso de agua.

##### *Destrucción de aminas aromáticas en disolución acuosa*

Diluir con agua, si es necesario, hasta que la concentración de MOCA no exceda de 0,25 mg mL<sup>-1</sup>, la concentración de 4-ABP no exceda de 0,2 mg mL<sup>-1</sup>, y la concentración de otras aminas no exceda de 0,9 mg mL<sup>-1</sup>. Por cada 10 mL de disolución se añaden 5 mL de disolución de  $KMnO_4$  de concentración 0,2 mol L<sup>-1</sup> y 5 mL de  $H_2SO_4$  de concentración 2 mol L<sup>-1</sup>.

Se mantiene la mezcla en agitación al menos 10 h, y se analiza si la destrucción ha sido completa. Se decolora la mezcla por adición de ácido ascórbico, se neutraliza y se vierte al desagüe con un exceso de agua.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE REACTIVOS QUÍMICOS EN EL LABORATORIO

La preocupación de la industria química de la conservación y manejo del medio ambiente, trajo como consecuencia el desarrollo de normas que permiten clasificar los reactivos y productos químicos con base en su mayor o menor riesgo para el ser humano y su entorno.

En general se tienen en cuenta cuatro aspectos básicos:

- ▶ Riesgo por inflamabilidad
- ▶ Riesgo por contacto
- ▶ Riesgo para la salud
- ▶ Riesgo por reactividad

En la actualidad se cuenta con normas internacionales como: Cargo Aircraft Only (CAO), para el transporte de productos químicos por vía aérea; Internacional Maritime Code for Dangerous Goods (IMDG). Para ello cada casa comercial ha diseñado sistemas de clasificación que le permite asesorar a sus usuarios acerca del almacenamiento y manipulación de productos químicos. Es así como la compañía MERCK utiliza el sistema de familias químicas (TABLA 4), con la ayuda de un cuadro de separación de mercancías peligrosas (TABLA 5). Por ejemplo el ácido sulfúrico, que es catalogado como corrosivo (clase L) debe estar separado del hidróxido de sodio, pero puede estar en el mismo anaquel. A su vez la compañía J.T. BAKER recomienda la clasificación con base en los pictogramas de color (TABLA 6), que identifican los aspectos básicos antes mencionados en escalas de 0 a 4, indicando el grado de riesgo, donde 0 es ningún riesgo y 4 extremadamente peligroso; por ejemplo, el ácido sulfúrico es catalogado como

blanco (peligro por contacto), tiene un grado de riesgo para la salud de 3, inflamabilidad de 0, reactividad de 3 y riesgo por contacto de 4, es incompatible con reactivos marcados con blanco rayado como el hidróxido de sodio.

TABLA 4. Orden aproximado de los reactivos en el estante de arriba hacia abajo.

INORGÁNICOS	1. Azufre, Fósforo Arsénico
	2. Haluros, Sulfatos, Fosfatos
	3. Amidas, Nitratos
	4. Metales, Hidruros (lejos del agua)
	5. Cianuros, Cianatos
	6. Hidróxidos, óxidos, Carbonatos, Carbón
	7. Carburos, Nitruros
	8. Boratos, Cromatos, Manganatos, Permanganatos
	9. Ácidos (excepto el Nítrico y el Cianítrico), EN LA BASE.
ORGÁNICOS	1. Alcoholes, Glicoles, Amidas, Aminas, Azúcares.
	2. Hidrocarburos, Ésteres, Aldehídos.
	3. Éteres, Cetonas, Halogenados.
	4. Sulfuros, Nitrilos.
	5. Fenoles, Cresoles.
	6. Peróxidos, ácidos, EN LA BASE.

*Cuadro de separación de las mercancía peligrosas*

1. Explosivos
2. Gases inflamables
3. Gases no inflamables
4. Líquidos inflamables
5. Sólidos inflamables
6. Espontáneamente combustibles
7. Peligroso al contacto con la humedad
8. Sustancia oxidante
9. Peróxidos Orgánicos
10. Tóxicos

11. Sustancia radiactiva
12. Corrosivos
13. Otros menos peligrosos

TABLA 5. Cuadro de separación de las mercancía peligrosas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
A	*	4	2	4	4	4	4	4	4	2	2	4	
B	4		X	2	1	2	1	2	4	X	2	1	
C	2	X		2	X	1	X	X	2	X	1	X	
D	4	4	2		2	2	2	2	3	X	2	1	
E	4	1	X	2		1	1	1	2	X	2	1	
F	4	2	1	2	1		1	2	2	X	2	1	
G	4	1	X	2	2	1		2	2	X	2	1	
H	4	2	X	2	1	2	2		2	1	1	2	
I	4	4	2	3	2	2	2	2		1	2	2	
J	2	X	X	X	X	X	X	1	1		X	X	
K	2	2	1	2	2	2	2	1	2	X		2	
L	4	1	X	1	1	1	1	2	2	X	2		
M													

## CONVENCIONES

Lejos de:

Significa que deben estar separados de manera que los materiales incompatibles no puedan actuar sobre otros de forma peligrosa en caso de accidente, pero pueden estar colocados en el mismo compartimiento.

Separado de:

Significa colocado en distintos compartimientos.

Separados por un compartimiento:

Se exige una separación longitudinal o vertical constituida por un compartimiento intermedio completo.

Separa longitudinalmente por un compartimiento grande o bodega aparte:

x: No se recomienda separación especial; planes individuales deben ser consultados.

\* La separación de productos se establece de acuerdo con otros grupos de compatibilidad especial.

TABLA 6. Sistema de clasificación de reactivos propuestos por la compañía J.T. BACKER

COLOR	RIESGO	ALMACENAMIENTO	INCOMPATIBILIDAD DE COLOR
<i>ROJO</i>	Inflamabilidad	Área especial para líquidos inflamables	Amarillo
<i>AZUL</i>	Salud	Área segura para venenos	
<i>AMARILLO</i>	Reactividad	Separados y lejos de materiales inflamables y combustibles	Rojo
<i>BLANCO</i>	Contacto	Área a prueba de corrosión	Blanco Rayado
<i>VERDE</i>	Bajo	Área conveniente para reactivos en general	
<i>ROJO RAYADO</i>	Inflamabilidad	Área especial para líquidos inflamables	Rojo Amarillo Amarillo rayado
<i>BLANCO RAYADO</i>	Contacto	Área a prueba de corrosión	Rojo
<i>AMARILLO RAYADO</i>	Reactividad	Separados y lejos de materiales inflamables y combustibles	Rojo Rojo rayado

Para el laboratorio de control de calidad de las empresas públicas, se buscó un proceso de clasificación fundamentado en el código de color SAFT-DATA de J.T. BAKER, dicha clasificación tiene el siguiente diseño:

- Ordenamiento por colores según la tabla 6 en diferentes gavetas. Esto permite que los usuarios que utilizan los reactivos ubiquen fácil y rápidamente los factores de riesgo relacionados con los productos allí almacenados.
- Dentro de cada color se establece un modelo para la colocación de familias químicas. Este ordenamiento nos indica la manera como se deben ubicar los reactivos agrupados bajo el mismo factor de riesgo; se logra que los productos químicos con mayor índice de riesgo según su color queden ubicados en la base y los de menor riesgo se ubiquen en la parte superior.
- Se debe tener en cuenta que siempre los reactivos orgánicos tienen que estar separados de los inorgánicos.

## **5.2. CLASIFICACIÓN DE REACTIVOS QUÍMICOS EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LAS EMPRESAS PÚBLICAS.**

La organización de los reactivos del laboratorio fue llevada a cabo como se dijo anteriormente; clasificados en gavetas por colores, de la siguiente manera:

### **VERDE ORGÁNICO**

Vitrina A

*Riesgo: bajo*

*Almacenamiento: Área conveniente para reactivos en general.*

Aceite de mezcla

Acetato de Amonio

Acetato de Sodio

Ácido Ascórbico

Ácido Aurintricarboxílico

Ácido Benzoico

Ácido Difenilamino Sulfónico

Ácido Etilendiamino Tetracético ( EDTA )

Ácido Salicílico

Almidón Soluble

Azul de Bromofenol  
Azul de Bromotimol  
Azul de Metileno  
Cristal Violeta  
1,5 Difenil Carbazona  
4 Dimetil amino Benzaldehido  
Dodecil Sulfato de Sodio  
1,10 Fenantrolina  
Fenolftaleína  
Ftalato ácido de Potasio  
Fucsina Básica  
Glicerina  
Goma Arábica  
Hematoxilina  
Murexida  
Naftilamina  
N,N- dietil 1,4 fenilendiamina sulfato  
N- 1( naftil ) etilenodiamino dicloruro  
Naranja de Metilo  
Negro de Eriocromo T  
o- Fenantrolina  
Sulfanilamida  
Tioacetamida  
Verde de Bromocresol

## **VERDE INORGÁNICO**

*Vitrina B*

*Riesgo: Bajo*

*Almacenamiento: Área conveniente para reactivos en general*

Ácido Amido Sulfónico  
Ácido Bórico  
Ácido Hexacloroplatínico  
Borato de Sodio  
Carbonato de Calcio  
Carbonato de Sodio  
Cloruro de Calcio  
Cloruro de Estaño  
Cloruro de Magnesio  
Cloruro de Potasio  
Cloruro de Sodio  
Dihidrógeno fosfato de Sodio  
Fosfato de Amonio  
Fosfato de Sodio  
Heptamolibdato de Amonio

Hidróxido de Calcio  
Meta Bisulfito de Sodio  
Molibdato de Amonio  
Solución Electrolítica  
Soluciones Estándar  
Sulfato de Aluminio  
Sulfato de Aluminio y Potasio  
Sulfato doble de Aluminio y Potasio  
Sulfato de Cobre  
Sulfato Ferroso Amoniacal  
Sulfato de Magnesio  
Sulfato de Manganeso  
Sulfato de Plata  
Sulfato de Sodio  
Sulfato de Zinc  
Sulfito de Sodio  
Tiosulfato de Sodio  
Yoduro de Potasio  
Zinc en polvo

#### GAVETA 22

Ampollas de Soluciones Estándar  
Cloruro de Amonio  
Cloruro de Sodio  
Cloruro de Magnesio  
Dihidrógeno fosfato de Sodio  
Fosfato de Sodio  
Fosfato de Potasio  
Sulfato Ferroso Amoniacal

#### **AZUL**

*Gaveta 26*  
*Riesgo: Salud*  
*Almacenamiento: Área segura para venenos*

#### INORGÁNICO:

Cloruro de Bario  
Cloruro de Mercurio  
Cloruro de Cobalto  
Dicromato de Potasio  
Fluoruro de Sodio  
Fluoruro de Potasio  
Hexacloroplatinato de potasio

Meta- arsenito de Sodio  
Meta- Vanadato de Amonio  
Nitrato de Mercurio  
Óxido de Mercurio  
Óxido de Plomo  
Óxido de Zirconio  
Reactivo de Nessler A  
Sulfato de Mercurio  
Yoduro de Mercurio

**ORGÁNICO:**

Cloroformo  
Bencidina  
Brucina  
Ortotolidina  
Zafranina

**BLANCO**

*Gaveta 21*

*Riesgo: Contacto*

*Almacenamiento: Área a prueba de corrosión*

Ácido Clorhídrico

Ácido Fosfórico

Ácido Sulfúrico

Clorhidrato de hidroxilamina

Manganeso

Naftol

Oxalato de Amonio

Oxalato de Sodio

Solución de Sulfato de Plata en Ácido Sulfúrico

Tartrato de Antimonio y Potasio

Yodo

**ROJO**

*Gaveta 19*

*Riesgo: Inflamabilidad*

*Almacenamiento: área especial para líquidos inflamables*

1,Butanol

Alcohol Isoamílico

Alcohol Isopropílico

Ciclohexanona  
Etanol  
Formaldehído  
Metanol  
m- Cresol  
N,N Dimetil-p- fenilendiamina dicloruro

## **AMARILLO**

*Gaveta 14*

*Riesgo: Reactividad*

*Almacenamiento: Separados y lejos de materiales inflamables y combustibles*

Ácido Nítrico  
Ácido Perclórico  
Cromato de Potasio  
Nitrato de Plata  
Nitrato de plata en solución  
Nitrato de Potasio  
Nitrato de Sodio  
Nitrito de Sodio  
Permanganato de Potasio  
Peróxido de Hidrógeno  
Persulfato de Amonio

## **BLANCO RAYADO**

*Gaveta 6*

*Riesgo: Contacto*

*Almacenamiento: Área a prueba de corrosión*

Ácido Acético Glacial  
Ácido Fórmico  
Hidróxido de Amonio  
Hidróxido de Sodio  
Reactivo de Nessler B

### **5.3. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO**

#### **5.3.1. ANÁLISIS FÍSICO DEL AGUA**

##### **5.3.1.1 TURBIEDAD**

Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de la muestra de agua; en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión.

La turbidez en el agua puede ser causada 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 dividida, organismos planctónicos y microorganismos.

Actualmente el método mas usado para determinar la turbidez del agua es el método Nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica (UTN). Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia en las mismas condiciones de medida.

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.

##### **5.3.1.2 COLOR**

Las causas mas comunes de color en el agua son la presencia de Hierro y Manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, maderas, raíces, etc, en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural del agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ión metálico trivalente como el  $Al^{+++}$  o el  $Fe^{+++}$ .

Dos tipos de color se reconocen en el agua : el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez se ha removido su turbidez, y el color aparente, que incluye no sólo el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido.

La determinación de color se hace por comparación visual de la muestra con soluciones de concentración de color conocida o con discos de vidrio de colores adecuadamente calibrados.

### **5.3.1.3 OLOR Y SABOR**

Los olores y sabores en el agua con frecuencia ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser la causas de olores y sabores en el agua; entre las mas comunes se encuentran materia orgánica en solución, H<sub>2</sub>S, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio. Hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc.

Existen diferentes métodos cuantitativos para expresar la concentración de olor o de sabor. El método mas usado consiste en determinar la relación de dilución a la cual el olor o sabor es apenas detectable. El valor de dicha relación se expresa como *número detectable (ND) de olor o de sabor*.

### **5.3.1.4 TEMPERATURA**

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio. En estudio de polución de ríos, estudios limnológicos y en la identificación de la fuente de suministro de pozos, la temperatura es un dato necesario.

Para obtener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y efectuar la lectura después de un lapso suficiente que permita la estabilización del nivel de mercurio.

### **5.3.1.5 CONDUCTIVIDAD**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad.

Por esta razón, el valor de la conductividad se usa mucho en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.

La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en  $\mu\text{mho/cm}$  a  $25^\circ\text{C}$ .

### **5.3.2. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA**

#### **5.3.2.1. ALCALINIDAD**

La alcalinidad del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas ( $\text{OH}^-$ ). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua.

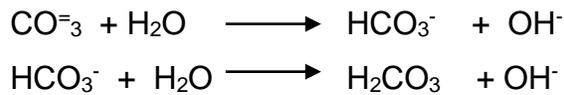
En aguas naturales, la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos:

- Bicarbonatos
- Carbonatos
- Hidróxidos.

La alcalinidad del agua se determina por titulación con ácido sulfúrico 0.02N y se expresa como mg/ L de carbonato de calcio, equivalente a la alcalinidad determinada.

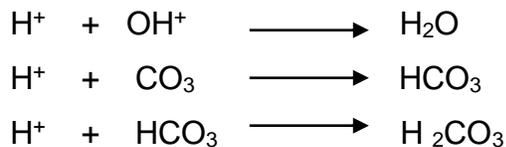
Los iones  $H^+$  procedentes de la solución 0.02 N de  $H_2SO_4$  neutralizan los iones  $OH^-$  libres y los disociados por concepto de la hidrólisis de carbonatos y bicarbonatos.

Las reacciones de la hidrolización son las siguientes:

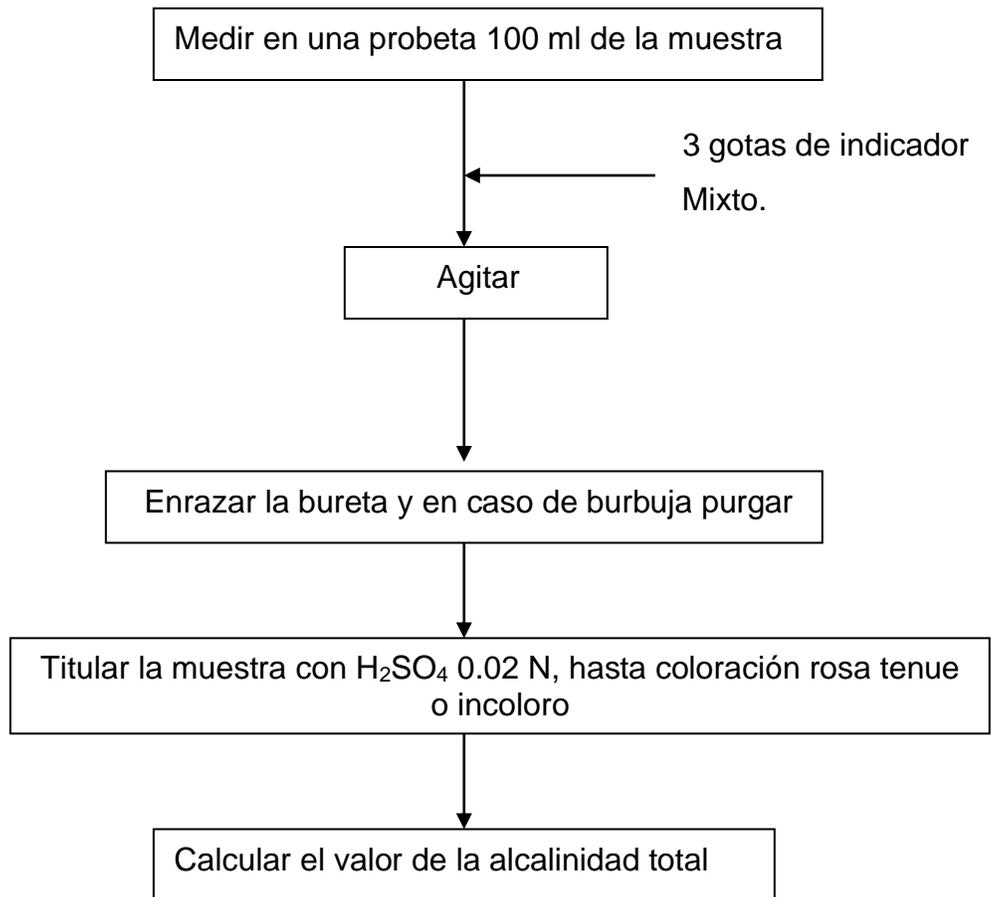


La titulación se efectúa en dos etapas sucesivas, definidas por los puntos de equivalencia para los bicarbonatos y el ácido carbónico, los cuales se indican electrométricamente o por medio de indicadores.

En la titulación con  $H_2SO_4$  0.02 N, los iones hidrógeno del ácido reaccionan con la alcalinidad de acuerdo con las siguientes ecuaciones:



La fenolftaleína y el metil naranja o el metacresol púrpura y el bromocresol verde son los indicadores usados para la determinación de la alcalinidad. La fenolftaleína da un color rosado a pH mayores de 8.3 y vira a incolora por valores de pH menores de 8.3; el metil naranja es de color amarillo en presencia de la formas de alcalinidad, o sea a pH mayor de 4.5, y vira a color naranja en condiciones ácidas; el metacresol púrpura cambia de color a pH 8.3 y el bromocresol verde lo hace a pH 4.5.

**PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL LABORATORIO****Método por titulación colorimétrica**

El valor de la alcalinidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad mg de CaCO}_3/\text{L} = \frac{A \cdot N \cdot 50 \cdot 1000}{M}$$

Donde:

A= ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gastados

N= concentración de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

50= peso equivalente por gramo

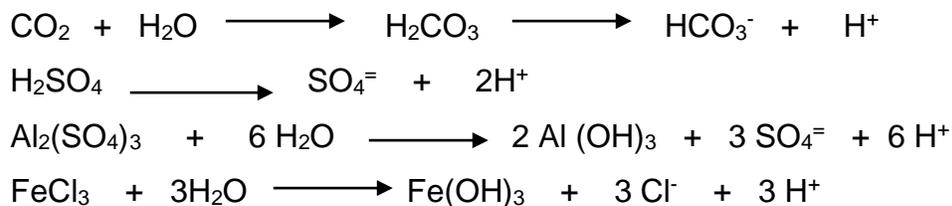
M= volumen de la muestra en ml

### 5.3.2.2. ACIDEZ

La acidez de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, como su capacidad para reaccionar con iones hidróxido, como su capacidad para ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas.

La determinación de acidez es de importancia debido a las características corrosivas de las aguas ácidas. El factor de corrosión en la mayor parte de las aguas es el CO<sub>2</sub>, especialmente cuando está acompañado de oxígeno, pero en residuos industriales es la acidez mineral. El contenido de CO<sub>2</sub> es, también, un factor fundamental para la estimación de la dosis de cal y soda en el ablandamiento de aguas duras.

En aguas naturales la acidez puede ser producida por el CO<sub>2</sub>; por la presencia de iones H<sup>+</sup> libres; por la presencia de acidez mineral proveniente de ácidos fuertes como el sulfúrico, nítrico, clorhídrico, etc., y por la hidrolización de sales de ácido fuerte y base débil. Algunas de las reacciones mediante las cuales las causas mencionadas anteriormente produce la acidez son las siguientes:

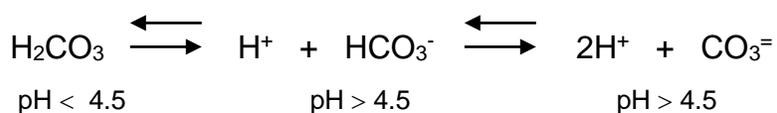


La causa mas común de acidez en las aguas es el CO<sub>2</sub>, el cual puede estar disuelto en el agua como resultado de las reacciones de los coagulantes químicos usados en el tratamiento de la oxidación de la materia orgánica, o por disolución del dióxido de carbono atmosférico.

El CO<sub>2</sub> se combina con el agua para formar un ácido débil, inestable, ácido carbónico o H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, el cual se descompone fácilmente. Por ello todo el CO<sub>2</sub> aun el combinado, se considera CO<sub>2</sub> libre.

El  $\text{CO}_2$  en el agua forma  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , el cual se ioniza como  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{=}$ ; la parte que no reacciona ejerce una presión gaseosa. A pH menor de 4.5 todo el  $\text{CO}_2$  disuelto es  $\text{CO}_2$  gaseoso; a pH mayor de 4.5 todo el  $\text{CO}_2$  está ionizado. Se define como  $\text{CO}_2$  total todo el  $\text{CO}_2$  en solución en la forma de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{=}$ . Se define como  $\text{CO}_2$  libre todo el  $\text{CO}_2$  en solución en la forma de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , o sea el que reacciona con  $\text{NaOH}$  para formar  $\text{NaHCO}_3$ , tomando como punto final de titulación el indicado por un valor de pH igual a 8.3

Resumiendo:



La acidez se titular mediante la adición de iones  $\text{OH}^-$  provenientes de una solución de  $\text{NaOH}$  0.02 N. Puede considerarse que la reacción involucrada en la neutralización, para el caso del  $\text{CO}_2$ , ocurre en dos etapas:



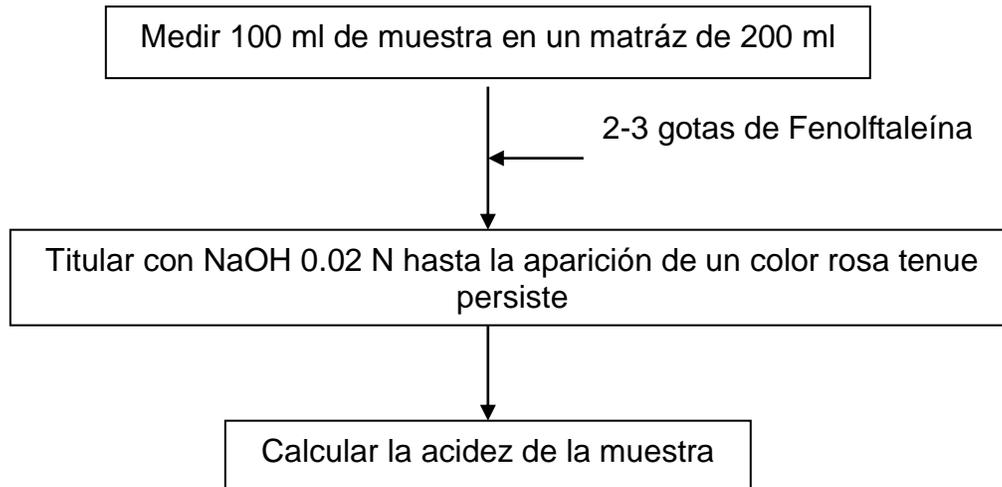
Globalmente:



Las reacciones anteriores indican por qué es importante que el reactivo de  $\text{NaOH}$  esté libre de carbonato de sodio.

## PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL LABORATORIO

### Método por titulación colorimétrica:



La acidez se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez mg CaCO}_3 / \text{L} = \frac{A \cdot N \cdot 50 \cdot 1000}{C}$$

Donde:

A = ml de NaOH 0.02 N

N = Concentración del NaOH

C = Volumen de la muestra

50= Peso equivalente de CaCO<sub>3</sub>

### 5.3.2.3. DUREZA

Como aguas duras se consideran aquellas que requieren grandes cantidades de jabón para generar espuma y produce incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua.

La dureza se expresa en mg/L como  $\text{CaCO}_3$

En la práctica, se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas; sin embargo un agua dura requiere de demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado; además deposita lodo e incrustaciones sobre las superficies con las cuales entra en contacto, así como en los recipientes, calderas o calentadores en los cuales se calienta.

El valor de la dureza determina, por tanto, su conveniencia para su uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento.

En la mayor parte de las aguas se considera que la dureza total es aproximadamente igual a la dureza producida por los iones calcio y magnesio, es decir:

Dureza total = Dureza por calcio + dureza por magnesio

**Dureza carbonácea:** En agua naturales, los bicarbonatos son la principal forma de alcalinidad; por tanto, la parte de la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en el agua es considerada como la dureza carbonácea, es decir:

Alcalinidad (mg/L) = Dureza carbonácea (mg/L)

Pueden presentarse dos casos:

- Cuando la alcalinidad es menor que la dureza total; entonces:

$$\text{Dureza carbonácea (mg/L)} = \text{Alcalinidad (mg/L)}$$

- Cuando la alcalinidad es mayor o igual a la dureza total, entonces;

$$\text{Dureza carbonácea (mg/L)} = (\text{mg/L})$$

**Dureza no carbonácea:** Se considera no carbonácea toda dureza que no esté químicamente relacionada con los bicarbonatos. Es decir:

$$\text{Dureza no carbonácea} = \text{Dureza total} - \text{alcalinidad}$$

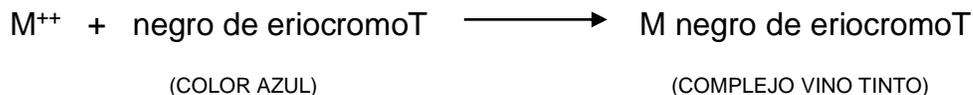
La dureza no carbonácea incluye principalmente sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio.

El método que se utiliza para determinar dureza es con EDTA, este método supone el uso de ácido etilenodiaminotetraacético o de sus sales de sodio como agente titulador. Dichas soluciones forman “ iones complejos solubles “ con el calcio, magnesio y otros iones causantes de la dureza.

La reacción puede presentarse así:

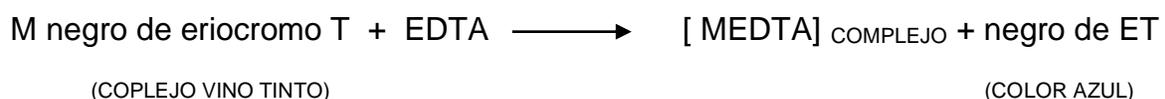


El colorante Negro de Eriocromo T, sirve para indicar cuándo todos los iones calcio y magnesio han formado complejo con EDTA. Cuando se añade una pequeña cantidad de negro de eriocromo T, color azul, a un agua dura con pH 10.0, el indicador se combina con algunos iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  para formar un ión complejo débil de color vino tinto. Es decir:



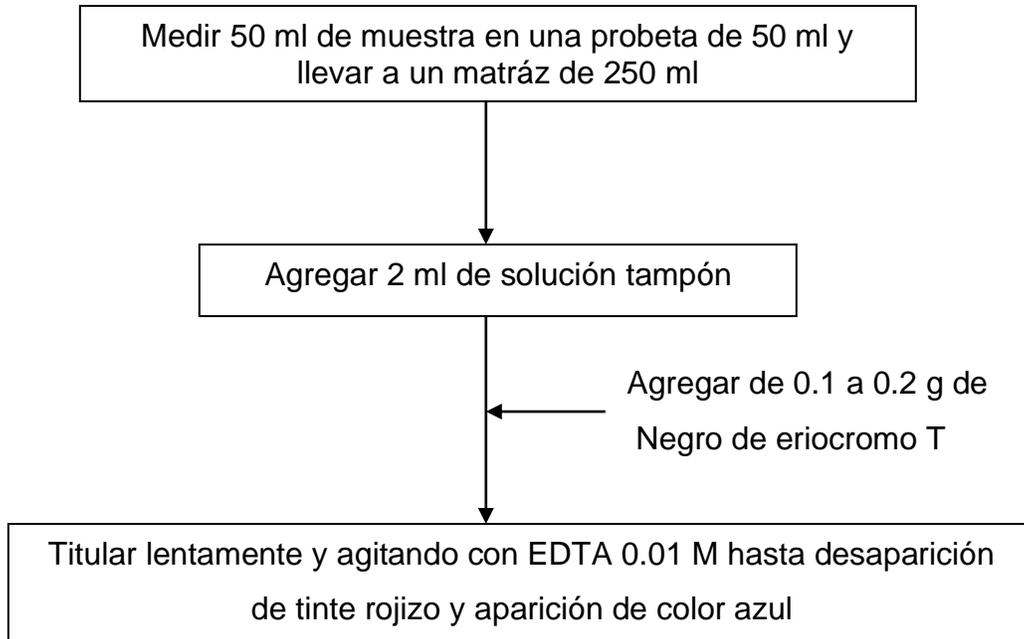
Durante la titulación con EDTA, todos los iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  ( $\text{M}^{++}$ ) libres forman complejos; finalmente el EDTA descompone el complejo débil vino tinto para formar un complejo más estable con los iones que causan la dureza.

Esta acción libera el indicador negro de eriocromo T y la solución pasa de color vino tinto a color azul, lo cual indica el punto final de la titulación. La reacción puede presentarse así:



## PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL LABORATORIO

### Dureza total



La dureza total se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza (EDTA) mg de CaCO}_3 / \text{L} = \frac{A \cdot B \cdot 1000}{M}$$

Donde:

A = ml de EDTA gastados

B = mg de CaCO<sub>3</sub> equivalente a 1 ml de EDTA

M = Volumen de la muestra

1000 = Factor de conversión

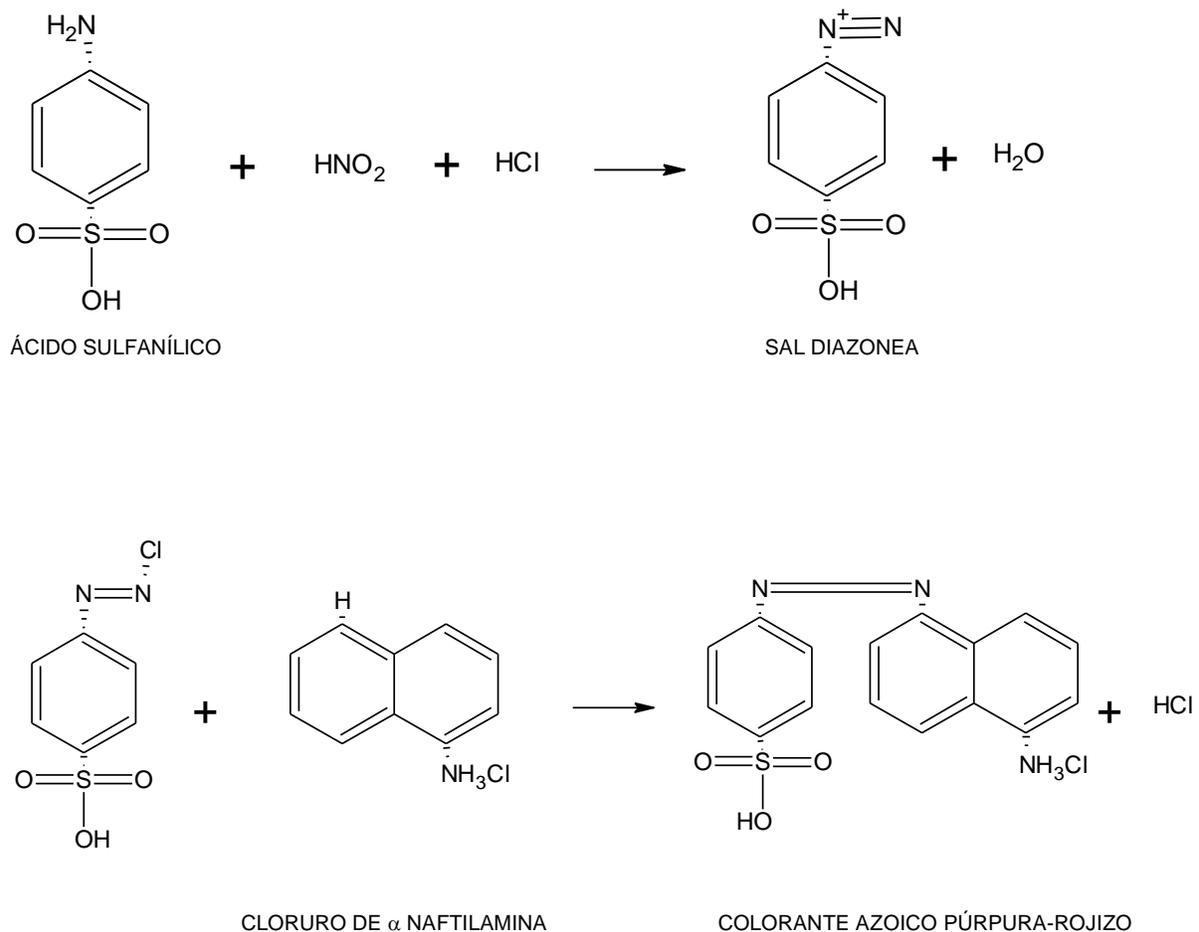
#### 5.3.2.4. NITRITOS

El nitrógeno de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/L, aún en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas superficiales y subterráneas su concentración por lo general es menor de 0.1 mg/L.

