

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“REDUCCIÓN DE LA DQO PROVENIENTE DEL EFLUENTE DEL PROCESO RECUPERACIÓN DE FINOS EN LA PRODUCCIÓN DE DETERGENTES, UTILIZANDO UN COAGULANTE RECUPERADO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

CASA QUISPE, FLOR ESTHEFANY

**Villa El Salvador  
2017**

## **DEDICATORIA**

Para mi familia:

Pedro Casa por haberme enseñado a ser independiente en todo momento,  
Flora Quispe por mostrarme con su ejemplo que el amor es la fuerza más grande  
y mis hermanos Katherine, Solange, Juan y Carolina, por estar a mi lado.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme cuidado y ser mi fortaleza

Al Ingeniero Agerico Pantoja por guiarme y motivarme en el desarrollo de la  
presente.

Al Licenciado Mario Peláez Osorio por apoyarme.

A mi facultad Ingeniería y Gestión Escuela Profesional Ingeniería Ambiental por  
brindarme los servicios de Laboratorio.

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	10
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	12
1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	12
1.3.1 Teórica.....	12
1.3.2 Espacial .....	12
1.3.3 Temporal .....	13
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.5 OBJETIVO .....	13
1.5.1 Objetivo General.....	13
1.5.2 Objetivos Específicos .....	14

### CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES.....	15
2.2 BASES TEÓRICAS.....	21
2.2.1 Industria de detergentes Limpia Max.....	21
2.2.1.1 Proceso de producción de detergentes.....	22

2.2.2	Partículas coloidales.....	26
2.2.3	Coagulación.....	28
2.2.3.1	Sulfato de aluminio.....	29
2.2.3.2	Química de la coagulación con sulfato de aluminio .....	29
2.2.3.3	Mecanismos de coagulación .....	30
2.2.4	Floculación .....	32
2.2.4.1	Mecánica de la floculación .....	32
2.2.5	Métodos de recuperación del coagulante .....	33
2.2.5.1	Tratamiento de acidificación.....	35
2.2.5.2	Tratamiento de alcalinidad .....	36
2.2.6	Demanda Química de Oxígeno.....	37
2.2.6.1	Relación entre la DQO y DBO.....	37
2.2.7	Turbidez.....	38
2.3	MARCO CONCEPTUAL .....	39

### **CAPÍTULO III      DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA**

3.1	MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS.....	44
3.2	METODOS REFERENCIALES PARA LA MEDICION DE PARAMETROS .....	47
3.2.1	Determinación de la DQO.....	47
3.2.2	Determinación de pH... ..	48
3.2.3	Determinación de la turbidez .....	48

3.3 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	49
3.3.1 Toma de la muestra de agua .....	49
3.3.2 Determinación de la dosis óptima con sulfato de aluminio .....	49
3.3.3 Tratamiento de acidificación con HCl .....	50
3.3.4 Evaluación del coagulante recuperado.....	51
<b>CAPÍTULO IV        RESULTADOS A NIVEL LABORATORIO</b>	
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA .....	53
4.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA.....	54
4.3 REDUCCIÓN DE LA DQO.....	56
4.3.1 Influencia del pH.....	59
4.3.2 Influencia de la dosis de coagulante recuperado.....	61
4.3.3 Análisis estadístico de los resultados con SPSS... ..	63
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS</b>	
ANEXO N°1:    Norma Aplicable a la empresa	
ANEXO N°2:    Imágenes del Desarrollo del Proyecto	
ANEXO N°3:    Certificados y Manual Test de Jarras	
ANEXO N°4:    Informe de ensayo DQO	

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla N°1: Equipos utilizados en el desarrollo de la experimentación

Tabla N°2: Proporciones de dosis de coagulante y pH

Tabla N°3: Características del agua en estudio

Tabla N° 4: Determinación de la dosis óptima usando sulfato de aluminio

Tabla N° 5: Volumen de lodo generado usando sulfato de aluminio

Tabla N° 6: Resumen de resultados de la Influencia de Dosis y pH en la eficiencia de reducción de la DQO

Tabla N° 7: Volumen de lodo generado usando el coagulante recuperado

## **LISTA DE IMÁGENES**

Imagen N°1: Tamaño aproximado de las partículas y su distribución

Imagen N° 2: Doble capa de una partícula coloidal negativa

Imagen N°3: Características fisicoquímicas del lodo de sulfato de aluminio

Imagen N° 4: Procedimiento de recuperación de coagulante a partir de lodos

Imagen N° 5: Preparación de la solución de sulfato de aluminio

Imagen N° 6: Procedimiento para obtener el lodo de sulfato de aluminio

Imagen N° 7: Espesamiento de lodos

Imagen N° 8: Agitación con HCl

Imagen N° 9: Separación de fases

Imagen N° 10: Evaluación del coagulante recuperado

Imagen N°11: Lodo generado en el Tratamiento con HCl

## **LISTA DE GRÁFICAS**

Gráfica N°1: Valores medidos de la DQO en los últimos periodos de monitoreo

Gráfica N°2: Dosis de sulfato de aluminio vs la eficiencia de remoción de la  
Turbidez

Gráfica N° 3: pH vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, dosis de 15 mg/L

Gráfica N° 4: pH vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, dosis de 20 mg/L

Gráfica N°5: pH vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, dosis de 40 mg/L

Gráfica N°6: Dosis de coagulante vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, a  
un pH = 7

Gráfica N° 7: Dosis de coagulante vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez,  
a un pH = 8

Gráfica N°8: Dosis de coagulante vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, a  
un pH = 10

## **DIAGRAMA DE FLUJO**

Diagrama N°1: Diagrama de flujo de la producción de detergentes

Diagrama N°2: Diagrama de flujo del tratamiento de acidificación con  
HCl

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva por título “REDUCCIÓN DE LA DQO PROVENIENTE DEL EFLUENTE DEL PROCESO RECUPERACIÓN DE FINOS EN LA PRODUCCIÓN DE DETERGENTES, UTILIZANDO UN COAGULANTE RECUPERADO”, para optar el título de Ingeniero Ambiental, presentado por la alumna Casa Quispe Flor Esthefany.

El aumento de las industrias instaladas en sectores urbanos como Lima, genera mayor porcentaje de efluentes industriales que se dirigen a las redes de alcantarillado sanitario, las características de sus efluentes varía en cantidades y concentración de parámetros.

Entre los parámetros principales se encuentra la demanda química de oxígeno DQO; que de acuerdo con la legislación ambiental peruana aplicado a los Usuarios No Domésticos que descargan sus efluentes a la red de alcantarillado sanitario es 1000 mg/L de O<sub>2</sub>.

En la empresa que por temas de confidencialidad llamaremos de ahora en adelante Limpia Max, que tiene como actividad principal la producción de detergentes en polvo en su proceso Recuperación de Finos presentan un efluente con altos niveles de DQO; se realizó una experimentación a escala laboratorio para reducir la concentración de la DQO mediante el uso de un coagulante recuperado.

La estructura que hemos seguido en este proyecto se compone de 4 capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, el segundo capítulo

el desarrollo del marco teórico, el tercer capítulo el desarrollo de la metodología y el cuarto capítulo corresponde a los resultados.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Según la Superintendencia de Servicios de Saneamiento SUNASS (2016) Lima genera 1 millón 200 mil m<sup>3</sup> de aguas residuales por día, y cuando estas son vertidas a un cuerpo receptor sin previo tratamiento generan un impacto negativo en el mismo, a ese problema se agrega los conflictos sociales por la demanda de agua.

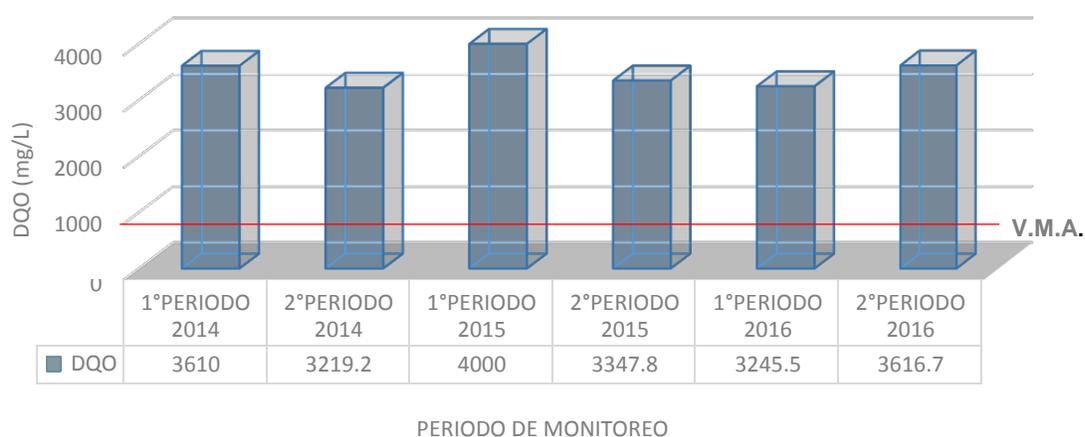
En Lima y el callao El Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal) es el encargado de administrar y gestionar los sistemas de alcantarillado que conducen las aguas residuales a sus 23 Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) antes de ser vertidos a los cuerpos receptores, sin embargo enfrentan un problema con la descarga de efluentes industriales que superan la legislación peruana Valores Máximos Admisibles Decreto Supremo N° 021-2009 VIVIENDA, afectando la eficiencia de sus PTARs.

Existe mayor interés de parte de los Usuarios No Domésticos en cumplir la legislación peruana y el aumento de la conciencia de la población por los temas ambientales. Esto lleva a desarrollar tecnologías en el tratamiento de los efluentes industriales que optimicen el uso de sus insumos químicos y que se minimice la generación de lodos.

De acuerdo con lo anterior la empresa LIMPIA MAX que tiene como actividad la producción de detergente en polvo; en el efluente de su proceso de Recuperación de finos presento en los tres últimos años valores altos en la medición de la Demanda Química de oxígeno DQO, uno de los principales parámetros exigidos en la norma, en el Gráfica N°1 se puede ver dichos valores.

**Gráfica N°1**

Valores medidos de la DQO en el periodo del 2014 al 2016 en la empresa Limpia Max



Fuente: Estudio de Monitoreo Ambiental de Limpia Max (2014-2016)

Por tal motivo la presente investigación tiene como objetivo reducir la concentración de la DQO del efluente que proviene del proceso Recuperación de finos de la empresa Limpia Max, mediante el uso de un coagulante recuperado,

además determinar la influencia de la dosis de coagulante recuperado y el potencial de hidrógeno pH.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Al determinar la eficiencia de reducción de la DQO proveniente del efluente del proceso de recuperación de finos en la producción de detergentes utilizando coagulante recuperado, permitirá conocer la factibilidad técnica de realizar a una mayor escala el proceso de recuperación de coagulante generando beneficios en el óptimo uso del coagulante (sulfato de aluminio) y minimizando el volumen de lodos, con fines de cumplir la norma Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA Valores Máximos Admisibles que aplica a los Usuarios No Domésticos que descargan sus efluentes a la red de alcantarillado sanitario.

En el Anexo N°1 se presenta la norma aplicable al efluente de la empresa.

## **1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Teórica**

Esta determinada por la existencia de investigaciones ejecutadas afines a la que queremos ejecutar. Está limitada a las teorías relacionadas al tema de investigación planteado.

### **1.3.2 Espacial**

El desarrollo de la investigación se realizó en el laboratorio de Biología y Edafología de la Escuela profesional de Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Gestión de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS) en Villa El Salvador.

### **1.3.3 Temporal**

El desarrollo de la investigación comprende un periodo de 6 meses desde el mes de diciembre 2016 hasta junio 2017.

## **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.4.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la eficiencia de reducción de la DQO proveniente del efluente del proceso recuperación de finos en la producción de detergentes, utilizando un coagulante recuperado?

### **1.4.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

¿En qué medida influye el pH en la reducción de la DQO proveniente del efluente del proceso recuperación de finos en la producción de detergentes, utilizando un coagulante recuperado?

¿En qué medida influye la dosis de coagulante en la reducción de la DQO proveniente del efluente del proceso recuperación de finos en la producción de detergentes, utilizando un coagulante recuperado?

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Reducir la DQO proveniente del efluente del proceso recuperación de finos en la producción de detergentes, utilizando un coagulante recuperado.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Determinar la influencia del pH en la reducción de la DQO proveniente del efluente del proceso recuperación de finos en la producción de detergentes, utilizando un coagulante recuperado.

Determinar la influencia de la dosis de coagulante en la reducción de la DQO proveniente del efluente del proceso recuperación de finos en la producción de detergentes, utilizando un coagulante recuperado.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

Para la presente se ha hecho un análisis de estudios antes realizados relacionados al tema, obteniendo experiencias ligadas al objetivo de la investigación.

En la India Tarique, Kafeel, Abdul & Mehtab (2016), realizaron una investigación: Caracterización del lodo de tratamiento de aguas y su reutilización como coagulante, consistió en tomar muestras del río Yamuna y mediante el proceso coagulación floculación se produjo un lodo, caracterizaron al lodo y le dieron un tratamiento de acidificación con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) para reutilizarlo y evaluar su desempeño como coagulante. Llegaron a las siguientes conclusiones:

- El agua del río Yamuna requiere una dosis óptima de coagulante, sulfato de aluminio de 30 mg/L, el lodo producido tuvo un contenido de sólidos de 4.2%, un 9.58% de Al y un 7.44 de Fe.
- Las mejores condiciones para la preparación de lodo como coagulante fue: la concentración de 1% de lodo y concentración de ácido de 0.05 ml/ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado al 2.5 N.
- La mejor dosis de aplicación para reutilizar el lodo como coagulante fue de 8 ml/l el cual reporto una remoción de turbidez de 94.2% a un rango de pH de 6 - 8 esto teniendo en cuenta eficacia de remoción de Turbidez y que sea rentable en términos de reactivos utilizados.
- La reutilización de lodos, que proviene del proceso coagulación floculación del agua del río Yamuna, mediante el proceso de acidificación ofrece una alternativa de solución sostenible tanto económica como ambiental.

En Tailandia Jangkorn, Kuhakaew, Theantanoo, Klinla & Sriwiryarat (2011) realizaron una investigación: Evaluación de la reutilización de lodos de alumbre para la coagulación de aguas residuales industriales que contienen tensioactivos aniónicos mixtos. Esta investigación consistió en evaluar la viabilidad de la reutilización del sulfato de aluminio como coagulante o como coadyuvante del proceso coagulación floculación; para reducir el uso del sulfato de aluminio. Llegaron a las siguientes conclusiones:

- La muestra de agua fue recolectada de una empresa que fabrica detergentes, se realizó el mezclado rápido a 200 revoluciones/minutos durante 10 min seguido de una mezcla lenta de 45 revoluciones/ minuto durante 30 minutos y finalmente los flóculos se dejaron sedimentar durante 60 minutos.
- En la caracterización de muestra de agua dio como resultado significativas cantidades de turbidez, DQO, y un pH alcalino
- Se realizó pruebas variando el pH con una dosis fija de coagulante de 800 mg/L, después se determinó un pH óptimo de 10 y con esa cantidad se realizó pruebas variando la dosis de coagulante, resultando una dosis óptima de 400 mg/L concentrado al 8% w/w de sulfato de aluminio.
- Para evaluar la reutilización del coagulante se preparó concentraciones de 200 hasta 1200 mg/L encontrando una eficiencia de remoción de 69.9% para la DQO y 53.9% para la turbidez, esto a una concentración de 1200 mg/l de lodo de coagulante.
- Para evaluar la reutilización del coagulante como coadyuvante en el proceso coagulación floculación, se usó sulfato de aluminio como coagulante. Se encontró el mejor resultado a una dosis de 400 mg/L de sulfato de aluminio más 600 mg/L del coadyuvante con una eficiencia de remoción de 99,5% y 92,8% de turbidez y DQO respectivamente.
- El lodo proveniente del proceso coagulación floculación podría ser reutilizado para el tratamiento de las aguas residuales de la industria de detergentes.

