

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAVANDERÍAS
POR EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y
ADSORCIÓN**

TESIS

PRESENTADA POR:

ZULMA CHAMBI HANCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAVANDERÍAS
POR EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y
ADSORCIÓN**

**TESIS PRESENTADA POR:
ZULMA CHAMBI HANCCO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO



APROBADA POR:

PRESIDENTE

:

Dr. Teófilo Donaires Flores

PRIMER MIEMBRO

:

M.Sc. Germán Quille Calizaya

SEGUNDO MIEMBRO

:

Ing. René Justo Quispe Flores

DIRECTOR / ASESOR

:

M.Sc. Roger Huanqui Pérez

ÁREA : Tecnología Ambiental

TEMA : Recursos naturales y medio ambiente

LÍNEA : Tratamiento de aguas residuales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 de julio del 2018

DEDICATORIA

A Dios, por concederme la vida, acompañarme siempre y por darme la oportunidad de tener tantas cosas buenas en mi vida.

A mi padre, quien con su ejemplo me enseñó a ser una mejor persona cada día.

A mi madre, por darme su apoyo incondicional en mi formación como profesional.

A mis hermanos por estar siempre ahí Ayudándome cuando lo necesite,

Finalmente a todos a quienes me apoyaron y me dieron fuerza en todo momento para poder culminar mi carrera y todos los logros alcanzados. Les estoy infinitamente agradecida por brindarme el apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas e instituciones que, en la forma de orientación, ayuda y estímulo fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

Especialmente a:

Dios por concederme el milagro de la vida y guiarme por el sendero del éxito.

Mi familia, por el apoyo incondicional, la cual me ha permitido lograr mis objetivos tan anhelados.