Su presencia indica, por lo regular, procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato.

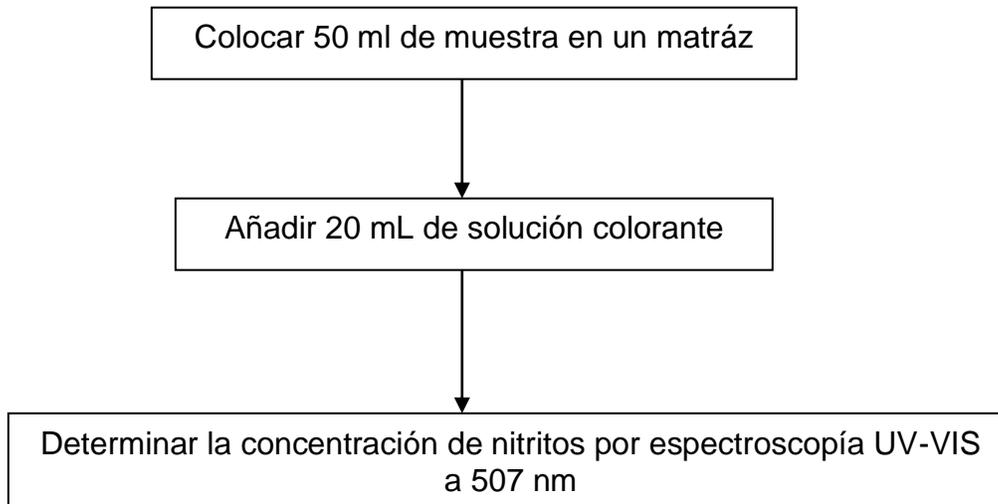
En la determinación se emplean dos reactivos orgánicos: ácido sulfanílico y  $\alpha$ -naftilamina (método modificado de Griess-Ilosvay). En condiciones ácidas, el ión nitrito, como ácido nitroso, reacciona con el grupo amino del ácido sulfanílico para formar una sal diazonea que se combina con el reactivo de  $\alpha$ -naftilamina, constituyendo un colorante azoico de color púrpura - rojizo. El color producido es directamente proporcional a la cantidad de nitrógeno de nitritos presentes en la muestra.

Las reacciones pueden presentarse así:



## PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL LABORATORIO

### Método colorimétrico

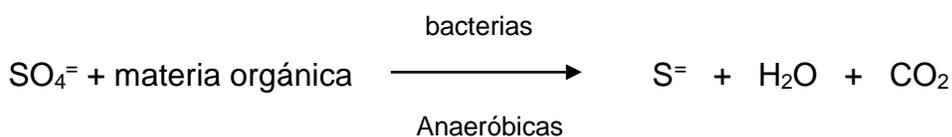


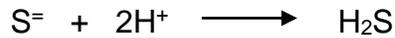
#### 5.3.2.5. SULFATOS

El ión Sulfato, uno de los aniones mas comunes de las aguas naturales, se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta unos miles de mg/L. Como los sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante, especialmente entre los niños, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg/L de sulfatos. El contenido es también importante, porque las aguas con alto contenido de sulfatos tienden a formar incrustaciones en las calderas de los intercambiadores de calor.

En aguas residuales, la cantidad de sulfatos es un factor muy importante para la determinación de los problemas que puedan surgir por olor y corrosión de las alcantarillas.

Dichos problemas son el resultado de la reducción de los sulfatos a H<sub>2</sub>S, en condiciones anaeróbicas:



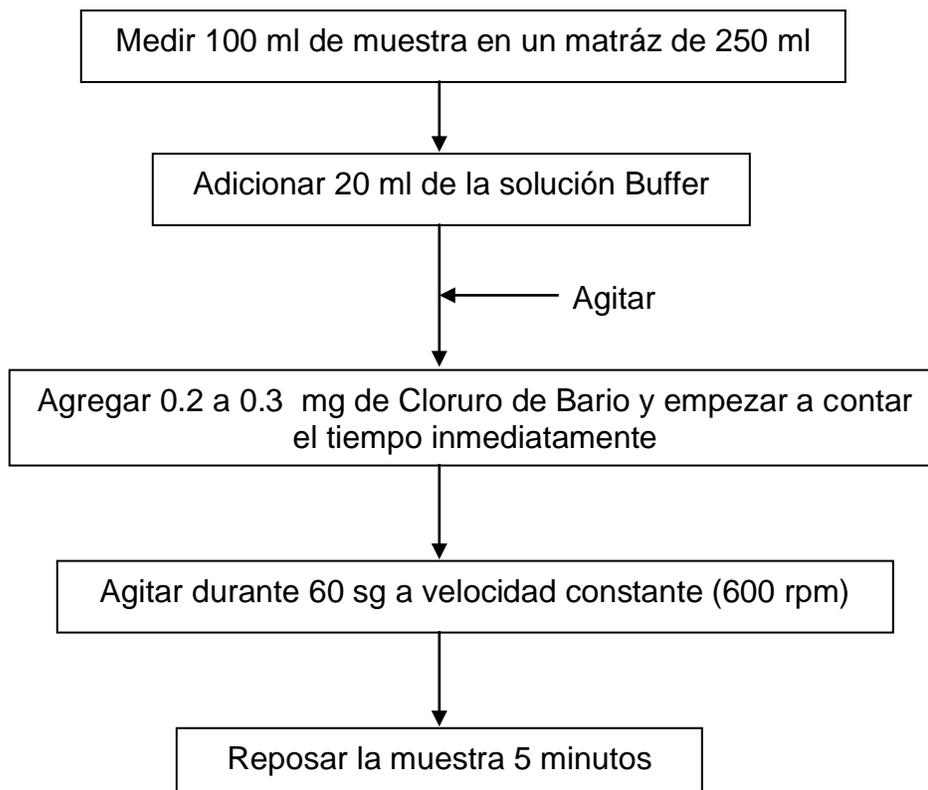


Al producirse  $\text{H}_2\text{S}$ , se tienen serios problemas por olor; la subsecuente oxidación de  $\text{H}_2\text{S}$ , por ciertas bacterias, permite el ataque del concreto por el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido fuerte).

Para la determinación de sulfatos es muy utilizado el método turbidimétrico, el cual puede aplicarse a concentraciones hasta de 60 mg/L, es muy usado por su rapidez para determinar sulfatos. El método se basa en el hecho de que el ión sulfato tiende a precipitarse como sulfato de bario, en medio ácido, con cloruro de bario y en presencia de cloruro de sodio. La absorción de la suspensión de sulfato de bario formado se mide con un nefelómetro o espectrofotómetro, en tanto que la concentración del ión sulfato se determina por comparación de la lectura con la curva de calibración.

## PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL LABORATORIO

### Método Turbidimétrico



↓

Determinar la concentración de sulfatos por espectroscopia UV-VIS a 420 nm

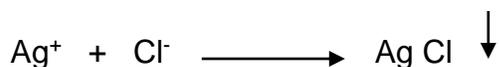
### 5.3.2.6. CLORUROS

El ión cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas.

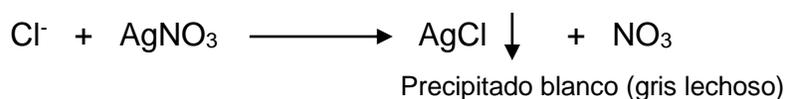
Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruros es muy alto, en promedio de 19.000 mg/ L; constituyen el anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo, su contenido es generalmente menor que el de los bicarbonatos y sulfatos.

Muchos residuos industriales contienen cantidades apreciables de cloruros, los que en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales. En concentraciones por encima de 250 mg/ L producen un sabor salado en el agua, el cual es rechazado por el consumidor; para consumo humano el contenido de cloruros se limita a 250 mg/L, pero, hay áreas donde se consumen aguas con 2000mg/ L de cloruros, sin efectos adversos, gracias a la adaptación del organismo.

El método de Mohr para la determinación de cloruros, emplea una solución de nitrato de plata para la titulación y el Stándar Methods recomienda el uso de una solución 0.0141 N . El método se basa en que en la titulación el ión cloruro es precipitado como cloruro de plata blanco:



La reacción puede presentarse así:





Los cloruros se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Mg / L} = \frac{(A-B) \cdot C \cdot D \cdot 1000}{M}$$

Donde:

A= mL de AgNO<sub>3</sub> gastados

B= mL gastados en la titulación del blanco

C= Concentración normal de AgNO<sub>3</sub> utilizada en la titulación.

D= Peso equivalente gramo del ión cloruro (35.45g) .

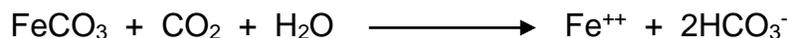
M= Volumen de la muestra de agua titulada.

1000= Factor de conversión.

### 5.3.2.7. HIERRO

El hierro crea problemas en suministros de agua, en general, estos problemas son mas comunes en aguas subterráneas y en aguas del hipolimnio anaeróbico de lagos estratificados; en algunos casos, también en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses.

El hierro existe en suelos y minerales, principalmente como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro, FeS<sub>2</sub>, pirita. En algunas áreas se presenta también como carbonato ferroso, siderita, la cual es muy poco soluble. Como las aguas subterráneas contienen cantidades apreciables de CO<sub>2</sub>, producidas por la oxidación bacteriana de la materia orgánica con la cual el agua entra en contacto, se pueden disolver cantidades apreciables de carbonato ferroso mediante la siguiente reacción:



De la misma manera que se disuelven carbonatos de calcio y magnesio.

Sin embargo, los problemas con el hierro predominan cuando éste está presente en el suelo como compuestos férricos insolubles. Si existe OD en el agua, la solución de hierro de tales suelos con el agua no ocurre, aún en presencia de

suficiente  $\text{CO}_2$ , pero en condiciones anaeróbicas el hierro férrico es reducido a hierro ferroso y la solución ocurre sin ninguna dificultad.

Los hechos que indican que el hierro entra en solución con el agua, mediante cambios producidos en la condiciones ambientales por acción biológica son los siguientes:

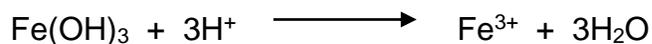
- Aguas subterráneas que contienen cantidades apreciables de hierro carecen siempre de OD y poseen un contenido alto de  $\text{CO}_2$ . El hierro está presente como  $\text{Fe}^{++}$ . El alto contenido de  $\text{CO}_2$  indica que ha existido oxidación bacteriana de la materia orgánica, en tanto que la ausencia de OD señala que se han desarrollado condiciones anaeróbicas.
- Los pozos que producen agua de buena calidad, con bajo contenido de hierro, se les deteriora la calidad del agua cuando se han descargado residuos orgánicos sobre el suelo alrededor del pozo y se generan condiciones anaeróbicas.
- Se conoce que el  $\text{Fe}^{3+}$ , es la única forma estable del hierro en aguas que contienen oxígeno. Por ello estas formas pueden reducirse, a las formas solubles  $\text{Fe}^{++}$ , solamente en condiciones reductoras anaeróbicas.

Las aguas con hierro al ser expuestas al aire, se hacen turbias e inaceptables estéticamente por acción del oxígeno, así como por la oxidación del hierro soluble, en  $\text{Fe}^{+++}$ , el cual forma precipitados coloidales.

En aguas superficiales las concentraciones de hierro son por lo general bajas, menores de 1 mg / L. Las aguas subterráneas, por el contrario, pueden contener cantidades apreciables de hierro, comúnmente hasta 10 mg/ L.

El hierro interfiere las operaciones de lavado, imparten tinciones indeseables a los accesorios de plomería, causan incrustaciones en las tuberías. Igualmente las bajas concentraciones de hierro, imparten sabores metálicos al agua. Hasta donde se conoce el consumo humano de aguas con hierro no tiene efectos nocivos para la salud.

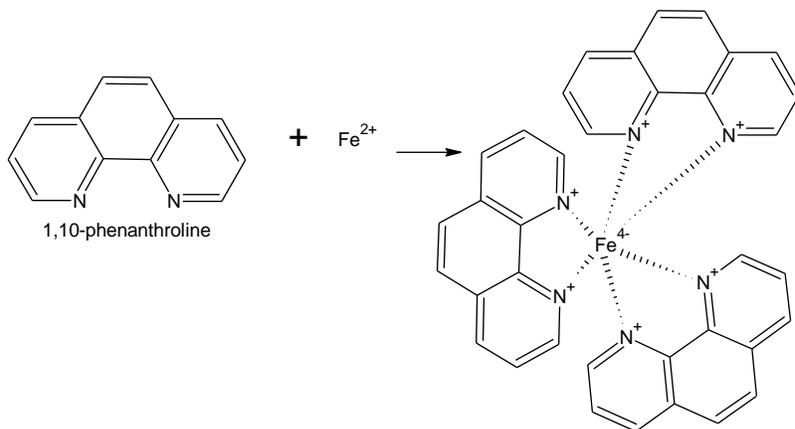
Para la determinación de hierro se utiliza el método con fenantrolina, este método se basa en la reacción del compuesto 1,10 fenantrolina con el  $\text{Fe}^{++}$  para formar un ión complejo de color rojo-naranja. El color formado obedece a la ley de Beer y se mide por comparación visual o fotométrica. Cuando la muestra objeto de análisis ha sido expuesta a la atmósfera, puede presentarse alguna oxidación del  $\text{Fe}^{++}$  a  $\text{Fe}^{+++}$  y, consecuentemente, precipitación del hidróxido férrico. Por esto es necesario asegurar que todo el hierro esté en forma soluble; para ello la muestra se trata con ácido clorhídrico con el fin de que se disuelva el hidróxido férrico:

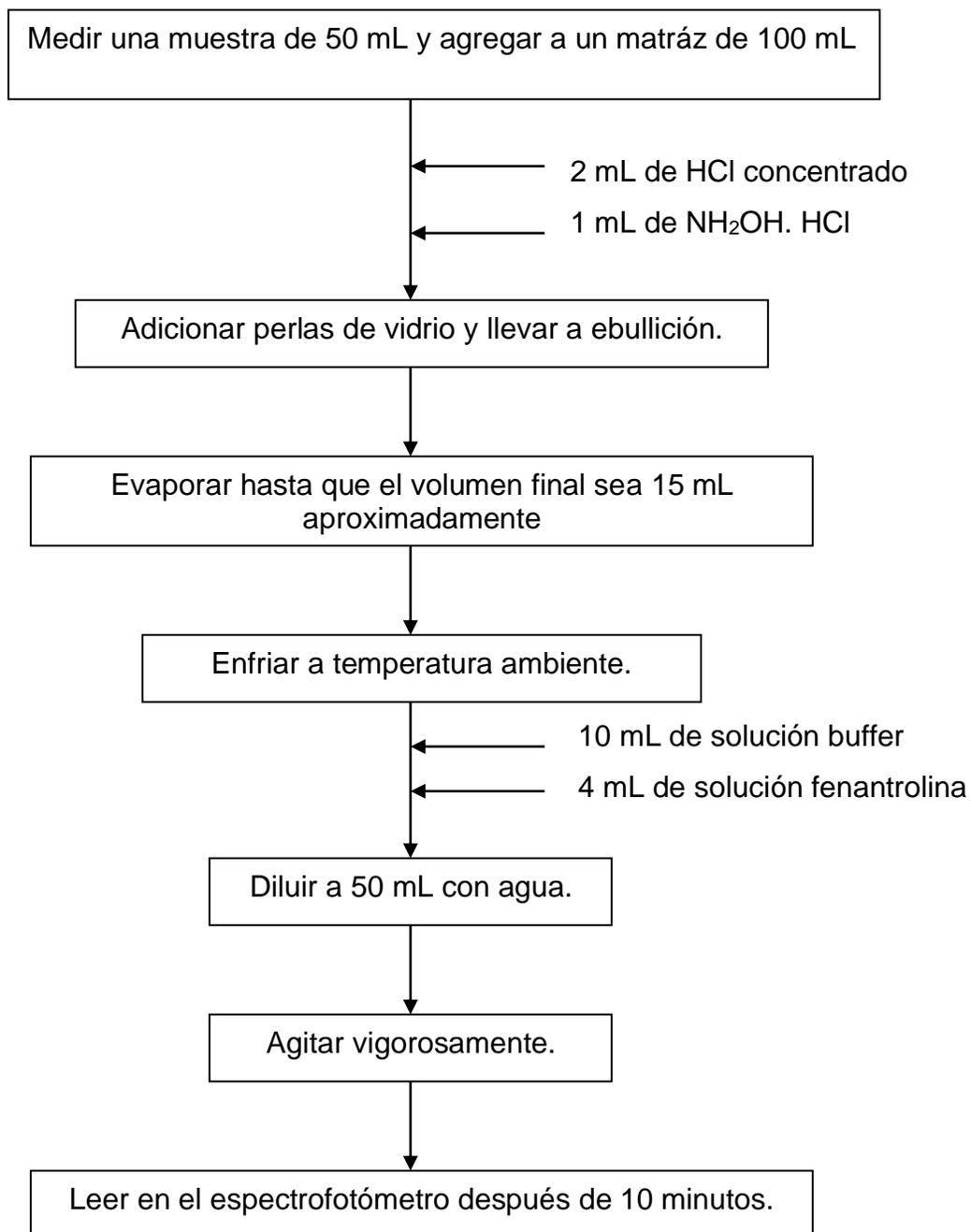


Añadiendo hidroxilamina, todo el  $\text{Fe}^{3+}$  se reduce a la condición ferrosa:



La fenantrolina reaccionará con todo el  $\text{Fe}^{2+}$ :



**PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL LABORATORIO****Método Fenantrolina**

### 5.3.2.8. FÓSFORO

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Actualmente como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de las algas pero un exceso de fósforo produce un desarrollo exorbitado de plantas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua.

El empleo de detergentes, los cuales contienen grandes cantidades de fósforo, ha aumentado el contenido de fosfato en aguas residuales domésticas y ha contribuido al problema de incremento del mismo en las fuentes receptoras.

En algunos suministros de agua se usan polifosfatos como medios de control de corrosión. En aguas subterráneas de bajo contenido de fosfatos se han utilizado éstos como trazadores, pues se requieren solamente pequeñas cantidades para dichos ensayos.

El fósforo en aguas existe de varias formas, las cuales se han calificado de distintas maneras, de acuerdo con los métodos de su determinación.

Las formas de importancia del fósforo en aguas son las siguientes:

- Ortofosfatos
- Polifosfatos: pirofosfatos, tripolifosfatos y metafosfatos.
- Fosfatos orgánicos

En el anión ortofosfato el átomo de fósforo está enlazado centralmente con los átomos de oxígeno. La forma de ortofosfato predominante depende del pH; en aguas residuales domésticas es el  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

Los polifosfatos pueden interpretarse como polímeros del ácido fosfórico a los cuales se les ha removido el agua. Todos los polifosfatos se hidrolizan gradualmente y dan como resultado ortofosfatos, es decir, que vuelven a convertirse en los ortofosfatos de donde provienen.

En los pirofosfatos y tripolifosfatos las moléculas son lineales, mientras que en los metafosfatos las moléculas son cíclicas. El enlace característico es  $\text{P—O—P}$  y

puede considerarse que se forma por la condensación de dos o más grupos de ortofosfatos, razón por la cual también se les conoce como fosfatos condensados.

La química de los compuestos orgánicos de fósforo es muy compleja; se sabe que su descomposición conduce a ortofosfatos: Anteriormente los ortofosfatos se consideraban como  $\text{PO}_4^{3-}$  y se determinaban como fosfatos; en aguas residuales crudas existen las tres formas; por ello, la mejor manera de controlar el fósforo es mediante el ensayo de fósforo total.

Teniendo en cuenta la importancia del fósforo como nutriente, su determinación es necesaria en estudios de polución de ríos, lagos y embalses, así como en los procesos químicos y biológicos de purificación y tratamiento de aguas residuales.

Todas las formas de fósforo pueden existir en solución verdadera o como material suspendido.

Los polifosfatos se usan como llenantes de detergente y en tratamientos de agua para prevenir la precipitación del  $\text{CaCO}_3$  en soluciones sobresaturadas. En el agua tienden a hidrolizarse en ortofosfatos, los cuales son un nutriente importante de organismos fotosintéticos en fuentes receptoras.

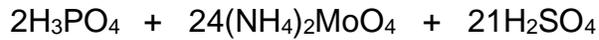
El fósforo como fosfato es un nutriente de los microorganismos en el tratamiento biológico de aguas residuales.

En general, en aguas residuales la concentración de fósforo es baja, de 0.01 a 1 mg/L; en aguas domésticas varía normalmente entre 1 y 15 mg/L.

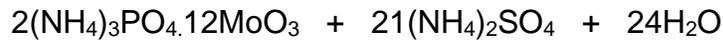
Todas las formas de fósforo se determinan por conversión de la especie que se busca en ortofosfatos; el procedimiento en cada caso es específico para ortofosfatos.

El método de Denigé o del cloruro estannoso se basa en que los ortofosfatos en condiciones ácidas reacciona con el molibdato de amonio para formar un complejo conocido como fosfomolibdato de amonio, el cual es reducido por el cloruro estannoso para producir un complejo azul llamado molibdeno azul, cuyo color es proporcional a la cantidad de ortofosfatos presente.

Las reacciones pueden representarse así:



MOLIBDATO DE AMONIO



FOSFOMOLIBDATO DE AMONIO

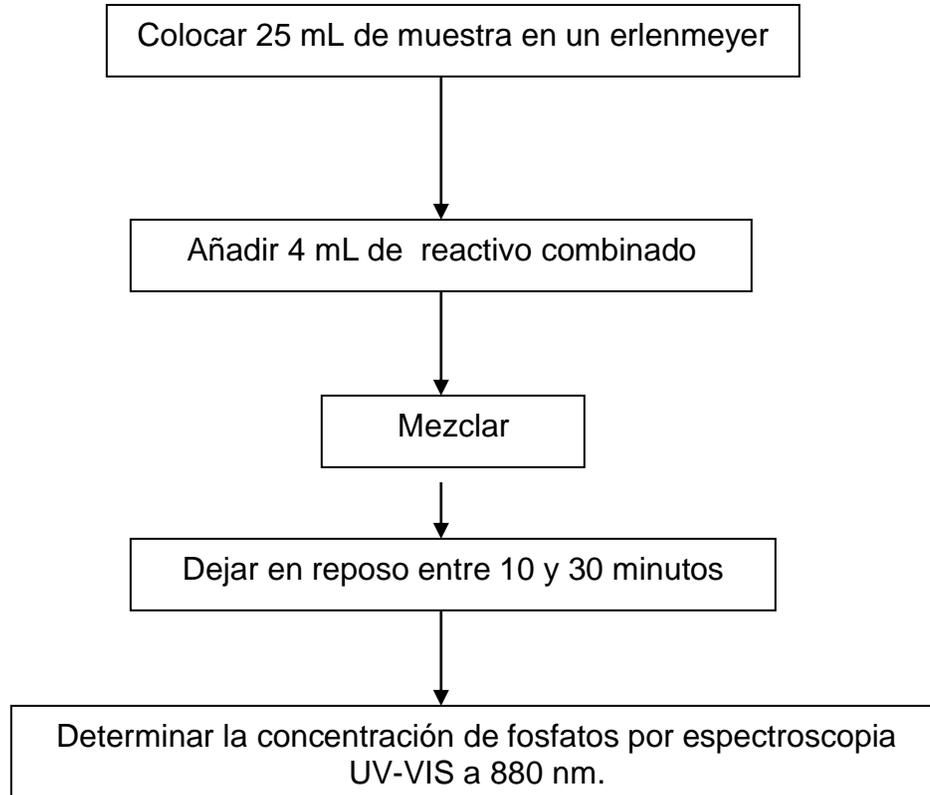


En el método del ácido ascórbico, el reactivo de molibdato de amonio y tartrato de antimonio y potasio reacciona, en medio ácido, con los ortofosfatos para formar un complejo de fosfomolibdato de antimonio.

Este complejo es reducido por el ácido ascórbico a un complejo de color azul intenso cuyo color es proporcional a la concentración de fósforo.

## PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL LABORATORIO

### Método 4500 PE



### 5.3.3. ELIMINACION DE RESIDUOS

#### 5.3.3.1. ELIMINACIÓN DEL RESIDUO PRODUCIDO AL REALIZAR EL ANÁLISIS DE ALCALINIDAD

Reactivos utilizados para el análisis:

- Indicador Mixto: 0.1 g de rojo de metilo y 0.02 g de verde de bromocresol.
- Ácido Sulfúrico 0.02 N

Este análisis se realiza diariamente para 10 muestras de las cuales 6 son de agua de la red, y las restantes se colectan en la misma planta (cruda, tratada , tanque elevado, agua en bolsa).

Por lo tanto al realizarse esta prueba se colectan aproximadamente 1000 ml de residuos a día, ya que para este análisis se utilizan 100 mL de muestra.

El pH del residuo es ácido (entre 5.16 y 5.84 ).

Los ácidos inorgánicos fuertes, como por ejemplo el ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) (categoría de toxicidad B), son agentes corrosivos fuertes que afectan las proteínas de los tejidos celulares. La gravedad de las lesiones depende de la concentración del ácido, de la temperatura y del tiempo de contacto.

La destrucción de estas sustancias se basa en la neutralización con una base inorgánica: bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$ ), carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ), hidróxido de sodio (NaOH) o de potasio (KOH).

Debido a la concentración en que se encuentra el ácido sulfúrico (0.02 N), no es nocivo para el medio ambiente después de su neutralización. Por otro lado los indicadores usados para dicho análisis (rojo de timol y verde de bromocresol) no representan ningún riesgo (categoría de toxicidad C y D respectivamente), ya que según su ficha técnica no se consideran peligrosos ni nocivos para el medio ambiente, ya que son rápida y fácilmente biodegradables, no son bioacumulables,

por lo tanto no es de esperarse ningún problema ecológico; además la cantidad que se utiliza es mínima para cada análisis.

Para la neutralización del residuo se utiliza Carbonato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), hasta que el pH se ajuste entre 6.0 y 8.0 (se agregan 0.24 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  para el volumen del residuo que es 1L.); luego el residuo resultante se vierte en pequeñas porciones sobre un exceso de agua y la disolución resultante se puede eliminar por el desagüe.

### **5.3.3.2. ELIMINACIÓN DEL RESIDUO PRODUCIDO AL REALIZAR EL ANÁLISIS DE ACIDEZ**

Reactivos utilizados para este análisis:

- Indicador Fenolftaleína
- Hidróxido de Sodio 0.02 N

Igual que en la prueba anterior se utilizan las mismas 10 muestras, por lo tanto el volumen del residuo son 1000 mL.

Las bases inorgánicas, como por ejemplo el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), se tienen que neutralizar con una disolución diluida de ácido sulfúrico o de ácido clorhídrico. Pero en este caso la concentración de  $\text{NaOH}$  es muy baja 0.02 N y la cantidad requerida para el análisis es muy poca (aproximadamente de 0.34 a 0.40 mL, por cada muestra), por lo tanto al tomar el pH del residuo éste se encontró entre 7.60 y 7.67, por consiguiente este residuo no representa ningún efecto nocivo para el medio ambiente, puesto que el hidróxido de sodio en esta concentración y en tan poca cantidad no causa efectos nocivos y el indicador utilizado, en este caso la Fenolftaleína tampoco representa efectos nocivos para el medio ambiente (categoría de toxicidad D), por tanto solo se recurrió a diluir en un exceso de agua y posteriormente verter por el desagüe.

### 5.3.3.3. ELIMINACIÓN DEL RESIDUO PRODUCIDO AL REALIZAR EL ANÁLISIS DE DUREZA

Primero que todo se analizan los reactivos usados para este análisis, los cuales son los siguientes:

- Solución Buffer : esta solución contiene: 16.9 g de Cloruro de Amonio y 143 ml de Hidróxido de Amonio, además 1.179 g de EDTA, 0.78 g de sulfato de Magnesio y 50 ml de agua destilada, esta mezcla en 250 mL de agua destilada.
- Indicador Negro de Eriocromo T : Este indicador está preparado con 0.5 g de negro de eriocromo T y 100 g de Cloruro de Sodio.
- Solución de EDTA : ésta contiene 3.723 g de EDTA disueltos en 1 L de agua destilada.

La solución buffer no es considerada un residuo peligroso, debido a que los reactivos con que se encuentra preparada no son nocivos para el medio ambiente. Debido al carácter básico del Hidróxido de Amonio el pH del residuo es básico (10.0 – 10.2 ), por lo tanto el residuo se debe neutralizar .

Las bases inorgánicas, como por ejemplo, el amoníaco acuoso ( $\text{NH}_3\text{aq.}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ), y las sales de hidrólisis básica, se tienen que neutralizar con una disolución diluida de ácido sulfúrico o de ácido clorhídrico.

Por lo tanto el residuo se diluye con agua, en relación 1:5, y se neutraliza hasta pH 6-8, añadiendo lentamente una disolución al 50% de ácido sulfúrico. Se diluye la disolución obtenida a 1:10 y se vierte por el desagüe con un exceso de agua.

Otra forma de neutralización es en un recipiente amplio que contenga una solución fría de ácido clorhídrico de concentración 6 mol L<sup>-1</sup> (solución al 50%), se vierte lentamente y con agitación la base a eliminar. Cuando el pH está cercano a la neutralidad, se detiene la adición y la solución resultante se vierte por el desagüe con un exceso de agua.

#### **5.3.3.4 ELIMINACIÓN DEL RESIDUO PRODUCIDO AL REALIZAR EL ANÁLISIS DE NITRITOS**

La solución colorante se encuentra preparada de la siguiente manera:

A 800 mL de agua se le adicionan 100 mL ácido fosfórico al 85% , se le agregan 10 g de sulfanilamida y 1g de diclorhidrato de N – ( 1-naftil) etilendiamina, por último se afora a 1L.

El volumen de residuos que produce esta prueba son aproximadamente 500 mL, ya que se utilizan 50 mL de muestra.

El ácido fosfórico no representa alta toxicidad (categoría de toxicidad D), sin embargo, no debe incorporarse a suelos ni acuíferos debido a que es nocivo para los organismos acuáticos debido a su pH. Debe ser neutralizado antes de ser desechado.

Las aminas aromáticas constituyen un grupo de productos químicos ampliamente utilizados en síntesis orgánica.

Las aminas son sólidos cristalinos y generalmente son escasamente solubles en agua fría, son más solubles en agua caliente y son muy solubles en ácidos y disolventes orgánicos.

Las aminas y las amidas aromáticas pueden ser oxidadas con  $\text{KMnO}_4$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Las aminas aromáticas también pueden ser eliminadas de una solución utilizando peroxidasa de rábano picante en presencia de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . La enzima cataliza la oxidación de la amina aromática en un radical. Estos radicales se difunden en la solución y polimerizan. Los polímeros son insolubles y precipitan en la solución. Aunque la solución resultante no es mutagénica, el polímero precipitado sí que lo es y por esto el método sólo se recomienda para el tratamiento de grandes cantidades de soluciones acuosas que contengan pequeñas cantidades de aminas aromáticas. En todos los casos la destrucción es  $> 99\%$ .

Por lo tanto el procedimiento que se aplica a este residuo es el siguiente:

Diluir con agua, si es necesario, hasta que la concentración de aminas y amidas no exceda de 0,9 mg ml<sup>-1</sup>. Por cada 10 mL de disolución se añaden 5 mL de disolución de KMnO<sub>4</sub> de concentración 0,2 mol L<sup>-1</sup> y 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de concentración 2 mol L<sup>-1</sup>.

Se mantiene la mezcla en agitación al menos 10 h.

Se decolora la mezcla por adicción de ácido ascórbico, se neutraliza debido a carácter ácido del residuo (pH = 2) con Carbonato de Sodio o Bicarbonato de Sodio y se vierte al desagüe con un exceso de agua.

### **5.3.3.5. ELIMINACIÓN DEL RESIDUO PRODUCIDO AL REALIZAR EL ANÁLISIS DE SULFATOS**

Se analizan los reactivos que son utilizados para este análisis, los cuales son:

- Solución Buffer : se disuelven 30 g de Cloruro de Magnesio, 5 g de Acetato de Sodio, 1 g de Nitrato de Potasio en 20 mL de Ácido acético concentrado y se lleva a 1000 ml con agua destilada.
- Cloruro de Bario (cristales).

El volumen de residuo que diariamente se obtiene de este análisis son aproximadamente 1000 mL.

Al investigar los reactivos que son utilizados para este análisis se puede decir que el residuo que se produce no representa ningún efecto nocivo para el medio ambiente, debido a que ninguno de los reactivos anteriores es considerado como peligroso según las fichas técnicas de los mismos, además no son bioacumulables en el caso del ácido acético y es fácilmente degradable, por lo tanto la solución buffer no es considerada como peligrosa.

En el caso del Cloruro de Bario es un reactivo peligroso según la ficha técnica, es nocivo por inhalación y tóxico por ingestión (categoría de toxicidad B) y además es tóxico para organismos acuáticos; pero en este caso es utilizado para determinar sulfatos y por lo tanto al reaccionar con éstos forma sulfato de bario, el cual es un

producto no peligroso, no es nocivo para el medio ambiente y no afecta los organismos acuáticos ni las plantas.

Por lo tanto el residuo producido por este análisis puede considerarse como un residuo urbano y puede eliminarse simplemente con una neutralización del pH ya que éste es ácido, aproximadamente 3.64, la neutralización se realiza con Carbonato de sodio o Bicarbonato de Sodio, Hidróxido de Sodio o de Potasio y posterior dilución con agua.

En este caso el residuo fue neutralizado con carbonato de Sodio hasta un pH neutro (entre 6-8) y eliminado por el desagüe con un exceso de agua.

#### **5.3.3.6. ELIMINACIÓN DEL RESIDUO PRODUCIDO AL REALIZAR EL ANÁLISIS DE CLORUROS**

Los siguientes son los reactivos utilizados para este análisis:

- Nitrato de plata : Se pesan 2.395 g de  $\text{AgNO}_3$ , se diluyen en agua destilada y se llevan a 1 L.
- Indicador de cromato de potasio: Se pesan 50 g de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ , se diluyen en 200 mL de agua destilada, se titulan con  $\text{AgNO}_3$  hasta formar un precipitado de color rojo ladrillo, se deja reposar durante 24 horas y se filtra, luego se ajusta a 1 L.

Debido a que en este caso se utilizan metales pesados el residuo es considerado como peligroso, pero ya que la cantidad usada es mínima no representa mayor riesgo para el medio ambiente.