En China G. Xu, Z. Yan, Y. Wang, N.Wang (2009) realizaron una investigación: Reciclado de Alum recuperado de lodos de tratamiento de agua en tratamiento primario químicamente mejorado (Coagulación Floculación). Consistió en recuperar el coagulante mediante acidificación ácido sulfúrico concentrado al 1M, y evaluar su eficiencia para eliminación de contaminantes (DQO y turbidez), también investigaron el impacto de la acidificación en la reducción del volumen del lodo. Llegaron a las siguientes conclusiones:

- La calidad de la muestra de agua residual doméstica, extraída de una zona residente al Instituto de tecnología de Harbin, presento valores altos de DQO 502.36 mg/L, turbidez de 112 UNT además un pH de 7.1–7.9.
- Para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio evaluaron la remoción de Turbidez y DQO, donde encontraron un porcentaje de remoción de 96 % y 73% respectivamente a una dosis de 12 mg/L.
- Para el proceso de acidificación del lodo de sulfato de aluminio evaluaron las variables pH y tiempo de mezcla, encontrando un mejor porcentaje de recuperación de aluminio con 84.2% a un nivel de pH de 2.5, con respecto al tiempo de mezcla optima encontraron un porcentaje de recuperación de aluminio de 83.5% en un tiempo de 60 min. La acidificación puede recuperar eficazmente el aluminio de los lodos de tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Encontraron que en el proceso de acidificación a medida que el pH disminuye la reducción de lodos aumenta; donde a un pH de 2.5 donde se

obtuvo un porcentaje de 84.2 % de recuperación del aluminio se redujo lodo en un 35.5%. El volumen de lodo se reduce significativamente

- Realizaron 4 repeticiones del proceso de acidificación (con las variables óptimas de pH y Tiempo de mezcla) sobre la recuperación de aluminio y la reducción de lodos, y se obtuvo que el porcentaje de recuperación y reducción de lodos para 4 repeticiones disminuye en mínima cantidad a medida que se repite el proceso de acidificación para la recuperación del aluminio.
- Las pruebas muestran que podría ser una mejor manera de recuperar recursos y reducir el volumen de lodos, haciendo más rentable el proceso coagulación floculación.

En México Thelma Pavón, Víctor Pacheco y Luz Cárdenas (2003) realizaron una investigación: Tratamiento de lodos de una potabilizadora para la recuperación de aluminio y hierro como coagulantes, en donde recolectaron lodo de una planta potabilizadora que dentro de su proceso usaba como coagulante sulfato de aluminio, caracterizaron al lodo y le dieron un tratamiento de acidificación variando el tipo de ácido (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y ácido nítrico) las condiciones a las que fue tratado el lodo fueron las mismas y luego cuantificaron el aluminio que fue recuperado y evaluaron al coagulante recuperado en la remoción de la turbidez para una muestra de agua de 90 UNT preparada en laboratorio.

Concluyeron lo siguiente:

- El lodo del proceso coagulación concentro 19600 mg/kg en base seca de lodo, humedad de 86% y pH de 7.9.
- En el tratamiento de recuperación de coagulante preparado variando el ácido se cuantifico el porcentaje de recuperación de aluminio, el ácido nítrico y clorhídrico presentaron porcentaje de recuperación de aluminio de 68% y 63% respectivamente mientras que el ácido sulfúrico presento un 25 % de porcentaje de recuperación de aluminio.
- En la eficiencia de turbidez aplicando dosis de 10 a 80 mg/L en un intervalo de 10 mg/L, el ácido que presento mejores resultados de remoción de la turbiedad fue el ácido clorhídrico con una dosis de 80 mg/L se obtuvo una remoción de 95.6 % de eficiencia de remoción de turbidez, y una mínima porcentaje de remoción de 73% con una dosis de 30mg/L.
- El ácido sulfúrico presento una eficiencia de remoción de turbidez del 92.3% a una dosis de 50 mg/L, y una mínima porcentaje de remoción de 87.1 a una dosis de 10mg/L. Además se notó que a más dosis no aumentaba la eficiencia sino disminuyo ligeramente.
- El ácido nítrico presento una eficiencia de remoción de turbidez del 86.3% a una dosis de 80 mg/L, se puede resaltar que a una dosis de 10 mg/L la eficiencia de remoción de la turbidez fue de 85.2%

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Industria de detergentes Limpia Max:**

Los detergentes son sustancias químicas mayormente orgánicas que poseen propiedades limpiadoras, contienen tensioactivos, palabra que deriva de los términos superficie – agente –activo, son moléculas capaces de modificar la propiedad interfacial de los líquidos. Su carácter anfifílico, es decir, posee una parte hidrófila (cabeza polar o grupo iónico) y una hidrófoba (cadena hidrocarbonada). Ambos grupos le dan a estos productos químicos muchas propiedades; solubilidad, detergencia, reducción de la tensión superficial del agua, resistencia a la dureza del agua, emulsionante, humectante, formación de micelas, etc. (Álvarez, 2016)

La empresa Limpia Max, cuya actividad es la producción de detergentes en polvo, tiene un capacidad de producción de 95 000 TM de producto al año; el consumo de agua es necesario para la homogenización y control de la viscosidad de la mezcla durante la reacción; así mismo se requiere agua para la etapa de batido, en la que ingresan sólidos y se necesita homogenizar la mezcla.

Limpia Max requiere 460 kilos de agua para producir una TM de producto final; esta agua sale con el producto (humedad), sale del secador como vapor de agua y sale del ciclón en donde parte de su efluente recircula al proceso y la otra parte (agua de rebose) se recolecta y almacena en una poza, esté se dispone como residuo con una EPS- RS registrada en DIGESA. Es decir el agua que sale del proceso se recircula y el agua de rebose se dispone como

residuo, con lo cual se deja claro que no presenta un proceso de coagulación floculación para tratar su efluente industrial.

#### **2.2.1.1 Proceso de producción de detergentes:**

El proceso productivo para la obtención de detergentes en polvo, comprende las etapas de:

##### **Neutralización**

Proceso en el cual se hace ingresar al reactor ácido alquilbenceno sulfónico (H-LAS) y la soda cáustica líquida al 50% para dar lugar a la reacción de formación del alquilbenceno sulfonato de sodio que es el principal componente del detergente; esta reacción es exotérmica y como subproducto de la reacción se forma agua.

##### **Batido**

El batido se realiza en el mismo tanque neutralización donde se mezcla el alquilbenceno sulfonato de sodio con tripolifosfato de sodio, silicato de sodio, carbonato de sodio que refuerzan la acción detergente del alquilbenceno sulfonato de sodio; se adicionan otros ingredientes como fragancia, abrillantador, etc.

Finalizado el batido se transfiere a un tanque de envejecimiento del cual se bombeará la pasta batida hacia las toberas del secador por aspersion.

##### **Secado**

La pasta pasa por una torre de secado por aspersion (o torre de rociado).

El horno genera aire caliente y se distribuye en la torre de rociado.

La pasta de detergente es enviada a la torre de rociado y esparcido desde los inyectores cortando el flujo de aire caliente para mantener volúmenes pequeños en forma de gránulos, que desciende suavemente y es secada por el contacto con los gases calientes.

### **Recuperación de finos**

Después de pasar a través de la torre de rociado, los gases son liberados dentro del colector ciclón con un lavador de gases incluido, que recupera los finos del detergente.

Los gases calientes mezclado con finos de detergente ingresa en forma tangencial al ciclón y el agua cae como lluvia (aspersores); los finos más agua descienden y una parte se va en forma de vapor de agua.

El efluente de ciclón se dirige a un tanque para ser bombea de regreso al proceso (Batido) sin embargo un 15 % del efluente del ciclón se elimina por rebose, éste se colecta y almacena en una poza que semanalmente se dispone con una EPS- RS. El caudal que ingresa a la poza es  $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ .

En el diagrama N°1 se puede ver el punto P de donde se extrajo la muestra de agua.

### **Tamizado o Clasificación**

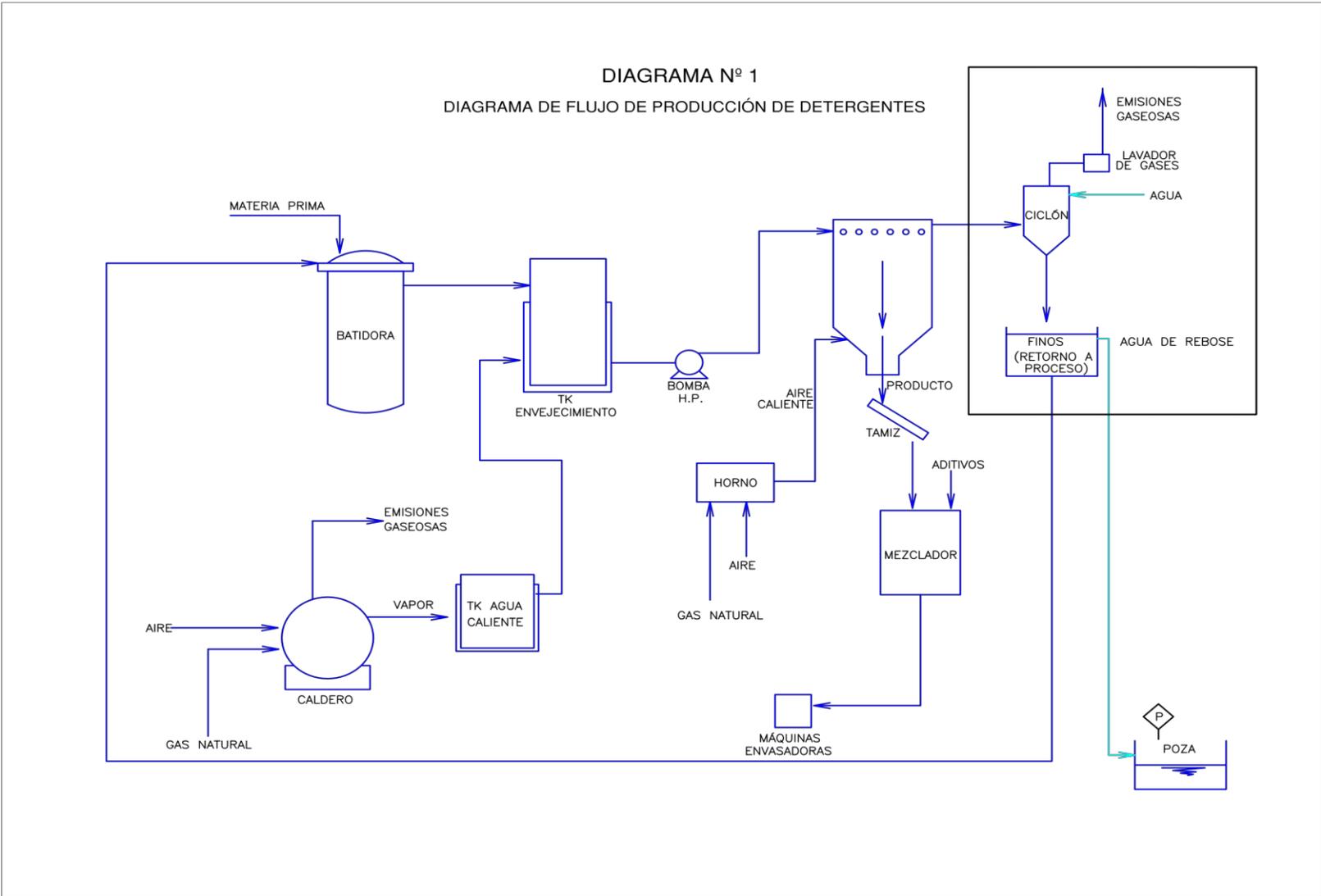
El detergente en polvo descenderá sobre un tamiz vibratorio, separando el polvo fino y grueso y pasando a un mezclador donde se le adiciona

otros ingredientes como el perfume, color, etc. y luego será transportado a la sección de empaque.

### **Envasado**

El detergente en polvo es enviado a la máquina automática de pesado y empaque que es acoplada con una máquina de sellado continuo para sellar el producto en bolsas de polietileno. Una vez que las bolsas son selladas se colocan en bolsas.

El proceso productivo en la Limpia Max se extrajo del Estudio de Impacto Ambiental.