A la Universidad Nacional del Altiplano y Facultad de Ingeniería Química por la formación profesional brindada.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 8 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 9 |
| ÍNDICE DE ACRÓNIMOS..... | 10 |
| RESUMEN | 11 |
| ABSTRACT..... | 12 |
| I. INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 13 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN..... | 13 |
| 1.3 HIPÓTESIS..... | 14 |
| 1.3.1 HIPÓTESIS GENERAL..... | 14 |
| 1.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICO | 14 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 15 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL..... | 15 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 16 |
| 2.1 ANTECEDENTES | 16 |
| 2.2 COAGULACIÓN..... | 17 |
| 2.3 TIPOS DE COAGULANTES USADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA | 18 |
| 2.3.1 SULFATO DE ALUMINIO | 18 |
| 2.3.2 CLORURO FÉRRICO | 20 |
| 2.3.3 SULFATO FERROSO | 21 |
| 2.3.4 SULFATO FÉRRICO..... | 22 |
| 2.3.5 POLICLORURO DE ALUMINIO..... | 22 |
| 2.4 FLOCULACIÓN | 23 |
| 2.4.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN | 24 |
| 2.5 SEDIMENTACIÓN | 25 |
| 2.6 FILTRACIÓN | 26 |
| 2.7 DETERGENTES O SURFACTANTES..... | 26 |
| 2.8 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE DETERGENTES | |
| SINTÉTICOS | 28 |
| 2.9 PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS DETERGENTES | 29 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 2.10 | CLASIFICACIÓN DE LOS DETERGENTES | 30 |
| 2.10.1 | DETERGENTES ANIÓNICOS | 30 |
| 2.10.2 | DETERGENTES CATIÓNICOS | 33 |
| 2.10.3 | DETERGENTES NO IÓNICOS | 34 |
| 2.10.4 | DETERGENTES NATURALES | 34 |
| 2.11 | APLICACIONES DE DETERGENTES SINTÉTICOS | 35 |
| 2.12 | PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES | 36 |
| 2.13 | REMOCIÓN DE DETERGENTES EN AGUAS RESIDUALES..... | 38 |
| 2.13.1 | TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO | 38 |
| 2.13.2 | TRATAMIENTO CON OZONO | 38 |
| 2.13.3 | TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVADO | 39 |
| 2.14 | ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO..... | 39 |
| 2.14.1 | CARBÓN ACTIVADO | 39 |
| 2.14.2 | PROPIEDADES | 40 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS | 41 |
| 3.1 | MATERIALES DE LABORATORIO | 41 |
| 3.1.1 | EQUIPOS Y MATERIALES | 41 |
| 3.1.2 | REACTIVOS E INSUMOS | 41 |
| 3.2 | RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES DE LAVANDERÍAS | 42 |
| 3.3 | DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD EN AGUAS | 42 |
| 3.4 | PROCEDIMIENTO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN..... | 43 |
| 3.6 | ADSORCIÓN DE DETERGENTES CON CARBÓN ACTIVADO EN POLVO | 44 |
| 3.7 | DISEÑO EXPERIMENTAL Y FACTORES SELECCIONADOS | 45 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 47 |
| 4.1 | CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL DE LAVANDERÍA | 47 |
| 4.2 | TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LAVANDERÍA POR COAGULACION Y FLOCULACION | 47 |
| 4.2.1 | FLOCULACIÓN CON POLICLORURO DE ALUMINIO | 47 |
| 4.2.2 | FLOCULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO | 48 |
| 4.3 | RESULTADOS DE EXTRACCIÓN DE DETERGENTE CON CARBON ACTIVADO DE CUESCO DE PALMA | 51 |
| 4.3.1 | DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL 2 ^ª | 52 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.3.2 | TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE VARIANZA (CACP) | 53 |
| 4.3.3 | ESTIMACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO (CACP) | 54 |
| 4.3.4 | RESPUESTA DE OPTIMIZACIÓN (CACP) | 55 |
| 4.4 | RESULTADOS DE PORCENTAJE DE ADSORCIÓN DE DETERGENTES CON CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE COCO | 58 |
| 4.4.1 | TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE VARIANZA (CACC) | 59 |
| 4.4.2 | ESTIMACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO (CACC) | 60 |
| 4.4.3 | RESPUESTA DE OPTIMIZACIÓN (CACC) | 61 |
| V. | CONCLUSIONES | 64 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 65 |
| | ANEXOS | 67 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Propiedades físico-químicas de policloruro de aluminio | 23 |
| Tabla 2: Niveles máximos y mínimos | 45 |
| Tabla 3: Matriz de diseño factorial | 46 |
| Tabla 4: Resultados de análisis de turbidez (NTU) | 48 |
| Tabla 5: Resultados de turbidez (NTU) | 49 |
| Tabla 6: Resultados de adsorción de detergente (CON CACP) | 51 |
| Tabla 7: Resultados de cálculos de adsorción de detergente (CON CACP) | 52 |
| Tabla 8: Matriz de diseño experimental (PARA CACP) | 52 |
| Tabla 9: Análisis de varianza para adsorción de detergentes (CON CACP) | 53 |
| Tabla 10: Coeficiente de regresión para adsorción de detergente (CON CACP) ... | 54 |
| Tabla 11: Variables óptimas de adsorción de detergente (CON CACP) | 55 |
| Tabla 12: Resultados de porcentaje de adsorción (CON CACC) | 58 |
| Tabla 13: Matriz de diseño experimental (PARA CACC) | 59 |
| Tabla 14: Análisis de varianza para porcentaje adsorción de detergente (CON CACC) | 59 |
| Tabla 15: Coeficiente de regresión para adsorción de detergente (CON CACC) ... | 60 |
| Tabla 16: Valores óptimos de adsorción de detergente (CON CACC) | 61 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Agrupación micelar de las moléculas del surfactante | 27 |
| Figura 2: Estructura molecular del dodecil benceno sulfonato de sodio | 27 |
| Figura 3: Diagrama proceso productivo detergentes sintéticos | 28 |
| Figura 4: Estructura molecular del alquil benceno sulfonato (ABS) | 31 |
| Figura 5: Proceso de biodegradación del alquil benceno sulfonato lineal | 32 |
| Figura 6: Estructura molecular del sulfato de alcohol graso | 32 |
| Figura 7: Proceso de biodegradación del sulfato de alcohol graso | 33 |
| Figura 8: Porcentaje de adsorción de detergente | 51 |
| Figura 9: Diagrama de pareto estandarizado (PARA CACP) | 56 |
| Figura 10: Efectos de interacciones en la adsorción de detergente | 57 |
| Figura 11: Superficie de respuesta estimada (PARA CACP) | 58 |
| Figura 12: Diagrama de pareto estandarizado (PARA CACC) | 62 |
| Figura 13: Superficie de respuesta estimada (PARA CACC) | 62 |