#### **5.3.3.7. ELIMINACIÓN DEL RESIDUO PRODUCIDO AL REALIZAR EL ANÁLISIS DE HIERRO**

Se analizan los reactivos utilizados en este análisis los cuales son los siguientes:

- Ácido clorhídrico concentrado
- Solución de clorhidrato de hidroxilamina: se pesan 10 g de clorhidrato de hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ) y se disuelven en 100 mL de agua destilada.

- Solución buffer (acetato de amonio): se pesan 250 g de acetato de amonio, se diluyen en 150 mL de agua destilada y se añaden 700 mL de ácido acético concentrado.
- Solución de fenantrolina: se pesan 100 mg de 1,10 fenantrolina ( $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$ ), se diluyen en 100 mL de agua destilada, se calienta a 80° C y se agita .

El volumen de residuo producido diariamente por este análisis es de 500 mL, debido a que se utilizan 50 mL de muestra y como se ha dicho anteriormente son 10 muestras.

Al analizar los reactivos tenemos que el ácido clorhídrico es un fuerte agente corrosivo, provoca quemaduras y además posee efectos biológicos debido a que es tóxico para organismos acuáticos (categoría de toxicidad C); a pesar de su dilución forma mezclas cáusticas con agua, por tanto no se debe incorporar a los suelos ni acuíferos.

En el caso del clorhidrato hidroxilamina, es también una sustancia corrosiva, por lo tanto tampoco debe ser incorporada a suelos ni acuíferos, sin antes ser neutralizada.

La fenantrolina es una sustancia no muy tóxica (categoría de toxicidad C) para los organismos acuáticos, a largo plazo puede provocar efectos negativos para el medio ambiente acuático, por lo que se recomienda no incorporar a suelos ni acuíferos.

El acetato de amonio es una sustancia que no es considerada como peligrosa, tampoco tiene efectos sobre el medio ambiente (categoría de toxicidad D), debido a que es fácilmente biodegradable. Manteniendo condiciones adecuadas de manejo no presenta ningún daño para el medio ambiente, por otro lado el ácido acético es una sustancia irritable, pero no tiene efectos nocivos en el medio ambiente cuando es manejada adecuadamente (categoría de toxicidad D), posee una biodegradabilidad del 70 %, por tanto es fácilmente eliminable, no es bioacumulable, por lo que esta solución buffer no es nociva para el medio ambiente.

Si observamos detalladamente la reacción que se obtiene al realizar esta prueba, tenemos que el producto final es la ferroína, ya que inicialmente la muestra se trata con HCl para disolver el hidróxido férrico, y luego añadiendo la hidroxilamina, el  $\text{Fe}^{3+}$  se reduce a la condición ferrosa, por tanto la fenantrolina reaccionará con todo el  $\text{Fe}^{++}$ , formándose así el producto final, la ferroína, el cual es un complejo de color naranja.

De esta manera el producto final no es considerado peligroso, no es tóxico para el medio ambiente, no representa ningún problema ecológico, por lo tanto se procedió a eliminarlo de la siguiente manera: fue neutralizado ya que poseía un pH entre 3 y 4.5 aproximadamente dejándose entre 6-8; posteriormente el residuo fue agregado a un recipiente contenedor de sales neutras, en este caso NaCl, el sólido fue desechado y posteriormente se hizo una dilución con agua y se eliminó por el desagüe.

#### **5.3.3.8. ELIMINACIÓN DEL RESIDUO PRODUCIDO AL REALIZAR EL ANÁLISIS DE FOSFATOS**

Los reactivos utilizados para esta prueba se analizan a continuación.

- El reactivo combinado está preparado de la siguiente manera: se agregan 25 mL de solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5 N, luego 2.5 mL de solución de tartrato de antimonio y potasio, 7.5 mL de molibdato de amonio y 15 mL de ácido ascórbico, se mezclan tras la adición de cada reactivo.
- Solución de tartrato de antimonio y potasio: se pesan 1.3715 g de  $\text{K}(\text{sbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ , se diluye en 400 mL de agua destilada y se completa a 500 mL.
- Solución de Molibdato de amonio: se pesan 20 g de molibdato de amonio y se diluye a 500 mL con agua destilada.

Al estudiar los reactivos anteriores tenemos que el ácido sulfúrico (categoría de toxicidad B), tiene un efecto perjudicial para los organismos acuáticos, produce

quemaduras fuertes debido al carácter ácido, es un fuerte agente corrosivo incluso en forma diluida, no se debe incorporar a suelos ni acuíferos si antes ser neutralizado, esto se refiere a la sustancia pura, pero en este caso tenemos una solución de ácido sulfúrico 5 N de ésta sólo se utiliza 25 mL para la preparación del reactivo y de éste solo 4 mL son agregados a cada muestra (10 muestras).

El ácido ascórbico no representa ningún riesgo para el medio ambiente (categoría de toxicidad D), es fácilmente eliminable y no tiene efectos biológicos ni ecotóxicos.

En el caso del tartrato de antimonio y potasio y del molibdato de amonio, por presentar metales representan un peligro para el medio ambiente debido a que éstos son nocivos para los organismos; pero en este caso si analizamos las concentraciones de dichos compuestos podemos observar que no son altas y las cantidades utilizadas de dichas soluciones también son mínimas, por lo tanto no representan un efecto nocivo para el medio ambiente.

Si se procediera a eliminar este residuo se puede realizar una separación por volatilización la cual se fundamenta en una modificación del estado físico, que da lugar a la formación de un gas o vapor. En este caso se realiza la ebullición de la disolución para expulsar el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, quedando como residuo el molibdeno y el antimonio, el cual es almacenado para luego realizar otro tratamiento.

Para comprobar la existencia de estos elementos en el residuo se procede a realizar pruebas; determinar la presencia de antimonio de toda una serie de elementos, se consigue mediante la Tionalida ( 2-naftilamida del ácido tioglicólico), que constituye un valioso reactivo de precipitación de empleo múltiple.

El compuesto de antimonio de tionalida, débilmente coloreado de amarillo indica la presencia de antimonio.

La identificación de antimonio así como de molibdeno, puede efectuarse con Fenilfluorona. El antimonio para distinguirlo de los demás elementos, se trata por el método de reacción a la gota, con clorhídrico-peróxido de hidrógeno, y se conoce por su coloración roja.

La identificación del molibdato se basa en la formación de una coloración roja, por medio de la fenilhidracina.

Los compuestos de molibdeno dan con el Toluol-ditiol (3,4 ditiol) precipitados coloreados que son solubles en acetato de butilo, cloroformo, tetracloruro de carbono y otros disolventes orgánicos de color verde.

El procedimiento anteriormente mencionado es costoso debido al volumen de muestras que se maneja diariamente y como se ha dicho las concentraciones de las soluciones son bajas por lo que no es un tratamiento conveniente.

### **5.3.3.9. ELIMINACIÓN DEL RESIDUO PRODUCIDO POR EL ANÁLISIS DE ALUMINIO**

Analizando los reactivos utilizados tenemos :

- Solución Buffer: se pesan 136 g de acetato de sodio trihidratado, se mezcla con 40 mL de ácido acético 1 N y se diluye a 1 L con agua destilada.
- Solución de Tinción Eriocromo Cianina R: se pesan 0.3 g de eriocromo cianina R, se disuelven en 50 mL de agua destilada se le ajusta el pH desde 9 hasta 2.9 con ácido acético (3 mL aproximadamente), se diluye a 100 mL con agua destilada. De esta solución se toman 10 mL y se llevan a 100 mL con agua destilada.
- Ácido ascórbico: se pesan 0.1 g de ácido ascórbico y se llevan a 100 mL con agua destilada.
- Ácido sulfúrico 0.02 N

Para este análisis se requiere 25 mL de muestra, al ser agregados los reactivos tenemos 50 mL de residuo por cada muestra (10 muestras).

Al analizar los reactivos tenemos que la solución buffer no es una sustancia peligrosa para el medio ambiente (categoría de toxicidad D), por tanto no representa ningún efecto nocivo para el medio ambiente; la solución de eriocromo

cianina R tampoco representa peligro para el medio ambiente, debido a que es fácilmente eliminable y no es acumulable en ecosistemas acuáticos.

El ácido ascórbico no es un producto peligroso, es fácilmente eliminable y no es de esperarse ningún efecto biológico nocivo. En el caso del ácido sulfúrico tiene una concentración muy baja y por tanto tampoco es nocivo, sólo necesita ser neutralizado.

El pH de este residuo está entre 5.9 y 6.0, por lo tanto se neutraliza con una cantidad mínima de  $\text{NaCO}_3$ , debido a que el pH no es tan bajo, luego es vertido sobre un exceso de agua y eliminado por el desagüe

#### **5.4. MÉTODO DE COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR LOS ANÁLISIS DEL LABORATORIO**

La coagulación - floculación es un proceso químico aplicado extensamente en el tratamiento de agua residual para su depuración. La coagulación- floculación implica dos términos consecutivos pero claramente diferenciables:

*Coagulación:* es el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales, que puede conseguirse especialmente a través de la neutralización de sus cargas eléctricas con un coagulante.

*Floculación:* es la agrupación de las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras, esta agrupación es favorecida por algunos productos llamados floculantes. Los flóculos son retenidos por decantación o flotación en una fase posterior de tratamiento.

El producto químico generalmente mas usado en la coagulación es el Sulfato alumínico cristalizado  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , llamado comúnmente alumbre, el cual fue el coagulante utilizado para este procedimiento.

Para realizar este método se debe neutralizar el residuo debido a que las sales de aluminio tienen máxima eficiencia de coagulación a valores de pH de 6.0 - 7.0, y en este caso el pH del residuo es ácido, por lo que se procedió a realizar una

neutralización utilizando Hidróxido de calcio el cual fue agregado gradualmente, hasta conseguir pHs entre 6 y 7 aproximadamente, sin descartar pHs entre 7 y 8. Se realizaron varias pruebas utilizando cantidades de hidróxido de calcio diferentes para así obtener pH variados y posteriormente buscar la dosis óptima de sulfato de aluminio mediante pruebas de jarras.

Como se mencionó anteriormente existe un conjunto de métodos de tratamiento de agentes químicos que pueden utilizarse para eliminar las características peligrosas de una variedad de productos, para este caso fue utilizado el proceso de coagulación, floculación sedimentación y decantación.

Las aguas residuales son aquellas vertientes provenientes de procesos post-industriales; es decir, aquellas aguas que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial y que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su ubicación en las respectivas redes de vertido.

Las impurezas se encuentran en el agua como materia en suspensión, como material coloidal, o como materia en solución; mientras que la materia en suspensión siempre se separa por medio mecánico, con intervención o no de la gravedad, la materia coloidal requiere un tratamiento fisicoquímico preliminar y la materia en solución puede tratarse en el propio estado molecular o iónico o precipitarse y separarse utilizando procesos semejantes a los empleados para la separación de los sólidos inicialmente en suspensión.

Cuando se habla de la aplicación de procesos, se hace referencia casi exclusiva a los tratamientos de aguas residuales, donde se busca como objetivo principal eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, de manera tal que se pueda ajustar, el agua residual, a la calidad de agua vertida a las especificaciones legales existentes. De esta manera, la mejor forma de tratar las aguas residuales dependerá de una serie de factores característicos, tales como: la composición, las concentraciones, la calidad requerida o esperada del efluente, las posibilidades de reutilización de la

misma, las posibilidades de vertido a depuradoras municipales, tasas de vertido, etc.

La composición de las aguas residuales en este caso aguas residuales producidas en el laboratorio se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), la demanda química de oxígeno (DQO) y el pH.

El contenido de sólidos totales se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de mL/L, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables (disueltos) o no filtrables (sólidos en suspensión), el cual consiste en hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro.

La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0,001 y 1  $\mu$ m. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación, normalmente para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica complementadas con la sedimentación.

La concentración de materia orgánica se mide con los análisis  $DBO_5$  y DQO. La  $DBO_5$  es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. De modo similar, la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la  $DBO_5$  porque muchas sustancias orgánicas pueden

oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La  $DBO_5$  suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El pH mide la acidez de una muestra de aguas residuales.

No es fácil caracterizar la composición de los residuos industriales con arreglo a un rango típico de valores dado según el proceso de fabricación. La concentración de un residuo industrial se pone de manifiesto enunciando el número de personas, o equivalente de población (PE), necesario para producir la misma cantidad de residuos. Este valor acostumbra a expresarse en términos de  $DBO_5$ .

La precipitación química, empleada junto con otros métodos de tratamiento de estas aguas, se usa para ajustar el pH y reducir la concentración de materia sólida en los vertidos. Con sales férricas o de aluminio y cal, se han obtenidos reducciones en la DBO de 40 a 50 %.

La coagulación en el proceso de tratamiento del agua tiene por objeto agrupar partículas coloidales dispersas en el agua en otras más voluminosas y pesadas que puedan ser separadas más fácilmente del agua.

Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); generalmente se aplica sulfato de aluminio, de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua.

La coagulación se consigue mediante una difusión rápida de las sustancias coagulantes en el agua objeto del tratamiento, empleando medios de agitación rápida. Tras la neutralización de las partículas coloidales, es decir una vez conseguida la desestabilización coloidal, las partículas formadas están en

disposición de aglomerarse, esta aglomeración de las partículas descargadas, ayudadas ahora por una agitación lenta, es el objetivo de la floculación.

Coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los microflóculos, esta debería estar clara, si esto no ocurre, lo más probable, es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más coagulante.

En la eficacia de la coagulación influyen diversos factores entre los que destaca el pH y otras características físico-químicas del agua, así como una adecuada energía de agitación rápida para conseguir una apropiada dispersión del coagulante y proporcionar las necesarias colisiones entre las partículas para conseguir una óptima coagulación. El tiempo de esta mezcla rápida, en la correspondiente cámara de mezcla, suele ser del orden de 1 a 3 minutos.

A continuación de la etapa de coagulación tiene lugar un segundo proceso llamado floculación, este tiene lugar tras someter a los microflóculos a una agitación lenta que permite la unión de éstos en agregados mayores o flóculos visibles ya a simple vista y con la suficiente cohesión y densidad para someterlos a la siguiente etapa de sedimentación. La floculación requiere un menor gradiente de agitación para impedir la rotura y disgregación de los flóculos ya formados. Los flóculos rotos son difíciles de retornar a su tamaño inicial.

Los residuos producidos por el laboratorio, son los procedentes de los análisis que se llevan a cabo en él, como son acidez, alcalinidad, dureza, cloruros, calcio, los cuales son determinados volumétricamente; y sulfatos, hierro, nitritos, fosfatos y aluminio, los cuales son determinados colorimétricamente con un espectrofotómetro UV-VIS, como ya fue explicado anteriormente.

El volumen éstos residuos es de 6750 mL aproximadamente por día.

## GRÁFICAS DE VOLUMEN DE SOLUCIÓN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Vs pH PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE LOS RESIDUOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO

### Neutralización de residuos utilizando Hidróxido de Calcio

✚ N° de muestra: 1

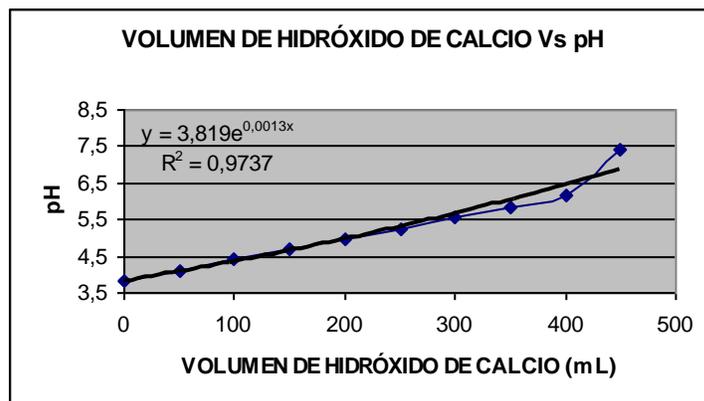
pH inicial : 3.83

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 25 % agregado : 450 mL

pH final: 7.44

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	3,83
50	4,11
100	4,4
150	4,67
200	4,97
250	5,26
300	5,56
350	5,86
400	6,16
450	7,44



Grafica1. Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Se realiza una prueba t para determinar si hay o no correlación entre las variables.

$$t = \frac{|r| \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t = \frac{|0,9737| \cdot \sqrt{10^{-2}}}{1 - (0,9737)^2} = 12,08$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{experimental}} 12,08 > t_{\text{tabulado}} 2,31$ , por lo tanto la hipótesis nula se rechaza, aceptándose la hipótesis alternativa, lo que significa que existe una correlación significativa entre el volumen de hidróxido de calcio y el pH.

✚ N° de muestra: 2

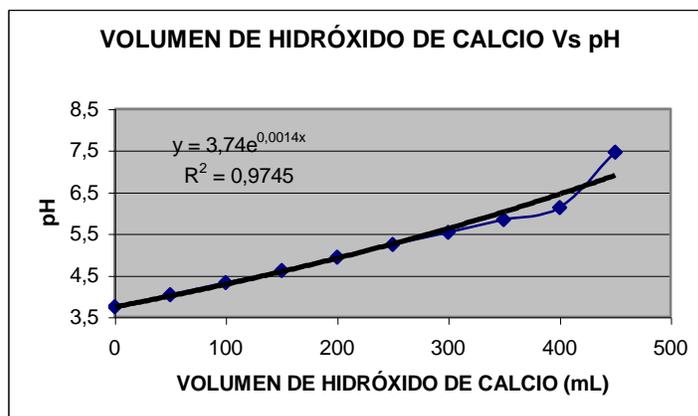
pH inicial : 3.75

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  : 455 mL

pH final: 7.46

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	3,75
50	4,03
100	4,32
150	4,61
200	4,93
250	5,24
300	5,53
350	5,84
400	6,13
450	7,46



Grafica 2. volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Se realiza una prueba t para observar si existe o no correlación entre las variables:

$$t = \frac{|0,9745| \cdot \sqrt{10^{-2}}}{\sqrt{1 - (0,9745)^2}} = 12,28$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 12.28 > t_{\text{tab}} 2.31$  por consiguiente existe una correlación significativa entre las variables.

✚ N° de muestra: 3

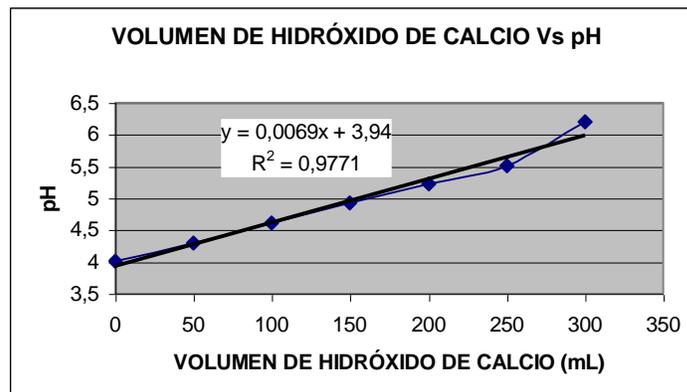
pH inicial: 4.01

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  agregado : 300 mL

pH final: 6.20

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	4,01
50	4,3
100	4,61
150	4,93
200	5,22
250	5,51
300	6,2



Grafica 3. Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

$$t = \frac{|0,9771| * \sqrt{7-2}}{\sqrt{1-(0,9771)^2}} = 10.26$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 10.26 > t_{\text{tab}} 2.36$ , por lo que hay una correlación significativa.

✚ N° de muestra: 4

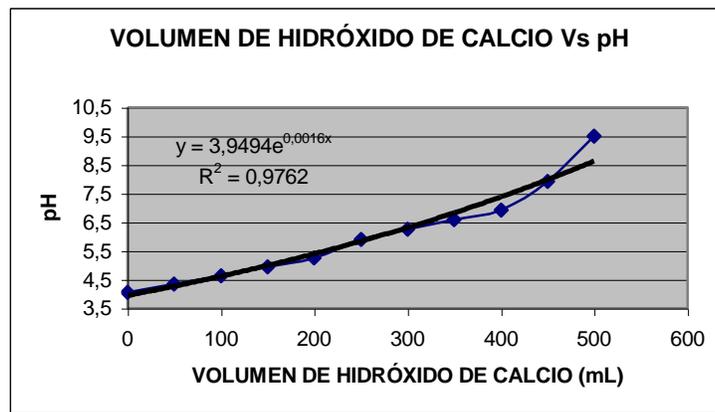
pH inicial: 4.06

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  agregado : 500 mL

pH final: 9.49

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	4,06
50	4,35
100	4,64
150	4,94
200	5,25
250	5,89
300	6,25
350	6,6
400	6,93
450	7,93
500	9,49



Gráfica 4. Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub>

$$t = \frac{|0,9762| * \sqrt{11-2}}{1 - (0,9762)^2} = 13.50$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 13.50 > t_{\text{tab}} 2.26$  por lo tanto existe una correlación significativa entre las variables.

✚ N° de muestra : 5

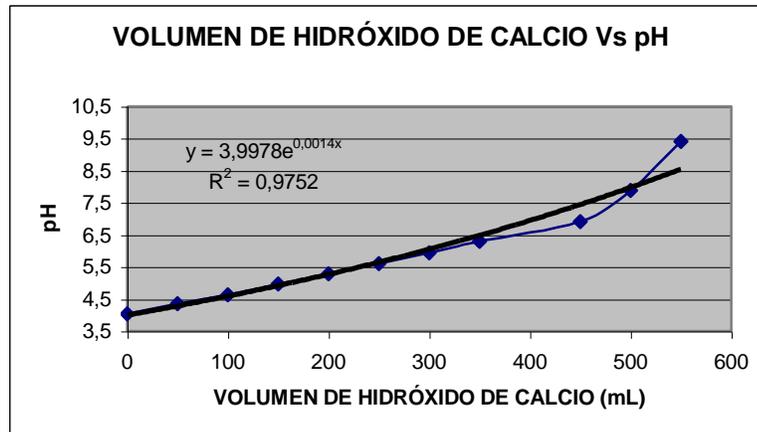
pH inicial : 4.03

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> : 550 mL

pH final: 9.41

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	4,03
50	4,35
100	4,64
150	4,96
200	5,28
250	5,6
300	5,94
350	6,29
450	6,92
500	7,89
550	9,41



Grafica 5. Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub>

$$t = \frac{|0,9752| \cdot \sqrt{11-2}}{1 - (0,9752)^2} = 13.21$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 13.21 > t_{\text{tab}} 2.26$  por lo tanto existe una correlación significativa entre el volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> y el pH.

✚ N° de muestra : 6

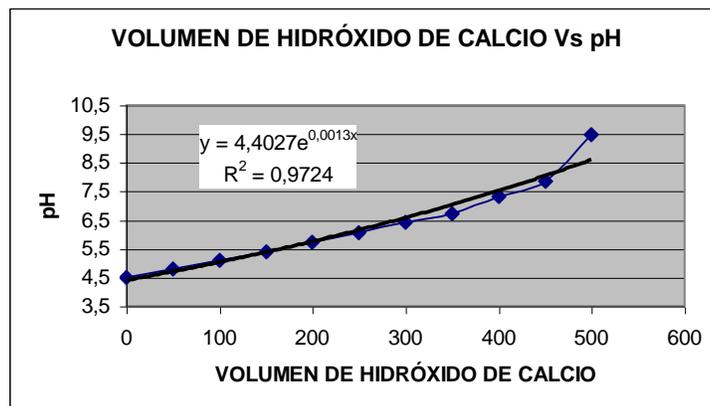
pH inicial: 4.50

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> : 500 mL

pH final: 9.46

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	4,5
50	4,78
100	5,08
150	5,38
200	5,72
250	6,06
300	6,41
350	6,73
400	7,33
450	7,86
500	9,46



Grafica 6. Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub>

$$t = \frac{|0,9774| \cdot \sqrt{11-2}}{\sqrt{1 - (0,9774)^2}} = 13.87$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 13.87 > t_{\text{tab}} 2.26$ , por consiguiente hay una correlación significativa entre el pH y el volumen de Ca(OH)<sub>2</sub>.

✚ Nº de muestra: 7

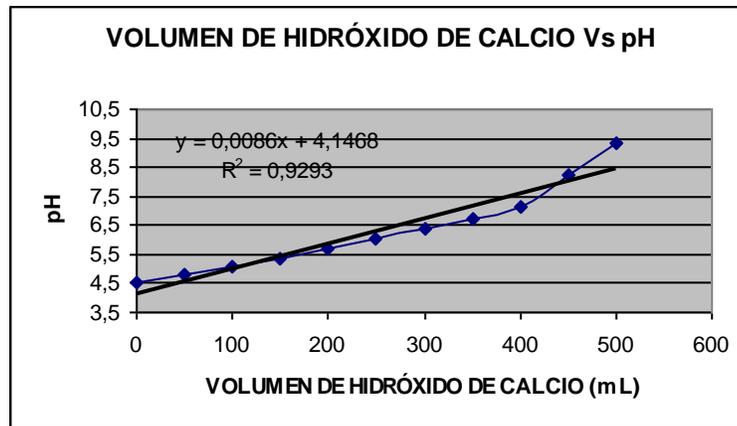
pH inicial: 4.5

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> gastados: 500 mL

pH final: 9.30

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	4,5
50	4,79
100	5,08
150	5,38
200	5,71
250	6,05
300	6,39
350	6,73
400	7,13
450	8,26
500	9,3



Grafica 7. Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub>

$$t = \frac{|0,9293| \cdot \sqrt{11-2}}{\sqrt{1 - (0,9293)^2}} = 7.54$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 7.54 > t_{\text{tab}} 2.26$  por lo tanto la hipótesis nula se rechaza, existe correlación significativa entre las variables.

✚ N° de muestra : 8

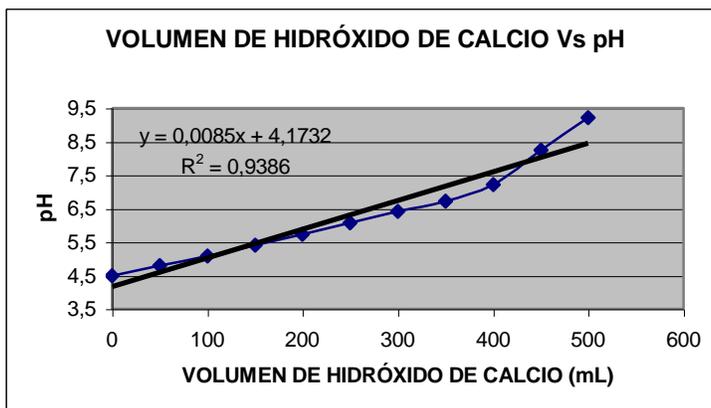
pH inicial: 4.5

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> : 500 mL

PH final: 9.21

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	4,5
50	4,8
100	5,09
150	5,41
200	5,73
250	6,08
300	6,41
350	6,72
400	7,21
450	8,25
500	9,21



Gráfica 8. Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub>

$$t = \frac{|0,9386| \cdot \sqrt{11-2}}{1 - (0,9386)^2} = 8.161$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 8.161 > t_{\text{tab}} 2.26$ , se rechaza la hipótesis nula, por lo que existe una correlación significativa entre el volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> y el pH.

✚ N° de muestra : 9

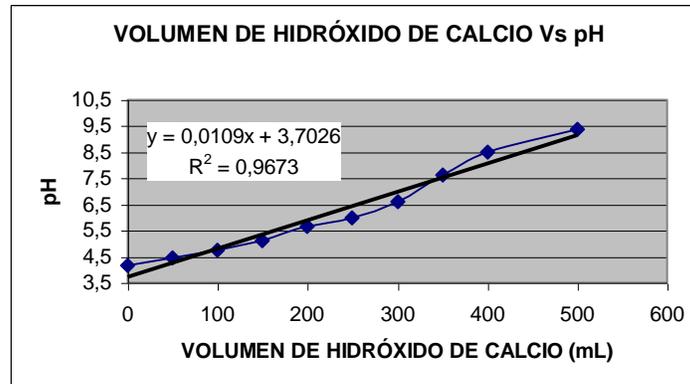
pH inicial: 4.15

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> : 450 mL

pH final: 9.38

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	4,15
50	4,44
100	4,73
150	5,12
200	5,65
250	5,98
300	6,59
350	7,61
400	8,49
500	9,38



Grafica 9. Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

$$t = \frac{|0,9673| * \sqrt{10-2}}{\sqrt{1-(0,9673)^2}} = 10.78$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 10.78 > t_{\text{tab}} 2.31$ , por lo tanto existe una correlación significativa entre las variables.

Al analizar las gráficas y los resultados de la prueba t, podemos concluir que para todas las muestras hubo una correlación significativa, por lo tanto se pueden tener en cuenta estos resultados para agregar el Hidróxido de calcio dependiendo del pH inicial, debido a que éste varía en las diferentes muestras, ya que los análisis en el laboratorio cambian un poco de pH diariamente, esto, porque las adiciones de los reactivos para realizar las pruebas pueden ser diferentes o también porque algunas de las pruebas pueden ser repetidas; además algunas veces es llevado a cabo un plan de contingencia donde son analizadas muestras de agua de la planta tomadas a diferentes horas para asegurar la calidad del agua que sale de la misma.

Por consiguiente los pHs de los residuos producidos por el laboratorio están entre 3.75 y 4.50, por lo que el volumen de hidróxido de calcio agregado puede estar aproximadamente entre 400 y 455 mL, esto variará como se dijo anteriormente dependiendo del pH inicial y del pH final al cual se quiere llegar, ya que

posteriormente vamos a observar que hay pHs a los cuales hay un mejor proceso de coagulación- floculación.

En las muestras 4, 5, 6, 7 y 8, se puede apreciar que le pH ha sido llevado hasta aproximadamente 9.49, este aumento de pH va sujeto a que se obtuvieron buenos resultados de formación de floc en la determinación de la dosis óptima al realizar la prueba de jarras; es decir que al aumentar el pH y luego disminuirlo usando un ácido, dicho método fue mas efectivo en cuanto a la reducción de la turbiedad.

Las gráficas de disminución de pH usando ácido se presentan a continuación:  
En este caso el ácido utilizado es ácido clorhídrico.

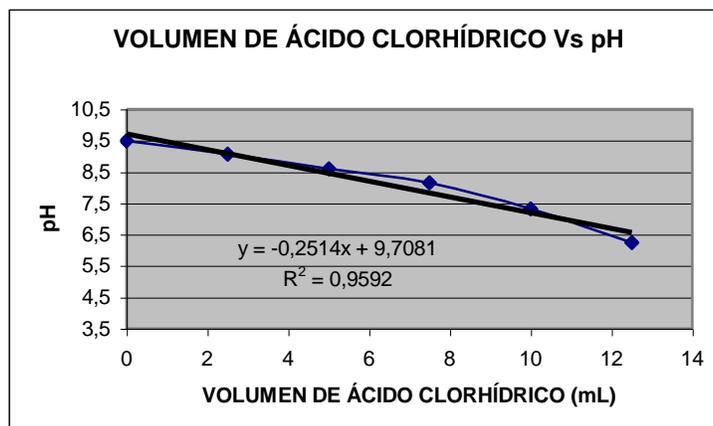
◆ N° de muestra: 4

pH inicial : 9.49

Volumen de HCl gastado: 12.5 mL

pH final: 6.23

VOLUMEN DE HCL	pH
0	9,49
2,5	9,06
5	8,59
7,5	8,14
10	7,31
12,5	6,23



Grafica 10. Volumen de ácido

$$t = \frac{|0,9592| \cdot \sqrt{6-2}}{1 - (0,9592)^2} = 6.785$$

Nivel de significación 5 %.

$t_{\text{exp}} 6.785 > t_{\text{tab}} 2.45$ , lo que significa que existe una correlación significativa entre el volumen de ácido clorhídrico y el pH.

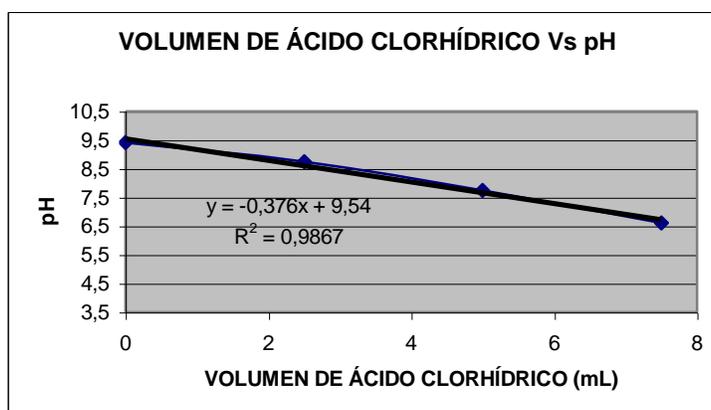
◆ N° de muestra: 5

pH inicial: 9.41

Volumen de HCl gastado: 7.5 mL

pH final: 6.61

VOLUMEN DE HCl	pH
0	9,41
2,5	8,75
5	7,75
7,5	6,61



$$t = \frac{|0,9867| * \sqrt{4-2}}{\sqrt{1-(0,9867)^2}} = 8.584$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 8.584 > t_{\text{tab}} 4.30$ , por lo tanto hay una correlación significativa entre las variables.

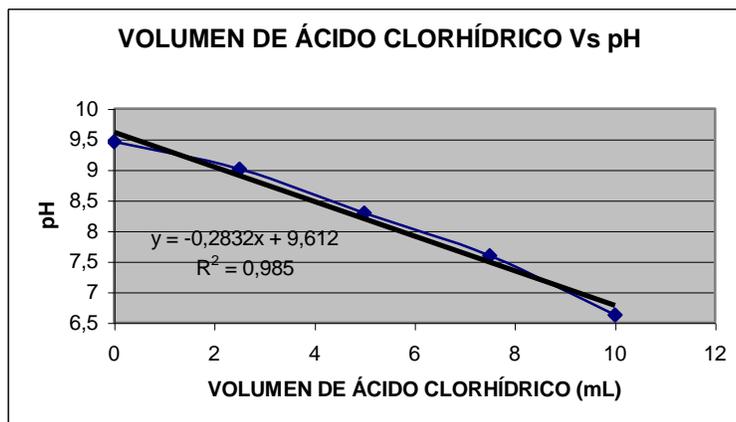
◆ N° de muestra: 6

pH inicial: 9.46

Volumen de HCl:

pH final: 6.63

VOLUMEN DE HCl	pH
0	9,46
2,5	9,01
5	8,29
7,5	7,59
10	6,63



Grafica 12. Volumen de ácido

$$t = \frac{|0,985| * \sqrt{5-2}}{\sqrt{1-(0,985)^2}} = 9,88$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 9,88 > t_{\text{tab}} 4,30$ , lo que significa que existe una correlación significativa entre el pH y el volumen de HCl.