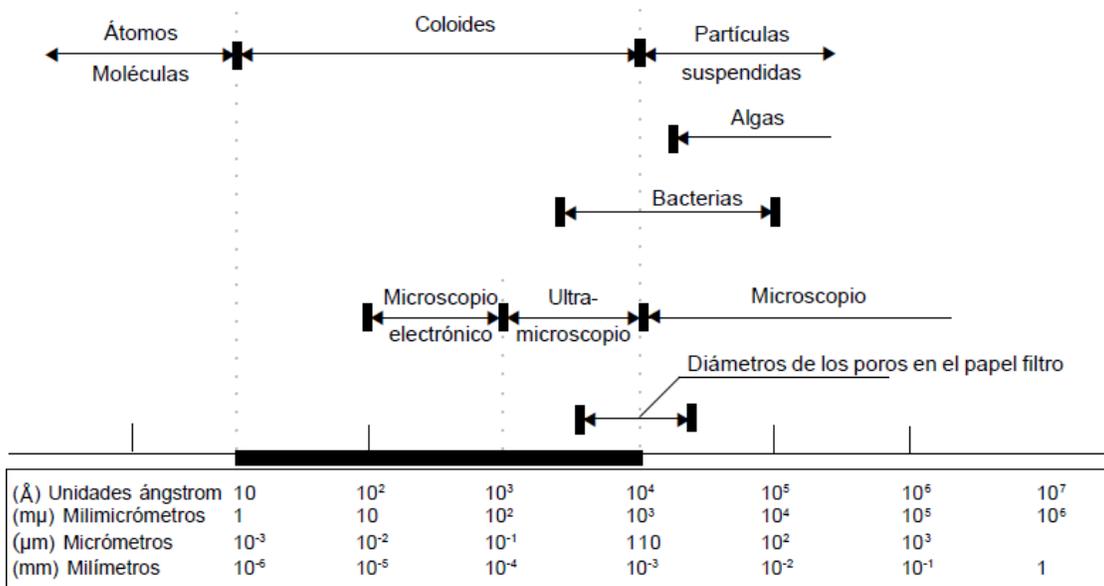


Fuente: Estudio de Impacto Ambiental de Limpia Max

## 2.2.2 Partículas coloidales

Las partículas coloidales en el agua por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1000 mili micrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad. (Barrenechea, 2004)

**Imagen N°1:** Tamaño aproximado de las partículas y su distribución



Fuente: Barnechea, 2004

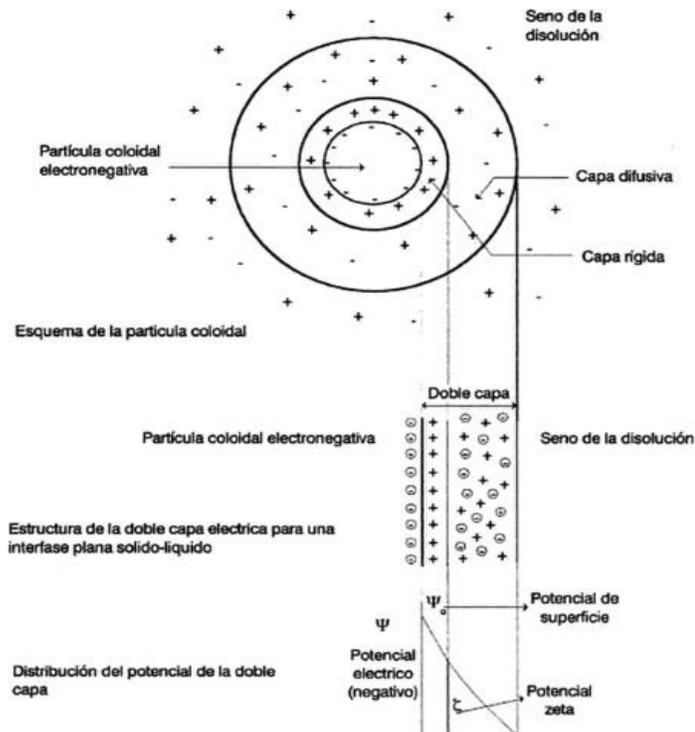
Las partículas coloidales son portadoras de una carga eléctrica, que generalmente es de signo negativo, cuando está en una dispersión coloidal existe una capa de iones adsorbidos con el mismo signo que la partícula coloidal y otra capa de iones de signo contrario (contra iones) pero este último tiene un número de carga eléctrica menor que la primera capa; estas capas están retenidas por atracción eléctrica que se desplaza con la partícula

coloidal; se le conoce como frontera de disolución rígida y posee una carga neta del coloide.(Weber, 1979)

Cuando existe una agitación térmica hace que los iones se difundan desde la superficie de la partícula hacia la masa principal de la disolución, por tanto existe dos fenómenos competitivos que extienden la carga en la disolución sobre una capa difusiva. El conjunto de la disolución rígida y la capa difusiva se le conoce como Doble capa donde una es rígida y la otra es móvil. (Weber, 1979)

La superficie imaginaria que separa a la capa rígida y la capa difusiva se le llama plano cizalla, el potencial en el plano es el potencial Z (Arboleda, 1992) Johnson y Alexander definieron el potencial zeta, como la energía requerida para atraer una carga unitaria desde el infinito hasta el Plano de cizalla; el valor del potencial Z es indicativo de la estabilidad coloidal, es decir refleja la capacidad de adsorber iones. A medida que disminuye el potencial Z, las partículas pueden aproximarse cada vez más aumentando la posibilidad de una colisión y por ende la agregación entre ellas. (Aguilar, Saéz, LLoréns, Soler & Ortuño 2002).

**Imagen N° 2:** Doble capa de una partícula coloidal negativa



Fuente: Aguilar, Saéz, LLoréns, Soler & Ortuño 2002)

### 2.2.3 Coagulación

Las aguas residuales son consideradas dispersiones debido a la gran cantidad de impurezas que contienen, con tamaños que oscilan entre  $10^{-8}$  cm y  $10^{-2}$  cm, la sedimentación da lugar a la separación de gran parte de estas impurezas, sin embargo no aplica para las partículas de menor tamaño, para ellas se tiene que llevar a cabo una operación antes de la sedimentación, este proceso es llamado la coagulación. (Aguilar, Saéz, LLoréns, Soler & Ortuño 2002)

La coagulación es el proceso por el cual las partículas coloidales presentes en el agua que por su capacidad de permanecer estables indefinidamente,

requieren de un coagulante para desestabilizarlos haciendo que se combinen químicamente con otras de mayor tamaño, obteniéndose un rápido efecto de sedimentación (Stumm y Morgan, 1962)

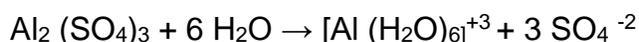
El coagulante más usado por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo es el sulfato de aluminio del cual se hablará a detalle. (Arboleda, 1992)

### **2.2.3.1 Sulfato de aluminio**

El sulfato de aluminio conocido también como alumbre es una sal derivada de hidróxido de aluminio y de ácido sulfúrico, esto hace que sus soluciones acuosas sean ácidas. Su fórmula es  $Al_2 (SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ , y su masa molecular es 600 g/mol. Su concentración está definida por su contenido de alúmina ( $Al_2O_3$ ) (Barrenechea, 2004)

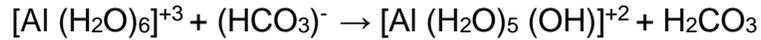
### **2.2.3.2 Química de la Coagulación con sulfato de aluminio**

Cuando el sulfato de aluminio esta en solución se encuentra hidrolizada, es decir asociado con el agua, como se muestra en la siguiente ecuación. Estos iones de aluminio hidratados actúan como un ácido y reaccionan con las bases que se encuentran en el agua. (Arboleda, 1992)



Si el agua es alcalino, contiene:  $(OH)^-$ ,  $(CO_3)^{-2}$ ,  $(HCO_3)^-$  y se expresa de la siguiente manera.





El  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{+2}$  es compuesto inestable y transitorio que se hidroliza rápidamente, reemplazando una molécula de agua por un hidróxido, quedando así:



El producto final es un hidróxido de aluminio que precipita a cierto pH. Los iones de aluminio hidratado son adsorbidos por las partículas del agua, produciendo su desestabilización, los hidróxidos de aluminio son menos efectivos como coagulantes. (Arboleda, 1992)

### **2.2.3.3 Mecanismo de coagulación**

En el mercado de tratamiento de aguas residuales existen diferentes coagulantes químicos que pueden llevar a cabo la desestabilización por distintos caminos, y algunos coagulantes lo pueden hacer por más de un camino. (Aguilar, Saéz, LLoréns, Soler & Ortuño 2002)

#### **a. Adsorción y neutralización de la carga**

La desestabilización de una dispersión coloidal consiste en las interacciones entre coagulante-coloide, coagulante – solvente y coloide – solvente. Un cambio de los iones adheridos por otros de mayor valencia, reduce en la superficie el potencial del coloide. Cuando se agrega sulfato de aluminio o sales de hierro al agua en condiciones especiales de dosis

de coagulante y pH, se forma una serie de especies solubles hidrolizadas. Estas especies hidrolizadas se adhieren o forman complejos superficiales con el coloide, y lo desestabilizan, lo que permite la formación de flóculos (Nuñez & Peña, 2011)

#### **b. Compresión de la doble capa**

Las interacciones del coagulante con la partícula coloidal son electrostáticas, los iones de carga similar a la carga del coloide son repelidos y los contraiones son atraídos. Los coagulantes que actúan así son llamados electrolitos indiferentes; al aumentar la concentración del electrolito se incorporan iones de signo contrario en la capa difusa, comprimiéndola, disminuyendo las fuerzas repulsivas y con ello el potencial zeta. (Aguilar, Saéz, Lloréns, Soler & Ortuño 2002)

Schulze Hardy que dice: "La precipitación de un coloide es efectuada por aquel ion del electrolito añadido, que tenga una carga opuesta en signo a la de las partículas coloidales y el efecto de dicho ion se incrementa tanto más cuanto mayor sea el número de cargas que posea".

#### **c. Coagulación por Puente Químico**

Si la adsorción de contra iones es debida a fuerzas químicas se establecerán enlaces de hidrógeno, covalentes, iónicos, etc., entre las moléculas adsorbidas y las superficies de los coloides. Por otra parte, entre más puntos de adsorción disponibles haya (más superficie que cubrir) más moléculas capaces de ser adsorbidas (coagulantes) serán más fácilmente adsorbidos los polímeros grandes que los pequeños. En

este caso, la coagulación no está mayormente influenciada por las fuerzas electrostáticas, sino por el fenómeno coloide en uno o más puntos fijos de adsorción, dejando el resto de la cadena libre, de forma que pueda flotar en el líquido y adherirse a su vez a otro coloide. Se forma así un puente molecular que une una partícula con otra. La repetición de este fenómeno entre diversas partículas es lo que permite la aglutinación de ellas en masas llamadas floc. (Arboleda, 1992)

#### **2.2.4 Floculación**

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua, la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. (Andía, 2000)

##### **2.2.4.1 Mecánica de la Floculación**

La floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte (Vargas, 2004)

- Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento. (Vargas, 2004)

- Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran. (Andía, 2000)

### **2.2.5 Métodos de Recuperación de Coagulante**

Las propiedades fisicoquímicas del lodo de alumbre podrían variar ampliamente. Las propiedades fisicoquímicas de los lodos de alumbre basadas en los datos disponibles de la literatura y su comparación con los valores de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (1996) se describen en la Imagen N°3. (K.B. Dassanayake , G.Y. Jayasinghe , A. Surapaneni , C. Hetherington, 2015)

**Imagen N°3:** Características fisicoquímicas del lodo de sulfato de aluminio

Parameter	Range	ASCE 1996	Regulatory limit <sup>(a)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )
pH	5.12–8.0	7.0–8.8	
EC (dS m <sup>-1</sup> )	0.36–1.66	0.6	
CEC (cmol kg <sup>-1</sup> )	13.6–56.5		
Sand (%)	60.4–69.0	Nd	
Silt (%)	17–23	Nd	
Clay (%)	14–16.6	Nd	
Total Carbon (g kg <sup>-1</sup> )	127–188	Nd	
Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	63–144	Nd	
Total N (g kg <sup>-1</sup> )	4.0–4.8	4.95	
NH <sub>4</sub> -N (g kg <sup>-1</sup> )	0.022–0.263	0.160	
NO <sub>3</sub> -N (g kg <sup>-1</sup> )	0.035–0.298	0.003	
Total P (g kg <sup>-1</sup> )	3.13–3.5	Nd	
Total Al (g kg <sup>-1</sup> )	27–153	60	Not defined
Total Fe (g kg <sup>-1</sup> )	4.87–37	52.75	Not defined
Total Ca (g kg <sup>-1</sup> )	2.2–11.7	20.82	Not defined
Total Mg (g kg <sup>-1</sup> )	2.4–7.9	Nd	Not defined
Total Mn (g kg <sup>-1</sup> )	0.8–2.99	0.385	Not defined
Total Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	53.3–160	1050	2800
Total Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	35–624	270	1500
Total Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	10.9–60	38	420
Total Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	2.5–69	80	300
Total Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	19.1–81	50	1200
Total Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	0.12	5.15	39
Total Hg (mg kg <sup>-1</sup> )	0.02–0.46	1.5	17
Cl <sup>-1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	15.89–16.41	Nd	Not defined
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	8.57–9.73	Nd	Not defined

ASCE: Sociedad Americana de Ingeniería Civil, Nd: No detectado.

(a)US-EPA, límites de contaminantes para cumplir los criterios de calidad excepcional de la tierra (USEPA, 1993).

Fuente: (K.B. Dassanayake , G.Y. Jayasinghe , A. Surapaneni , C. Hetherington, 2015)

El contenido de aluminio en el lodo de alumbre después del proceso coagulación en el tratamiento de agua potable es 39% en peso. El potencial comercial de la utilización de lodos de alumbre en diferentes sectores, puede

incrementarse una vez que se recupere el aluminio, varios estudios de investigación informaron que el Al contenido en los lodos se puede recuperar mediante acidificación o alcalinización. (Boaventura, 2000, Ewida y Youssef, 1993).

#### **2.2.5.1 Tratamiento de acidificación**

Consiste en la adición de ácido para solubilizar el metal de la sal iónica debido al carácter anfótero del aluminio (Chu, 1999)

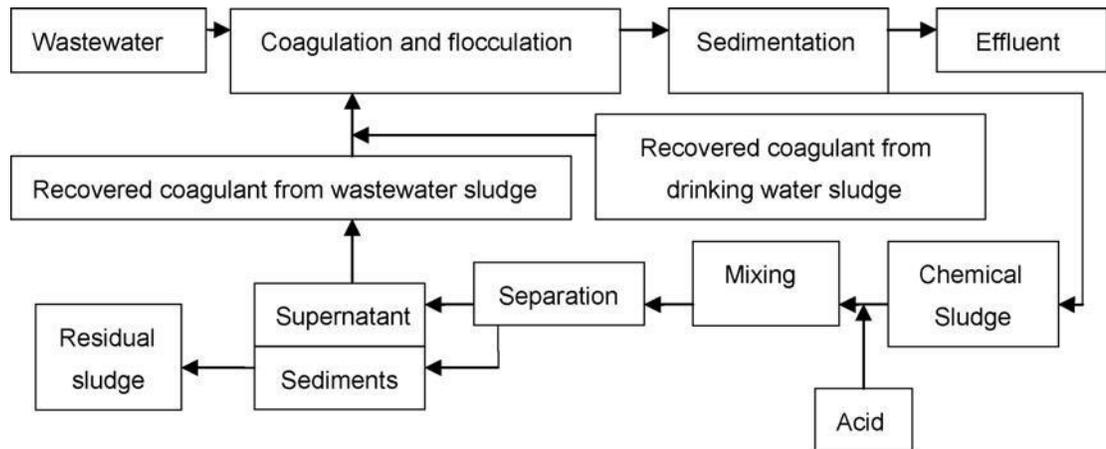
La adición de ácido a los lodos ha sido usada como un método de recuperación de coagulante y de acondicionamiento del lodo. Cuando la solución ácida rica en aluminio se reusa como coagulante proporciona beneficios similares a los coagulante comerciales. (K.B. Dassanayake , G.Y. Jayasinghe , A. Surapaneni , C. Hetherington, 2015)

Los factores influyentes en el proceso de recuperar el aluminio son: la demanda de ácido, el tiempo de contacto y el pH alcanzado para llevar a cabo la recuperación. La demanda de ácido se determina en el laboratorio por titulación de la muestra con el ácido. Sin embargo se notará que la disolución de aluminio depende del tiempo, y por lo tanto son necesarios mínimo cerca de 15 minutos de mezcla para lograr que la reacción se complete. (Juan Ricardo Nuñez Zarur y Margareth Peña Castro, 2011)

El 70-90% de la recuperación de aluminio se puede lograr usando técnicas de acidificación (pH entre 1,0 y 3,0). El tratamiento de acidificación consiste extraer el lodo químico y mezclarlo añadiéndole

ácido, después del mezclado el aluminio disuelto se separa de los residuos sólidos mediante un separador por gravedad; luego el aluminio recuperado se puede aplicar. Ver la Imagen N°4. Xu, Yan, Wang, N.Wang (2009)

**Imagen N° 4:** Procedimiento de recuperación de coagulante a partir de lodos



Fuente: Xu, Yan, Wang, N.Wang (2009)

### 2.2.5.2 Tratamiento alcalinidad

Los tratamientos con de hidróxido de sodio e hidróxido de calcio dieron la eficiencia de recuperación de aluminio más alta en rangos de pH de 11,4-11,8 y 11,2-11,6, respectivamente. (W.J. Masschelein, R. Devleminck & J. Genot, 1985)

La solución de aluminio bajo condiciones ácidas o alcalinas disminuye el contenido de  $Al(OH)_3 \cdot 3H_2O$  precipitado y mejora la deshidratación del lodo reduciendo su masa y volumen.