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|------|---------------------------------------|
| LAS | : Alquil benceno sulfonato lineal |
| NTU | : Unidades Nefelométricas de turbidez |
| CACP | : Carbón activado de cuesco de palma |
| CACC | : Carbón activado de cáscara de coco |
| t | : tiempo |
| h | : horas |
| min | : minutos |
| mg | : miligramos |
| L | : Litros |
| kg | : kilogramo |
| g | : gramos |

RESUMEN

Las lavanderías industriales de la ciudad de Puno utilizan comúnmente detergentes comerciales (Marcella, Patito y Ariel), el agua es usada en grandes cantidades para lavar prendas de vestir. Las aguas residuales generadas por lavanderías son vertidas al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento. Las muestras fueron tomadas aleatoriamente de las lavanderías Don Marcelo de la ciudad de Puno. Mediante el análisis químico se determinó que la concentración de detergente en aguas residuales de lavandería es de 2,84 mg/L. En la primera etapa del proceso se realizó la remoción de sólidos en suspensión por proceso de coagulación-floculación utilizando floculantes como el policloruro de aluminio y sulfato de aluminio. El porcentaje de remoción de sólidos suspendidos con policloruro de aluminio alcanzó al 97,99% y la remoción con sulfato de aluminio fue de 94,92%. En la segunda etapa se realiza la adsorción de detergente con carbón activado, para el cual se utilizaron dos tipos de carbón activado en polvo. La adsorción con carbón activado de cuesco de palma en polvo se logró remover detergente al 93,43% a pH 6 y tiempo de 60 min, mientras con carbón activado de cáscara de coco en polvo se obtuvo remover al 95,31% de detergente LAS a pH 10 y tiempo de adsorción de 60 min. La concentración final de detergente en agua residual tratada con carbón activado cuesco de palma en polvo fue de 0,15 mg/L y con carbón activado cáscara de coco fue reducido a 0,12 mg/L, que según las Normas de Calidad del Agua el límite máximo permisible en detergentes es 0,5 mg/l, por lo tanto cumple con las Normas Ambientales de Calidad de agua para el vertido en cuerpos de agua. Se aplicó el diseño factorial 2^n el mismo que ha permitido optimizar las variables del proceso. Los resultados experimentales se ajustaron a un modelo de regresión lineal utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion XV. Los trabajos experimentales se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano.

Palabras claves: Coagulación, floculación, sólidos suspendidos, detergente.

ABSTRACT

The industrial laundry in the city of Puno commonly uses detergents such as (Marcella, Patito and Ariel), in addition water is used in big quantities to wash clothes. The wastewater generated by laundries is discharged into the sewage system without treatment. The samples were taken randomly from Don Marcelo laundry in the city of Puno. Through the chemical analysis it was determined that the detergent concentration in laundry wastewater is 2.84 mg / L. In the first stage of the process, suspended solids were removed by coagulation-flocculation process using flocculants such as aluminum polychloride and aluminum sulphate. The removal percentage of suspended solids with aluminum polychloride reached 97.99% and the removal with aluminum sulphate was 94.92%. In the second stage, the detergent. Adsorption with activated carbon was carried out, and used two types of activated carbon. The adsorption with activated carbon of powdered palm kernel was able to remove 93.43% detergent at pH 6 in 60 min, while with coconut shell activated carbon was obtained to remove 95.31% of detergent LAS at pH 10 and adsorption time of 60 min. The detergent final concentration in wastewater treated with activated carbon powder palm kernel powder was 0.15 mg / L and with coconut shell activated carbon was reduced to 0.12 mg / L, which according to the Water Quality Standards The maximum permissible limit in detergents is 0.5 mg / l, therefore. It complies with the Environmental Norms of Water Quality for the discharge of water. The 2ⁿ factorial design was applied, which has allowed optimizing the variable process. The experimental results were adjusted to a linear regression model using the statistical package STATGRAPHICS Centurion XV. The experimental works were carried out in the quality control laboratory of Chemical Engineering faculty from the "Universidad Nacional del Altiplano".