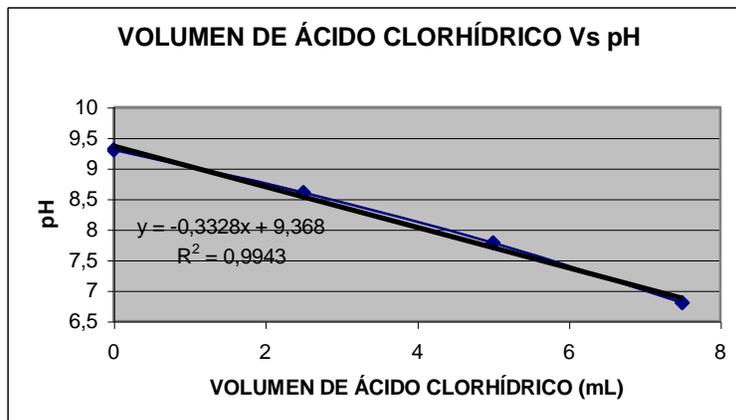
◆ N<sup>o</sup> de muestra: 7

pH inicial: 9,30

Volumen de HCl gastado: 7,5 mL

pH final: 6,80

VOLUMEN DE HCl	pH
0	9,3
2,5	8,6
5	7,78
7,5	6,8



Gráfica 13. Volumen de ácido

$$t = \frac{|0,9943| * \sqrt{4-2}}{\sqrt{1-(0,9943)^2}} = 13,188$$

Nivel de significación 5 %

$t_{exp} 13,188 > t_{tab} 4,30$ , hay correlación entre las variables.

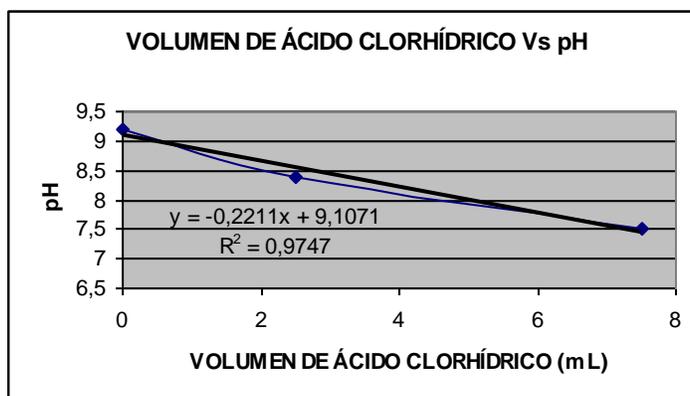
◆ N° de muestra: 8

pH inicial: 9,21

Volumen de HCl gastado: 7,5 mL

pH final: 7,5

VOLUMEN DE HCl	pH
0	9,21
2,5	8,4
7,5	7,5



Gráfica 14. Volumen de ácido

$$t = \frac{|0,9747| * \sqrt{3-2}}{\sqrt{1-(0,9747)^2}} = 4.36$$

$t_{\text{exp}} 4.36 > t_{\text{tab}} 4.30$ , existe correlación significativa entre el pH y el volumen de HCl.

Como podemos observar para el caso de la disminución de pH con HCl, tenemos resultados muy parecidos a los anteriores, partiendo de los mismos pHs finales de las muestras 4, 5, 6, 7, y 8 podemos llegar a la conclusión de que son necesarios entre 7.5 y 10 mL aproximadamente de ácido clorhídrico para obtener pHs entre 6 y 8.

#### 5.4.1. PRUEBA DE JARRAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO

##### ANÁLISIS INICIAL DE LA MUESTRA:

##### Prueba de jarras N° 1

Muestra N° :1

pH inicial: 3.83

pH neutralizado: 7.44

Temperatura : 22.4 °C

Turbiedad UNT: 480

Volumen de la muestra: 12 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 38400

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 12300

Sólidos Totales: 33974 mg / L

Sólidos disueltos:23937 mg / L

Sólidos suspendidos:10037 mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 450 mL

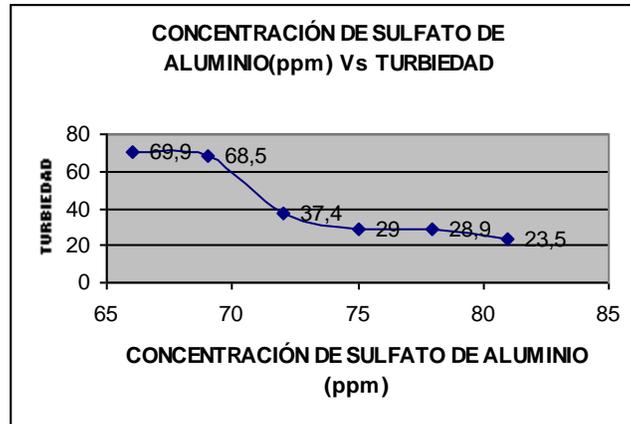
**Tabla 7. Prueba de jarras 1**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1
	Concentración mg/L	66	69	72	75	78	81
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	Regular	Regular	Regular	Regular
PH, unidades		7.43	7.35	7.23	7.20	7.22	7.18
Turbiedad, UNT		69.9	68.5	37.4	29.0	28.9	23.5
Temperatura, °C		21.8	22.0	21.1	22.1	22.0	22.1
DQO, mg / L							36400
DBO, mg / L							10800
Sólidos totales							10265
Sólidos disueltos							9311
Sólidos suspendidos							954

Al analizar la información anterior tenemos que la mejor jarra fue la numero 6, debido a que fue la que presentó mejor formación de floc y por consiguiente menor turbiedad:

**Gráfica 15. Concentración de sulfato de aluminio Vs turbiedad, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°1)**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
66	69,9
69	68,5
72	37,4
75	29
78	28,9
81	23,5



Al apreciar la gráfica podemos observar que en este caso al ser mayor la concentración de sulfato de aluminio la turbiedad fue más baja; por lo tanto se procedió a realizar otra prueba de jarras (muestra N° 2), tomando un rango de concentración mayor, para determinar cual fue la mejor, es decir, cual prueba arrojó mejores resultados.

Sin embargo si observamos los otros parámetros físicoquímicos se puede apreciar que para el caso de las pruebas de DQO y DBO, éstos resultados fueron bastante altos aunque hubo una disminución en cuanto a los valores iniciales. Estos resultados son presentados a continuación:

% de remoción de DQO = 5.2

% de remoción de DBO = 12.1

% de remoción de sólidos totales: 69.

% de remoción de sólidos disueltos: 61.2

% de remoción de sólidos suspendidos: 90.49

A continuación se muestran los parámetros exigidos por el decreto 1594/84 para las normas de vertimiento, debido a que según el artículo 73 de éste, todo vertimiento a un alcantarillado público deberá cumplir por lo menos con las siguientes normas:

**Tabla 8. Parámetros exigidos por el decreto 1594/84**

Referencia	Valor
PH	5 a 9 unidades
Temperatura	$\leq 40^{\circ}\text{C}$
Ácidos, bases o soluciones ácidas o básicas que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables	Ausentes
Sólidos suspendidos para desechos domésticos e industriales	Remoción del 50 % en carga
DBO para desechos industriales	Remoción $\geq 20$ % en carga.

Al analizar el cuadro anterior nos damos cuenta que no se está cumpliendo la norma en su totalidad debido a que la DBO sólo se está removiendo en un 12.1 % y la norma exige una remoción de mínimo el 20 %.

*Prueba de jarras N° : 2*

 Muestra N° : 2

pH inicial: 3.78

pH neutralizado: 7.86

Temperatura : 20.4 °C

Turbiedad UNT: 490

Volumen d la muestra: 12 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 37000

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 12000

Sólidos Totales: 33981 mg / L

Sólidos disueltos:23995 mg / L

Sólidos suspendidos:9986 mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 450 mL

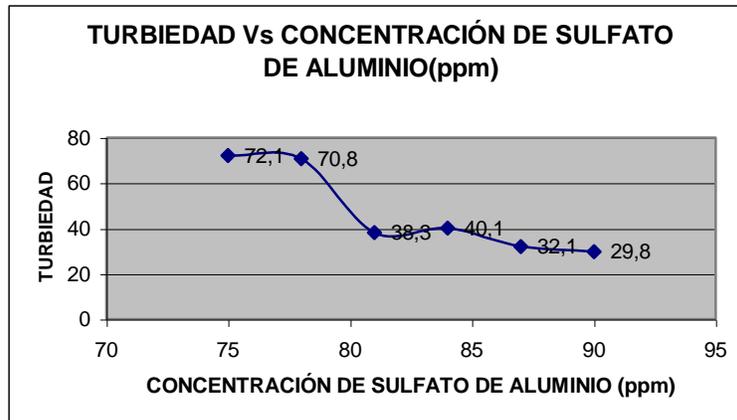
**Tabla 9. Prueba de jarras 2**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	ML adicionados	7.5	7.8	8.1	8.4	8.7	9.0
	Concentración mg/L	75	78	81	84	87	90
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	Regular	No formó	Regular	Regular
PH, unidades		7.45	7.43	7,55	7.52	7.40	7.41
Turbiedad, UNT		72.1	70.8	38.3	40.1	32.1	29.8
Temperatura, °C		21.2	21.0	21.1	22.1	21.0	21.1
DQO, mg / L							36000
DBO, mg / L							11100
Sólidos totales							10278
Sólidos disueltos							9416
Sólidos suspendidos							862

La jarra que presentó mejores resultados fue la número 6, la cual mostró una turbiedad de 29.8, utilizando una concentración de 90 ppm.

**Gráfica 16. concentración de sulfato de aluminio vs turbiedad, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°2):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
75	72,1
78	70,8
81	38,3
84	40,1
87	32,1
90	29,8



Al analizar esta gráfica podemos decir que tiene un comportamiento similar a la anterior, debido a que al aumentar la concentración la turbiedad disminuye, pero presenta mejores resultados la prueba anterior ya que las turbiedades fueron menores y además los resultados de las pruebas de DQO y DBO fueron también un poco mas bajos.

Nuevamente los parámetros fisicoquímicos tales como DBO, DQO, y los sólidos arrojan resultados altos.

Los resultados de los porcentajes de remoción son:

% de remoción de DQO = 4.2

% de remoción de DBO = 7.5

% de remoción de sólidos totales: 69.7

% de remoción de sólidos disueltos: 60.76

% de remoción de sólidos suspendidos: 91.36

Como podemos apreciar el porcentaje de remoción de DBO, para esta prueba tampoco es el permitido.

*Prueba de jarras N° : 3*

📊 Muestra N° : 3

pH inicial: 3.75

pH neutralizado: 7.46

Temperatura : 21.4 °C

Turbiedad UNT: 502

Volumen de la muestra : 12 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 36400

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 11700

Sólidos Totales: 33961 mg / L

Sólidos disueltos: 23941 mg / L

Sólidos suspendidos: 10020 mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 450 mL

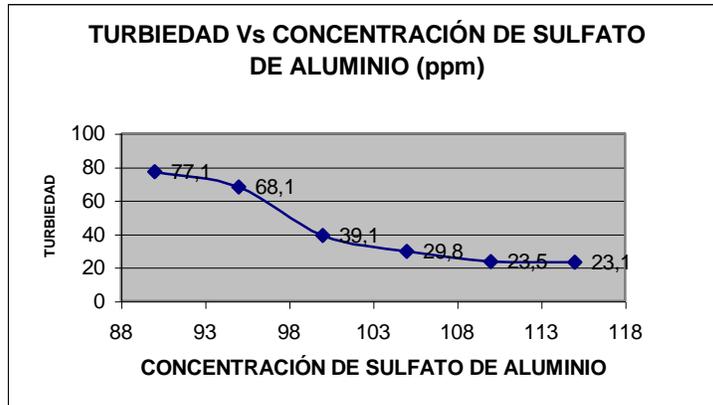
**Tabla 10. Prueba de jarras 3**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> al 2%	ML adicionados	9.0	9.5	100	105	110	115
	Concentración mg/L	90	95	100	105	110	115
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	Regular	Regular	Regular	Regular
PH, unidades		7.08	7.06	7,07	7.11	7.09	7.06
Turbiedad, UNT		77.1	68.1	39.1	29.8	23.5	23.1
Temperatura, °C		21.4	22.0	21.6	22.1	21.8	22.1
DQO, mg / L							24800
DBO, mg / L							9300
Sólidos totales							10269
Sólidos disueltos							9318
Sólidos suspendidos							951

La mejor jarra es la número 6, la cual corresponde a una concentración de 115 ppm, ya que es la que presenta en este caso menor turbiedad.

**Gráfica 17. Concentración de sulfato de aluminio vs turbiedad, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°3):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
90	77,1
95	68,1
100	39,1
105	29,8
110	23,5
115	23,1



En este caso la gráfica se sigue comportando de la misma manera, mientras la concentración de sulfato aumenta, la turbiedad disminuye, esta prueba ha sido hasta ahora la que ha presentado una mejor turbiedad.

Los valores de DQO y DBO han sido también los mas bajos hasta ahora, y si detallamos los porcentajes de remoción podemos decir que si se ha cumplido con la norma debido a que en este caso la DBO, si fue removida en un 20 % y los demás parámetros igualmente son aceptados

Los datos de remoción están a continuación:

% de remoción de DQO = 31.8

% de remoción de DBO = 20.5

% de remoción de sólidos totales: 69.7

% de remoción de sólidos disueltos: 60.1

% de remoción de sólidos suspendidos: 91.4

*Prueba de jarras N° :4*

🚰 Muestra N° : 4

pH inicial: 4.01

pH neutralizado: 6.2

Temperatura : 21.5 °C

Turbiedad UNT: 515

Volumen de la muestra: 12 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 34600

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 11100

Sólidos Totales: 33980 mg / L

Sólidos disueltos:23936 mg / L

Sólidos suspendidos:10044 mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 300 mL

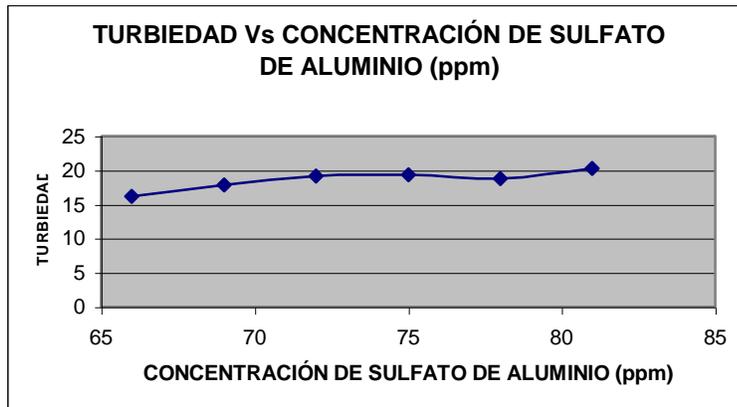
**Tabla 11. Prueba de jarras 4**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> al 2%	ML adicionados	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1
	Concentración mg/L	66	69	72	75	78	81
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Bueno	Bueno	Regular	Regular	Regular	Regular
PH, unidades		6.22	6.20	6.21	6.20	6.22	6.25
Turbiedad, UNT		16.2	17.8	19.1	19.3	18.8	20.3
Temperatura, °C		20.4	21.8	21.6	21.5	22.0	21.8
DQO, mg / L		24800					
DBO, mg / L		9000					
Sólidos totales		10269					
Sólidos disueltos		9416					
Sólidos suspendidos		954					

La mejor jarra fue la número 1 correspondiente a una concentración de sulfato de aluminio de 66 ppm, la cual arrojó una turbiedad de 16.2.

**Gráfica 18. Concentración de sulfato de aluminio vs turbiedad, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°4):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
66	16,2
69	17,8
72	19,1
75	19,3
78	18,8
81	20,3



Si observamos esta gráfica, se aprecia que hay un comportamiento diferente a las anteriores, debido a que en este caso a la menor concentración de sulfato (66ppm), se obtuvo la turbiedad mas baja.

Los valores arrojados al realizar las pruebas de DQO y DBO cumplen con la norma para vertimientos, debido a que se remueve mas del 20 % de la carga.

% de remoción de DQO = 28.3

% de remoción de DBO = 20.5

% de remoción de sólidos totales: 69.7

% de remoción de sólidos disueltos: 60.1

% de remoción de sólidos suspendidos: 91.4

*Prueba de jarras N° 5*

Muestra N° : 5

pH inicial: 3.94

pH neutralizado: 7.12

Temperatura : 21.1 °C

Turbiedad UNT: 496

Volumen de la muestra: 12 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 35600

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 11700

Sólidos Totales: 35387 mg / L

Sólidos disueltos: 24000 mg / L

Sólidos suspendidos: 11451 mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 300 mL

**Tabla 12. Prueba de jarras 5**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> al 2%	ML adicionados	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3
	Concentración mg/L	28	31	34	37	40	43
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	No formó	No formó	No formó	No formó
PH, unidades		7.10	7.11	7.10	7.10	7.12	7.10
Temperatura, °C		21.4	21.8	21.6	21.6	21.4	21.8

En este caso no se realizaron análisis finales debido a que no hubo formación de floc a ninguna de las concentraciones tomadas,

Las siguientes pruebas de jarras fueron realizadas utilizando el método de aumento de pH y posterior disminución de éste con ácido clorhídrico, ya que se puede

apreciar un mejor resultado en cuanto a la reducción de la turbiedad debido a que hay una formación de floc, mucho mas representativa.

*Prueba de jarras N° : 6*

📌 Muestra N° : 6

pH inicial: 4.06

pH neutralizado: 6.23

Temperatura : 22.1 °C

Turbiedad UNT: 501

Volumen de muestra : 12 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 36400

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 11700

Sólidos Totales: 33981 mg / L

Sólidos disueltos: 23936 mg / L

Sólidos suspendidos: 10046 mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 500 mL

Ácido clorhídrico concentrado adicionado 12.5 mL

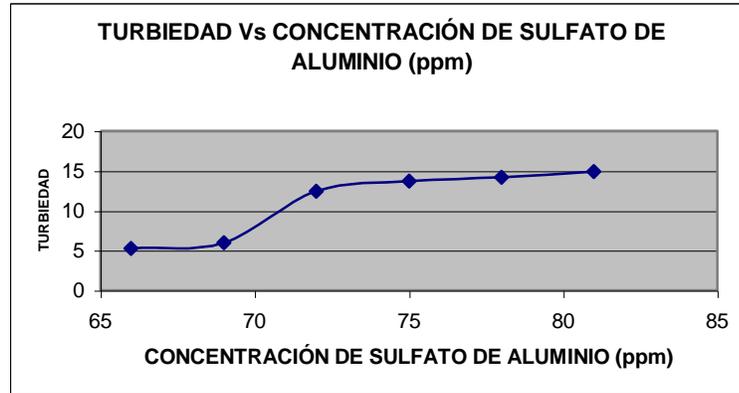
**Tabla 13. Prueba de jarras 6**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> al 2%	MI adicionados	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1
	Concentración mg/L	66	69	72	75	78	81
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Bueno	Bueno	Regular	Regular	Regular	Regular
PH, unidades		6.40	6.45	6.43	6.43	6.42	6.41
Turbiedad, UNT		5.25	6.00	12.4	13.4	14.2	14.9
Temperatura, °C		22.4	22.1	22.2	22.2	22.4	22.4
DQO, mg / L		37600					
DBO, mg / L		12900					
Sólidos totales		10266					
Sólidos disueltos		9320					
Sólidos suspendidos		946					

Al analizar estos datos tenemos, que la mejor jarra fue la número 1, aumentando el pH primero y luego disminuyéndolo se obtienen mejores resultados en cuanto a la turbiedad, esto se puede apreciar en la tabla ya que la turbiedad fue 5.25 para una concentración de 66 ppm y 6.23 de pH.

**Gráfica 19. Concentración de sulfato de aluminio vs turbiedad, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°6):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
66	5,25
69	6
72	12,4
75	13,7
78	14,2
81	14,9



Al observar la gráfica tenemos que al ser mayor la concentración de sulfato de aluminio, aumenta la turbiedad, por lo que para la concentración de 66 ppm la cual fue la mas baja que se utilizó, el resultado de la turbiedad fue el menor.

Sin embargo estos buenos resultados obtenidos en la turbiedad no son de gran ayuda, si nos detenemos a analizar los valores conseguidos al realizar las pruebas de DQO y DBO, ya que para este caso los valores finales, es decir luego de realizar el tratamiento, fueron mayores que los iniciales, por lo que se procedió a realizar más pruebas para comprobar o no dichos resultados.

*Prueba de jarras N° : 7*

Muestra N° : 7

pH inicial: 4.03

pH neutralizado: 6.61

Temperatura : 22.4 °C

Turbiedad UNT: 513

Volumen de muestra : 12 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 38800

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 12300

Sólidos Totales: 33969 mg / L

Sólidos disueltos: 23938 mg / L

Sólidos suspendidos: 9968 mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 550 mL

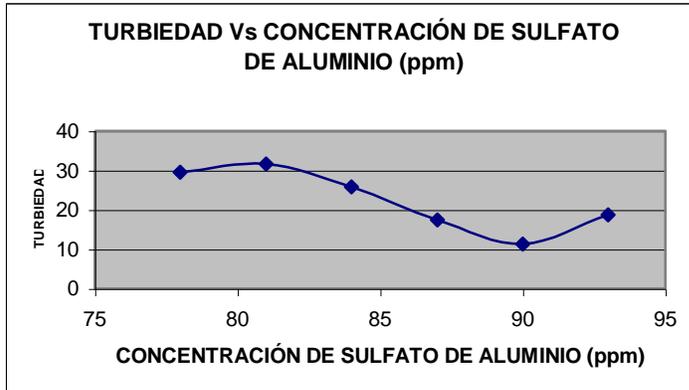
Ácido clorhídrico concentrado adicionado 7.5 mL

**Tabla 14. Prueba de jarras 7**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	7.8	8.1	8.4	8.7	9.0	9.3
	Concentración mg/L	78	81	84	87	90	93
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
PH, unidades		6.58	6.55	6.59	6.54	6.43	6.48
Turbiedad, UNT		29.5	31.6	35.8	17.4	11.3	18.7
Temperatura, °C		22.4	22.2	22.4	22.0	22.1	22.1
DQO, mg / L		40000					
DBO, mg / L		13200					
Sólidos totales		10274					
Sólidos disueltos		9318					
Sólidos suspendidos		956					

La mejor jarra fue la número 1 con respecto a la turbiedad, pero en comparación con las pruebas anteriores, ésta posee una turbiedad mayor, además los valores de DQO y DBO finales siguen siendo mas elevados.

**Gráfica 20. concentración de sulfato de aluminio Vs turbiedad, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°7):**



Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
78	29,5
81	31,6
84	25,8
87	17,45
90	11,3
93	18,7

Esta gráfica tiene comportamiento diferente a las anteriores, podemos ver que la turbiedad no aumenta con la concentración ni viceversa; para este caso los valores de la turbiedad son indiferentes ante la concentración de sulfato de aluminio, ya que a 90 ppm la turbiedad fue la menor (11.3), mientras que la mayor se registró a 81 ppm.

#### *Prueba de jarras N° : 8*

Muestra N° : 8

pH inicial: 4.5

pH neutralizado: 6.63

Temperatura : 20.4 °C

Turbiedad UNT: 516

Volumen de muestra : 12 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 38800

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 12600

Sólidos Totales: 33973 mg / L

Sólidos disueltos: 23998 mg / L

Sólidos suspendidos: 9975 mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 500 mL

Ácido clorhídrico concentrado adicionado: 10 mL

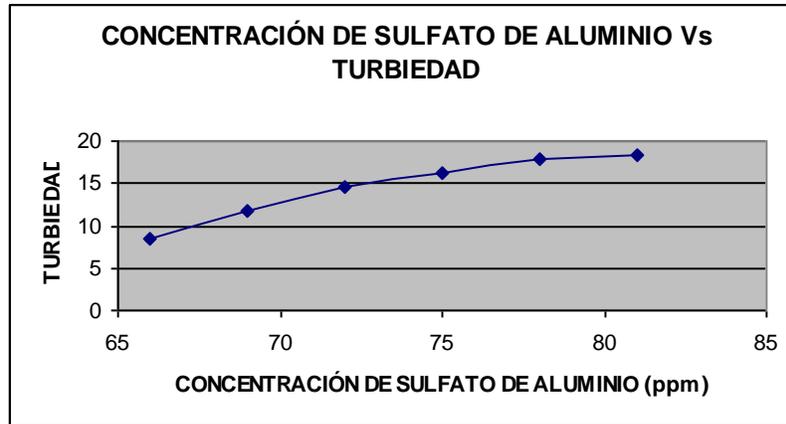
**Tabla 15. Prueba de jarras 8**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	ML adicionados	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1
	Concentración mg/L	66	69	72	75	78	81
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
PH, unidades		6.43	6.49	6.5	6.51	6.51	6.50
Turbiedad, UNT		8.5	11.8	14.6	16.3	18.0	18.3
Temperatura, °C		21.0	21.4	21.5	21.0	21.1	21.1
DQO, mg / L		39000					
DBO, mg / L		13500					
Sólidos totales		10270					
Sólidos disueltos		9316					
Sólidos suspendidos		954					

La jarra que presenta mejores resultados es la número 1, en cuanto a la turbiedad, pero como en las anteriores, los valores de DQO y DBO finales, no disminuyen.

**Gráfica 21. concentración de sulfato de aluminio Vs turbiedad, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°8):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
66	8,5
69	11,8
72	14,6
75	16,3
78	18
81	18,3



Para este caso la turbiedad más baja se presentó a una concentración de 66 ppm, además se puede apreciar que al aumentar la concentración de sulfato la turbiedad también fue mayor.

*Prueba de jarras N° : 9*

Muestra N° : 9

pH inicial: 4.5

pH neutralizado: 6.80

Temperatura : 20.4 °C

Turbiedad UNT: 516

Volumen de muestra : 12 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 38800

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 11700

Sólidos Totales: 33980 mg / L

Sólidos disueltos: 23996 mg / L

Sólidos suspendidos: 9984 mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 500 mL

Ácido clorhídrico concentrado adicionado: 7.5 mL

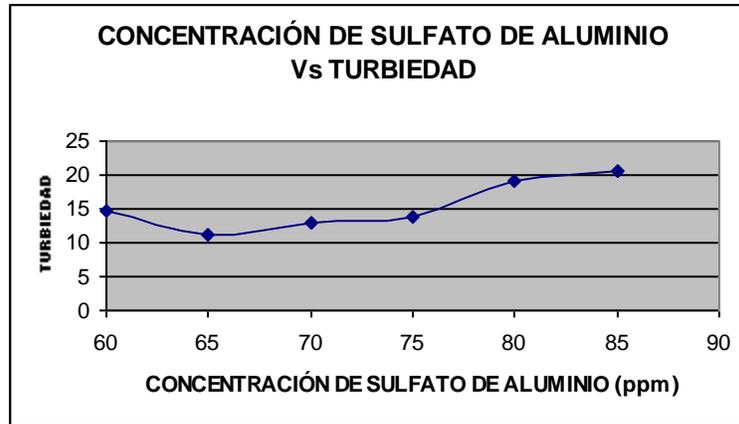
**Tabla 16. Prueba de jarras 9**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	ML adicionados	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
	Concentración mg/L	60	65	70	75	80	85
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
pH, unidades		6.76	6.69	6.70	6.76	6.77	6.77
Turbiedad, UNT		14.6	11.2	13.0	13.8	19.2	20.7
Temperatura, °C		22.0	21.8	21.5	21.0	21.0	21.4
DQO, mg / L			39600				
DBO, mg / L			12900				
Sólidos totales			10279				
Sólidos disueltos			9320				
Sólidos suspendidos			959				

La mejor turbiedad fue la arrojada por la jarra número 2, a una concentración de 65 ppm; los valores de DQO y DBO, no han mejorado.

**Gráfica 22. concentración de sulfato de aluminio Vs turbiedad, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°9):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
60	14,6
65	11,2
70	13
75	13,8
80	19,2
85	20,7



Como se observa en la gráfica la concentración a la cual la turbiedad disminuyó, fue a 65 ppm, para las siguientes concentraciones, las cuales fueron mayores, la turbiedad también fue mas alta.

*Prueba de jarras N° : 10*

Muestra N° : 10

pH inicial: 4.5

pH neutralizado: 7.50

Temperatura : 20.3 °C

Turbiedad UNT: 510

Volumen de muestra : 12 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 37600

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 12000

Sólidos Totales: 33990 mg / L

Sólidos disueltos: 24000 mg / L

Sólidos suspendidos: 9990mg / L

Hidróxido de calcio al 25 % adicionado: 500 mL

Ácido clorhídrico concentrado adicionado: 7.5 mL

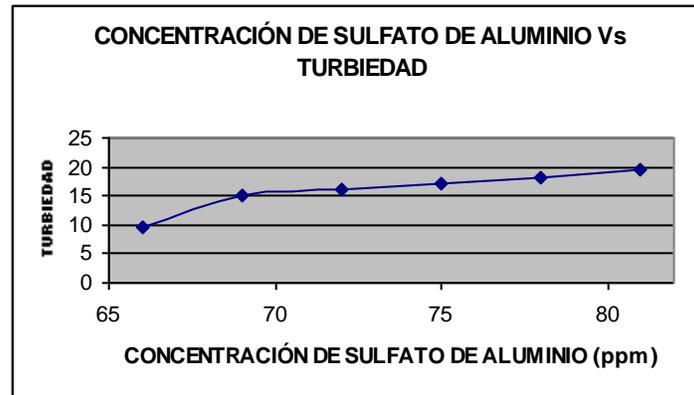
**Tabla 17. Prueba de jarras 10**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> al 2%	ML adicionados	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1
	Concentración mg/L	66	69	72	75	78	81
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Bueno	Regular	Regular	Regular	Regular
PH, unidades		7.30	7.24	7.32	7.36	7.39	7.39
Turbiedad, UNT		9.6	15.1	16.2	17.1	18.3	19.6
Temperatura, °C		22.4	22.0	21.9	22.6	22.6	22.4
DQO, mg / L		38000					
DBO, mg / L		12900					
Sólidos totales		10296					
Sólidos disueltos		9388					
Sólidos suspendidos		908					

La mejor jarra es la número 1, a la cual le corresponde una concentración de 66 ppm.

**Gráfica 23. Concentración de sulfato de aluminio Vs turbiedad, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°10):**

Concentración de Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	TURBIEDAD
66	9,6
69	15,1
72	16,2
75	17,1
78	18,3
81	19,6



En esta gráfica, a una concentración de 66 ppm, se obtuvo la mejor turbiedad (9.6), se puede apreciar un aumento de la turbiedad a medida que también aumenta la concentración.

Si se observan los resultados de las pruebas de DQO y DBO para esta prueba, se tienen que como en los casos anteriores los valores finales son mayores que los iniciales.

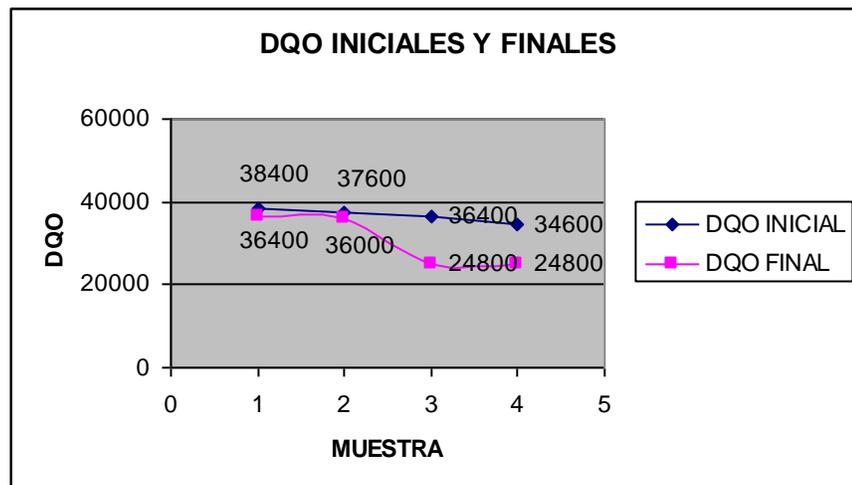
Al realizar las pruebas de jarras se tiene como objetivo determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio que debe ser adicionada a los residuos para su posterior coagulación – floculación. Es por esto que al analizar todas las pruebas que se hicieron se llegó a la conclusión que la mejor dosis es la de 66 ppm a un pH aproximado de 6.2 – 6.4 unidades, para disminuir la turbiedad, en el caso de los residuos que fueron neutralizados utilizando hidróxido de calcio solamente, ya que para estas muestras ( las 4 primeras), los resultados de las pruebas de DQO y DBO finales fueron menores que los iniciales, sin embargo no en todos los casos hubo una reducción del 20 %, el cual es el porcentaje exigido por el decreto 1594/84.

Para las otras muestras se pudo apreciar, que utilizando el método de aumento de pH y posterior disminución con ácido clorhídrico, no produjo buenos resultados,

debido a que los valores finales de las pruebas de DQO y DBO, fueron mayores que los iniciales, por consiguiente este método no se puede llevar a cabo para la eliminación de estos residuos.

A continuación se muestra la gráfica de DQO inicial y DQO final para las primeras muestras.

Nº DE MUESTRA	DQO INICIAL	DQO FINAL
1	38400	36400
2	37600	36000
3	36400	24800
4	34600	24800

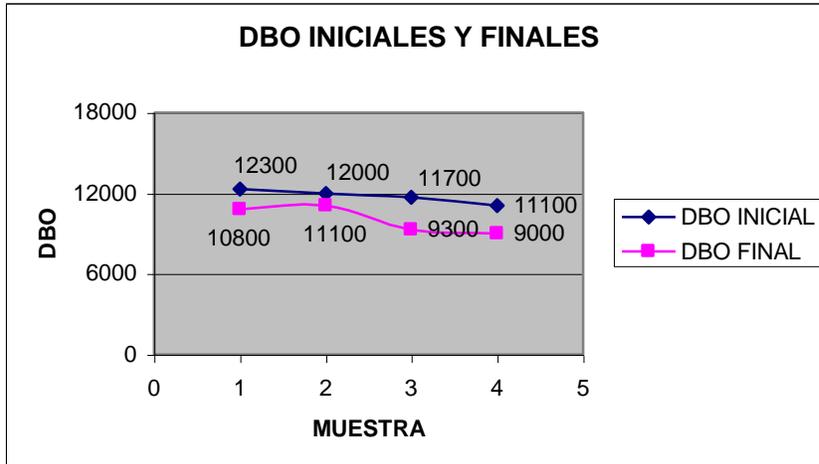


Gráfica 24. DQO iniciales y finales

A partir de la gráfica se verifica que las DQO finales fueron menores que las iniciales.

Posteriormente se muestra la gráfica de DBO inicial y DBO final para las primeras muestras.