La recuperación en condiciones alcalinas tiene la ventaja de disolver una cantidad apreciable de hidróxido de aluminio y no hacer lo mismo con los demás metales presentes, pero el carbón orgánico disuelto aumenta considerablemente por esta vía, lo que limita las posibilidades de reutilizar el aluminio recuperado como coagulante (Westerhoff, 1973).

## **2.2.6 Demanda Química de Oxígeno DQO**

La demanda química de oxígeno se usa para medir el oxígeno equivalente para oxidar la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata (Romero, 2004). Compuestos inorgánicos que interfieren con el ensayo, como los cloruros pueden causar resultados erróneos de la DQO. La interferencia de mercurio se elimina agregando sulfato mercúrico para formar  $HgCl_2$  (Romero, 2004).

### **2.2.6.1 Relación entre la Demanda química de oxígeno y la Demanda Biológica de Oxígeno**

La Demanda Biológica de Oxígeno es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual. Es por tanto una medida del componente orgánico que puede ser degradado mediante procesos biológicos. Se puede decir por tanto que la DBO representa la cantidad

de materia orgánica biodegradable y la DQO representa tanto la materia orgánica biodegradable como la no biodegradable. El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. (Romero, 2004).

### **2.2.7 Turbidez**

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión además de plánctones, microbios y materia orgánica. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua. Las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, y así reduciendo la concentración de oxígeno en el agua (el oxígeno se disuelve mejor en el agua más fría). Una medición de la turbidez puede ser usada para proporcionar una estimación de la concentración de TSS (Sólidos Totales en Suspensión). (Lenntech, 2016)

Según HACH COMPANY (2000) las aplicaciones típicas de medición de la turbidez:

- Agua potable, La turbidez ayuda a establecer los requisitos del tratamiento. El efluente de la planta de tratamiento también se mide la turbidez para asegurar la correcta operación de la planta y satisfacer norma vigente.
- Tratamiento de las aguas residuales-La turbidez del efluente se monitorea de manera continua para asegurar que los niveles de sólidos suspendidos satisfagan la norma aplicable.

- Control de calidad para la fabricación y procesamiento de alimentos y bebidas, se mide la turbidez para asegurar la uniformidad del producto y la superioridad estética en los caldos, aceites y jugos.
- Otras industrias que miden turbidez como de fabricación de semiconductores, el proceso de fabricación textil y la industria petroquímica.

### 2.3 MARCO CONCEPTUAL

Los conceptos que se usaron son recogidos de la Norma OS 090 Reglamento Nacional de Edificaciones: Planta de Tratamiento de Aguas residuales.

**Adsorción:** Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.

**Absorción:** Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

**Acidez:** La capacidad de una solución acuosa para reaccionar con los iones hidroxilo hasta un pH de neutralización.

**Espesado:** Tratamiento para remover líquido de los lodos y reducir su volumen.

**Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a una planta de tratamiento o proceso de

**Agua residual:** Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.

**Análisis:** El examen de una sustancia para identificar sus componentes.

**Biodegradación:** Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.

**Calidad del Agua:** Es una apreciación de la naturaleza fisicoquímica y biológica del agua en relación con la calidad natural, los efectos en el hombre y los usos a los que se piensa destinar; es decir, sirve básicamente para verificar si la calidad observada en el agua es adecuada para el uso que se piensa hacer de ella (Chapman, 1992).

**Clarificación:** Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual.

**Coagulación:** Aglomeración de partículas coloidales ( $< 0.001$  mm) y dispersas (0.001 a 0.01 mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

**Coagulante:** Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

**Demanda química de oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

**Disposición final:** Disposición del efluente en un relleno sanitario.

**Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Se expresa en porcentaje.

**Efluente:** Líquido que sale de un proceso.

**Efluente Industrial:** Descarga de líquidos producidos de una actividad económica, comercial e industrial.

**Finos:** Partículas finas de detergente en polvo que se encuentran en un rango de diámetro de 0.3 a 200  $\mu\text{m}$  aproximadamente.

**Floculación:** Formación de partículas aglutinadas o flóculos. Proceso inmediato a la coagulación.

**Flóculos:** Partículas desestabilizadas y aglomeradas por acción del coagulante.

**Impacto ambiental:** Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica.

**Mezcla rápida:** Mecanismo por el cual se debe obtener una distribución instantánea y uniforme del coagulante aplicado al agua.

**Muestra compuesta:** Combinación de alícuotas de muestras individuales (normalmente en 24 horas) cuyo volumen parcial se determina en proporción al caudal del agua residual al momento de cada muestreo

**pH:** Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

**Planta de tratamiento:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

**Tratamiento de lodos:** Procesos de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos.

**Tratamiento químico:** Aplicación de compuestos químicos en las aguas residuales para obtener un resultado deseado; comprende los procesos de precipitación, coagulación, floculación, acondicionamiento de lodos, desinfección, etc.

**Usuario No Doméstico UND:** Es aquella persona natural o jurídica que realiza descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado.

**Valores Máximos Admisibles (VMA):** son la concentración de elementos, sustancias, o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, y equipos de los sistemas de alcantarillado y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA**

Considerando que el objetivo es la reducir la DQO proveniente del efluente del proceso recuperación de finos en la producción de detergentes utilizando un coagulante recuperado se planteó lo siguiente:

Para el desarrollo de la presente investigación se usó los laboratorios Biología y Edafología de la Facultad de Ingeniería y Gestión de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, siguiendo los siguientes procesos:

- Gestión de la disposición de materiales, insumos y equipos del Laboratorio de Biología y Edafología de la UNTELS
- Recolección de la muestra de agua.

- Pruebas experimentales para determinar la dosis óptima de coagulante (sulfato de aluminio) usando como indicador la turbidez.
- Obtención y tratamiento con el HCl, de lodo proveniente del proceso coagulación floculación
- Pruebas experimentales para evaluar la reducción de la DQO y adicionalmente la turbidez
- Análisis de la reducción de la DQO y Turbidez

### **3.1 Materiales Insumos y Equipos**

#### **Materiales**

- Beaker de 200 ml, 500ml y 800ml
- Fiola de 100 ml
- Pipeta de Pasteur tipo gotero
- Varilla
- Piseta
- Espátula
- Crisol
- Embudos de 100 ml
- Probeta de 100 ml y 1000 ml
- Jeringas descartables de 10 y 20 ml
- Embudo de plástico
- Papel de filtro rápido
- Guantes para riesgos químicos (látex)

- Máscara con filtro para vapores inorgánicos
- Mandil de laboratorio

### Insumos

- Sulfato de Aluminio Tipo A
- Agua destilada
- Ácido clorhídrico al 32%.

### Equipos

**Tabla N°1**

Equipos utilizados en el desarrollo de la experimentación

<p>Balanza analítica, SARTORIUS E2145</p>	
<p>Cocina, VELT Scientifica</p>	

<p>pH METRO, Eco test pH 1</p>	
<p>Test de Jarras, YFL6</p>	
<p>Cronómetro</p>	
<p>Centrifugadora, Gammy PLC-012E</p>	

<p>Turbidímetro, Policontrol AP 2000</p>	
<p><b>Mufia</b> <b>THERMOLYNE</b> <b>marca Thermo</b> <b>Scientific</b></p>	

En el Anexo N°3 se puede ver el Manual del equipo Test de Jarras.

### 3.2 Métodos referenciales para la medición de parámetros

#### 3.2.1 Determinación de la DQO

Para determinar la DQO se siguió el método de referencia APHA SM Part 5220 D, 22nd Edition 2012 - Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.

El método colorimétrico se basa en la oxidación de la materia orgánica por medio de un oxidante fuerte, el cromo  $\text{Cr}^{+6}$  de color naranja presente en la solución de análisis se reduce a  $\text{Cr}^{+3}$  de color verde, la reducción del cromo

depende directamente de su reacción con la materia orgánica total existente en la muestra, lo que permite cuantificar la materia orgánica presente en la muestra por medio del método colorimétrico que mide la Absorbancia del  $\text{Cr}^{+3}$  a una longitud de onda de 620 nm.

Para la medición de la DQO se prestó los servicios de laboratorio R- LAB S.A.C. acreditado por el Instituto Nacional de Calidad INACAL (Ver certificado en el Anexo N°3)

### **3.2.2 Determinación de pH**

Para la medición del pH la lectura es directa previa calibración con soluciones buffer pH=4.0, pH = 7.0 y pH=11.

### **3.2.3 Determinación de la turbidez**

La medición de turbidez es a lectura directa previa calibración con soluciones patrón de 0.1; 20; 100 y 800 UNT. Esta técnica se basa en la dispersión de una luz que pasa por las partículas en suspensión en el seno de una disolución, la cual mide la transmitancia del haz de luz al atravesar la muestra de agua, en la dirección que forme un ángulo de 90°.

Para la medida de la turbidez se prestó los servicios de alquiler de equipo turbidímetro Policontrol AP 2000. En el Anexo N° 3 se puede ver el certificado de calibración.

### **3.3 Desarrollo de la metodología**

Se usó del Equipo Test de Jarras para la simulación del proceso coagulación floculación, este equipo tiene seis paletas cada uno con su respectivo frasco de 2000 mL y velocidades de rotación ajustables de 20 – 300 rpm.

Para la experimentación se colocó 1 L medido con una probeta graduada de la muestra de agua en cada vaso del equipo de prueba de jarras, se añadió el coagulante durante el mezclado rápido. La mezcla rápida fue de 200 rpm durante 10 minutos, seguido de una mezcla lenta de 45 rpm durante 30 minutos. Los flóculos finalmente se dejaron sedimentar durante 60 minutos, estos valores se consideraron en base a bibliografía existente sobre tratamiento de este tipo de agua Jangkorn, Kuhakaew, Theantanoo, Klinla & Sriwiriyarat (2011)

#### **3.3.1 Toma de la muestra de agua**

Se tomó una muestra compuesta del afluyente de la poza almacenamiento que proviene del proceso Recuperación de finos, de donde se recolecto la muestra compuesta en un periodo de tiempo de 10: 00 a 15:00 en un envase de PVC, este se mantuvo a 4°C para los análisis respectivos.

#### **3.3.2 Determinación de la dosis optima de sulfato de aluminio**

Se usó como coagulante al sulfato de aluminio preparado al 8% p/p, se prepararon dosis de coagulante de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mg/L y se pasó a simular el proceso de coagulación floculación antes mencionada. Ver Imagen N°5 en el Anexo N°2

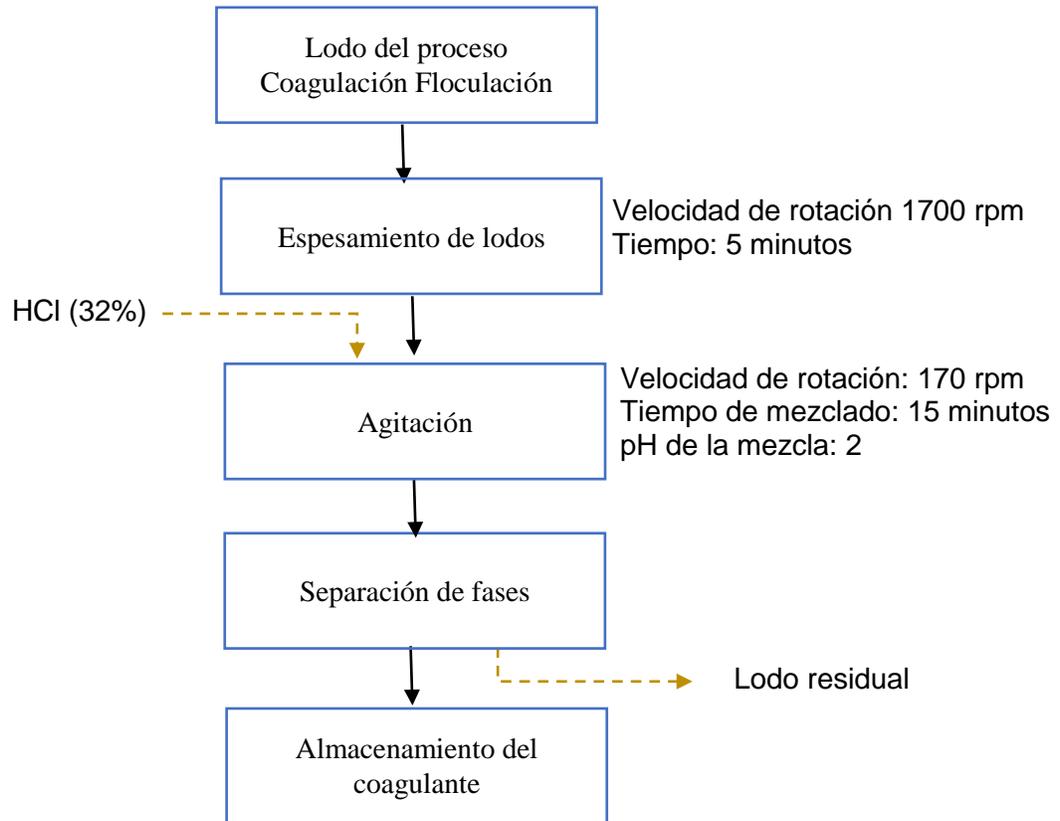
De cada frasco se extrajo el sobrenadante y se midió la turbidez, el turbidímetro tiene un rango de medida de 0 – 1000 UNT, el frasco que presentó mejor resultado es usado para obtener el lodo que servirá como coagulante. Ver Imagen N°6 en el Anexo N°2.

### **3.3.3 Tratamiento de Acidificación**

Se recolecta lodo proveniente del proceso coagulación floculación con ayuda del centrifugador a 1700 rpm durante 5 min, luego se coloca en agitación con el ácido clorhídrico concentrado al 32% a 170 rpm por 15 min. Se añadió HCL hasta que el pH alcanzó un valor de 2. Este procedimiento de acidificación al lodo proveniente del proceso coagulación floculación fue considerado por G. Xu, Z. Yan, Y. Wang, N.Wang (2009).

Luego se separa las fases usando papel filtro rápido, el sobrenadante se almacena para su posterior evaluación. Ver Imagen N°7, 8 y 9 en el Anexo N°2.

### Proceso de acidificación al lodo de coagulación floculación



#### 3.3.4 Evaluación del coagulante recuperado

Para evaluar la eficiencia de reducción de la DQO de la muestra de agua en estudio se realizaron 9 pruebas con distintas proporciones de dosis de coagulante y pH.

Se realizó un juicio de expertos para determinar los valores de pH influyentes en la muestra de agua en estudio, para lo cual se determinó valores de 7, 8 y 10 esto de acuerdo al agua en estudio, el tipo de coagulante (sulfato de aluminio) y la temperatura del ambiente.

En el Tabla N°2 se detalla las proporciones de los parámetros influyentes. Para regular el pH se usó el ácido clorhídrico HCl. Ver Imagen N°10 en el Anexo N°2.

**Tabla N°2**  
Proporciones de dosis de coagulante y pH

PARÁMETROS		CARACTERÍSTICAS INICIALES		CARACTERÍSTICAS AL FINALIZAR		EFICIENCIA DE REDUCCIÓN (%)	
Dosis	pH	DQO	TURBIDEZ	DQO	TURBIDEZ	DQO	TURBIDEZ
15	7	3626.7	388				
	8	3626.7	388				
	10	3626.7	388				
20	7	3626.7	388				
	8	3626.7	388				
	10	3626.7	388				
40	7	3626.7	388				
	8	3626.7	388				
	10	3626.7	388				

De las 9 muestras se midió la DQO y la turbidez, para medir la eficiencia de reducción se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Donde:

A= Medida al inicio de la prueba (mg/L)

B= Medida al final de la prueba (mg/L)

E= Eficiencia (%)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS A NIVEL LABORATORIO

#### 4.1 Características del agua

Las características del agua proveniente del efluente del proceso de Recuperación de finos de la empresa LIMPIA MAX se muestran en la Tabla N°3.

Se puede ver cantidades considerables de la DQO, turbidez y un pH alcalino propio del agua de detergente. El color es blanco lechoso y presentaba espuma.

**Tabla N°3**  
Características del agua en estudio

PARÁMETRO	VALOR
pH	9.7
Turbidez (UNT)	388
Demanda Química de oxígeno (mg/L)	3626.7

## 4.2 Determinación de la dosis óptima

En la Tabla N°4 se muestra los resultados de experimentación para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio, en la Gráfica N°2 Relación de la Dosis de sulfato de aluminio Vs la eficiencia de remoción de la turbidez se puede observar que en el rango de 400 a 600 mg/L hay un porcentaje de remoción de turbidez mayor a 97. 3%, siendo el máximo porcentaje de remoción de la turbidez con 98.1% a una dosis de 600mg/L; por tanto se seleccionó como dosis óptima de sulfato de aluminio la cantidad de 400 mg/L, y a partir de esta se obtuvo el lodo que servirá como coagulante.

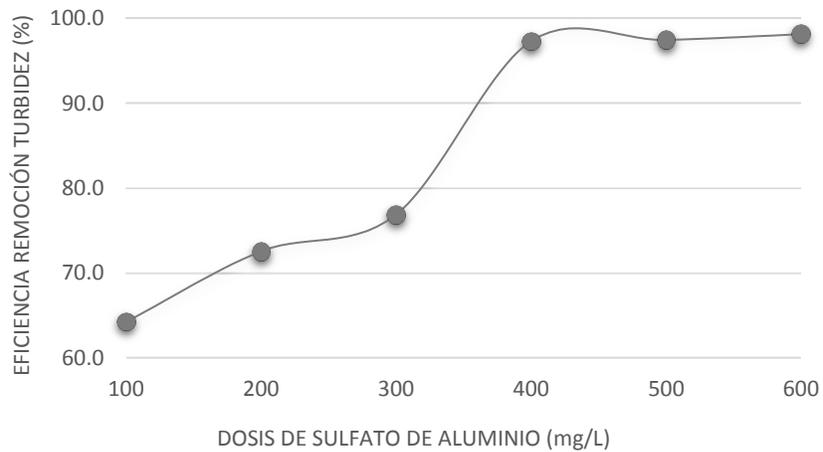
**Tabla N° 4**

Determinación de la dosis óptima usando sulfato de aluminio

DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO (mg/L)	TURBIDEZ INICIAL UNT	TURBIDEZ FINAL UNT	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ (%)
100	388	138.9	64.2
200	388	106.6	72.5
300	388	89.8	76.9
400	388	10.4	97.3
500	388	9.8	97.5
600	388	7.19	98.1

## Gráfica N°2

Dosis de sulfato de aluminio vs la eficiencia de remoción de la Turbidez



El lodo que formado en el proceso presentaba un aspecto blanquecino, los lodos del proceso coagulación floculación presentan una humedad de 86.7% (Thelma Beatriz Pavón Silva, Víctor F. Pacheco Salazar & Luz María Cárdenas Zuazo, 2003).

Se observó que a medida que aumenta la dosis de sulfato de aluminio también lo hace la generación de lodos dejando el agua clarificada.

Conociendo las dimensiones de la jarra (a) ancho= 11.9 (b) largo=11.85 y la altura del lodo formado en cada jarra se conoce el volumen de lodo formado.

**Tabla N° 5**

Volumen de lodo generado usando sulfato de aluminio

DOSIS	ALTURA (cm)	VOLUMEN DE LODO FORMADO= A*B*ALTURA (cm <sup>3</sup> )
100	0.9	126.91
200	1.1	155.11
300	1.3	183.3
400	2.9	408.9
500	2.8	394.8
600	3.0	423.0

#### **4.3 Reducción de la DQO**

El coagulante recuperado era un líquido transparente aparentemente y visualmente sin presencia de sólidos suspendidos. De manera adicional se halló el porcentaje de humedad del lodo que se generó en el tratamiento con el HCl, resultando 48.4% de humedad (se sometió la muestra de lodo a distintas temperaturas de 105°C a 860°C), según la referencia citada el lodo del proceso convencional de coagulación floculación presenta 86.7% lo que facilitaría la disposición final de este residuo.

**Imagen N°11:** Lodo generado en el Tratamiento con HCl



El lodo A es el lodo antes del tratamiento con HCl

El lodo B es el lodo formado después del tratamiento con HCl

Los resultados de la DQO medidos por R-LAB S.A.C. se presentan en el informe de ensayo N° 1705045. Ver Anexo N°4.

Los resultados de la experimentación se resumen en el siguiente Tabla N°6 y en la Tabla N°7 se presenta el volumen de lodo generado en el proceso coagulación floculación

**Tabla N° 6**

Resumen de resultados de la Influencia de Dosis y pH en la eficiencia de reducción de la DQO

PARÁMETROS		CARACTERÍSTICAS INICIALES		CARACTERÍSTICAS AL FINALIZAR		EFICIENCIA DE REDUCCIÓN (%)	
Dosis	pH	DQO	TURBIDEZ	DQO	TURBIDEZ	DQO	TURBIDEZ
15	7	3626.7	388	2926.7	128	19.3	67.0
	8	3626.7	388	2943.4	143	18.8	63.1
	10	3626.7	388	2960.0	158	18.4	59.2
20	7	3626.7	388	2293.3	70.7	36.8	81.8
	8	3626.7	388	2626.7	89.8	27.6	76.8
	10	3626.7	388	2960.0	109	18.4	71.9
40	7	3626.7	388	2026.7	116	44.1	70.1
	8	3626.7	388	2343.4	115.5	35.4	70.2
	10	3626.7	388	2660.0	115	26.7	70.4

**Tabla N° 7**

Volumen de lodo generado usando el coagulante recuperado

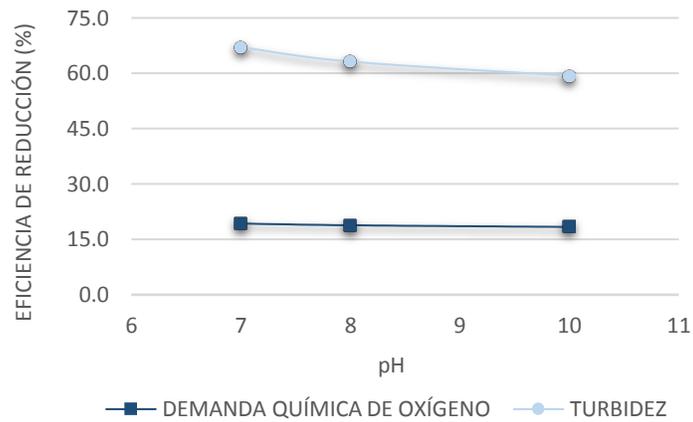
PARÁMETROS		ALTURA (cm)	VOLUMEN DE LODO FORMADO= A*B*ALTURA (cm <sup>3</sup> )
Dosis	pH		
15	7	0.3	42.3
	8	0.4	56.4
	10	0.6	84.6
20	7	0.5	70.5
	8	0.5	70.5
	10	0.6	84.6
40	7	0.9	126.9
	8	0.9	126.9
	10	1.3	183.3

### 4.3.1 Influencia del pH en la reducción de DQO

Se presentan las gráficas N°3, 4 y 5 donde se muestran la relación del pH y la eficiencia de reducción de DQO y turbidez.

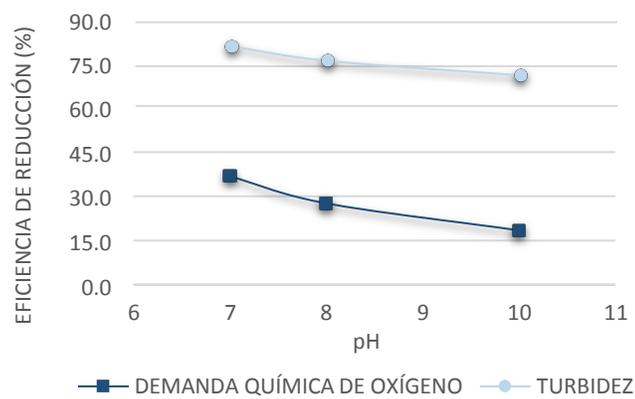
**Gráfica N° 3**

pH vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, dosis de 15 mg/L



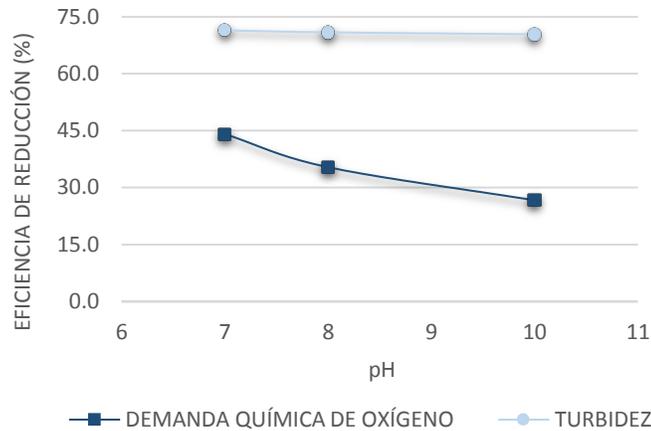
**Gráfica N° 4**

pH vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, dosis de 20 mg/L



### Gráfica N°5

pH vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, dosis de 40 mg/L



Cuando se tiene una dosis fija de 15 ml/L de coagulante la eficiencia de reducción de la DQO es mínima con un valor máximo de 19.3% a un pH de 7, mientras la turbidez tuvo una eficiencia de remoción máxima de 67%

A una dosis fija de 20 mg/L de coagulante recuperado se logró una máxima de remoción de la DQO de 36.8% esto se corrobora con la eficiencia de remoción de la turbidez con un valor de 81.8 %.

A una dosis fija de 40mg/L se logró la máxima eficiencia de reducción de la DQO con un valor de 44.12% a un pH de 7, estos resultados se corrobora con la medida de turbidez donde también se logró la máxima eficiencia de remoción de 70.1%

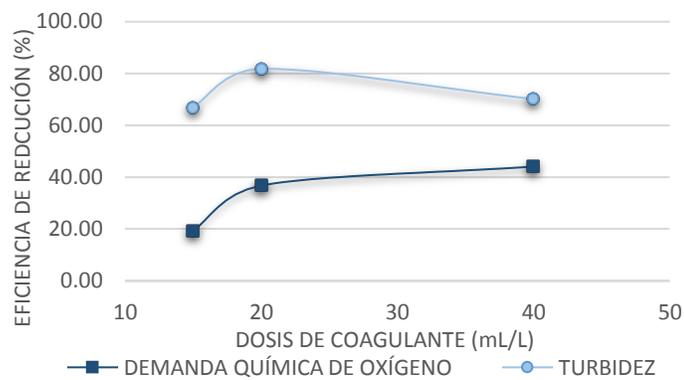
A un pH de 7 se obtuvieron los mejores resultados en cuento a eficiencia de reducción de la DQO y turbidez.

### 4.3.2 Influencia de la dosis de coagulante recuperado en la reducción de la DQO

Se presentan las gráficas N°6, 7 y 8 donde se muestran la relación de la dosis de coagulante recuperado y la eficiencia de reducción de DQO y turbidez.

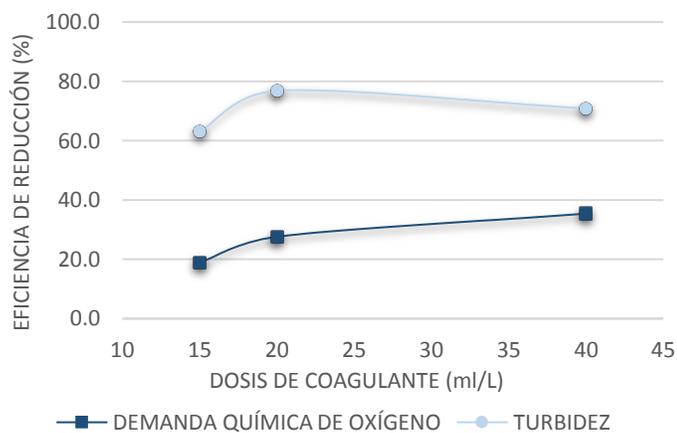
**Gráfica N° 6**

Dosis de coagulante vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, a un pH = 7



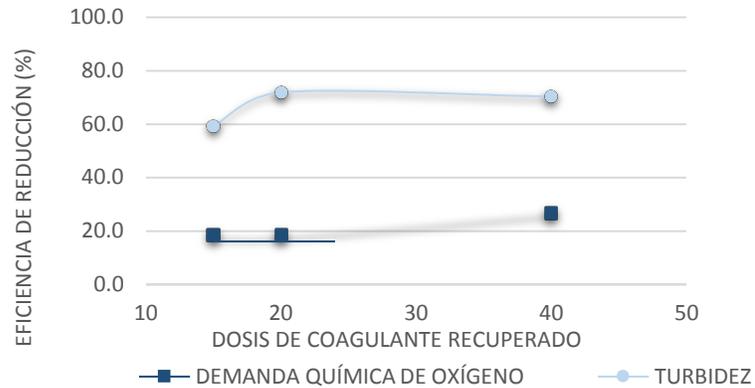
**Gráfica N° 7**

Dosis de coagulante vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, a un pH = 8



### Gráfica N°8

Dosis de coagulante vs Eficiencia de reducción de DQO y Turbidez, a un pH = 10



Para un pH fijo de 10:

Se tiene una eficiencia de reducción de la DQO máxima de 26.7% a una dosis de 40 mg/L, mientras la turbidez tuvo una eficiencia de remoción máxima de 70.36% a las mismas condiciones.