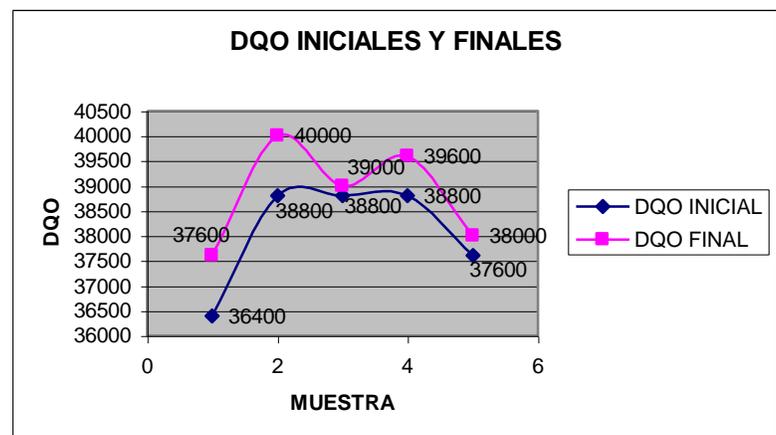
Nº DE MUESTRA	DBO INICIAL	DBO FINAL
1	12300	10800
2	12000	11100
3	11700	9300
4	11100	9000



Gráfica 25. DBO iniciales y finales

Para las pruebas de DQO inicial y DQO final de las otras muestras tenemos la siguiente gráfica:

Nº DE MUESTRA	DQO INICIAL	DQO FINAL
1	36400	37600
2	38800	40000
3	38800	39000
4	38800	39600
5	37600	38000

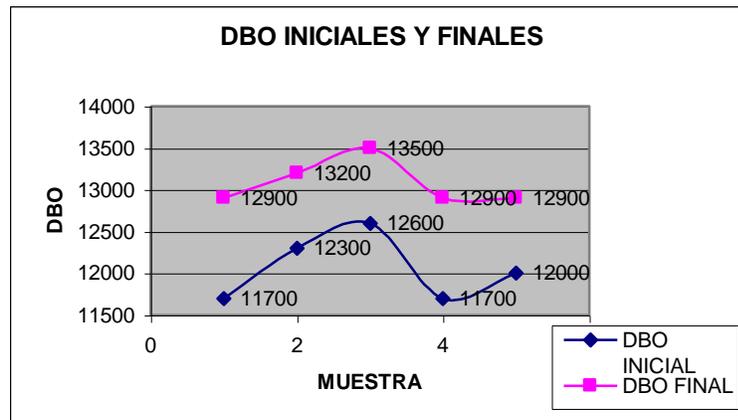


Gráfica 26. DQO iniciales y finales

En esta gráfica se nota que las DQO finales fueron mayores que las iniciales por lo que este procedimiento no puede ser llevado a cabo.

Para las pruebas de DBO iniciales y finales se tiene:

Nº de muestra	DBO inicial	DBO final
1	11700	12900
2	12300	13200
3	12600	13500
4	11700	12900
5	12000	12900



Gráfica 27. DBO iniciales y finales

Se realizaron pruebas utilizando la dosis óptima de sulfato de aluminio arrojada por los primeros análisis, a los residuos producidos por el laboratorio los cuales son generados al realizar los análisis fisicoquímicos anteriormente mencionados, arrojando los siguientes resultados:

### ✘ Prueba Nº 1

pH inicial de la muestra : 4.65

Temperatura: 21.4 °C

Turbiedad inicial: 500 UNT

Volumen de residuos: 12 L

Volumen de hidróxido de calcio agregado: 500 mL

pH final de la muestra: 6.8

Concentración de sulfato de aluminio: 66 ppm

Volumen de sulfato de aluminio al 2 % adicionado al residuo (12 L): 41.4 mL

Turbiedad final: 9.5 UNT

Posteriormente fueron realizadas las pruebas de DQO y DBO, y se obtuvieron los siguientes resultados:

● **DQO:**

Para realizar el cálculo de DQO, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{mg O}_2 / \text{L} = \frac{(A - B) * N * (8000)}{\text{Volumen de muestra} *}$$

Donde:

A= mL de la solución de sulfato ferroso amoniacal necesarios para titular el blanco.

B= mL de la solución de sulfato ferroso amoniacal gastados en la titulación de la muestra.

N= normalidad del sulfato ferroso amoniacal.

\* Para el volumen de muestra se realizó una dilución de la muestra inicial; para las DQO antes del tratamiento, se utilizó 1 mL de muestra y se llevó a 100 mL con agua destilada, de allí fueron tomados 10 mL para realizar la prueba y para las finales se tomaron 2 mL de muestra y se llevaron a 100 mL, también se tomaron 10 mL para la prueba.

Por lo tanto al determinar la DQO tenemos:

DQO del residuo inicial (antes del tratamiento): 38400

DQO del residuo final (después del tratamiento): 36000

● **DBO:**

Para realizar el cálculo de DBO, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{DBO}_5 = ( \text{mL blanco} - \text{mL titulados} ) * (300 \text{ mL} / \text{mL incubados} * )$$

Primero se halló el oxígeno disuelto para hallar los mL titulados:

$$\text{mg O} / \text{L} = \frac{( \text{mL Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 ) * 0.025 * 8000}{200 \text{ mL}}$$

Posteriormente se obtuvo:

DBO del residuo inicial : 12300

DBO del residuo final: 9600

\* Para ambas muestras se utilizaron 10 mL para ser incubados, utilizando 1 mL de muestra inicial en 100 mL de agua..

### ● **Sólidos totales, disueltos y suspendidos:**

Los sólidos totales, disueltos y suspendidos son calculados mediante las siguientes fórmulas:

#### ***Sólidos totales***

$$\text{mg / L} = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) * 10000$$

#### ***Sólidos disueltos***

$$\text{mg / L} = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) * 10000$$

#### ***Sólidos suspendidos***

$$\text{mg / L} = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) * 10000$$

Al determinar los sólidos iniciales tenemos:

Sólidos totales : 33980

Sólidos disueltos : 23936

Sólidos suspendidos: 10044

Al determinar los sólidos finales tenemos:

Sólidos totales : 10269

Sólidos disueltos : 9318

Sólidos suspendidos: 951

Al analizar los resultados tenemos que se cumple con la norma de vertimientos ya que los porcentajes de remoción son aceptados:

% de remoción DBO: 21.9

Sólidos suspendidos: 90.5

pH entre 6 y 9

Temperatura  $\leq$  40° C

### **✘ Prueba N° 2**

pH inicial de la muestra : 4.01

Temperatura: 22.0 °C

Turbiedad inicial: 512 UNT

Volumen de residuos:12 L

Volumen de hidróxido de calcio agregado: 520 mL

pH final de la muestra: 6.6

Concentración de sulfato de aluminio: 66 ppm

Volumen de sulfato de aluminio al 2 % adicionado al residuo (12 L): 41.4 mL

Turbiedad final: 18.7 UNT

Posteriormente fueron realizadas las pruebas de DQO y DBO, y se obtuvieron los siguientes resultados:

#### **● DQO:**

Al determinar la DQO tenemos:

DQO del residuo inicial (antes del tratamiento): 36400

DQO del residuo final (después del tratamiento): 34400

#### **● DBO:**

Al determinar la DBO tenemos:

DBO del residuo inicial : 11700

DBO del residuo final: 9000

#### **● Sólidos totales, disueltos y suspendidos:**

Al determinar los sólidos iniciales tenemos:

Sólidos totales : 33969

Sólidos disueltos : 23941

Sólidos suspendidos: 10028

Al determinar los sólidos finales tenemos:

Sólidos totales : 10278

Sólidos disueltos : 9315

Sólidos suspendidos: 963

Al analizar los resultados tenemos que se cumple con la norma de vertimientos ya que los porcentajes de remoción son aceptados:

% de remoción DBO: 23.0

Sólidos suspendidos: 90.3

pH entre 6 y 9

Temperatura  $\leq 40^{\circ}$  C

### **✘ Prueba N° 3**

pH inicial de la muestra : 4.03

Temperatura: 20.4 °C

Turbiedad inicial: 502 UNT

Volumen de residuos:12 L

Volumen de hidróxido de calcio agregado: 500 mL

pH final de la muestra: 6.2

Concentración de sulfato de aluminio: 66 ppm

Volumen de sulfato de aluminio al 2 % adicionado al residuo (12 L): 41.4 mL

Turbiedad final: 16.1 UNT

Posteriormente fueron realizadas las pruebas de DQO y DBO, y se obtuvieron los siguientes resultados:

### **● DQO:**

Al determinar la DQO tenemos:

DQO del residuo inicial (antes del tratamiento): 37600

DQO del residuo final (después del tratamiento): 34400

● **DBO:**

Al determinar la DBO tenemos:

DBO del residuo inicial : 12000

DBO del residuo final: 9000

● **Sólidos totales, disueltos y suspendidos:**

Al determinar los sólidos iniciales tenemos:

Sólidos totales : 33996

Sólidos disueltos : 23984

Sólidos suspendidos: 10012

Al determinar los sólidos finales tenemos:

Sólidos totales : 10284

Sólidos disueltos : 9356

Sólidos suspendidos: 928

Al analizar los resultados tenemos que se cumple con la norma de vertimientos ya que los porcentajes de remoción son aceptados:

% de remoción DBO: 25

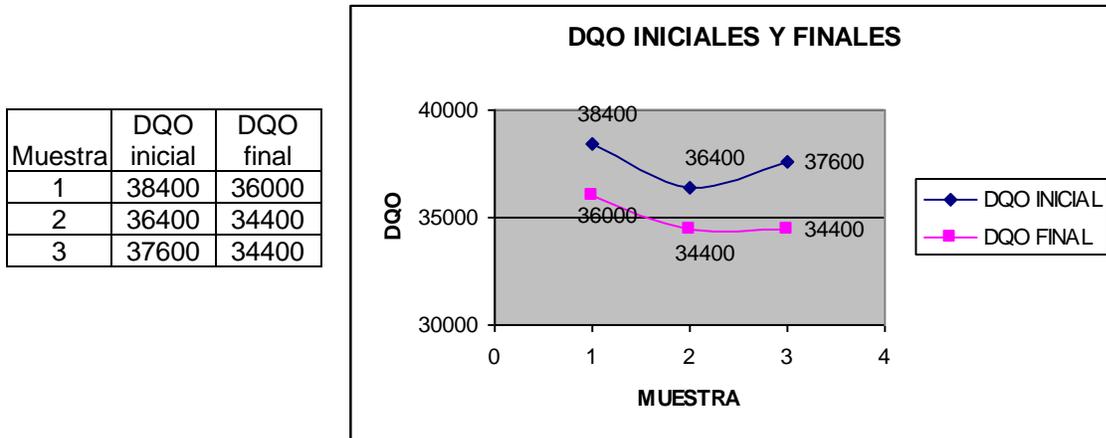
Sólidos suspendidos: 90.7

pH entre 6 y 9

Temperatura  $\leq 40^{\circ}$  C

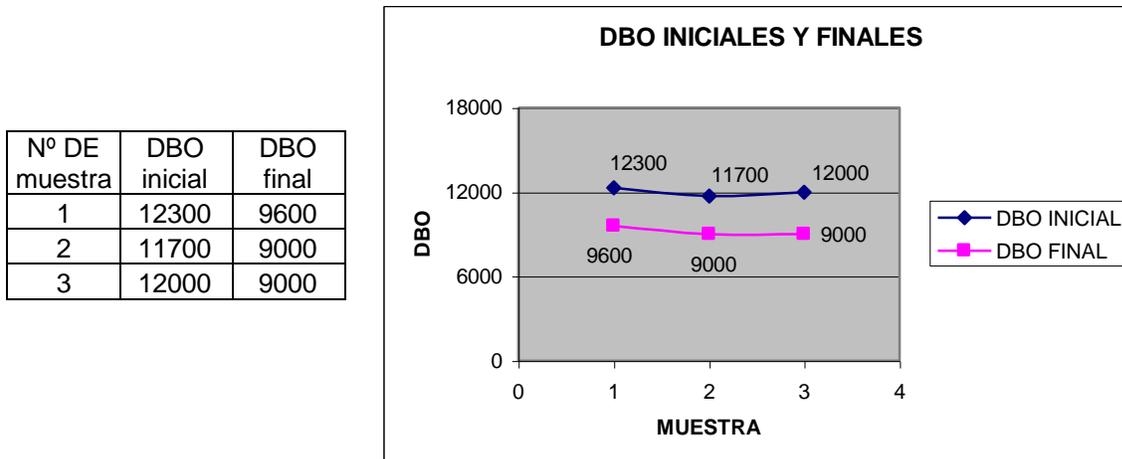
Como podemos observar al analizar estos datos a una concentración de 66 ppm y un pH aproximado de 6.2 se obtienen buenos resultados, todos en el rango exigido por el decreto.

■ *Gráfica de DQO iniciales y finales para las pruebas anteriores*



Grafica 28. DQO iniciales y finales

■ *Gráfica de DBO iniciales y finales para las pruebas anteriores*



Grafica 29. DBO iniciales y finales

Al analizar las gráficas comprobamos que con este método los valores tanto de DQO como de DBO disminuyen después del tratamiento aunque en poca proporción.

Debido a que al realizar este procedimiento se aprecia que las DQO y DBO finales son bastante altas se procedió a realizar un procedimiento similar, pero en este caso los residuos producidos por los análisis volumétricos y los producidos por los colorimétricos fueron trabajados por separado, esto contribuyó a que las pruebas anteriormente citadas fueran menores.

Al realizar en el laboratorio los análisis volumétricos tales como acidez, alcalinidad, cloruros, dureza y calcio, tenemos que diariamente se recoge un volumen de 4000 mL de estos residuos, a los cuales se les realizó el mismo procedimiento anterior; pero debido a que éstos presentan un pH mayor a 10, para este caso, se procede primero a realizar una neutralización, utilizando ácido sulfúrico debido que en las pruebas anteriores el ácido clorhídrico aumentó la DQO y la DBO.

### GRÁFICAS DE VOLUMEN DE ÁCIDO SULFÚRICO Vs pH PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE LOS RESIDUOS VOLUMÉTRICOS

✚ N° de muestra: 1

pH inicial : 10.4

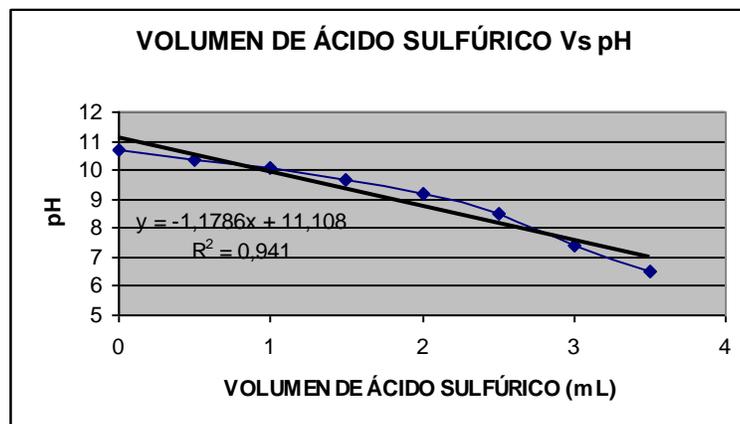
Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.5 mL

pH final: 6.49

Grafica 30. Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,4
0,5	10,33
1	10,1
1,5	9,68
2	9,18
2,5	8,49
3	7,39
3,5	6,49



Se realiza nuevamente una prueba t para comprobar si hay o no correlación significativa entre las variables.

$$t = \frac{|0,941| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,941)^2}} = 6.81$$

$t_{\text{exp}} 6.81 > t_{\text{tab}} 2.45$ , lo que significa que existe una correlación significativa entre el pH y el volumen de ácido sulfúrico.

✚ N° de muestra: 2

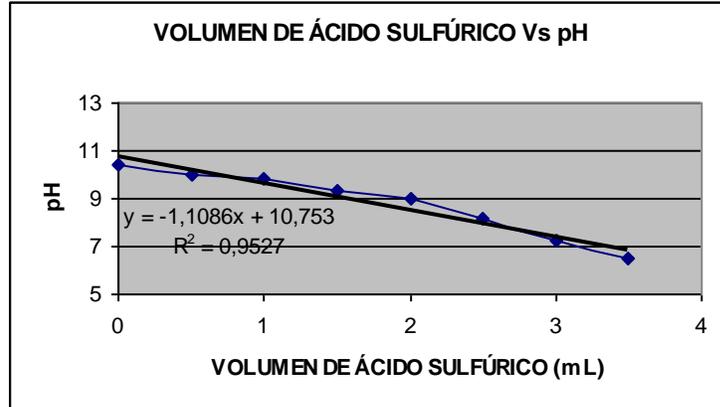
pH inicial : 10.41

Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.5 mL

pH final: 6.53

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,41
0,5	10,03
1	9,81
1,5	9,36
2	9
2,5	8,13
3	7,23
3,5	6,53



Grafica 31. volumen de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$t = \frac{|0,9527| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9527)^2}} = 7.67$$

$t_{\text{exp}} 7.67 > t_{\text{tab}} 2.45$ , existe correlación entre las variables.

✚ N° de muestra: 3

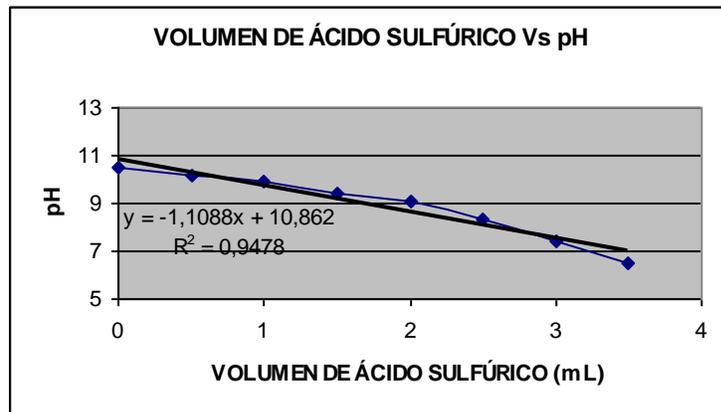
pH inicial : 10.51

Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.5

pH final: 6.52

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,51
0,5	10,14
1	9,91
1,5	9,45
2	9,06
2,5	8,36
3	7,42
3,5	6,52



Grafica 32. Volumen de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$t = \frac{|0,9478| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9478)^2}} = 7.28$$

$t_{\text{exp}} 7.28 > t_{\text{tab}} 2.45$ , existe correlación entre el pH y el volumen de ácido sulfúrico.

✚ N° de muestra: 4

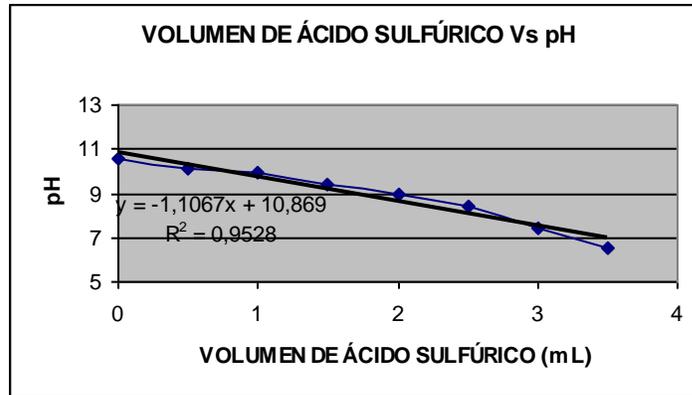
pH inicial : 10.55

Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.5

pH final: 6.54

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,55
0,5	10,16
1	9,93
1,5	9,39
2	9
2,5	8,44
3	7,45
3,5	6,54

Gráfica 33. Volumen de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$t = \frac{|0,9528| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9528)^2}} = 7.68$$

$t_{\text{exp}} 7.68 > t_{\text{tab}} 2.45$ , existe correlación entre el pH y el volumen de ácido sulfúrico.

✚ N° de muestra: 5

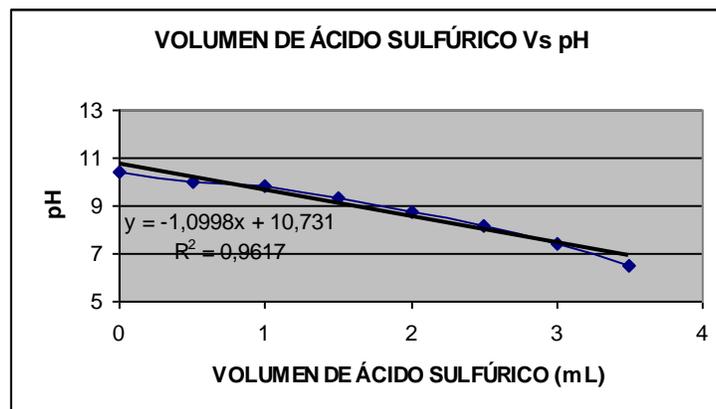
pH inicial : 10.41

Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.5

pH final: 6.46

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,41
0,5	10,04
1	9,8
1,5	9,36
2	8,79
2,5	8,16
3	7,43
3,5	6,46

Gráfica 34. volumen de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$t = \frac{|0,9617| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9617)^2}} = 8.59$$

$t_{\text{exp}} 8.59 > t_{\text{tab}} 2.45$ , existe una correlación significativa entre el pH y el volumen de ácido sulfúrico.

✚ N° de muestra: 6

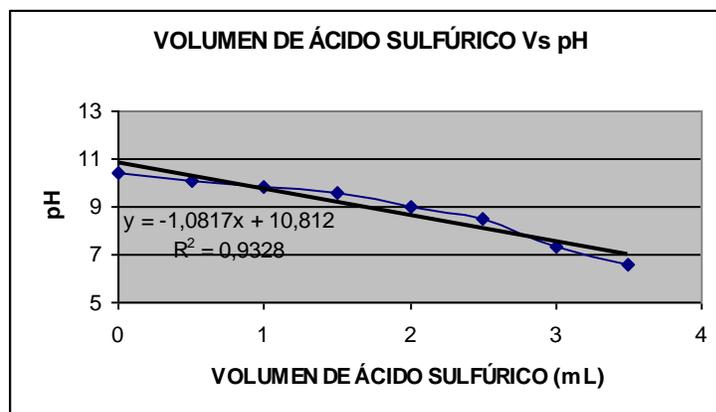
pH inicial : 10.45

Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.5

pH final: 6.56

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,45
0,5	10,06
1	9,83
1,5	9,61
2	9,02
2,5	8,46
3	7,36
3,5	6,56



Grafica 35. Volumen de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$t = \frac{|0,9328| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9328)^2}} = 6.33$$

$t_{\text{exp}} 6.33 > t_{\text{tab}} 2.45$ , existe una correlación significativa entre el pH y el volumen de ácido sulfúrico.

✚ N° de muestra: 7

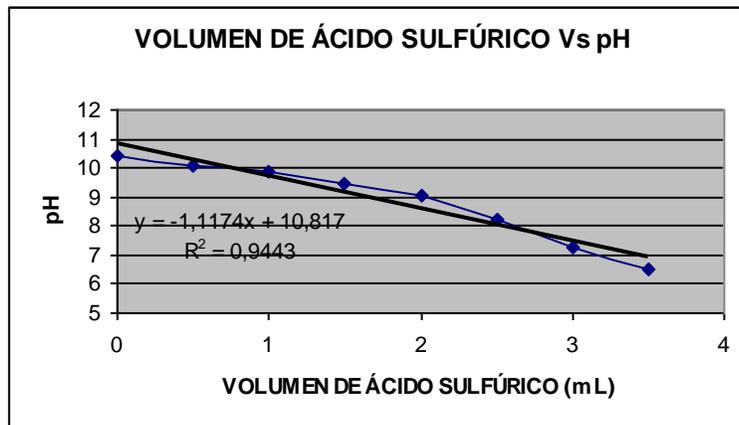
pH inicial : 10.46

Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.5

pH final: 6.52

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,45
0,5	10,07
1	9,84
1,5	9,49
2	9,05
2,5	8,23
3	7,24
3,5	6,52



Grafica 33. Volumen de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$t = \frac{|0,9443| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9443)^2}} = 7.02$$

$t_{\text{exp}} 7.02 > t_{\text{tab}} 2.45$ , por lo tanto existe una correlación entre las variables.

✚ N° de muestra: 8

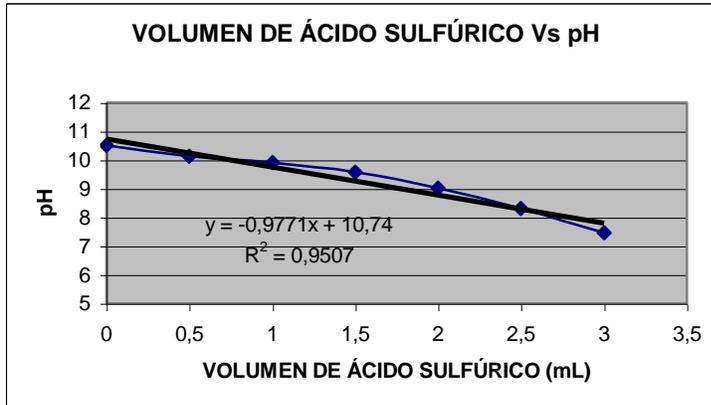
pH inicial : 10.52

Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.0

pH final: 7.46

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,52
0,5	10,13
1	9,9
1,5	9,57
2	9,02
2,5	8,32
3	7,46



Grafica 37. Volumen de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$t = \frac{|0,9507| * \sqrt{7-2}}{\sqrt{1-(0,9507)^2}} = 6.85$$

$t_{\text{exp}} 6.85 > t_{\text{tab}} 2.57$ , por lo tanto existe una correlación significativa entre las variables.

✚ N° de muestra: 9

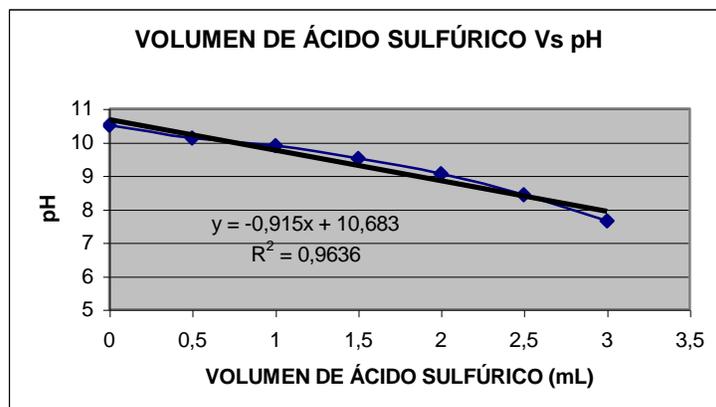
pH inicial : 10.51

Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.0 mL

pH final: 7.65

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,51
0,5	10,12
1	9,9
1,5	9,51
2	9,05
2,5	8,43
3	7,65



Grafica 38. Volumen de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$t = \frac{|0,9636| * \sqrt{7-2}}{\sqrt{1-(0,9636)^2}} = 8.05$$

$t_{\text{exp}} 8.05 > t_{\text{tab}} 2.57$ , por lo tanto existe una correlación significativa entre el pH y el volumen de ácido sulfúrico.

✚ N° de muestra: 10

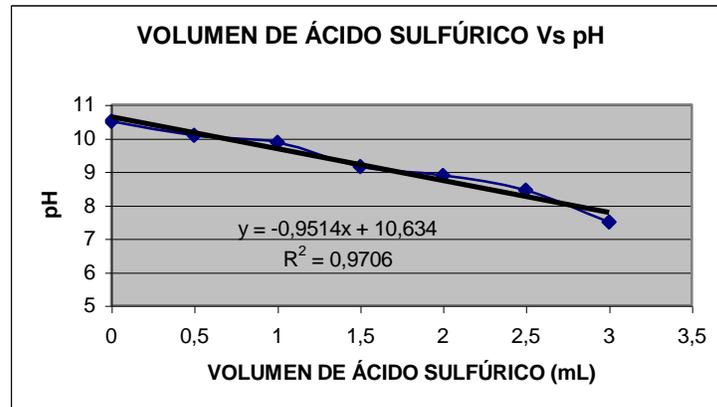
pH inicial : 10.51

Volumen de residuos: 4000 mL

Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado agregado : 3.0 mL

pH final: 7.5

VOLUMEN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
0	10,51
0,5	10,09
1	9,87
1,5	9,16
2	8,88
2,5	8,44
3	7,5



Grafica 39. Volumen de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$t = \frac{|0,9706| * \sqrt{7-2}}{\sqrt{1-(0,9706)^2}} = 9.01$$

$t_{\text{exp}} 9.01 > t_{\text{tab}} 2.57$ , por lo tanto existe una correlación significativa entre el pH y el volumen de ácido sulfúrico.

#### 5.4.2. PRUEBA DE JARRAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO PARA LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR LOS ANÁLISIS VOLUMÉTRICOS

*ANÁLISIS INICIAL DE LA MUESTRA:*

*Prueba de jarras N° 1*

Muestra N° :1

pH inicial: 10.4

pH neutralizado: 6.49

Temperatura : 22.4 °C

Turbiedad UNT: 2.0

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 5300

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 1725

Sólidos Totales: 10890 mg / L  
 Sólidos disueltos: 2095 mg / L  
 Sólidos suspendidos: 8795 mg / L  
 Ácido sulfúrico adicionado : 5.2 mL

**Tabla 18. Prueba de jarras volumétricos 1**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	ML adicionados	0.5*	0.75*	1*	1.25*	1.5*	1.75*
	Concentración mg/L	10	15	20	25	30	35
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	No formó	No formó	No formó	No formó
pH, unidades		6.48	6.45	6.49	6.48	6.48	6.46
Temperatura, °C		21.0	20.8	21.1	21.1	21.3	21.1

Para esta primera prueba se trabajaron concentraciones entre 10 y 35 ppm pero no hubo formación de floc en ninguna de las jarras.

\*El volumen de residuos utilizado para ésta y las demás pruebas fue de 1 L en cada jarra.

### *Prueba de jarras N° 2*

 Muestra N° :2

pH inicial: 10.41

pH neutralizado: 6.53

Temperatura : 20.4 °C

Turbiedad UNT: 1.9

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 4700

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 1275

Sólidos Totales: 10899 mg / L

Sólidos disueltos: 2095 mg / L

Sólidos suspendidos: 8804 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 5.2 mL

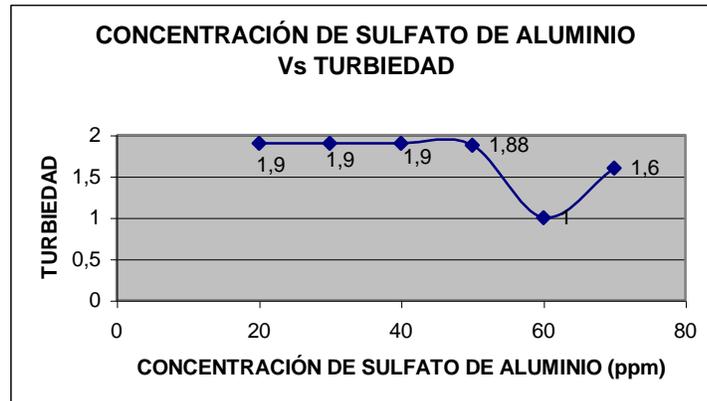
**Tabla 19. Prueba de jarras volumétricos 2**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> al 2%	mL adicionados	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
	Concentración mg/L	20	30	40	50	60	70
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	No formó	No formó	Regular	Regular
pH, unidades		6.51	6.53	6.53	6.52	6.43	6.48
Turbiedad, UNT		1.9	1.9	1.9	1.89	1.0	1.6
Temperatura, °C		22.4	22.2	22.4	22.0	22.1	22.1
DQO, mg / L						3120	
DBO, mg / L						960	
Sólidos totales						1430	
Sólidos disueltos						1314	
Sólidos suspendidos						116	

Al observar los análisis fisicoquímicos producidos por la prueba de jarras, se puede apreciar que la mejor jarra fue la Número 5, ya que fue la que presentó los mejores datos. A esta concentración 60 ppm la turbiedad fue la menor, además los valores arrojados por la DQO y la DBO fueron aceptables

**Gráfica 40. Concentración de sulfato de aluminio Vs. Turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°2):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
20	1,9
30	1,9
40	1,9
50	1,88
60	1
70	1,6



En esta gráfica se puede observar que las mejores turbiedades se presentan a una concentración de 60 y 70 ppm aunque a 60 ppm la turbiedad es la mejor (1.0). Para las otra concentraciones las turbiedades casi no varían con respecto a la inicial.

Con respecto a las pruebas de DQO y DBO, vemos que disminuyen los valores después de realizar el tratamiento, por lo que si se está cumpliendo el decreto ya que los porcentajes de remoción están en el rango.

% de remoción DQO: 33.6

% de remoción DBO: 24.7

% de remoción sólidos suspendidos: 98.6

*Prueba de jarras N° 3*

 Muestra N° :3

pH inicial: 10.51

pH neutralizado: 6.52

Temperatura : 20.4 °C

Turbiedad UNT: 2.01

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 4100

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 1275

Sólidos Totales: 10909 mg / L

Sólidos disueltos: 2098 mg / L

Sólidos suspendidos: 8811 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 5.2 mL

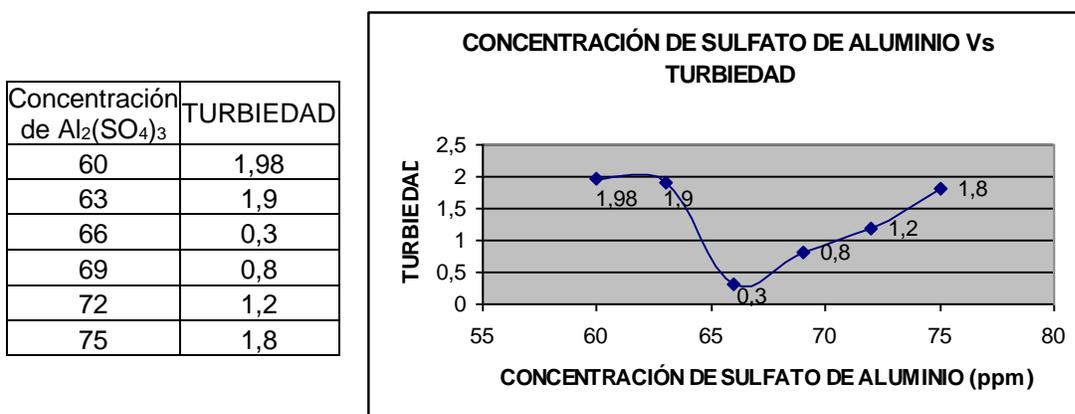
**Tabla 20. Prueba de jarras volumétricos 3**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> al 2%	mL adicionados	3.0	3.15	3.3	3.45	3.6	3.75
	Concentración mg/L	60	63	66	69	72	75
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	excelente	Bueno	Regular	No formó
pH, unidades		6.51	6.53	6.45	6.48	6.50	6.53
Turbiedad, UNT		1.98	1.9	0.3	0.8	1.2	1.8
Temperatura, °C		21.4	21.2	20.9	21.0	21.4	21.4
DQO, mg / L				2960			
DBO, mg / L				960			
Sólidos totales				1460			
Sólidos disueltos				1311			
Sólidos suspendidos				105			

La mejor jarra en este caso fue la número 3, presento una turbiedad muy baja, el sobrenadante quedó con un color amarillo tenue, además los resultados de la DQO y DBO fueron mejores que los anteriores.

Para este caso también se cumple con la norma de vertimientos, ya que la DBO y DQO fueron reducidas en un 24.7 y 27.8 % respectivamente y los sólidos suspendidos fueron reducidos en un 98 %.

**Gráfica 41. Concentración de sulfato de aluminio Vs. Turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°3):**



Se puede comprobar que a una concentración de 66 ppm la turbiedad fue la mas baja (0.3), para las otra concentraciones las turbiedades fueron mayores.

Por consiguiente se seguirán realizando pruebas de jarras para comprobar que a esta concentración se presentan los mejores resultados.

#### Prueba de jarras N° 4

 Muestra N° :4

pH inicial: 10.55

pH neutralizado: 6.54

Temperatura : 20.5 °C

Turbiedad UNT: 2.01

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $O_2$ / L: 4000

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 1350

Sólidos Totales: 10903 mg / L

Sólidos disueltos: 2096 mg / L

Sólidos suspendidos: 8807 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 5.2 mL

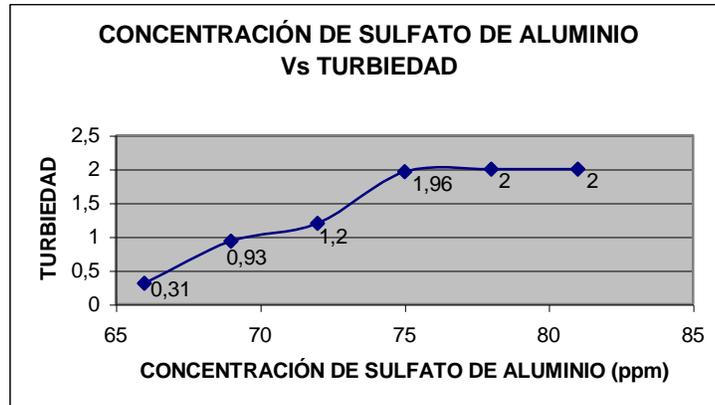
**Tabla 22. Prueba de jarras volumétricos 4**

Variables operacionales y parámetros físicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> al 2%	mL adicionados	3.3	3.45	3.6	3.75	3.9	4.05
	Concentración mg/L	66	69	72	75	78	81
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		excelente	Bueno	Regular	No formó	No formó	No formó
pH, unidades		6.51	6.52	6.52	6.54	6.55	6.52
Turbiedad, UNT		0.31	0.93	1.2	1.96	2.0	2.0
Temperatura, °C		20.4	21.0	20.9	21.0	21.2	21.2
DQO, mg / L		2720					
DBO, mg / L		1020					
Sólidos totales		1440					
Sólidos disueltos		1309					
Sólidos suspendidos		131					

La mejor jarra fue la número, nuevamente a una concentración de 66 ppm, la DQO y la DBO también fueron buenas se presentó una disminución del 32 y 24.4 % respectivamente; por lo que también se encuentra dentro de la norma.

**Gráfica 42. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°4):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
66	0,31
69	0,93
72	1,2
75	1,96
78	2
81	2



En este caso igualmente que en el anterior la menor turbiedad se presentó a una concentración de 66 ppm, a concentraciones mas altas las turbiedades aumentaron.

#### *Prueba de jarras N° 5*

➡ Muestra N° :5

pH inicial: 10.41

pH neutralizado: 6.46

Temperatura : 21.4 °C

Turbiedad UNT: 2.04

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $O_2$ / L: 5000

DBO, mg  $O_2$ / L: 1275

Sólidos Totales: 10896 mg / L

Sólidos disueltos: 2098 mg / L

Sólidos suspendidos: 8798 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 5.2 mL

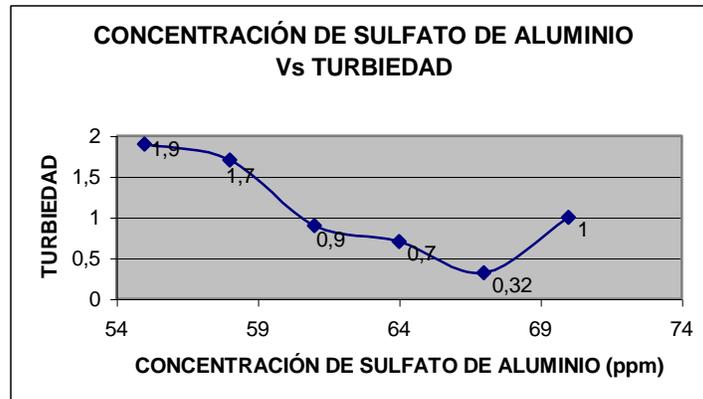
**Tabla 23. Prueba de jarras volumétricos 5**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	2.75	2.9	3.05	3.2	3.35	3.5
	Concentración mg/L	55	58	61	64	67	70
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	regular	bueno	bueno	excelente	regular
pH, unidades		6.44	6.43	6.44	6.41	6.40	6.44
Turbiedad, UNT		1.9	1.7	0.9	0.7	0.3	1.0
Temperatura, °C		21.4	21.9	22.0	21.9	22.1	21.8
DQO, mg / L						3520	
DBO, mg / L						900	
Sólidos totales						1450	
Sólidos disueltos						1310	
Sólidos suspendidos						140	

La mejor jarra fue la número 5, puesto que proporcionó buenos resultados en cuanto a la disminución de turbiedad y demás parámetros. Todos los valores están dentro del rango permitido.

**Gráfica 43. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°5):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
55	1,9
58	1,7
61	0,9
64	0,7
67	0,32
70	1



Si analizamos esta gráfica y las anteriores podemos decir que la concentración mas adecuada de sulfato de aluminio hasta ahora es de 66 ppm porque, para este caso se utilizó una de 67 ppm y produjo un valor de turbiedad un poco mas alto y a 64 ppm también fue mayor.

#### *Prueba de jarras Nº 6*

📌 Muestra Nº :6

pH inicial: 10.45

pH neutralizado: 6.56

Temperatura : 20. °C

Turbiedad UNT: 2.01

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 4500

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 1200

Sólidos Totales: 10910 mg / L

Sólidos disueltos: 2094 mg / L

Sólidos suspendidos: 8816 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 5.2 mL

**Tabla 24. Prueba de jarras volumétricos 6**

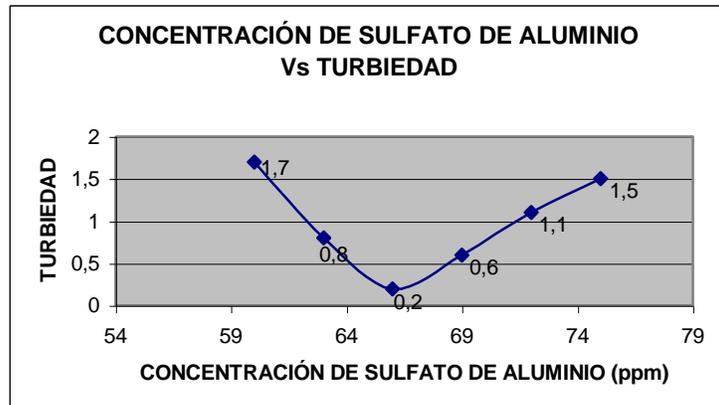
Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.0	3.15	3.3	3.45	3.6	3.75
	Concentración mg/L	60	63	66	69	72	75
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Bueno	excelente	Bueno	Regular	Regular
pH, unidades		6.50	6.49	6.54	6.54	6.49	6.52
Turbiedad, UNT		1.7	0.8	0.2	0.7	1.1	1.5
Temperatura, °C		20.1	19.9	20.0	19.9	20.1	20.8
DQO, mg / L				3200			
DBO, mg / L				900			
Sólidos totales				1440			
Sólidos disueltos				1308			
Sólidos suspendidos				132			

La mejor jarra fue la número 3, presentó una turbiedad más baja que las anteriores, pero a la misma concentración 66 ppm.

Los resultado de las pruebas de DQO y DBO están dentro del rango establecido.

**Gráfica 44. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°6):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
60	1,7
63	0,8
66	0,2
69	0,6
72	1,1
75	1,5



Podemos ver a partir de la gráfica, que a la misma concentración (66ppm), la turbiedad ha sido la mejor.

#### *Prueba de jarras N° 7*

🌊 Muestra N° :7

pH inicial: 10.46

pH neutralizado: 6.52

Temperatura : 20.4 °C

Turbiedad UNT: 1.98

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 5000

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 1350

Sólidos Totales: 10916 mg / L

Sólidos disueltos: 2095 mg / L

Sólidos suspendidos: 8821 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 5.2 mL

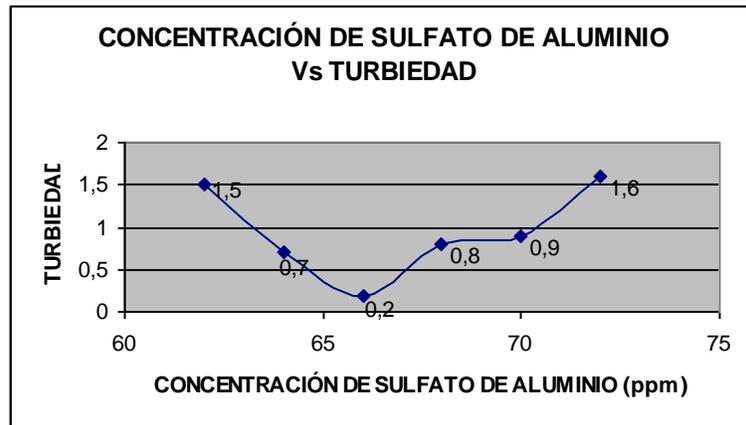
**Tabla 25. Prueba de jarras volumétricos 7**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
	Concentración mg/L	62	64	66	68	70	72
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Bueno	excelente	Bueno	Regular	Regular
pH, unidades		6.45	6.44	6.44	6.46	6.43	6.44
Turbiedad, UNT		1.5	0.7	0.2	0.8	0.9	1.6
Temperatura, °C		20.5	20.3	20.6	19.9	20.4	20.4
DQO, mg / L				3600			
DBO, mg / L				1020			
Sólidos totales				1430			
Sólidos disueltos				1315			
Sólidos suspendidos				115			

La jarra 3 fue la que mejores resultados proporcionó, la turbiedad es muy buena y el sobrenadante a disminuido satisfactoriamente el color de rojo oscuro a amarillo claro, utilizando la misma concentración 66 ppm.

**Gráfica 45. Concentración de sulfato de aluminio Vs. Turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°7):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
62	1,5
64	0,7
66	0,2
68	0,8
70	0,9
72	1,6



Podemos decir al observar la gráfica, que con una concentración de 66 ppm se obtienen muy buenos resultados; todas las pruebas que se han realizado a esta misma concentración han producido valores dentro del rango permitido.

La DQO, la DBO y los sólidos se han reducido en el porcentaje establecido por la norma.

### *Prueba de jarras N° 8*

 Muestra N° :8

pH inicial: 10.52

pH neutralizado: 7.46

Temperatura : 20.4 °C

Turbiedad UNT: 2.08

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 5200

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 1500

Sólidos Totales: 10902 mg / L

Sólidos disueltos: 2099 mg / L

Sólidos suspendidos: 8803 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 4.5 mL

**Tabla 26. Prueba de jarras volumétricos 8**

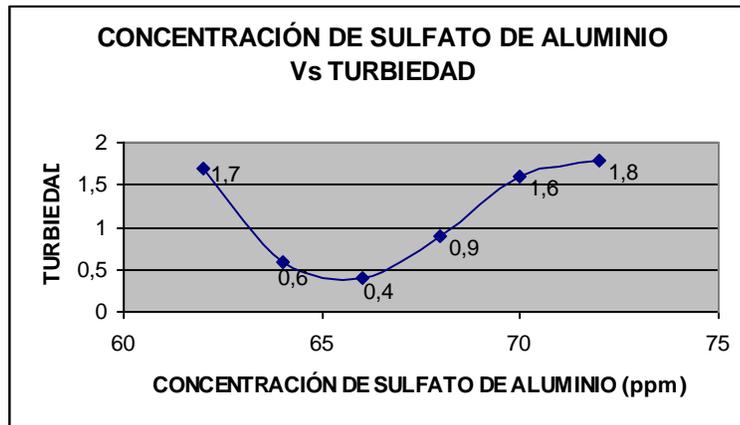
Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> al 2%	mL adicionados	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
	Concentración mg/L	62	64	66	68	70	72
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Bueno	excelente	Bueno	Regular	Regular
pH, unidades		7.42	7.41	7.38	7.40	7.42	7.44
Turbiedad, UNT		1.7	0.6	0.4	0.9	1.6	1.8
Temperatura, °C		22.5	22.3	22.6	22.4	22.4	22.4
DQO, mg / L				3760			
DBO, mg / L				1140			
Sólidos totales				1480			
Sólidos disueltos				1309			
Sólidos suspendidos				171			

Como podemos observar la mejor jarra fue la 3; se obtuvo a la misma concentración una turbiedad de 0.4, esto nos hace pensar que a un pH inferior la coagulación es mejor.

La DQO y la DBO presenta un porcentaje de remoción del 27.6 y 24.0 % respectivamente, por lo que están dentro de lo permisible.

**Gráfica 46. Concentración de sulfato de aluminio Vs. Turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°8):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
62	1,7
64	0,6
66	0,4
68	0,9
70	1,6
72	1,8



En esta gráfica a una concentración de 66 ppm la turbiedad fue de 0.4, pero para esta prueba el pH al que fueron neutralizados los residuos fue superior a 7, lo que nos lleva a pensar que éste no es óptimo para la coagulación.

#### *Prueba de jarras N° 9*

 Muestra N° :9

pH inicial: 10.51

pH neutralizado: 7.65

Temperatura : 21.4 °C

Turbiedad UNT: 1.98

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 4000

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 1275

Sólidos Totales: 10898 mg / L

Sólidos disueltos: 2098 mg / L

Sólidos suspendidos: 8800 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 4.5 mL

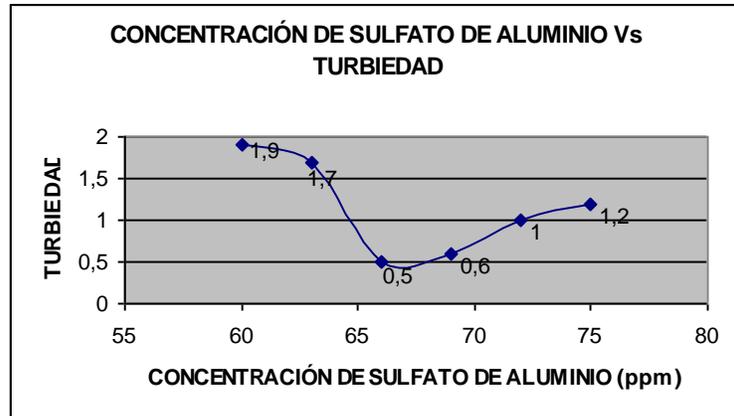
**Tabla 27. prueba de jarras volumétricos 9**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.0	3.15	3.3	3.45	3.6	3.75
	Concentración mg/L	60	63	66	69	72	75
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	Bueno	Bueno	Regular	Regular
pH, unidades		7.48	7.50	7.52	7.49	7.49	7.50
Turbiedad, UNT		1.9	1.7	0.6	0.5	1.0	1.2
Temperatura, °C		21.5	21.3	21.6	21.4	21.4	21.5
DQO, mg / L					2800		
DBO, mg / L					960		
Sólidos totales					1500		
Sólidos disueltos					1309		
Sólidos suspendidos					191		

Como en la prueba anterior el pH no esta favoreciendo la coagulación, ya que para este caso también se trabajó con un pH mayor, y por lo tanto la turbiedad aumentó.

**Gráfica 47. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°9):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
60	1,9
63	1,7
66	0,5
69	0,6
72	1
75	1,2



Como se enunció anteriormente, si miramos la gráfica, a una concentración de 66 ppm la turbiedad es de 0.5, mas alta que las pruebas donde fue utilizado un pH menor.

Prueba de jarras N° 10

Muestra N° :10

pH inicial: 10.51

pH neutralizado: 7.5

Temperatura : 22.4 °C

Turbiedad UNT: 2.0

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 4900

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 1200

Sólidos Totales: 10914 mg / L

Sólidos disueltos: 2099 mg / L

Sólidos suspendidos: 8815 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 4.5 mL

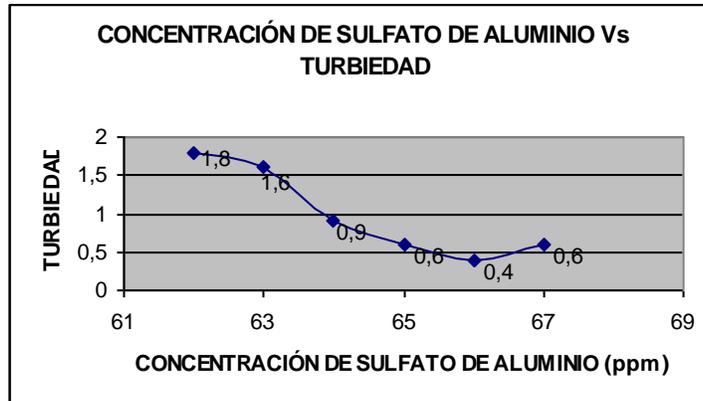
**Tabla 28. Prueba de jarras volumétricos 10**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.0	3.15	3.3	3.45	3.6	3.75
	Concentración mg/L	60	63	66	69	72	75
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	Bueno	Bueno	Regular	Regular
pH, unidades		7.48	7.50	7.52	7.49	7.49	7.50
Turbiedad, UNT		1.9	1.7	0.6	0.5	1.0	1.2
Temperatura, °C		21.5	21.3	21.6	21.4	21.4	21.5
DQO, mg / L					3280		
DBO, mg / L					900		
Sólidos totales					1460		
Sólidos disueltos					1311		
Sólidos suspendidos					149		

Como en la prueba anterior el pH no esta favoreciendo la coagulación, ya que para este caso también se trabajó con un pH mayor, y por lo tanto la turbiedad aumentó.

**Gráfica 48. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°10):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
62	1,8
63	1,6
64	0,9
65	0,6
66	0,4
67	0,6



Podríamos afirmar que a un pH mayor a 7 la coagulación no es tan eficaz, ya que como se puede ver a la concentración trabajada (66ppm), la turbiedad aumentó, con respecto a las primera pruebas.

#### *Prueba de jarras N° 11*

Muestra N° :11

pH inicial: 10.41

pH neutralizado: 6.28

Temperatura : 21.4 °C

Turbiedad UNT: 2.02

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 5000

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 1275

Sólidos Totales: 10912 mg / L

Sólidos disueltos: 2100 mg / L

Sólidos suspendidos: 8812 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 5.2 mL

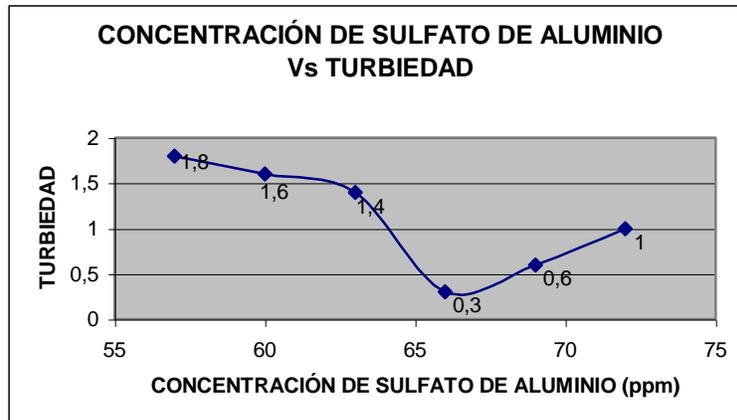
**Tabla 29. Prueba de jarras volumétricos 11**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	2.85	3.0	3.15	3.3	3.45	3.6
	Concentración mg/L	57	60	63	66	69	72
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	Regular	excelente	Bueno	Regular
pH, unidades		6.19	6.18	6.18	6.21	6.21	6.25
Turbiedad, UNT		1.8	1.6	1.4	0.3	0.6	1.0
Temperatura, °C		20.5	19.8	20.4	20.4	20.2	19.9
DQO, mg / L					3440		
DBO, mg / L					900		
Sólidos totales					1490		
Sólidos disueltos					1315		
Sólidos suspendidos					175		

Al analizar los datos tenemos que la mejor jarra fue la 4, a una concentración de 66 ppm.

**Gráfica 49. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°11):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
57	1,8
60	1,6
63	1,4
66	0,3
69	0,6
72	1



Se puede apreciar que a la concentración de 66 ppm la turbiedad es la menor.

### *Prueba de jarras N° 12*

🌊 Muestra N° :12

pH inicial: 10.48

pH neutralizado: 6.51

Temperatura : 22.4 °C

Turbiedad UNT: 2.01

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 3200

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 1200

Sólidos Totales: 10896 mg / L

Sólidos disueltos: 2100 mg / L

Sólidos suspendidos: 8796 mg / L

Ácido sulfúrico adicionado : 5.2 mL

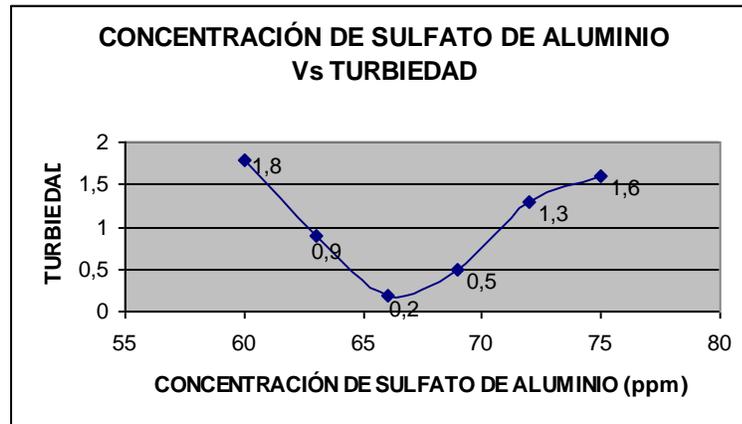
**Tabla 30. prueba de jarras volumétricos 12**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.0	3.15	3.3	3.45	3.6	3.75
	Concentración mg/L	60	63	66	69	72	75
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Bueno	excelente	Bueno	Regular	Regular
pH, unidades		6.48	6.49	6.39	6.49	6.5	6.5
Turbiedad, UNT		1.8	0.9	0.2	0.5	1.3	1.6
Temperatura, °C		21.5	21.8	22.0	22.1	21.8	21.9
DQO, mg / L				2240			
DBO, mg / L				900			
Sólidos totales				1490			
Sólidos disueltos				1314			
Sólidos suspendidos				176			

Si analizamos los datos podemos corroborar que a una concentración de 66 ppm y un pH aproximado de 6.5, se obtienen muy buenos resultados, tanto en la disminución de la turbiedad como en los otros análisis fisicoquímicos.

**Gráfica 50. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis volumétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°12):**

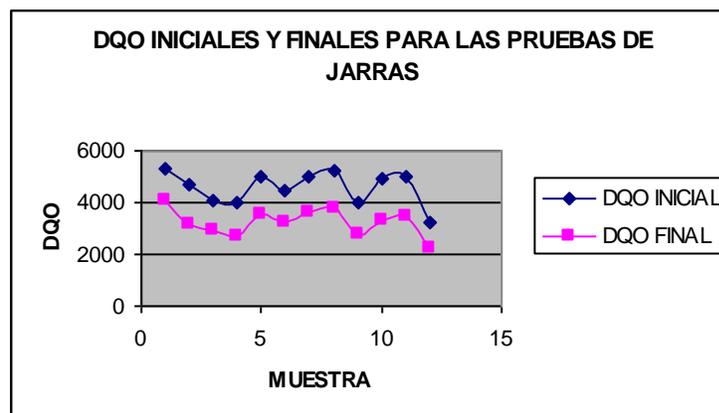
Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
60	1,8
63	0,9
66	0,2
69	0,5
72	1,3
75	1,6



Como se puede apreciar, al realizar las pruebas de jarras para determinar la dosis óptima de sulfato, tenemos que la mejor dosis es a una concentración de 66 ppm y un pH de 6.5 aproximadamente, ya que al realizar esta pruebas a un pH diferente se pudo concluir que no había una disminución de la turbiedad tan buena, además el aspecto del sobrenadante no presentó una disminución de color tan marcada.

### GRÁFICA 51. DQO INICIALES Y FINALES PARA LAS PRUEBAS DE JARRAS

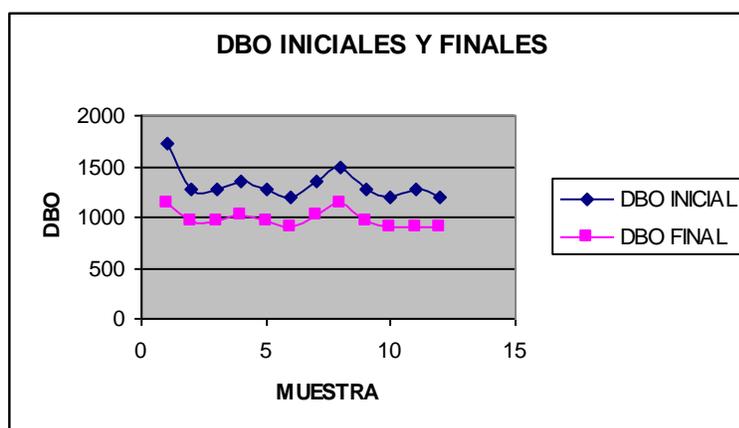
Muestra	DQO INICIAL	DQO FINAL
1	5300	4100
2	4700	3120
3	4100	2960
4	4000	2720
5	5000	3520
6	4500	3200
7	5000	3600
8	5200	3760
9	4000	2800
10	4900	3280
11	5000	3440
12	3200	2240



Como se puede observar en la gráfica anterior, todas las pruebas de DQO hechas para las mejores jarras, son menores a las del residuo inicial, y todas disminuyen en más de un 26 % el valor inicial, además dichos valores no son tan altos como los proporcionados llevando a cabo el método anterior para todos los residuos.

### GRÁFICA 52. DBO INICIALES Y FINALES PARA LAS PRUEBAS DE JARRAS

Muestra	DQO INICIAL	DQO FINAL
1	1725	1140
2	1275	960
3	1275	960
4	1350	1020
5	1275	960
6	1200	900
7	1350	1020
8	1500	1140
9	1275	960
10	1200	900
11	1275	900
12	1200	900



En la realización de las pruebas de DBO, se concluyen que también disminuyen con respecto a las iniciales, en más de un 24 %, este método además cumple con todos los requisitos de vertimiento por lo que se puede concluir que es adecuado para ser implementado en el laboratorio.

Posteriormente ya teniendo la dosis óptima de sulfato, se procedió a aplicar dicho procedimiento a los residuos producidos por los análisis volumétricos colectados diariamente.

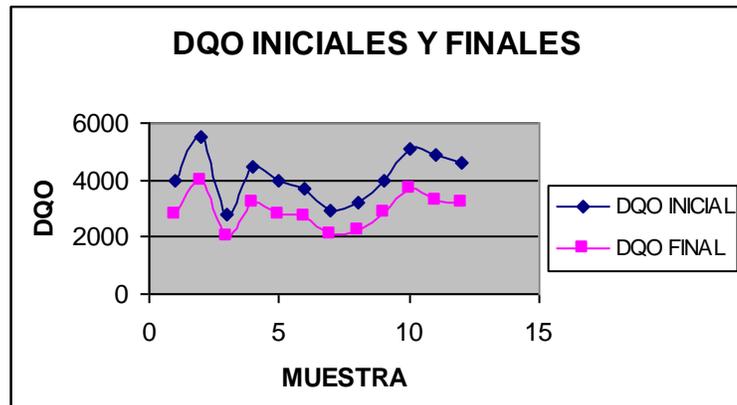


PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	MUESTRAS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH final	6.45	6.48	6.46	6.50	6.49	6.40	4.45	6.49	6.45	6.46	6.41	6.48
Temperatura °C	20.2	21.5	22.5	21.9	20.6	21.6	20.6	21.3	20.8	21.3	20.1	21.3
Turbiedad NTU	0.2	0.25	0.2	0.3	0.2	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	0.3	0.27
DQO final mg / L	2800	4000	2000	3200	2800	2640	2080	2240	2880	3680	3280	3200
DBO final mg / L	960	1200	660	840	960	960	720	1020	1080	1020	960	900
Sólidos totales mg / L	1430	1490	1510	1460	1439	1430	1459	1488	1416	1509	1419	1421
Sólidos Disueltos mg / L	1316	1309	1311	1316	1300	1318	1311	1308	1301	1315	1312	1316
Sólidos Suspendidos mg / L	114	181	199	144	139	112	148	180	115	194	107	105
% DE REMOCIÓN												
DQO	30	27.2	28.5	28.8	30	28.6	28.2	30	28	27.8	33	30.4
DBO	24.7	23.8	26.6	25.3	24.7	24.7	26.1	24.4	24.2	24.4	24.7	25.0
Sólidos Totales	86.8	86.3	86.1	86.5	86.5	86.8	86.6	86.6	87.0	86.1	86.9	86.9
Sólidos Disueltos	37.2	37.6	37.4	37.2	37.2	37.1	37.5	37.4	38	37.3	37.5	37.0
Sólidos suspendidos	98.7	97.9	97.7	98.3	98.3	98.7	98.3	98.3	98.6	97.8	98.7	98.8

Al realizar las pruebas y analizar los datos, tenemos que todos los parámetros están bajo el rango permitido, debido a que tanto las DQO como las DBO fueron disminuidas en más del 20 %, y los sólidos suspendidos en un 90 %, además los demás parámetros tales como pH y temperatura también son los permisibles por lo que se cumple el decreto 1594/84 para los vertimientos.

### GRÁFICA 53. DQO INICIALES Y FINALES DETERMINADAS PARA LAS MUESTRAS UTILIZANDO LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO

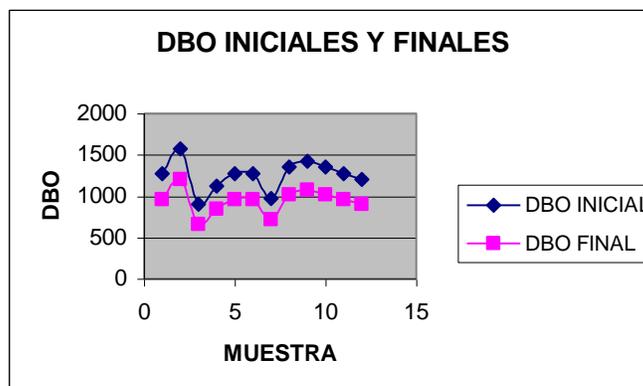
Muestra	DQO inicial	DQO final
1	4000	2800
2	5500	4000
3	2800	2000
4	4500	3200
5	4000	2800
6	3700	2690
7	2900	2080
8	3200	2240
9	4000	2880
10	5100	3680
11	4900	3280
12	4600	3200



Como podemos ver en las gráficas, todas las DQO finales son menores que las iniciales, con lo que se comprueba que el tratamiento es efectivo ya que se logra disminuir este valor.

### GRÁFICA 54. DBO INICIALES Y FINALES DETERMINADAS PARA LAS MUESTRAS UTILIZANDO LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO

Muestra	DBO inicial	DBO final
1	1275	960
2	1575	1200
3	900	660
4	1125	840
5	1275	960
6	1275	960
7	975	720
8	1350	1020
9	1425	1080
10	1350	1020
11	1275	960
12	1200	900



Para esta gráfica como en la anterior se aprecia la disminución de la DBO con respecto a la inicial.

Al realizar todo este análisis podemos concluir que este método puede ser llevado a cabo, debido a que los resultados proporcionados, son los aceptados por la norma, además en todos los casos la disminución de DQO y DBO es superior al 25%, por lo que se disminuye la contaminación.

Al realizar este procedimiento en el laboratorio, el sobrenadante presenta un color amarillo claro, el cual es eliminado por el desagüe con un exceso de agua, y el precipitado es secado y almacenado en un contenedor para posterior tratamiento.

Para los residuos producidos por los análisis colorimétricos como son sulfatos, hierro, nitritos, fosfatos y aluminio se hizo un procedimiento similar al anterior, pero debido a que el pH de éstos residuos es ácido, primero se procedió a realizar una neutralización usando hidróxido de calcio nuevamente.

### **GRÁFICAS DE VOLUMEN DE HIDRÓXIDO DE CALCIO Vs pH PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE LOS RESIDUOS COLORIMÉTRICOS**

✚ N° de muestra: 1

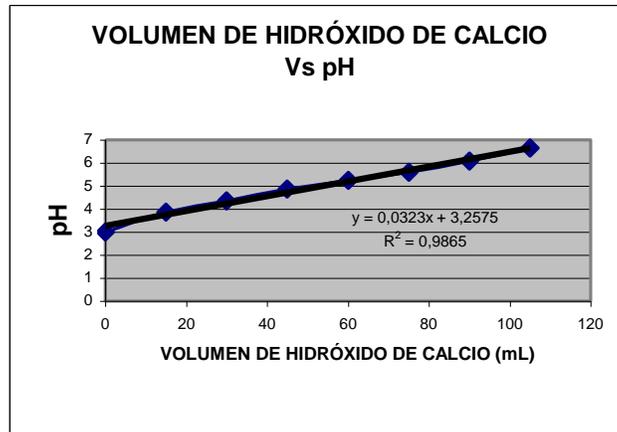
pH inicial : 3.0

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de  $\text{Ca(OH)}_2$  al 25 % agregado : 105 mL

pH final: 6.64

VOLUMEN DE $\text{Ca(OH)}_2$	pH
0	3.0
15	3,86
30	4,34
45	4,87
60	5,25
75	5,6
90	6,08
105	6,64



Grafica 55. volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  colorimétrico

$$t = \frac{|0,9865| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9868)^2}} = 14.75$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 14.75 > t_{\text{tab}} 4.45$ , por lo tanto hay una correlación significativa entre el volumen de hidróxido de calcio y el pH.