Para un pH fijo de 8:

Se tiene una eficiencia de reducción de la DQO máxima de 35.4% a una dosis de 40 mg/L, esto se corrobora con la turbidez que tuvo una remoción máxima de 70.88% a las mismas condiciones.

Para un pH fijo de 7

Se logró la máxima eficiencia de reducción de la DQO de 44.1% y también la máxima remoción de la turbidez con 71.39%

A medida que aumento la dosis de coagulante recuperado los resultados de eficiencia de reducción tanto de la DQO y la turbidez fueron más altos.

### 4.3.3 Análisis estadístico de los resultados con SPSS:

Las condiciones iniciales son las mismas y lo que se quiere probar es la influencia de dos factores dosis de coagulante recuperado y el potencial de hidrógeno cada uno con tres niveles, las variables dependientes son la demanda química de oxígeno (DQO) y la Turbidez del agua en tratamiento.

- Análisis para la DQO

Factores inter-sujetos

		N
Dosis	15	3
	20	3
	40	3
pH	7	3
	8	3
	10	3

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DQO

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	836839,267 <sup>a</sup>	4	209209,817	6,587	,048
Interceptación	62621899,560	1	62621899,560	1971,538	,000
dosis	540557,780	2	270278,890	8,509	<b>,036</b>
pH	296281,487	2	148140,743	4,664	,090
Error	127051,853	4	31762,963		
Total	63585790,680	9			
Total corregido	963891,120	8			

a. R al cuadrado = .868 (R al cuadrado ajustada = .736)

### Pruebas post hoc Dosis

#### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: DQO

HSD Tukey

(I) dosis	(J) dosis	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
15	20	316,700	145,5174	,189	-201,922	835,322
	40	600,000*	145,5174	,031	81,378	1118,622
20	15	-316,700	145,5174	,189	-835,322	201,922
	40	283,300	145,5174	,241	-235,322	801,922
40	15	-600,000*	145,5174	,031	-1118,622	-81,378
	20	-283,300	145,5174	,241	-801,922	235,322

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 31762.963.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

### Subconjuntos homogéneos DQO

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

dosis	N	Subconjunto	
		1	2
40	3	2343,367	
20	3	2626,667	2626,667
15	3		2943,367
Sig.		,241	,189

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

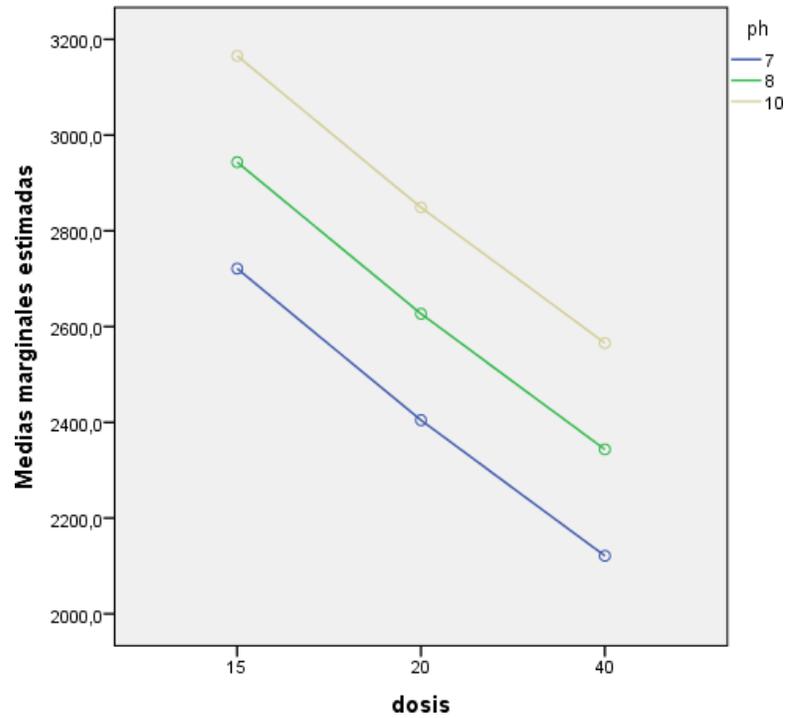
Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 31762.963.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.

### Gráficos de perfil – Medias marginales estimadas de DQO



- **Análisis para la turbidez**

(Análisis univariado de varianza)

#### Factores inter-sujetos

	N	
Dosis	15	3
	20	3
	40	3
pH	7	3
	8	3
	10	3

## Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: TURBIDEZ

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	4991,351 <sup>a</sup>	4	1247,838	11,633	,018
Interceptación	121359,334	1	121359,334	1131,386	,000
dosis	4236,469	2	2118,234	19,747	<b>,008</b>
pH	754,882	2	377,441	3,519	,131
Error	429,064	4	107,266		
Total	126779,750	9			
Total corregido	5420,416	8			

a. R al cuadrado = .921 (R al cuadrado ajustada = .842)

## Pruebas post hoc dosis

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: TURBIDEZ

HSD Tukey

(I) dosis	(J) dosis	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
15	20	53,133*	8,4564	,007	22,995	83,272
	40	27,500	8,4564	,066	-2,639	57,639
20	15	-53,133*	8,4564	,007	-83,272	-22,995
	40	-25,633	8,4564	,081	-55,772	4,505
40	15	-27,500	8,4564	,066	-57,639	2,639
	20	25,633	8,4564	,081	-4,505	55,772

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 107.266.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

## Subconjuntos homogéneos TURBIDEZ

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

do sis	N	Subconjunto	
		1	2
20	3	89,8 67	
40	3	115, 500	115, 500
15	3		143, 000
Si g.		,081	,066

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

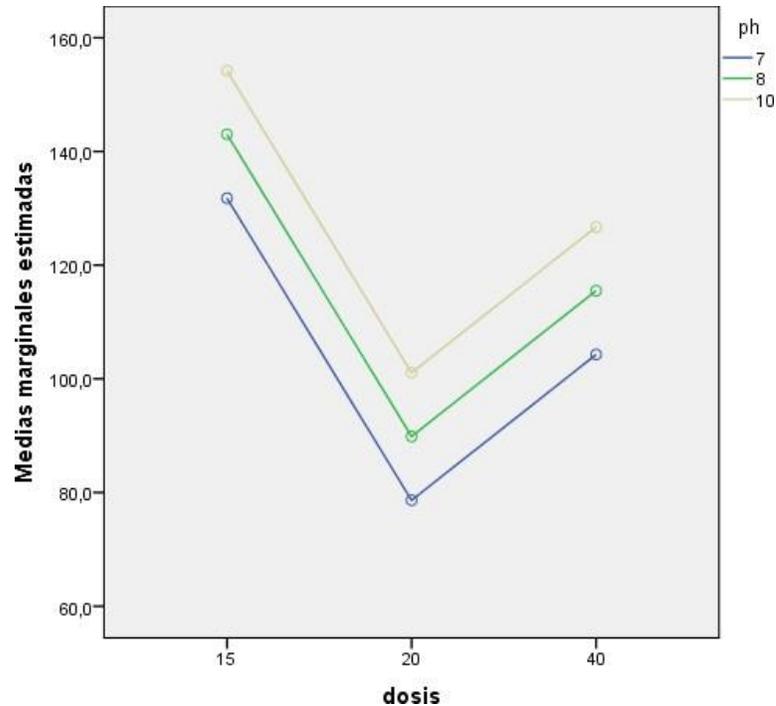
Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 107.266.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.

### Gráficos de perfil – Medias marginales estimadas de Turbidez



El factor dosis es significativo ( $\text{sig.} < 0.05$ ) para explicar las dos variables dependientes (DQO y TURBIDEZ) es decir a mayor dosis menor DQO y también menor turbidez, en cambio el factor pH no es significativo esto se puede ver en la gráficas de perfil para DQO y Turbidez.

El coeficiente de determinación  $R^2$  es 0.868 ( $R$  al cuadrado ajustada = .736) para la DQO y 0.921 ( $R$  al cuadrado ajustada = .842) para la Turbidez.

No hay efecto conjunto de los dos factores dosis y pH es decir no hay interacción, esto se verifica en el gráfico de perfil, porque no hay intersección de las líneas.

## CONCLUSIONES

1. La aplicación del coagulante recuperado redujo la concentración de la DQO del efluente del proceso de Recuperación de finos en la producción de detergentes de 3626.7 a 2026.7mg/ L, la eficiencia de reducción de la DQO fue de 44.1%, además la turbidez también disminuyo de 388 UNT a 70.7 UNT presentando una eficiencia de reducción de 81.8%.
2. El pH influye en la reducción de la DQO siendo un pH de 7 el nivel óptimo para el agua de detergentes donde la eficiencia de reducción fue de 44.1%, de igual modo la eficiencia de reducción de la turbidez fue de 81.8% a un pH de 7.
3. La dosis de coagulante influye en la reducción de la DQO siendo a 40mg/L donde se tuvo el mejor resultado con una eficiencia de reducción de 44.1%, asimismo se demuestra que existe una relación directa entre la dosis de coagulante recuperado y la eficiencia de reducción de la DQO.
4. El residuo que se obtuvo del tratamiento con HCl al lodo de coagulación presento un porcentaje de humedad de 48.4% esto es una ventaja para su tratamiento y disposición final.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis de características fisicoquímicas al lodo sulfato de aluminio, con mayor incidencia en el porcentaje de aluminio que contiene el mencionado lodo.
2. Realizar el tratamiento de Acidificación usando distintos ácidos como el ácido sulfúrico, ácido nítrico, etc.
3. Determinar la relación que existe entre la reducción del volumen de lodo y el pH durante el tratamiento de acidificación, ya que esto está ligado al porcentaje de recuperación de coagulante.
4. Comparar la eficiencia entre un coagulante recuperado y otros coagulantes comerciales. A la vez evaluar las características de sus lodos generados en cada uno.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Abdo, M.S.E., Ewida, K.T., Youssef, Y.M. (1993). Recovery of alum from waste sludge produced from water treatment plants. *J. Environ. Sci. Health*, 1205-1216.
2. Aguilar, M.I; Sáez, J.; Lloréns, M.; Soler, A. y Ortuño, J.F. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales Coagulación Floculación*. España: F.G. GRAF S.L.
3. Boaventura, R.A., Rocha, D., Antonio, A.L., Sampaio, A., Manuel, F. (2000). Proceedings of International Conference on Water Supply and Water Quality. Portugal.
4. Cárdenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua coagulación floculación. Lima, Perú.
5. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales de la Organización Panamericana de la Salud, Ada Barrenechea . (2004). *Tratamiento de aguas de consumo humano Plantas de filtración rápida*. Lima: CEPIS/OPS.
6. COMPANY, H. (2000). Manual de análisis de agua. Loveland, Colorado, Estados Unidos.
7. G.R. Xu, Z.C. Yan, Y.C.Wang, N.Wang. (2009). Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 663–669.
8. Gutierrez, C. C. (2016). Determinación analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
9. Juan Ricardo Nuñez Zarur y Margareth Peña Castro. (2011). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en la planta de potabilización de la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S.P y estudio de viabilidad económica de su reutilización como coagulante. Colombia: Universidad de Cartagena Facultad de ingeniería.

10. K.B. Dassanayake , G.Y. Jayasinghe , A. Surapaneni , C. Hetherington. (2015). A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges. *Waste Management*.
11. Lenntech. (2016). *Water Treatment Solutions*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/turbidez.htm>
12. O'Melia, C. R. (1979). Coagulación floculación. En W. J. Weber, *Control de calidad del agua. Procesos fisicoquímicos* (págs. 64-144). Barcelona: Ed. Reverté S.A.
13. Re-use of water treatment works sludge to enhance particulate pollutant removal from sewage. (2005). *Water Research*, 3433–3440.
14. Rojas, J. A. (2000). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
15. Siriprapha Jangkorn, Sinchai Kuhakaew, Suwapee Theantanoo, Harit Klinlor, Tongchai Sriwiryarat. (2011). Evaluation of reusing alum sludge for the coagulation of industrial wastewater. *Journal of Environmental Sciences JES, Vol. 23*, 587–594.
16. Stumm, Werner; Morgan, James J. (1962). Chemical aspects by coagulation. *Journal - American Water Works Association*, 971-994.
17. Tarique Ahmad, Kafeel Ahmad, Abdul Ahad, Mehtab Alam. (2016). Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant. *Environmental Management*, 606-611.
18. Thelma Beatriz Pavón Silva, Víctor F. Pacheco Salazar & Luz María Cárdenas Zuazo. (2003). Tratamiento de lodos de una potabilizadora para la recuperación de aluminio y hierro como coagulante. Mexico.
19. Valencia, J. A. (1992). *Teoría y práctica de la Purificación del agua*. Colombia: Ed. Acodal.
20. W.J. Masschelein, R. Devleminck & J. Genot. (1985). The feasibility of coagulant recycling by alkaline reaction of aluminium hydroxide sludges. *Water Research*, 1363-1368.
21. Westerhoff. (1973). Alum Recycling: An Idea Whose Time Has Come *Water and Wastes Engineering*, 28-31 y 48.