✚ N° de muestra: 2

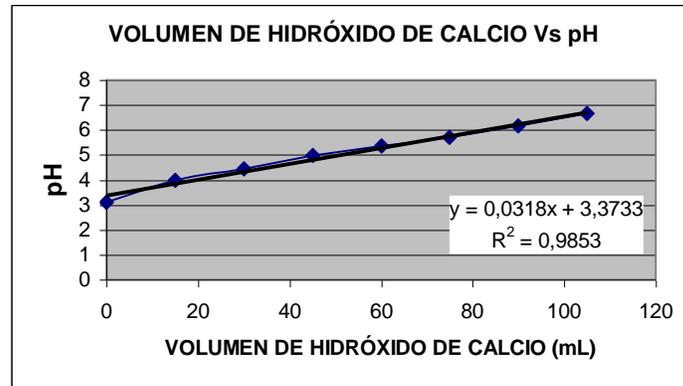
pH inicial : 3.1

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 25 % agregado : 105 mL

pH final: 6.66

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	3,1
15	3,97
30	4,43
45	4,97
60	5,35
75	5,71
90	6,16
105	6,66



Grafica 56. volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> colorimétrico

$$t = \frac{|0,9853| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9853)^2}} = 14.12$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 14.12 > t_{\text{tab}} 4.45$ , por lo tanto hay una correlación significativa entre las variables.

✚ N° de muestra: 3

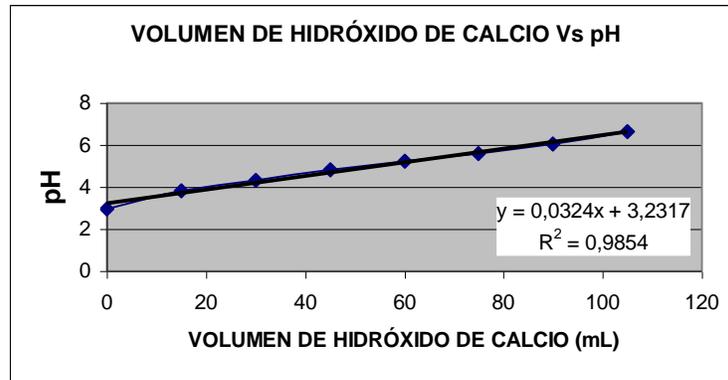
pH inicial : 2.96

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> al 25 % agregado : 105 mL

pH final: 6.63

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	2,96
15	3,84
30	4,34
45	4,84
60	5,23
75	5,59
90	6,05
105	6,63



Grafica 57. volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> colorimétrico

$$t = \frac{|0,9854| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9854)^2}} = 14.17$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 14.17 > t_{\text{tab}} 4.45$ , por lo tanto hay una correlación significativa entre el volumen de hidróxido de calcio y el pH.

✚ N° de muestra: 4

pH inicial : 3.0

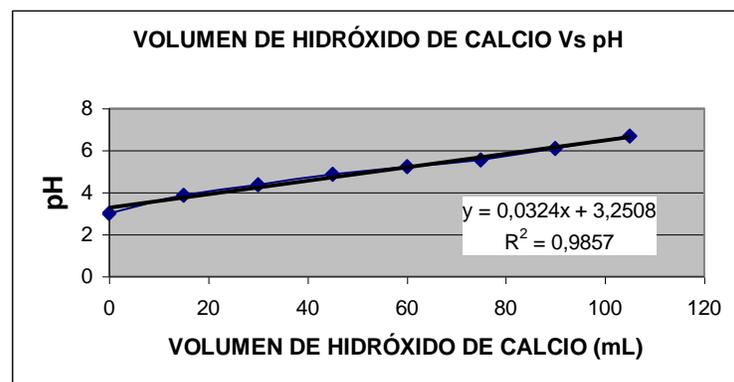
Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> al 25 % agregado : 105 mL

pH final: 6.67

Grafica 58. Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> colorimétrico

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	3
15	3,85
30	4,35
45	4,87
60	5,23
75	5,56
90	6,07
105	6,67



$$t = \frac{|0,98571| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9857)^2}} = 14.13$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 14.13 > t_{\text{tab}} 4.45$ , por consiguiente existe una correlación entre las variables.

✚ N° de muestra: 5

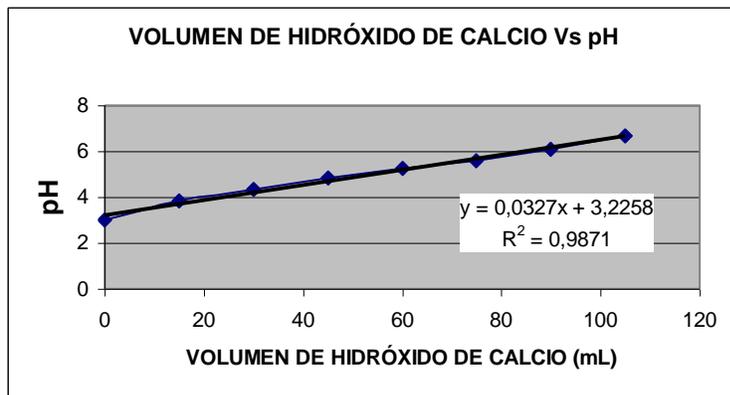
pH inicial : 2.98

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 25 % agregado : 105 mL

pH final: 6.67

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	2,98
15	3,83
30	4,32
45	4,85
60	5,24
75	5,58
90	6,07
105	6,67



Gráfica 59. Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  colorimétrico

$$t = \frac{|0,98711| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9871)^2}} = 15.10$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 15.10 > t_{\text{tab}} 4.45$ , por consiguiente existe una correlación entre el volumen de hidróxido de calcio y el pH.

✚ N° de muestra: 6

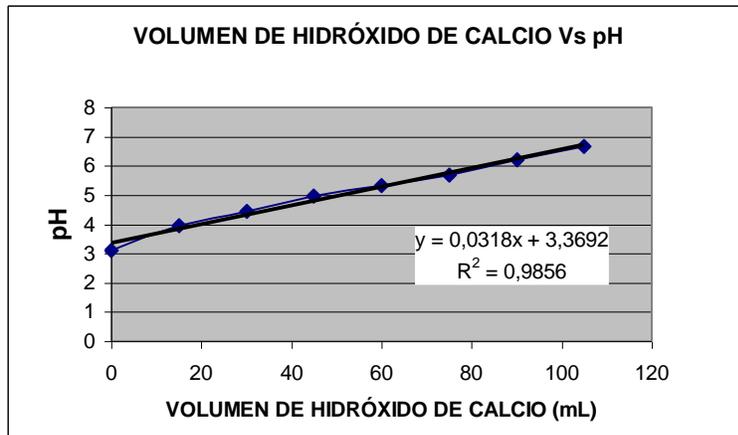
pH inicial : 3.1

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 25 % agregado : 105 mL

pH final: 6.65

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	3,1
15	3,95
30	4,45
45	4,97
60	5,33
75	5,69
90	6,19
105	6,65



Grafica 60. Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  colorimétrico

$$t = \frac{|0,9856| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9856)^2}} = 14.27$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 14.27 > t_{\text{tab}} 4.45$ , por consiguiente existe una correlación entre el volumen de hidróxido de calcio y el pH.

✚ N° de muestra: 7

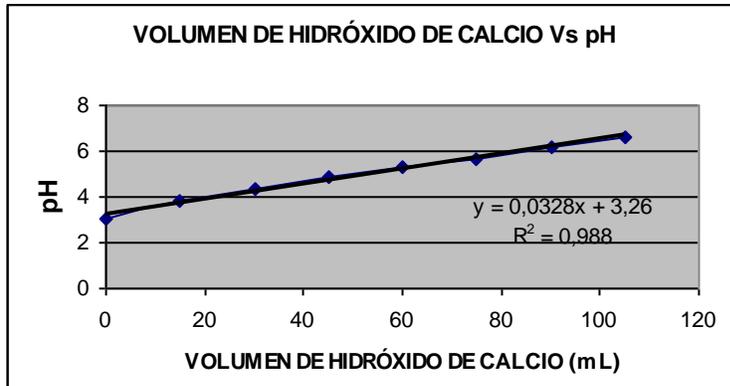
pH inicial : 3.01

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 25 % agregado : 105 mL

pH final: 6.65

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	3,01
15	3,85
30	4,35
45	4,9
60	5,29
75	5,65
90	6,17
105	6,65



Grafica 61. Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> colorimétrico

$$t = \frac{|0,988| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,988)^2}} = 16.67$$

Nivel de significación 5 %

$t_{exp} 16.67 > t_{tab} 4.45$ , existe una correlación entre el volumen de hidróxido de calcio y el pH.

✚ N° de muestra: 8

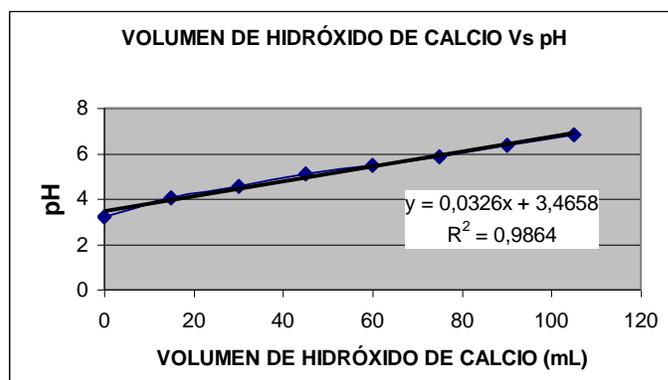
pH inicial : 3.2

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> al 25 % agregado : 105 mL

pH final: 6.84

VOLUMEN DE Ca(OH) <sub>2</sub>	pH
0	3,2
15	4,06
30	4,56
45	5,1
60	5,49
75	5,84
90	6,34
105	6,84



Grafica 62. Volumen de Ca(OH)<sub>2</sub> colorimétrico

$$t = \frac{|0,9864| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9864)^2}} = 14.70$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 14.70 > t_{\text{tab}} 4.45$ , existe una correlación significativa entre el volumen de hidróxido de calcio y el pH.

✚ N° de muestra: 9

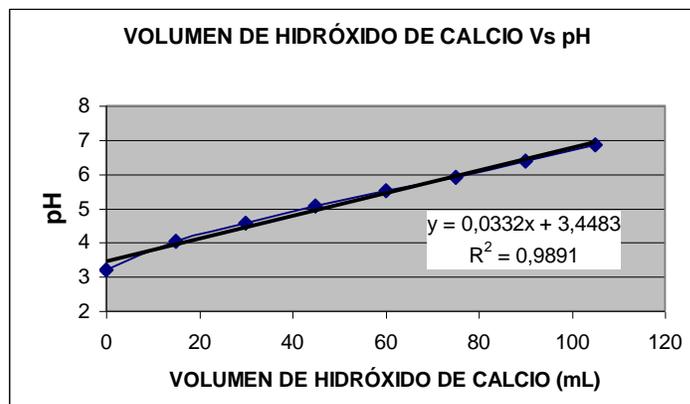
pH inicial : 3.2

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 25 % agregado : 105 mL

pH final: 6.86

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	3,2
15	4,04
30	4,56
45	5,06
60	5,52
75	5,9
90	6,38
105	6,86



Grafica 63. Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  colorimétrico

$$t = \frac{|0,9891| * \sqrt{8-2}}{\sqrt{1-(0,9891)^2}} = 16.45$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 16.45 > t_{\text{tab}} 4.45$ , existe una correlación significativa entre el volumen de hidróxido de calcio y el pH.

✚ N° de muestra: 10

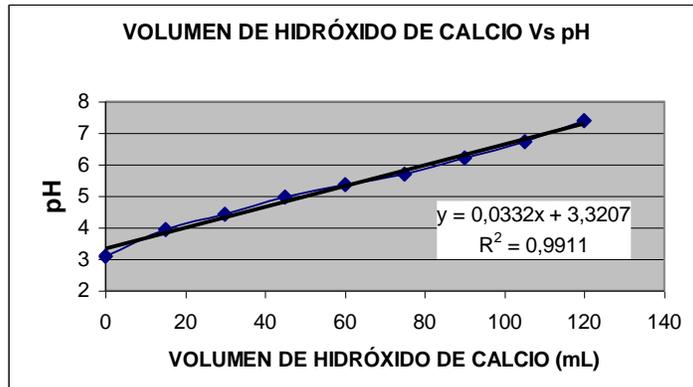
pH inicial : 3.1

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 25 % agregado : 120 mL

pH final: 7.40

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	3,1
15	3,94
30	4,42
45	4,96
60	5,36
75	5,7
90	6,21
105	6,73
120	7,4



Gráfica 64. Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  colorimétrico

$$t = \frac{|0,9911| * \sqrt{9-2}}{\sqrt{1-(0,9911)^2}} = 19.69$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 19.69 > t_{\text{tab}} 2.36$ , existe una correlación significativa entre el volumen de hidróxido de calcio y el pH.

✚ N° de muestra: 11

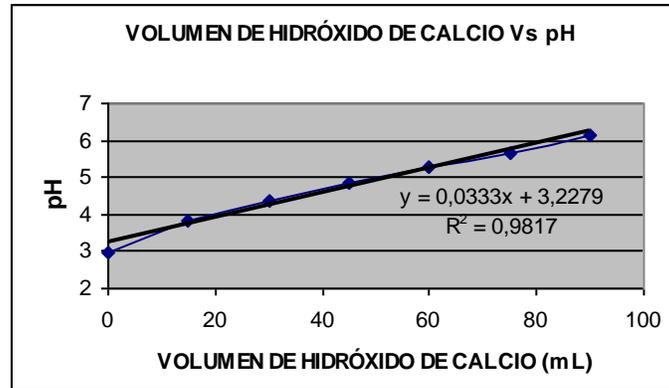
pH inicial : 2.98

Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 25 % agregado : 90 mL

pH final: 6.13

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	2,98
15	3,84
30	4,34
45	4,87
60	5,29
75	5,63
90	6,13

Gráfica 65. Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  colorimétrico

$$t = \frac{10,98171 * \sqrt{7-2}}{\sqrt{1-(0,9817)^2}} = 11,57$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 11,57 > t_{\text{tab}} 2,57$ , existe una correlación significativa entre las variables.

✚ N° de muestra: 12

pH inicial : 3.0

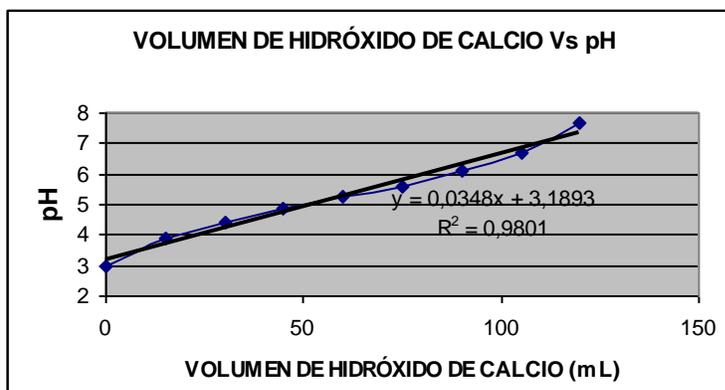
Volumen de residuos: 2.75 L

Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 25 % agregado : 120 mL

pH final: 7.7

Gráfica 66. Volumen de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  colorimétrico

VOLUMEN DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$	pH
0	3
15	3,89
30	4,39
45	4,89
60	5,25
75	5,6
90	6,1
105	6,7
120	7,7



$$t = \frac{|0,9801| * \sqrt{9-2}}{\sqrt{1-(0,9801)^2}} = 13.06$$

Nivel de significación 5 %

$t_{\text{exp}} 13.06 > t_{\text{tab}} 2.36$ , por consiguiente existe una correlación significativa entre las variables.

#### **5.4.4. PRUEBA DE JARRAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO PARA LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR LOS ANÁLISIS COLORIMÉTRICOS**

*ANÁLISIS INICIAL DE LA MUESTRA:*

*Prueba de jarras N° 1*

 Muestra N° :1

pH inicial: 3.0

pH neutralizado: 6.64

Temperatura : 20.4 °C

Turbiedad UNT: 850

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 19200

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 5400

Sólidos Totales: 21123 mg / L

Sólidos disueltos: 12031 mg / L

Sólidos suspendidos: 9092 mg / L

Hidróxido de calcio adicionado : 105 mL

**Tabla 32. Pruebas de jarras colorimétricos 1**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	ML adicionados	0.5*	0.75*	1*	1.25*	1.5*	1.75*
	Concentración mg/L	10	15	20	25	30	35
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	No formó	No formó	No formó	No formó
pH, unidades		6.58	6.52	6.61	6.59	6.54	6.51
Temperatura, °C		21.9	22.1	21.6	21.9	22.3	22.1

\*El volumen para cada una de las jarras es de un 1 L.

Las concentraciones utilizadas para esta prueba no fueron las adecuadas puesto que en ninguna jarra hubo formación de floc.

### *Prueba de jarras N° 2*

 Muestra N° :2

pH inicial: 3.1

pH neutralizado: 6.66

Temperatura : 21.9 °C

Turbiedad UNT: 869

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $O_2$ / L: 13600

DBO, mg  $O_2$ / L: 5400

Sólidos Totales: 21120 mg / L

Sólidos disueltos: 12032 mg / L

Sólidos suspendidos: 9088 mg / L

Hidróxido de calcio adicionado : 105 mL

**Tabla 33 . Pruebas de jarras colorimétricos 2**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 2%	mL adicionados	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
	Concentración mg/L	20	30	40	50	60	70
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	No formó	No formó	No formó	No formó
pH, unidades		6.52	6.53	6.50	6.52	6.54	6.52
Temperatura, °C		22.3	22.3	22.9	22.5	22.5	22.6

A estas concentraciones tampoco hubo formación de floc.

### *Prueba de jarras N° 3*

 Muestra N° :3

pH inicial: 2.96

pH neutralizado: 6.63

Temperatura : 22.3 °C

Turbiedad UNT: 900

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 14200

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 5700

Sólidos Totales: 21121 mg / L

Sólidos disueltos: 12031 mg / L

Sólidos suspendidos: 9090 mg / L

**Tabla 34 . Pruebas de jarras colorimétricos 4**

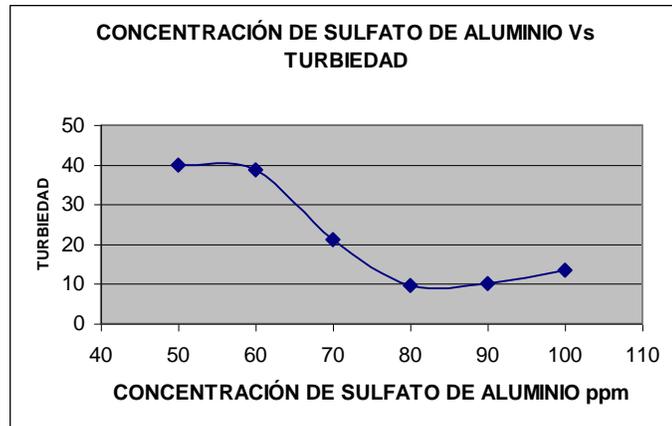
Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
	Concentración mg/L	50	60	70	80	90	100
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		No formó	No formó	Regular	excelente	Bueno	Bueno
H, unidades		6.59	6.60	6.59	6.58	6.59	6.58
Turbiedad, UNT		39.9	38.8	21.2	9.5	10.2	13.2
Temperatura, °C		19.9	20.2	20.1	19.8	20.1	20.1
DQO, mg / L					9333		
DBO, mg / L					4000		
Sólidos totales					8833		
Sólidos disueltos					7791		
Sólidos suspendidos					1042		

Para esta prueba, a una concentración de 80 ppm hubo formación de floc, y la turbiedad disminuyó con respecto a la inicial en gran proporción.

Además los resultados arrojados por la DQO y DBO disminuyeron con respecto a los valores iniciales en un 34.27 % y 29.82 % respectivamente.

**Gráfica 67. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°3):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
50	39,9
60	38,8
70	21,2
80	9,5
90	10,2
100	13,4



A una concentración de 80 ppm la turbiedad es la mejor (9.5), si es comparada con la inicial, ya que ésta es de 900 NTU.

Los resultados de los otros parámetros cumplen con los establecidos por el decreto 1594/84.

#### *Prueba de jarras N° 4*

🚰 Muestra N° :4

pH inicial: 3.0

pH neutralizado: 6.67

Temperatura : 21.3 °C

Turbiedad UNT: 872

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 14400

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 5250

Sólidos Totales: 21132 mg / L

Sólidos disueltos: 12101 mg / L

Sólidos suspendidos: 9031 mg / L

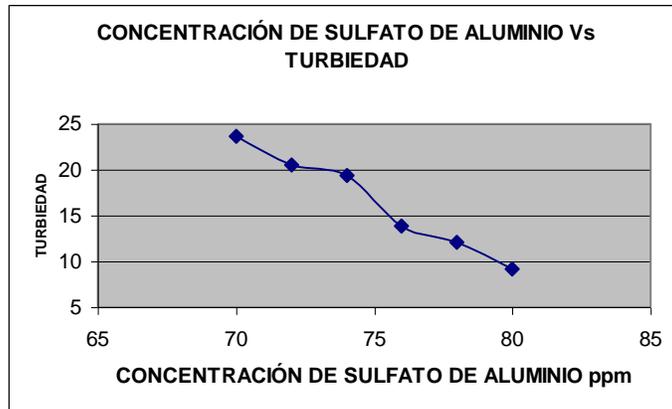
**Tabla 35. Pruebas de jarras colorimétricas 4**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
	Concentración mg/L	70	72	74	76	78	80
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	regular	regular	Bueno	Bueno	Excelente
pH, unidades		6.60	6.58	6.54	6.50	6.48	6.46
Turbiedad, UNT		23.6	20.5	26.8	13.9	12.21	9.2
Temperatura, °C		21.9	22.2	21.9	21.8	21.8	21.9
DQO, mg / L							9866
DBO, mg / L							3600
Sólidos totales							9614
Sólidos disueltos							8012
Sólidos suspendidos							1602

Para esta prueba la mejor jarra es la 6, ya que fue donde la turbiedad disminuyó en mayor proporción, además la DQO y la DBO fueron disminuidas en más de un 20 % y los sólidos suspendidos en un 80 %.

**Gráfica 68. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°4):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
70	23,6
72	20,5
74	19,4
76	13,9
78	12,1
80	9,2



Como se puede apreciar en la gráfica, a una concentración de 80 ppm se presenta la mejor turbiedad, además los valores de los demás parámetros están en el rango permitido.

#### *Prueba de jarras N° 5*

📌 Muestra N° :5

pH inicial: 2.98

pH neutralizado: 6.67

Temperatura : 22.3 °C

Turbiedad UNT: 866

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $O_2$ / L: 20000

DBO, mg  $O_2$ / L: 6600

Sólidos Totales: 21123 mg / L

Sólidos disueltos: 12314 mg / L

Sólidos suspendidos: 8809 mg / L

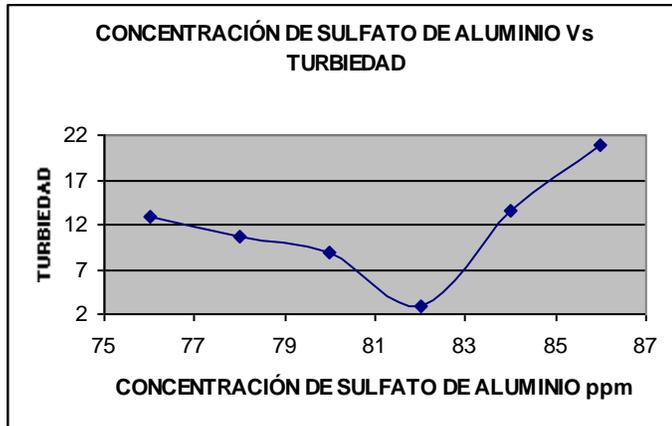
**Tabla 36. Pruebas de jarras colorimétricas 5**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3
	Concentración mg/L	76	78	80	82	84	86
Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	Bueno	excelente	Regular	Regular
pH, unidades		6.51	6.52	6.48	6.50	6.55	6.54
Turbiedad, UNT		12.8	10.6	9.0	3.0	13.6	20.8
Temperatura, °C		19.9	20.2	20.9	20.8	20.8	20.6
DQO, mg / L					14000		
DBO, mg / L					4500		
Sólidos totales					8712		
Sólidos disueltos					7923		
Sólidos suspendidos					789		

La mejor jarra en este caso es la 4, a una concentración de 82 ppm, los sólidos suspendidos, la DQO y la DBO se remueven en los porcentajes establecidos; además la temperatura y el pH son los permisibles.

**Gráfica 69. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°5):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
76	12,8
78	10,6
80	9
82	3
84	13,6
86	20,8



A una concentración de 82 ppm, la turbiedad fue 3.0, hasta el momento esta ha sido la mas baja, por lo que se procede a realizar pruebas en el mismo rango.

#### *Prueba de jarras N° 6*

📌 Muestra N° :6

pH inicial: 3.1

pH neutralizado: 6.55

Temperatura : 21.6 °C

Turbiedad UNT: 903

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 15800

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 5400

Sólidos Totales: 21122 mg / L

Sólidos disueltos: 12030 mg / L

Sólidos suspendidos: 9092 mg / L

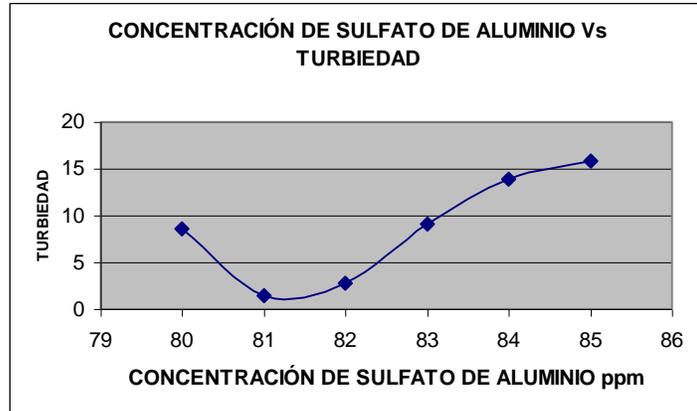
**Tabla 37. Pruebas de jarras colorimétricos 6**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	4.0	4.05	4.1	4.15	4.2	4.25
	Concentración mg/L	80	81	82	83	84	85
86Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	excelente	Bueno	Regular	Regular	Regular
pH, unidades		6.59	6.62	6.62	6.64	6.58	6.55
Turbiedad, UNT		8.6	1.4	2.8	9.1	13.9	15.8
Temperatura, °C		19.9	20.5	20.5	20.6	19.8	20.6
DQO, mg / L			11600				
DBO, mg / L			3800				
Sólidos totales			9715				
Sólidos disueltos			8225				
Sólidos suspendidos			1490				

La mejor jarra es la 2, a una concentración de 81 ppm la turbiedad fue disminuida notablemente por lo que se puede decir que a esta concentración se presentan muy buenos resultados, tanto en la turbiedad como en los demás análisis.

**Gráfica 70. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°6):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
80	8,6
81	1,4
82	2,8
83	9,1
84	13,9
85	15,8



A una concentración de 81 ppm la turbiedad fue la menor, para las demás concentraciones utilizadas esta fue mayor.

#### *Prueba de jarras N° 7*

Muestra N° :7

pH inicial: 3.01

pH neutralizado: 6.65

Temperatura : 20.8 °C

Turbiedad UNT: 908

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg  $\text{O}_2$ / L: 15200

DBO, mg  $\text{O}_2$ / L: 5550

Sólidos Totales: 21124 mg / L

Sólidos disueltos: 12032 mg / L

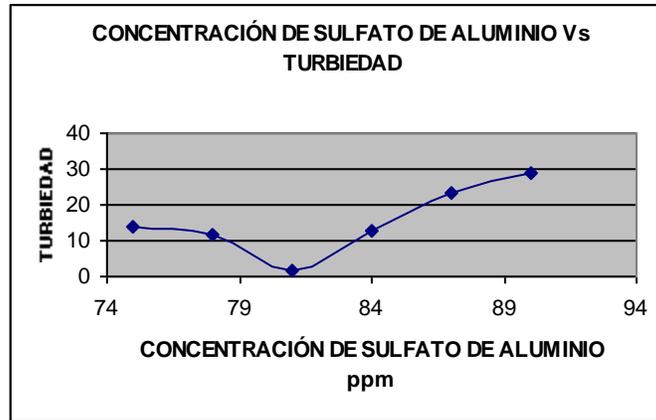
Sólidos suspendidos: 9092 mg / L

**Tabla 38. Pruebas de jarras colorimétricas 7**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.75	3.9	4.05	4.2	4.35	4.5
	Concentración mg/L	75	78	81	84	87	90
86Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	excelente	Regular	Regular	Regular
pH, unidades		6.60	6.66	6.51	6.53	6.53	6.51
Turbiedad, UNT		13.8	11.4	1.9	12.6	23.2	29
Temperatura, °C		19.9	20.5	20.5	20.6	19.8	20.6
DQO, mg / L				11733			
DBO, mg / L				3800			
Sólidos totales				9228			
Sólidos disueltos				8324			
Sólidos suspendidos				904			

**Gráfica 71. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°7):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
75	13,8
78	11,4
81	1,9
84	12,6
87	23,2
90	29



A una concentración de 81 ppm la turbiedad fue la menor (1.9), además los otros parámetros están en la dosis permisible.

#### *Prueba de jarras N° 8*

🚰 Muestra N° :8

pH inicial: 3.2

pH neutralizado: 6.84

Temperatura : 21.8 °C

Turbiedad UNT: 898

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 17800

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 6600

Sólidos Totales: 21125 mg / L

Sólidos disueltos: 12033 mg / L

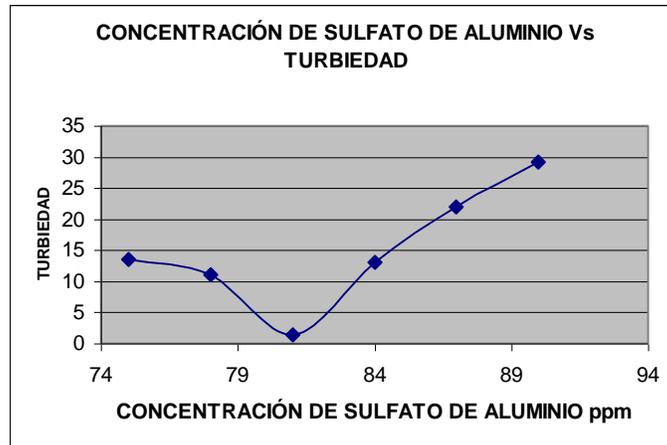
Sólidos suspendidos: 9092 mg / L

**Tabla 39. Pruebas de jarras colorimétricos 8**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.75	3.9	4.05	4.2	4.35	4.5
	Concentración mg/L	75	78	81	84	87	90
86Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	excelente	Regular	Regular	Regular
pH, unidades		6.80	6.79	6.79	6.78	6.80	6.80
Turbiedad, UNT		13.5	11.0	1.4	13.0	22.0	29.2
Temperatura, °C		21.1	21.5	21.5	21.6	19.8	21.6
DQO, mg / L				13066			
DBO, mg / L				4500			
Sólidos totales				9183			
Sólidos disueltos				8225			
Sólidos suspendidos				958			

**Gráfica 72. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°8):**

Concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	TURBIEDAD
75	13,5
78	11
81	1,4
84	13
87	22
90	29,2



La mejor turbiedad fue a una concentración de 81 ppm, para las demás concentraciones la turbiedad fue mayor.

#### *Prueba de jarras N° 9*

🚰 Muestra N° :9

pH inicial: 3.2

pH neutralizado: 6.86

Temperatura : 21.8 °C

Turbiedad UNT: 876

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 15400

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 5700

Sólidos Totales: 21127 mg / L

Sólidos disueltos: 12030 mg / L

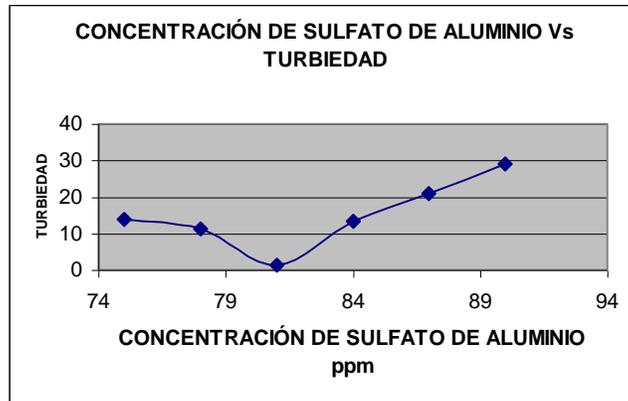
Sólidos suspendidos: 9097 mg / L

**Tabla 41. Pruebas de jarras colorimétricos 9**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.75	3.9	4.05	4.2	4.35	4.5
	Concentración mg/L	75	78	81	84	87	90
86Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	excelente	Regular	Regular	Regular
pH, unidades		6.85	6.84	6.80	6.80	6.81	6.80
Turbiedad, UNT		13.9	11.2	1.3	13.3	21.0	28.9
Temperatura, °C		22.1	21.9	21.6	21.6	22.2	21.8
DQO, mg / L				11466			
DBO, mg / L				4000			
Sólidos totales				9214			
Sólidos disueltos				8810			
Sólidos suspendidos				404			

**Gráfica 73. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°9):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
75	13,9
78	11,2
81	1,3
84	13,3
87	21
90	28,9



Nuevamente a una concentración de 81 ppm se registraron los mejores resultados de los parámetros.