**ANEXO N°1**  
**NORMAS APLICABLES A LA**  
**EMPRESA**

**DS N° 021-2009-VIVIENDA - DS N° 001-2015-VIVIENDA**

**Valores Máximos Admisibles**

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	DBO <sub>5</sub>	500
Demanda Química de Oxígeno(DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>EXPRESIÓN</b>	<b>VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO</b>
<i>Aluminio</i>	<i>mg/L</i>	<i>Al</i>	<i>10</i>
<i>Arsénico</i>	<i>mg/L</i>	<i>As</i>	<i>0.5</i>
<i>Boro</i>	<i>mg/L</i>	<i>B</i>	<i>4</i>
<i>Cadmio</i>	<i>mg/L</i>	<i>Cd</i>	<i>0.2</i>
<i>Cianuro</i>	<i>mg/L</i>	<i>CN -</i>	<i>1</i>
<i>Cobre</i>	<i>mg/L</i>	<i>Cu</i>	<i>3</i>
<i>Cromo hexavalente</i>	<i>mg/L</i>	<i>Cr<sup>6</sup></i>	<i>0.5</i>
<i>Cromo total</i>	<i>mg/L</i>	<i>Cr</i>	<i>10</i>
<i>Manganeso</i>	<i>mg/L</i>	<i>Mn</i>	<i>4</i>
<i>Mercurio</i>	<i>mg/L</i>	<i>Hg</i>	<i>0.02</i>
<i>Níquel</i>	<i>mg/L</i>	<i>Ni</i>	<i>4</i>
<i>Plomo</i>	<i>mg/L</i>	<i>Pb</i>	<i>0.5</i>
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	<i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i>	<i>1000</i>
<i>Sulfuros</i>	<i>mg/L</i>	<i>S<sup>2-</sup></i>	<i>5</i>
<i>Zinc</i>	<i>mg/L</i>	<i>Zn</i>	<i>10</i>
<i>Nitrógeno Amoniacal</i>	<i>mg/L</i>	<i>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i>	<i>80</i>
<i>pH</i>	<i>unidad</i>	<i>pH</i>	<i>6-9</i>
<i>Sólidos Sedimentables</i>	<i>ml/L/h</i>	<i>S.S.</i>	<i>8.5</i>
<i>Temperatura</i>	<i>°C</i>	<i>T</i>	<i>&lt;35</i>

## RM N° 116-2012-VIVIENDA - R.M. N° 360-2016-VIVIENDA

Parámetros para las actividades que según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme CIU de cumplimiento obligatorio para UND

Actividad	DECRETO SUPLENTO N° 021-2009-VIVIENDA																						
	ANEXO 1										ANEXO 2												
	Demande Inorgánica de Oxígeno	Demande Química de Oxígeno	Estiércol suspendido en el aire	Acidos y grasas		Aluminio	Arsénico	Boro	Cromo	Cianuro	Cobalto	Cromo hexavalente	Cromo total	Manganeso	Níquel	Plomo	Selenio	Sulfuro	Zinc	Nitrógeno amoniacal y nitrato	Potencial de hidrógeno	Sulfato Sulfonamidas	Temperatura
	CO <sub>2</sub>	COO	EST	AyG	Al	As	B	Cr	Cy	Co	Cr <sup>6+</sup>	Cr <sup>T</sup>	Mn	Ni	Pb	Se	S	Zn	PH	PH	SS	T	
Cria de aves de corral	*	*	*	*																			
Elaboración y conservación de carne	*	*	*	*																			
Elaboración y conservación de pescado, crustáceos y moluscos	*	*	*	*																			
Elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas	*	*	*	*																			
Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal	*	*	*	*																			
Elaboración de productos lácteos	*	*	*	*																			
Elaboración de almidones y productos derivados del almidón	*	*	*	*																			
Elaboración de productos de panadería	*	*	*	*																			
Elaboración de azúcar	*	*	*	*																			
Elaboración de cacao y chocolate y de productos de confitería	*	*	*	*																			
Elaboración de macarrones, fideos, alucuzcuz y productos farináceos similares	*	*	*	*																			
Elaboración de otros productos alimenticios n.c.p	*	*	*	*																			
Elaboración de piensos preparados para animales	*	*	*	*																			
Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas	*	*	*	*																			
Elaboración de vinos	*	*	*	*																			
Elaboración de bebidas malteadas y de malta	*	*	*	*																			
Elaboración de bebidas no alcohólicas; producción de aguas minerales y otras aguas embotelladas	*	*	*	*																			
Preparación e hilatura de fibras textiles	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Acabado de productos textiles	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Curtido y adobo de cueros; adobo y teñidos de pieles	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Aserrado y acepilladura de madera	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de pasta de madera, papel y cartón	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de papel y cartón ondulado y de envases de papel y cartón	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de otros artículos de papel y cartón	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Impresión	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Actividades de servicios relacionadas con la impresión	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de productos de la refinación del petróleo	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de sustancias químicas básicas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de abonos y compuestos de nitrógeno	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento similares, tintas de imprenta y masillas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir, perfumes y preparados de tocador	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de otros productos químicos n.c.p.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de otros productos de caucho	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de productos de plástico	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de productos refractarios	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fabricación de productos primarios de metales preciosos y otros metales no ferrosos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

**ANEXO N°2**  
**IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL**  
**PROYECTO**

Imagen N°5: Preparación de la solución de sulfato de aluminio

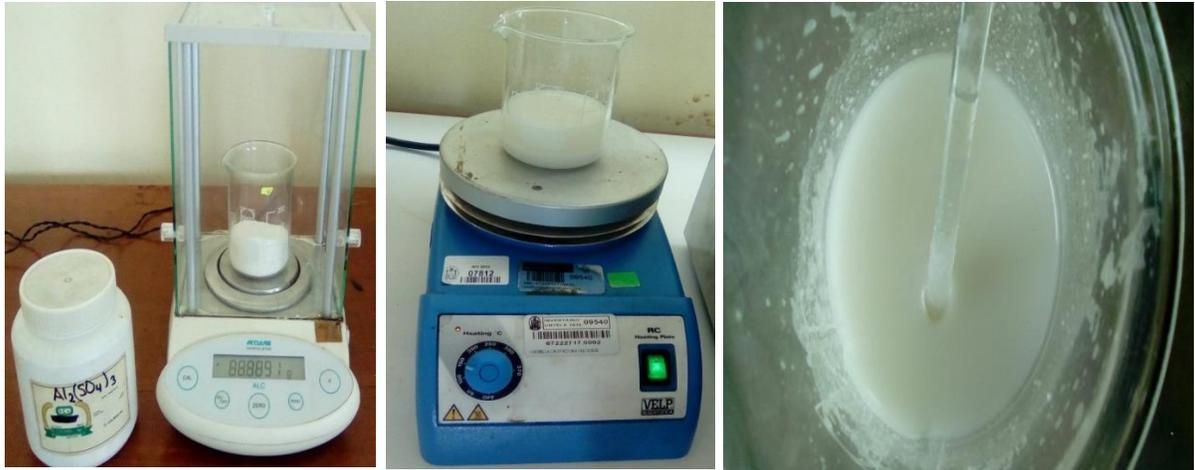
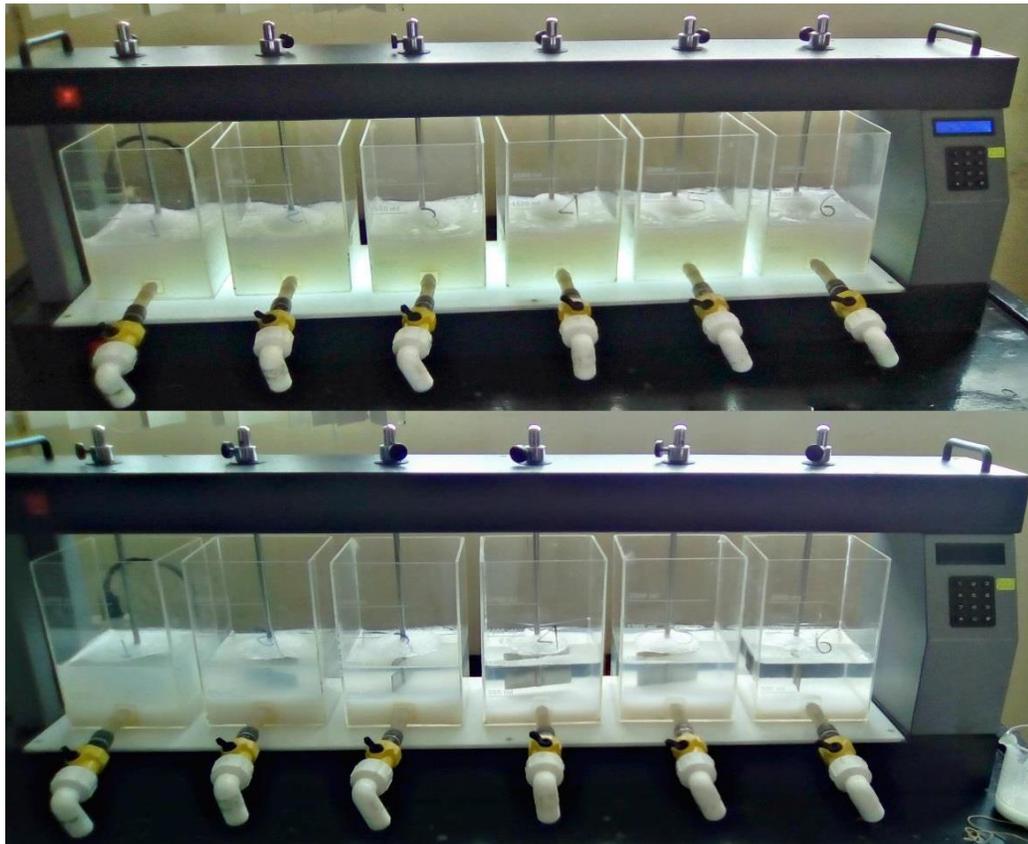


Imagen N°6: Procedimiento para obtener el lodo de sulfato de aluminio



Recuperación del coagulante

Imagen N°7: Espesamiento de lodos



Imagen N°8: Agitación con HCl



Imagen N°9: Separación de fases

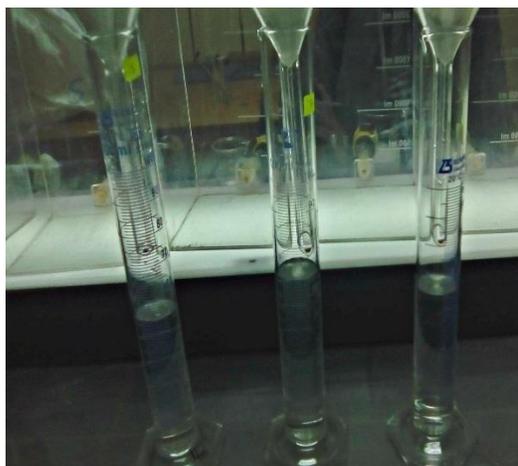
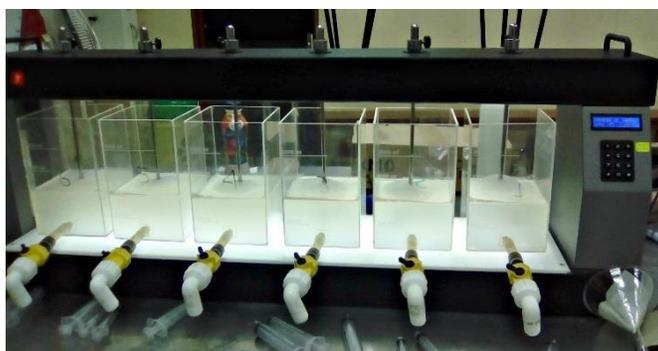


Imagen N°10: Evaluación del coagulante recuperado  
Influencia de pH y Dosis de coagulante recuperado



**ANEXO N°3**  
**CERTIFICADOS Y MANUAL DEL**  
**TEST DE JARRAS**

# Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30224, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL, aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2015-PRODUCE,

**OTORGA** la presente Acreditación a:

**R-LAB S.A.C.**

En su calidad de **Laboratorio de Ensayo**

Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-acr-05P-17F, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.

**Sede Acreditada:** Calle Berna N° 100 Urb. Los Portales de Javier Prado, Primera Etapa, distrito de Ate, provincia de Lima y departamento de Lima

Fecha de Acreditación: 14 de noviembre de 2016

Fecha de Vencimiento: 14 de noviembre de 2019

Registro N° LE - 103

Fecha de emisión: 21 de noviembre de 2016

DA-acr-01P-02M Ver. 00

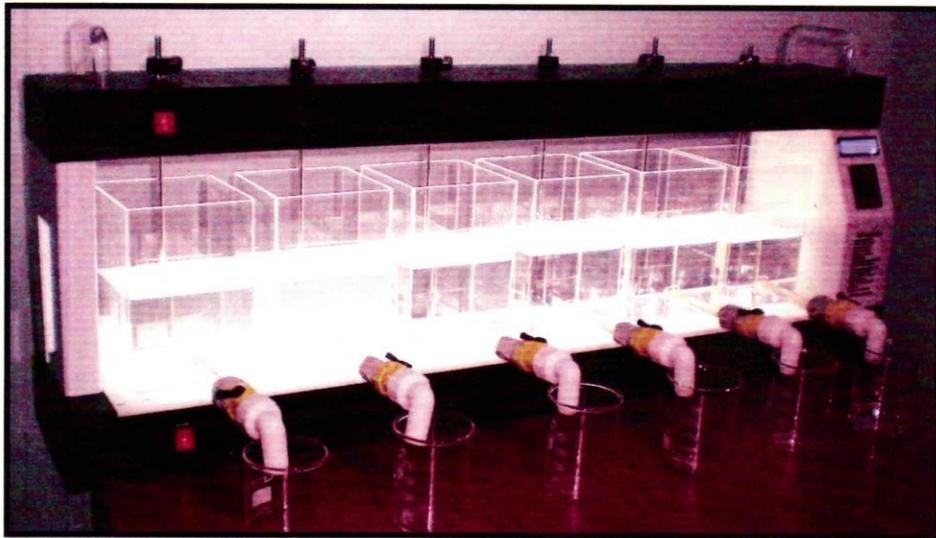
**Augusto Mello Romero**

Director - Dirección de Acreditación





CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		N°:	2017-05001	
		Fecha de emisión:	19/05/2017	
<b>SERVICIO SOLICITADO POR:</b>				
CLIENTE:	Flor Casas Quispe			
RUC:	10478324478			
REF.:	001-0000742			
<b>DATOS DEL EQUIPO</b>				
MARCA / MODELO	POLICONTROL / AP2000			
RANGO DE MEDICIÓN	0 - 1000 NTU			
VERSIÓN SOFTWARE	3.33 B			
NUMERO DE SERIE	16091258			
VERSIÓN	ESPAÑOL			
<b>CONDICIONES DE CALIBRACIÓN</b>				
TEMPERATURA AMBIENTAL	24.2°C			
FECHA DE CALIBRACIÓN	16/05/2017			
HUMEDAD RELATIVA	64%			
LUGAR DE CALIBRACIÓN	Laboratorio YAKUTEK SAC - Lima			
Método de calibración: calibración en 4 puntos según método POLICONTROL - Ref. POP02-2012				
<b>RESULTADOS DE CALIBRACIÓN</b>				
ESTANDAR (NTU)	PROMEDIO DE LECTURAS	ERROR (NTU)	DESVIACION ESTANDAR (±NTU)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (±NTU)
0.10	0.100	0.00	0.0000	0.0250
20.00	19.620	-0.38	0.0400	0.1398
100.00	100.000	0.00	0.0000	0.0250
800.00	803.600	3.60	0.8000	2.3210
<b>TRAZABILIDAD</b>				
DESCRIPCIÓN	LOTE	FECHA DE VENCIMIENTO		
Estándar 0,1 NTU	207D	septiembre-18		
Estándar de formazina 20 NTU	207D	septiembre-18		
Estándar de formazina 100 NTU	207D	septiembre-18		
Estándar de formazina 800 NTU	207D	septiembre-18		
<b>NOTAS E INFORMACIÓN</b>				
1. La incertidumbre expandida se basa en una incertidumbre estándar combinada multiplicada por el factor K= 2.87 con un nivel de confianza de 95%				
2. El promedio de lecturas es la media aritmética de cinco mediciones				
Emitido por:	B.HURTADO			
	<b>YAKUTEK SAC</b> SERVICIO TÉCNICO Fecha: 19-05-17 Firma:			
CALID-M-AP2000, Rev. 1.1 - 01/09/2016				



## **FLOCULADOR EQUIPO PARA TEST DE JARRAS DE 6 PUESTOS**

**Para vasos de hasta 2 litros**

***RANGO 20-300 rpm***

***Con tres rampas de velocidad y tiempo***

Control digital, con procesos automáticos:  
Alta a baja velocidad, tiempos predeterminados.  
Baja a alta velocidad, tiempos predeterminados.

### **APLICACIONES:**

- Determinación de los agentes floculantes para lograr la sedimentación en el diseño de mezclas para el tratamiento de agua.
- Evaluación de la eficiencia de un absorbente sobre agentes tóxicos.
- Para optimizar la adición de coagulantes y polielectrolitos para el tratamiento de agua y aguas residuales.