### *Prueba de jarras N° 10*

📌 Muestra N° :10

pH inicial: 3.1

pH neutralizado: 7.40

Temperatura : 22.8 °C

Turbiedad UNT: 889

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 13400

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 5100

Sólidos Totales: 21119 mg / L

Sólidos disueltos: 12017 mg / L

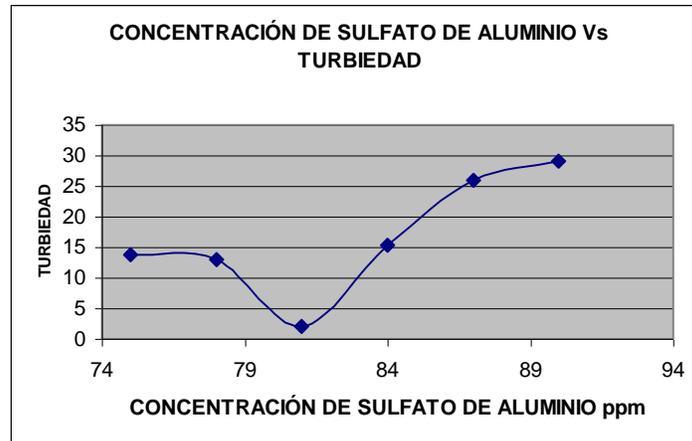
Sólidos suspendidos: 9102 mg / L

**Tabla 42. Pruebas de jarras colorimétricos 10**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.75	3.9	4.05	4.2	4.35	4.5
	Concentración mg/L	75	78	81	84	87	90
86Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	excelente	Regular	Regular	Regular
pH, unidades		7.39	7.43	7.31	7.29	7.20	7.22
Turbiedad, UNT		13.8	13	20	15.3	26	29.1
Temperatura, °C		21.8	21.9	21.6	21.8	22	21.8
DQO, mg / L				9066			
DBO, mg / L				3400			
Sólidos totales				8721			
Sólidos disueltos				7619			
Sólidos suspendidos				1102			

**Gráfica 74. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°10):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
75	13,8
78	13
81	2
84	15,3
87	26
90	29,1



Al observar la gráfica podemos ver que a la misma concentración, 81 ppm la turbiedad fue un poco mayor a las anteriores, esto puede ser debido a que se partió de un pH mayor a 7.0, por consiguiente podemos decir que a este pH el proceso de coagulación no resulta eficiente.

#### *Prueba de jarras N° 11*

📌 Muestra N° :11

pH inicial: 2.98

pH neutralizado: 6.13

Temperatura : 20.8 °C

Turbiedad UNT: 910

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 14400

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 5250

Sólidos Totales: 21120 mg / L

Sólidos disueltos: 12020 mg / L

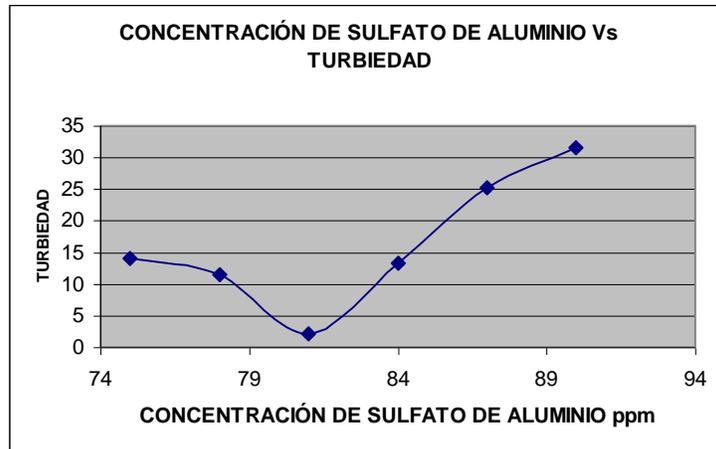
Sólidos suspendidos: 9100 mg / L

**Tabla 43. Pruebas de jarras colorimétricos 11**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.75	3.9	4.05	4.2	4.35	4.5
	Concentración mg/L	75	78	81	84	87	90
86Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	Bueno	Regular	No formó	No formó
pH, unidades		6.0	5.99	6.1	6.1	6.0	6.1
Turbiedad, UNT		14.1	11.5	2.1	13.3	25.2	31.5
Temperatura, °C		19.8	19.9	20.1	19.8	20.1	19.8
DQO, mg / L				9866			
DBO, mg / L				3600			
Sólidos totales				9019			
Sólidos disueltos				8023			
Sólidos suspendidos				996			

**Gráfica 75. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°11):**

Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
75	14,1
78	11,5
81	2,1
84	13,3
87	25,2
90	31,5



Como en el caso anterior el pH no favoreció la coagulación ya que se puede apreciar que la turbiedad fue mayor. Sin embargo para las pruebas de DQO, DBO y sólidos suspendidos, los porcentajes de remoción fueron los exigidos.

#### *Prueba de jarras N° 12*

📌 Muestra N° :12

pH inicial: 3.0

pH neutralizado: 7.7

Temperatura : 21.3 °C

Turbiedad UNT: 880

Volumen de la muestra: 6 L

DQO, mg O<sub>2</sub>/ L: 14200

DBO, mg O<sub>2</sub>/ L: 5250

Sólidos Totales: 21123 mg / L

Sólidos disueltos: 12019 mg / L

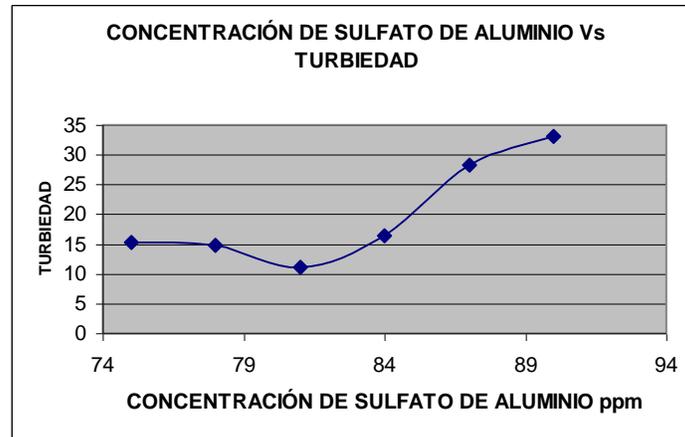
Sólidos suspendidos: 9104 mg / L

**Tabla 44. Pruebas de jarras colorimétricos 12**

Variables operacionales y parámetros fisicoquímicos		NÚMERO DE VASOS DE PRECIPITADO					
		1	2	3	4	5	6
Coagulante inorgánico primario: $Al_2(SO_4)_3$ al 2%	mL adicionados	3.75	3.9	4.05	4.2	4.35	4.5
	Concentración mg/L	75	78	81	84	87	90
86Velocidad de la mezcla instantánea, rpm		100	100	100	100	100	100
Tiempo de mezcla instantánea, min		1	1	1	1	1	1
Velocidad de mezcla lenta, rpm		40	40	40	40	40	40
Tiempo de mezcla lenta, min		20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación, min		15	15	15	15	15	15
Calidad del flóculo		Regular	Regular	Regular	Regular	No formó	No formó
pH, unidades		7.69	7.60	7.63	7.65	7.65	7.62
Turbiedad, UNT		15.2	14.8	11.2	16.4	28.3	33
Temperatura, °C		20.8	20.9	21.1	20.8	21.1	20.9
DQO, mg / L				11600			
DBO, mg / L				3400			
Sólidos totales				9096			
Sólidos disueltos				8190			
Sólidos suspendidos				906			

**Gráfica 76. Concentración de sulfato de aluminio Vs. turbiedad para los residuos producidos por los análisis colorimétricos, de acuerdo con la prueba de jarras (muestra N°12):**

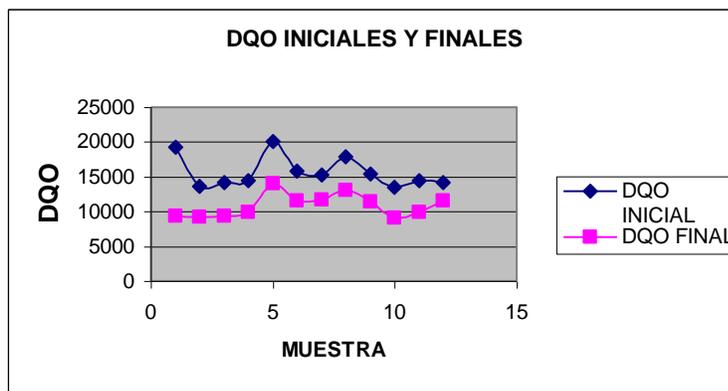
Concentración de $Al_2(SO_4)_3$	TURBIEDAD
75	15,2
78	14,8
81	11,1
84	16,4
87	28,3
90	33



Al analizar las gráficas podemos deducir que hay una mejor coagulación a una concentración 81 ppm y a un pH aproximado de 6.8, ya que para este caso se utilizó uno mayor a 7 y la coagulación no fue eficaz.

### **GRÁFICA 77. DQO INICIALES Y FINALES PARA LAS PRUEBAS DE JARRAS PARA LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR LOS ANÁLISIS COLORIMÉTRICOS**

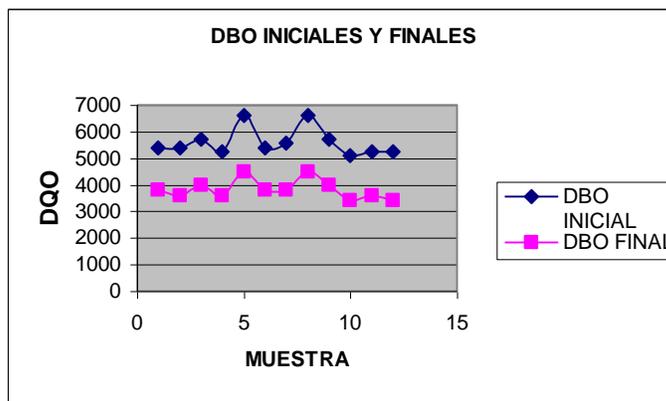
Muestra	DQO inicial	DQO final
1	19200	9333
2	13600	9200
3	14200	9333
4	14400	9866
5	20000	14000
6	15800	11600
7	15200	11733
8	17800	13066
9	15400	11466
10	13400	9066
11	14400	9866
12	14200	11600



Como podemos observar en la gráfica anterior, todas las DQO finales fueron menores que las iniciales y el porcentaje de remoción en todos los casos fue superior al 20 %, por lo que se cumple con el decreto.

### GRÁFICA 78. DBO INICIALES Y FINALES PARA LAS PRUEBAS DE JARRAS PARA LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR LOS ANÁLISIS COLORIMÉTRICOS

Muestra	DQO inicial	DQO final
1	5400	3800
2	5400	3600
3	5700	4000
4	5250	3600
5	6600	4500
6	5400	3800
7	5550	3800
8	6600	4500
9	5700	4000
10	5100	3400
11	5250	3600
12	5250	3400



Para el caso de la DBO, como podemos analizar en la gráfica la remoción de la final con respecto a la inicial es de más del 30 %, por lo que este método también puede ser llevado a cabo en la eliminación de los residuos del laboratorio.

Al analizar todos los resultados obtenidos al desarrollar las pruebas de jarras podemos deducir que la mejor dosis es de 81 ppm a un pH de 6.8 aproximadamente, debido a que ésta fue la que proporcionó mejores resultados.

Posteriormente ya teniendo la dosis óptima de sulfato, se procedió a aplicar dicho procedimiento a los residuos producidos por los análisis colorimétricos colectados diariamente.

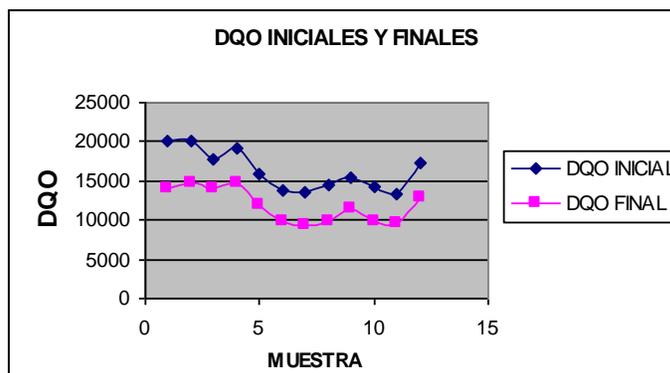


PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	MUESTRAS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH final	6.75	6.78	6.76	6.79	6.75	6.78	6.76	6.76	6.79	6.78	6.74	6.74
Temperatura °C	20.1	20.2	21.6	21.8	21.4	22.3	19.9	19.6	21.3	22.6	22.4	21.3
Turbiedad NTU	1.31	1.35	1.3	1.3	1.33	1.3	1.35	1.35	1.3	1.34	1.32	1.3
DQO final mg / L	14000	14666	14000	14800	11866	9866	9333	9866	11333	9866	9466	12933
DBO final mg / L	4500	4500	3700	3800	3800	3700	3600	3800	4000	3700	3800	3800
Sólidos totales mg /L	8712	9214	9183	9614	8714	9228	8712	9183	9614	9096	9228	9414
Sólidos Disueltos mg / L	8113	8324	8012	8220	7920	8223	7921	8614	8910	8023	8224	8610
Sólidos suspendidos mg / L	599	880	1171	1394	794	1055	791	569	704	1073	1004	804
% DE REMOCION												
DQO	30	26.6	21.3	22.9	24.8	28.5	31.3	27.4	26.4	30.5	29.3	25.6
DBO	31.8	31.8	33.3	29.6	31.5	31.4	31.4	31.5	29.8	31.4	31.5	31.5
Sólidos Totales	58.7	56.3	56.5	54.4	58.7	56.3	58.7	56.2	54.5	56.9	56.3	55.3
Sólidos disueltos	32.5	30.7	33.3	31.6	34.1	32.0	34.0	28.3	25.9	33.3	32.0	28.7
Sólidos suspendidos	93.4	90.3	87.1	84.5	91.2	88.3	91.2	93.7	92.2	88.1	88.8	91.0

Al realizar las pruebas y analizar los datos, tenemos que todos los parámetros están bajo el rango permitido, debido a que tanto las DQO como las DBO fueron disminuidas en más del 25 %, y los sólidos suspendidos en un 80 %, además los demás parámetros tales como pH y temperatura también son los permisibles por lo que se cumple el decreto 1594/84 para los vertimientos.

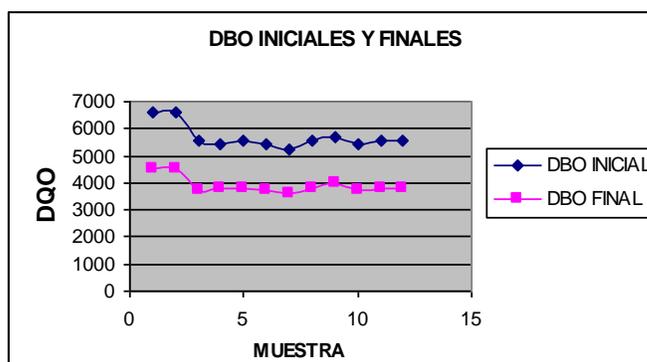
**GRÁFICA 79. DQO INICIALES Y FINALES DETERMINADAS PARA LAS MUESTRAS UTILIZANDO LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO PARA LOS RESIDUOS COLORIMÉTRICOS.**

Muestra	DQO inicial	DQO final
1	20000	14000
2	20000	14666
3	17800	14000
4	19200	14800
5	15800	11866
6	13800	9866
7	13600	9333
8	14400	9866
9	15400	11333
10	14200	9866
11	13400	9466
12	17400	12933



**GRÁFICA 80. DBO INICIALES Y FINALES DETERMINADAS PARA LAS MUESTRAS UTILIZANDO LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO PARA LOS RESIDUOS COLORIMÉTRICOS.**

Muestra	DBO inicial	DBO final
1	6600	4500
2	6600	4500
3	5550	3700
4	5400	3800
5	5550	3800
6	5400	3700
7	5250	3600
8	5550	3800
9	5700	4000
10	5400	3700
11	5550	3800
12	5550	3800



Como podemos apreciar en las gráficas, la disminución de la DQO y la DBO es notable para las muestras finales, es decir que el tratamiento utilizado es eficaz para disminuir dichos parámetros los cuales indican el grado de contaminación de los residuos.

Por otro lado la temperatura esta dentro de lo permitido; los sólidos suspendidos también son disminuidos en gran proporción y el pH de los residuos al ser neutralizados fue reducido para todos los casos.

Al ser llevado a cabo el procedimiento anterior, el sobrenadante queda de un color naranja tenue, el cual es extraído mediante decantación o con una manguera, para evitar la posible mezcla con el precipitado y luego es eliminado por el desagüe con un exceso de agua.

El precipitado es secado y almacenado en un contenedor, de residuos peligrosos, para un posterior tratamiento.

## **5.5 MÉTODO DE OXIDACIÓN, SEDIMENTACIÓN Y DECANTACIÓN USANDO MANHIDROX, PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR EL LABORATORIO**

Para lograr un efectivo tratamiento de aguas cada vez mas contaminadas, se requieren procesos y productos químicos mas efectivos e ino cuos que sean de fácil manejo y aplicación, en su misión de producir agua de calidad aceptable y que además sea versátil para realizar varias funciones beneficiosas simultáneamente.

El manhidrox reúne los requisitos mencionados anteriormente, es por eso que el uso de este producto es de gran ayuda para descontaminar aguas residuales.

**FICHA TÉCNICA:****A. COMPOSICIÓN:**

Descripción: producto grado técnico. Base manganeso, sodio y aluminio. Cristales color verde oscuro. No produce vapores.

Humedad: 2-3 %

Solubilidad: muy soluble.

Contenido de manganeso: 25-27 %

Contenido de sodio: 36-38 %

Contenido de oxígeno: 30-32 %

Contenido de sulfato de aluminio: 5 %

Contenido de cloruros: menos de 50 ppm.

Compuestos nitrogenados: menos de 100 ppm

Concentración mínima manhidrox activo: 60 %

pH en solución al 5 % : 12.5

Insolubles : 18.7 %

**B. APLICACIONES:**

Eliminación de algas y materia orgánica, bactericida en potabilización de aguas, desinfectante. Tratamiento de aguas negras y residuales. Eliminación de olores y bacterias en alcantarillas. Eliminación de  $\text{SO}_3$ .

Para llevar a cabo este método se optó por realizar un procedimiento similar a los anteriores, primero se buscó la dosis óptima de manhidrox y luego ésta fue agregada a los residuos volumétricos y colorimétricos por separado.

Obteniéndose los siguientes resultados:

**Para los residuos volumétricos:**

Fueron utilizados 400 mL de una solución de manhidrox al 4 % para los 4000 mL de residuos producidos diariamente.

Se realizaron pruebas de los parámetros exigidos por el decreto, y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 46. Parámetros fisicoquímicos manhidrox**

Parámetros fisicoquímicos	MUESTRA				
	1	2	3	4	5
pH inicial	10.41	10.45	10.51	10.48	10.46
Temperatura°C	20.4	21.5	21.6	19.8	20.6
Turbiedad NTU	2	2	1.9	1.98	2
DQO inicial mg / L	6000	4500	4000	4900	4500
DBO inicial mg/L	900	1275	1125	1350	1200
DQO final mg/L	800	1000	900	1000	800
DBO final mg/L	540	480	480	540	360
pH final	7.5	7.52	7.4	7.48	7.39
Turbiedad final	0.3	0.32	0.2	0.2	0.2
% de remoción DQO	86%	77.7%	77.5%	79.5%	82.2%
% de remoción DBO	40 %	62.3%	57.3%	46.0%	70%

Como podemos observar con este producto se logra una reducción de la DQO y de la DBO en una proporción mayor que utilizando sulfato de aluminio, además el color también fue reducido a uno casi transparente, como se puede observar en las fotos de los anexos.

**Para los residuos colorimétricos:**

Fueron utilizados 455 mL de una solución de manhidrox al 4 % para los 2750 mL de residuos producidos diariamente.

Se realizaron pruebas de los parámetros exigidos por el decreto, y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 47. parámetros fisicoquímicos colorimétricos**

Parámetros fisicoquímicos	MUESTRA				
	1	2	3	4	5
pH inicial	3.1	3.1	3.2	3.2	3.1
Temperatura°C	24	23.5	22.8	22.5	22.6
Turbiedad NTU	901	896	898	890	896
DQO inicial mg / L	15800	14400	15400	14400	14200
DBO inicial mg/L	5550	5550	5400	5250	5400
DQO final mg/L	6000	3000	4000	4200	3000
DBO final mg/L	1140	1080	1020	1020	1140
pH final	3.66	3.60	3.65	3.7	3.68
Turbiedad final	0.9	0.9	0.92	0.92	0.91
% de remoción DQO	62.02 %	79.1 %	74 %	70.8 %	78.8 %
% de remoción DBO	79.45 %	80.54 %	81.1 %	80.57 %	78.8 %

Al observar los valores anteriores, hay una disminución notable tanto para la DQO como para la DBO; el pH final es ácido, por lo tanto se debe neutralizar con hidróxido de calcio.

El sobrenadante presenta un color amarillo tenue, se puede decir que el color ha disminuido también con respecto al producido con el sulfato de aluminio.

## **5.6 DESACTIVACIÓN DE LOS RESIDUOS MICROBIOLÓGICOS.**

En el laboratorio de control de calidad de las Empresas Públicas de Armenia, también es llevado a cabo un análisis microbiológico para las muestras de agua, estos análisis comprenden Coliformes totales, Coliformes Fecales y Mesófilos, los cuales son realizados con medios de cultivo ya preparados.

Para la eliminación de dichos residuos se colectaron las cajas de petri ya incubadas producidas en el día y fueron autoclavadas utilizando una presión de 15

libras, una temperatura de 110 °C y un tiempo de 1 hora; al realizarse este procedimiento los residuos microbiológicos ya son desactivados y pueden ser eliminados normalmente.

## **5.7 RECOMENDACIONES EN CASO DE DERRAME DE REACTIVOS.**

### **1. ÁCIDOS ORGÁNICOS, INORGÁNICOS Y SOLUCIONES ÁCIDAS**

Los derrames de ácido se pueden controlar con agentes especiales, bajo las condiciones de uso del fabricante, o utilizar hidróxido de calcio en polvo y/o bicarbonato de sodio. Finalizada la reacción de neutralización, recoger con un paño húmedo y eliminar con abundante agua.

### **2. BASES ORGÁNICAS, LEGÍAS E HIDRÓXIDOS INORGÁNICOS**

Los derrames de bases o compuestos cáusticos, se pueden controlar con agentes especiales, bajo las condiciones de uso del fabricante, o utilizar un exceso de sulfato ácido de sodio en polvo, finalizada la reacción, recoger en un paño húmedo y eliminar con exceso de agua.

Se deben conocer las propiedades de los reactivos utilizados, ya que dependiendo de su carácter (ácido o básico), se puede neutralizar para ser recogidos mas fácilmente y disminuir el riesgo de accidentes.

Un producto eficaz para absorber líquidos derramados es el Chemizorb, el cual es capaz de absorber hasta un máximo del 100 % su propio peso, toda clase de ácidos, álcalis y disolventes; líquidos que tienen mayor viscosidad también se absorben aunque mas lentamente.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- Al realizar el manual para la recolección clasificación y eliminación de los residuos, se hizo un procedimiento en el cual se mezclaron todos los desechos producidos por los análisis realizados en el laboratorio, estos análisis abarcan tanto los producidos por volumetría como los producidos por colorimetría. Al realizar la coagulación – floculación utilizando sulfato de aluminio como coagulante para reducir la DQO y la DBO, se produjeron resultados muy altos en las pruebas anteriormente citadas, por lo que este procedimiento no fue llevado a cabo.
- Al realizar las pruebas de jarras usando el método de aumento y posterior disminución del pH para favorecer el proceso de coagulación, se observó un incremento en el valor de la DQO y la DBO finales con respecto a las iniciales, ocasionado por el ácido clorhídrico el cual fue utilizado para bajar el pH, por lo tanto este método tampoco fue utilizado.
- Debido a que los procedimientos anteriormente citados no fueron realmente efectivos, se optó por trabajar los residuos por separado, es decir, los producidos por los análisis volumétricos y los producidos por los colorimétricos, de esta manera los resultados de la DQO y la DBO disminuyeron notablemente, además los parámetros exigidos por el decreto 1594/84 se pudieron cumplir eficazmente debido a que la DQO y la DBO disminuyeron en mas de un 20 %, los sólidos suspendidos en mas de un

80%, el pH para todas las muestras estuvo entre 6 y 8, la temperatura fue menor de 40 ° C, y al estar neutralizados los residuos, no presentaron pH ni básico ni ácido, por lo que estos residuos pudieron ser vertidos por el desagüe sin ocasionar problemas al medio ambiente.

- Para los residuos volumétricos los cuales presentaron pH básico, fue necesaria la neutralización, ésta se realizó con ácido sulfúrico lo cual no alteró ninguno de los parámetros analizados.

Los volúmenes de ácido agregados en los residuos fue establecido dependiendo del pH inicial de la muestra, debido a que estos varían diariamente porque algunos de los análisis pueden ser repetidos, o porque las cantidades agregadas de reactivos pueden ser diferentes; algunas veces es desarrollado un plan de contingencia para asegurar la calidad del agua producida por la planta, lo que también puede alterar el cambio de pH en las muestras.

- Para los residuos colorimétricos también fue necesaria una neutralización debido a que el pH de estos residuos es ácido, ésta se realizó utilizando una solución de hidróxido de calcio al 25 %.
- En el tratamiento llevado a cabo para los residuos volumétricos, la dosis óptima fue de 66 ppm a un pH aproximado de 6.5, con estas características los resultados para la DQO, la DBO, los sólidos totales, disueltos y suspendidos, proporcionaron resultados en el rango permisible.
- En el caso de los residuos colorimétricos, la dosis óptima fue de 81 ppm y un pH aproximado de 6.8, con estas características los resultados también fueron permisibles.
- Los desechos del laboratorio de control de calidad de la planta, hasta hace poco eran vertidos directamente al alcantarillado, gracias a este método se

pudo lograr una disminución de la contaminación ambiental producida por los residuos del laboratorio.

- Si comparamos los resultados obtenidos del tratamiento con sulfato de aluminio con los obtenidos del tratamiento de oxidación con manhidrox, podemos concluir que con el manhidrox hay una remoción en mayor proporción de los parámetros exigidos por la norma, además los residuos iniciales no necesitan ser neutralizados y hay una disminución de color notable, por lo que este método puede resultar muy eficaz para el tratamiento de estas aguas.
- El manhidrox es un reactivo fácil de utilizar, además es inodoro y no es tóxico, debido a su gran capacidad oxidante, disminuye tanto la DQO como la DBO y los sólidos totales, como se dijo anteriormente las muestras no necesitan ser neutralizadas previamente, ya que reacciona a cualquier pH. Para los residuos volumétricos, el pH luego de este tratamiento es neutro, por lo que se reduce la aplicación de ácido sulfúrico, y para los colorimétrico el pH es ácido por lo que al final del tratamiento se debe realizar una neutralización con hidróxido de calcio.  
El sobrenadante es de un color muy tenue casi transparente, lo que también resulta ser una ventaja ya que disminuye el color en mayor proporción que utilizando el método con sulfato. Este sobrenadante es eliminado por el desagüe sin problemas de contaminación, y el precipitado es secado y eliminado fácilmente debido a que los productos que quedan en él ya han sido inertizados y no representan ningún problema.
- Al analizar los resultados producidos al realizar ambos tratamientos, tenemos que los dos procesos reducen los parámetros, pero en el proceso con manhidrox hay una reducción mas grande del color y por tanto no se necesitan llevar acabo procesos adicionales de remoción de color, aunque los costos con este reactivo es mayor, debido a que su costo es mas

elevado y las cantidades requeridas son mayores, sin embargo los resultados son mucho mas efectivos.

- Ambos procedimientos pueden ser llevados a cabo en el laboratorio debido a que arrojan resultados eficientes, esto ya depende del presupuesto de la empresa y del porcentaje de remoción que se desee eliminar.
- El sistema de clasificación de los reactivos en el laboratorio permite un fácil acceso a las sustancias requeridas por el personal, la clasificación por colores ofrece una fácil visualización de los factores de riesgo usados en el sistema establecido; es así como al observar la gaveta azul, se sabe que allí están ubicados los reactivos que presentan como factor principal, riesgo para la salud; de igual manera, la gaveta verde indica bajo riesgo en los aspectos considerados.
- Por medio de esta clasificación se brinda un alto grado de seguridad frente a eventuales accidentes, o a posibles derrames; por su fácil entendimiento se convierte en una herramienta de trabajo la cual es utilizada diariamente.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Para la eliminación de los residuos de laboratorio se recomienda utilizar el método de oxidación, sedimentación y decantación con manhidrox, debido a que se reduce en más de un 30 % la DQO y DBO, lo que ocasiona una disminución del impacto ambiental producida por dichos residuos.
  
- ❖ Para los residuos producidos por los análisis colorimétricos el método anterior tiene mejores resultados, por lo que es muy conveniente que sea utilizado por lo menos para tratar estos residuos los cuales presentan una DQO y DBO mas alta que la presentada para los residuos volumétricos.
  
- ❖ Si se utiliza el método con sulfato de aluminio, el cual también reduce la DQO, la DBO y los sólidos pero en menor proporción, es más eficaz tratar los residuos por separado, es decir los colorimétricos y los volumétricos aparte, debido a que al trabajarlos conjuntamente los parámetros son muy altos, por lo que el impacto sería mayor.

### 6.3 PROCEDIMIENTO PARA ELIMINAR LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR LOS ANÁLISIS VOLUMÉTRICOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO.

- ✎ Colectar los residuos producidos por los análisis volumétricos del día (aproximadamente 4 L).
  
- ✎ Tomar el pH de los residuos
  
- ✎ Agregar de 3.3 a 3.6 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, para su neutralización, hasta obtener un pH aproximado de 6.5.
  
- ✎ Tomar nuevamente el pH
  
- ✎ Al tener el pH en 6.5 aproximadamente, agregar 13.2 mL de la solución de sulfato de aluminio al 2 %, (66 ppm).
  
- ✎ Dejar en reposo 12 horas para obtener mejores resultados de floculación.
  
- ✎ Eliminar el sobrenadante por el desagüe con un exceso de agua.
  
- ✎ Secar el precipitado y almacenar.

#### 6.4 PROCEDIMIENTO PARA ELIMINAR LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR LOS ANÁLISIS COLORIMÉTRICOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE COAGULACIÓN FLOCULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO.

- ✦ Colectar los residuos producidos por los análisis colorimétricos del día (2.75 L aproximadamente).
  
- ✦ Tomar el pH.
  
- ✦ Agregar de 100 a 105 mL de una solución de hidróxido de calcio al 25 %, hasta obtener un pH aproximado de 6.8.
  
- ✦ Tomar nuevamente el pH.
  
- ✦ Al tener el pH en 6.8 aproximadamente, agregar 11.13 mL de sulfato de aluminio al 2 % (81 ppm).
  
- ✦ Dejar en reposo durante 12 horas para obtener mejores resultados de floculación.
  
- ✦ Eliminar el sobrenadante por el desagüe con un exceso de agua.
  
- ✦ Secar el precipitado y almacenar.

### **6.5 PROCEDIMIENTO PARA ELIMINAR LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR LOS ANÁLISIS VOLUMÉTRICOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE OXIDACIÓN, SEDIMENTACIÓN Y DECANTACIÓN CON MANHIDROX.**

- ▶ Colectar los residuos producidos por los análisis volumétricos del día (4 L aproximadamente).
- ▶ Agregar 400 mL de una solución de manhidrox al 4 %.
- ▶ Dejar en reposo durante 12 horas, para obtener mejores resultados.
- ▶ Eliminar el sobrenadante por el desagüe con un exceso de agua.
- ▶ Desechar el precipitado.

### **6.6 PROCEDIMIENTO PARA ELIMINAR LOS RESIDUOS PRODUCIDOS POR LOS ANÁLISIS COLORIMÉTRICOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE OXIDACIÓN, SEDIMENTACIÓN Y DECANTACIÓN CON MANHIDROX.**

- ▶ Colectar los residuos producidos por los análisis colorimétricos del día (2.75 L aproximadamente).
- ▶ Agregar 455 mL de la solución de manhidrox al 4 %.
- ▶ Dejar en reposo durante 12 horas.
- ▶ Tomar el pH.
- ▶ Neutralizar con hidróxido de calcio hasta obtener un pH entre 6 y 8.

- ↳ Eliminar el sobrenadante con un exceso de agua.
  
- ↳ Desechar el precipitado.

**NOTA:** Realizar periódicamente los análisis de los parámetros más importantes tales como DQO, DBO, sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos a los residuos, antes y después del tratamiento para controlar la eficacia del método.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA, WPCF. "Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales". Madrid : Ediciones Díaz de Santos, S.A, 1992.

AUBAD ANA ISABEL, MÁRQUEZ RICARDO LEÓN. "Planificación e implementación de un programa para el manejo de residuos sólidos". Medellín Colombia 2000.

BALDOIRE MOYANO ALBERT. "Manual de Gestión de los Residuos Especiales de la Universidad de Barcelona". 2000

DÍAZ L, Carrasco. "Depuración de Aguas Residuales". M.O.P.T., Madrid, 1991.

FACULTADES Y ORGANISMOS INVOLUCRADOS. "Reglamento de manejo de residuos peligrosos". Universidad de Concepción, Diciembre de 1998.

GADEA CARRERA ENRIQUE. "Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales". España octubre 2002.

GADEA CARRERA ENRIQUE. "Gestión de residuos tóxicos en pequeñas cantidades". España octubre 2002.

GILBERT. H. AYRES. "Análisis Químico Cuantitativo". Mexico: Edición Harla, 1970

HACH. Company. "Manual para Análisis de Aguas".1982-1984

HERNANDEZ MARIO. "Manual de diseño para plantas de Tratamiento de Aguas Residuales". Bogotá 2001.

J.T. BAKER. Catálogo general E.U.A, 1998.

MILLER J.C & MILLER J.N "Estadística Para Química Analítica". Editorial Addison-wesley Iberoamericana, Segunda Edición, Wilmington Delaware, 1993.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. "Tratamiento de Aguas Residuales". Bogotá, Noviembre de 2000.

REYES CARATTINI DAVID. "Plan de Higiene Química". Octubre de 1997.

REYNOLDS KELLY A. "Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica". Septiembre / Octubre de 2002.

ROMERO ROJAS JAIRO ALBERTO. "Calidad del Agua". Bogotá: escuela colombiana de ingeniería.

RUEDA ENRIQUE E. "Eliminación de Residuos Sólidos". Buenos Aires- Argentina 2001.

ZUMALACÁRREGUI DE CÁRDENAS BEATRIZ, MONDEJA GONZÁLEZ DIANA. "Problema Medioambiental en Laboratorios Químicos". La Habana, Cuba. 2000.

**ANEXO 1**

Figura 1. Residuos volumétricos iniciales, y finales con sulfato y con manhidrox



Figura 2. Residuos colorimétricos iniciales y finales con sulfato y con manhidrox.



Figura 3. Residuos volumétricos iniciales, Y finales con manhidrox.



Figura 4. Residuos colorimétricos iniciales, y finales con manhidrox

## ANEXO 2



Figura 5. Vitrina verde inorgánico  
(riesgo bajo)



Figura 6. Gaveta verde inorgánico  
(riesgo bajo)



Figura 7. Vitrina verde orgánico (riesgo bajo)



Figura 8. Gaveta azul (riesgo para la salud)



Figura 9. Gaveta roja (inflamabilidad)



Figura 10. Gaveta blanca (contacto)



Figura 11. Gaveta blanco rayado  
(inflamabilidad)



Figura 12. Gaveta Amarillo (reactividad)