***Ideal para dosificación de mezclas.***

***Excelente para pruebas de campo por su poco peso.***

***Se puede usar con batería de 12 voltios DC (sobre pedido especial).***

## EQUIPO PRUEBA DE JARRAS

### Especificaciones:

### **EQUIPO DIGITAL AUTOMÁTICO DE MUY FÁCIL PROGRAMACIÓN**

- Velocidad variable de 20-300 rpm.
- Control de velocidad tipo: P.I.D. lazo cerrado.
- Transmisión de movimiento por piñón, igual velocidad en todas las aspas.
- Programación manual y automática de fácil operación de alta a baja velocidad.
- Programación manual y automática de fácil operación de baja a alta velocidad.
- Visualización de velocidad en LCD, control digital por teclado.
- Nivel de precisión:  $\pm 1$  rpm.
- Ciclo de trabajo programable (0-99 min., 59 seg.) y alarma de terminación de ciclo.
- Lámpara fluorescente de 60W 120V (interruptor independiente).
- Altura libre para vaso de prueba de 22 cm y hasta 2 litros.
- Aspas en acero inoxidable, altura fácil de graduar.
- Estructura construida en poliestireno de  $\frac{1}{4}$ " de alta resistencia mecánica y térmica.
- Línea de voltaje 120V. Fusible de 1.5A (incluido repuesto en la parte posterior).
- Excelente para pruebas de campo por su poco peso (9 kgr.)

***No tiene partes que se puedan oxidar, ideal para ambientes cálidos y húmedos.***



Calle Amat y Juniet N° 510  
Urb. La Virreyna, Santiago de Surco  
Lima 33, Lima  
Perú

TELÉFONO  
FAX  
CORREO ELECTRÓNICO  
PÁGINA WEB

(511) 274-1138  
(511) 444-2089  
info@aquara.com.pe  
<http://www.aquara.com.pe>

Luego aparecerá un aviso que dice: desea iniciar proceso.

\* = NO

# = SI

Teclee (\*) o (#) según desee.

Si escribe (#) el proceso se iniciará y parará al terminar el tiempo programado, haciendo sonar la alarma de terminación de ciclo.

Si escribe (\*) la pantalla le pedirá nuevas R.P.M. y nuevo tiempo para configurar así un proceso automático.

### **EJEMPLO: Programación de Proceso Automático de Alta a Baja Velocidad**

(100 rpm 30 minutos) y luego (25 rpm y 10 minutos).

La pantalla le guiará como proceder. Aparecerá:

**R.P.M. 000**

**Tiempo 00:00**

Digite 100, luego el tiempo 30:00, luego la tecla (\*). La pantalla le pedirá los siguientes datos, ingréselos; 025, luego 10:00 y finalice con la tecla (#).

Al programar el tiempo del ciclo de trabajo el equipo empezará a girar automáticamente, y se visualizará en la pantalla de las RPM programadas y el tiempo empezará a decrecer hasta terminar el ciclo, y entonces sonará la alarma por unos segundos.

Si desea detener o borrar un proceso en marcha solo oprima la tecla (\*), toda la programación se borrará y podrá entonces digitar una nueva programación o ciclo de trabajo.

**¡IMPORTANTE!** No intente destapar este equipo sin autorización del fabricante o vendedor pues perderá la garantía.



Calle Amat y Juniet N° 510  
Urb. La Virreyna, Santiago de Surco  
Lima 33, Lima  
Perú

TELÉFONO  
FAX  
CORREO ELECTRÓNICO  
PÁGINA WEB

(511) 274-1138  
(511) 444-2089  
info@aquara.com.pe  
<http://www.aquara.com.pe>

## PROCEDIMIENTOS SIMPLES PARA LA PRUEBA EN JARRAS

Las pruebas de jarras se utilizan para determinar las dosis, concentraciones, pH, etc. más efectivas del coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Se puede utilizar también con el objeto de determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial del agua cruda para la filtración directa.

### EJEMPLO DE SOLUCIONES QUÍMICAS:

Se deben preparar soluciones madres de los coagulantes, coadyuvantes coagulantes y otros reactivos químicos a concentraciones tales que las cantidades adecuadas para utilizarse en las pruebas de coagulación se puedan medir exacta y convenientemente.

Reactivo Químico	Concentración de la solución madre	Vida Util	1 ml en un litro de agua equivalente a
Sulfato de Aluminio	1%	1 mes	10 mg/l
Cloruro Férrico	1%	2 meses	10 mg/l
Cal	1%	1 mes	10 mg/l
Polielectrolito	0.05%	1 semana	0.5 mg/l
Ácido Sulfúrico	0.1N	3 meses	4.9 mg/l

- Las suspensiones de cal se deben mezclar agitándolas cada vez que se utilicen.
- Las soluciones de polielectrolito se deben utilizar de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes.



## EJEMPLO DE PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA EN JARRAS PARA EL TRATAMIENTO POR COAGULACIÓN

Las pruebas en jarras con coagulantes requieren un agitador de laboratorio de 4 plazas o aparato para la prueba en jarras, así como también seis vasos de 2 litros. El procedimiento para llevar a cabo la prueba es:

1. Colocar un vaso de 2 litros debajo de cada una de las paletas de agitación.
2. Colocar en cada vaso exactamente 1 litro medidos con una probeta graduada, de una muestra fresca del agua cruda.
3. Anotar en la hoja de datos la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso. Esta cantidad variará de vaso a vaso.
4. Con cada pipeta, añadir el coagulante en cantidades crecientes en vasos sucesivos. Por ejemplo: 10 mg/l en el vaso #1, 20 mg/l en el vaso #2, etc.
5. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min. a una velocidad de 150 rpm.
6. Reducir la velocidad al grado seleccionado de agitación (normalmente 40 rpm. Aproximadamente y permitir que la agitación continúe durante unos 15 min. Se debe procurar que el grado y tiempo de agitación igualen las condiciones de operación de la planta de floculación.
7. Anotar cuánto tiempo transcurre antes de que se empiece a formar un flóculo.
8. Observar qué tan bien resiste éste, algo de agitación sin fragmentarse.
9. Una vez que transcurre el período de agitación, detener el agitador y anotar cuánto tiempo transcurre para que el flóculo se sedimente en el fondo del vaso.
10. Después de permitir que el flóculo se asiente durante 15 min., determinar el color y la turbiedad del sobrenadante (el líquido por encima de los flóculos).
11. En las hojas de registro se deben anotar las dosis, tiempo y velocidad de mezclado, pH, características de crecimiento de los flóculos y análisis del sobrenadante.
12. Después de permitir que el flóculo se asiente en el fondo durante 15 min., filtrar el sobrenadante a través de un papel filtro.
13. Filtrar otros 100 a 150 ml. de muestra.
14. Determinar la turbiedad, pH, color y, si es necesario, el aluminio residual en el filtrado.
15. La jarra que proporcione los mejores resultados indica la dosis adecuada de coagulante para la planta en cuestión.



## PRUEBAS EN JARRAS UTILIZANDO COAGULANTES MÁS COADYUVANTES DE COAGULACIÓN

1. Para determinar si los polielectrolitos pueden ayudar al proceso de coagulación – floculación – sedimentación, se debe hacer lo siguiente: repetir la prueba en jarras utilizando la mejor dosis de coagulación determinada en el paso 15 anterior (o ligeramente por debajo de esta dosis) y añadir cantidades variables de coagulantes como se describe en el paso 4. Las dosis de polielectrolito raras veces exceden de 1 mg/l.
2. Cuando se determine el uso de coadyuvantes coagulantes, conserve una jarra con sulfato de aluminio únicamente. Compare entonces los resultados (cuando se utiliza sólo sulfato de aluminio) con los resultados obtenidos cuando se añade un coadyuvante de coagulación al sulfato de aluminio.

## PRUEBA PARA DETERMINAR EL pH ÓPTIMO

La segunda prueba implica la preparación de muestras con el pH ajustado, utilizando, por ejemplo, cal o ácido sulfúrico, de manera que las muestras cubran un intervalo (por ejemplo: pH -5, 6, 7 y 8). La dosis de coagulante previamente determinada se añade a cada vaso. A continuación, se examinan las muestras y se determina el pH óptimo. Si es necesario se vuelve a verificar la dosis mínima de coagulante al pH óptimo.

Cuando se aplican los resultados de la prueba en jarras a la planta, a veces se encuentra que la planta opera mejor a una dosis química ligeramente diferente de la indicada por la prueba en jarras. La prueba en jarras es muy eficiente tanto en la agitación como en la sedimentación. Si la planta no es tan eficiente como las pruebas en jarras, es posible que se requiera una mayor dosis de coagulante. La mayor utilidad de la prueba en jarras es determinar en qué momento los cambios en la calidad del agua cruda demandan cambios en las dosis químicas.



Calle Amat y Juniet N° 510  
Urb. La Virreyna, Santiago de Surco  
Lima 33, Lima  
Perú

TELÉFONO  
FAX  
CORREO ELECTRÓNICO  
PÁGINA WEB

(511) 274-1138  
(511) 444-2089  
info@aquara.com.pe  
<http://www.aquara.com.pe>

## PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN

Las pruebas de sedimentación se pueden efectuar en el vaso de prueba tomando muestras con una pipeta a una profundidad preseleccionada, una muestra antes de que se detenga el mezclado y las otras a intervalos de tiempo seleccionados después de detener el mezclado durante un total de aproximadamente 10 min. Se pueden efectuar análisis en las muestras para determinar las concentraciones de cualquier sustancia seleccionada como indicador, tal como Fe, Al, color o turbiedad. Entonces, se pueden graficar curvas de distribución de frecuencia acumulativa de las velocidades de sedimentación contra la concentración del indicador, a partir de éstas se pueden hacer estimaciones de las remociones que se deben esperar en la sedimentación. (En Fair, Geyer y Okum, vol. II, 1978; Camp, 1946 e IRC, 198 lb se describen las curvas de distribución de frecuencia acumulativa para el diseño de tanques de sedimentación).



Calle Amat y Juniet N° 510  
Urb. La Virreyna, Santiago de Surco  
Lima 33, Lima  
Perú

TELÉFONO  
FAX  
CORREO ELECTRÓNICO  
PÁGINA WEB

(511) 274-1138  
(511) 444-2089  
info@aquara.com.pe  
<http://www.aquara.com.pe>

## MANTENIMIENTO FLOCULADOR EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS

**Nunca intente reparaciones no autorizadas sobre el equipo, solicite su garantía y/o mantenimiento, en caso contrario perderá la garantía**

**¡IMPORTANTE!** No intente frenar el equipo manualmente forzando las paletas de agitación, causará serio daño.

**¡IMPORTANTE!** Nunca use solvente alguno a base de éter para limpieza.

Limpie con un paño húmedo la estructura del equipo, jamás use solvente a base de éter, **ÚNICAMENTE A BASE DE AGUA** jabonosa. Cuando se derrame líquido sobre el tras iluminador muy poco o nada pasará al interior del equipo solo límpielo sin rayar el opal acrílico.

Los ejes de las paletas de agitación se deben limpiar cada vez que sean usadas.

Este equipo solo requiere de una gota de aceite entre la manzana de aluminio y el anillo de bronce en la parte superior, para esto levante el aspa respectiva tomándola del soporte grafilado negro para facilitar la lubricación, solo una gota cada 60 días de uso.

### **En caso de falla:**

- Revise la toma corriente posterior esté totalmente insertada en la hembra, en caso necesario cambie el fusible protector ubicado al lado del tomacorriente del equipo, el fusible no debe ser superior a 1.5 amperios 250 voltios.
- Nunca intente reparar este equipo, solicite el servicio técnico especializado o garantía.
- No suprima el polo de protección a tierra del tomacorriente, pues con esto provocará un serio daño al equipo, en caso de que la instalación eléctrica del sitio no posea polo a tierra, debe instalar uno obligatoriamente.
- No intente destapar la cabina de control ni la tapa superior del equipo ya que este evento quedará almacenado en memoria y perderá la garantía.

**¡IMPORTANTE!** Este equipo se garantiza por un año, por favor cite el número posterior para solicitar garantía y/o mantenimiento.



Calle Amat y Juniet N° 510  
Urb. La Virreyna, Santiago de Surco  
Lima 33, Lima  
Perú

TELÉFONO  
FAX  
CORREO ELECTRÓNICO  
PÁGINA WEB

(511) 274-1138  
(511) 444-2089  
info@aquara.com.pe  
<http://www.aquara.com.pe>

**ANEXO N°4**  
**INFORME DE ENSAYO DQO**



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-103

LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.



Registro N° LE-103

## INFORME DE ENSAYO N°1705045A

CLIENTE: HIDROSAT Y MEDIO AMBIENTE S.A.C.	DIRECCIÓN DE ENTREGA: CALLE BERNA N° 100 URB. LOS PORTALES DE JAVIER PRADO IRA ETAPA ATE-LIMA
Matriz: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	Número de Muestras: 10
Procedencia de la Muestra: MATCH INGENIEROS S.A.C. LURIN	Referencia al Plan de Muestreo
Muestreo Realizado por: HIDROSAT Y MEDIO AMBIENTE S.A.C.	Fecha de Recepción R-LAB: 18/05/2017
Fecha de Inicio de Ensayo: 24/05/2017	Fecha de Término de Ensayo: 24/05/2017

  
Roberto Chacabarro Arellano  
JEFE DEL LABORATORIO DE PD  
EMP. 776



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-103

LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.



Registro N° LE-103

## INFORME DE ENSAYO N° 1705045A

Matriz: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL			ANÁLISIS
Fecha de Muestreo	Código de laboratorio	Identificación de la Muestra	Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L
16/05/2017	1705045A-01	Inicial	3 626,7
17/05/2017	1705045A-02	F1	2 926,7
17/05/2017	1705045A-03	F2	2 943,4
17/05/2017	1705045A-04	F3	2 960,0
17/05/2017	1705045A-05	F4	2 293,3
17/05/2017	1705045A-06	F5	2 626,7
17/05/2017	1705045A-07	F6	2 960,0
17/05/2017	1705045A-08	F7	2 026,7
17/05/2017	1705045A-09	F8	2 343,4
17/05/2017	1705045A-10	F9	2 660,0
Límite de Cuantificación			0,5
Límite de Detección			1,2

**Nota:**

- ✓ Condición y estado de la Muestra Ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en frascos de polietileno.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán por un periodo de 10 días calendario luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ El informe de control de calidad será proporcionado a solicitud del cliente.

  
Celso Roberto Chusquendo Arellano  
JEFE DE LABORATORIO DE EQ  
ESP. 72



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-103



Registro N° LE-103

LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.

## INFORME DE ENSAYO N°1705045A

### REFERENCIA DE LOS MÉTODOS DE ENSAYOS

ENSAYO	MÉTODO DE REFERENCIA
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed.2012 Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method.

Fin de documento

Lima, 25 de Mayo del 2017



  
Celso Roberto Chacabarro Arellano  
JEFE DE LABORATORIO DE  
EMP. 170

El informe de ensayo presentado no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.  
Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizado. Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto.  
Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"  
Calle Bema N° 100, Urb. "Los Portales de Javier Prado" 1era Etapa, Lima-03 / Telf. 972733385, 6776533 Correo: rslaboratoriol@gmail.com