Key words: Coagulation, flocculation, suspended solids, detergent.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo de investigación consiste en la remoción de sólidos en suspensión y detergentes a partir de aguas residuales de lavanderías de la ciudad de Puno, mediante el proceso combinado de coagulación-floculación con policloruro de aluminio, sulfato de aluminio y adsorción con carbón activado. Las aguas residuales de lavanderías contienen altas concentraciones de sólidos suspendidos y detergentes, los mismos que son vertidos directamente al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento.

La primera etapa consistió en la remoción de sólidos en suspensión con policloruro de aluminio, sulfato de aluminio. Los sólidos floculados y sedimentados fueron separados por operación de filtración y el sobrenadante que aún contienen detergentes es adsorbido con carbón activado en polvo.

En la segunda etapa se evaluó el uso de carbón activado en polvo para la adsorción de detergentes aniónicos de tipo sulfato a partir de aguas residuales pre tratado con floculantes policloruro de aluminio y sulfato de aluminio. Los carbones activados utilizados fueron carbón activado de cuesco de palma (CACP) y carbón activado de cáscara de coco (CACC) todos ellos en polvo. En el proceso de adsorción se estudió la influencia de pH, cantidad de adsorbente y tiempo de adsorción. La concentración de detergentes fue determinada por el método de Hach.

Las pruebas de floculación y adsorción se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales de las lavanderías de la ciudad de Puno son vertidas directamente al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento. La contaminación del agua por los detergentes es una preocupación en el contexto actual, ya que el uso desmedido de detergentes son: la formación de espumas, inhibición de la actividad biológica, efectos tóxicos para sistemas acuáticos, alteración de la permeabilidad del suelo facilitando la penetración de microorganismos en las aguas subterráneas, la

eutrofización del agua priva de oxígeno causando muerte de otros organismos. Muchos detergentes como Marcella, Patito y Ariel contienen alquil bencen sulfatonato lineal (LAS) Smulders, 2002. Los fosfatos pueden causar una variedad de problemas de contaminación del agua.

En las últimas décadas se han restringido al uso de detergentes y las normas ambientales acondicionan su vertimiento a cuerpos de agua. Por estas razones se realizan estudios de remoción de detergentes con diferentes procesos físicos y químicos.

Como nueva alternativa se propone la remoción de sólidos suspendidos y detergentes de aguas residuales de lavandería por el proceso de coagulación-floculación con policloruro de aluminio, sulfato de aluminio y adsorción de detergentes con carbón activado.

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

El policloruro de aluminio y sulfato de aluminio floculan y sedimentan sólidos suspendidos y el carbón activado adsorbe detergentes de aguas residuales de lavanderías.

1.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICO

- Las aguas residuales de lavandería contienen detergentes y otros componentes como sulfatos y fósforo.
- El policloruro de aluminio y sulfato de aluminio remueven sólidos en suspensión de aguas residuales de lavandería.
- El carbón activado adsorbe detergentes de aguas residuales de lavanderías.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la remoción de sólidos en suspensión y detergentes por el proceso de coagulación-floculación con policloruro de aluminio y sulfato de aluminio y adsorción con carbón activado de aguas residuales de lavanderías.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las aguas residuales de lavanderías Don Marcelo de la ciudad de Puno.
- Remover sólidos en suspensión por coagulación-floculación con policloruro de aluminio y sulfato de aluminio.
- Remover detergentes aniónicos (alquil bencen sulfunato) por adsorción con carbón activado en polvo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Maldonado, (2008), realizó estudio de la remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato disuelto en agua en sistemas agitados y columnas empacadas. En las pruebas de adsorción determinó que el carbón activado de cuesco de palmiste presenta mayor adsorción de Lauril sulfato de sodio alcanzando una remoción del 92,5% en sistema de lecho agitado. Además se concluye que el efluente de la columna empacada con este carbón activado alcanza concentración máxima permisible de 0,5 mg/L de Lauril sulfato de sodio en un tiempo de operación de 26 días, trabajando con un flujo de 6 cm³/min.

Castaneda & Guillermo, (2004). Realizo estudio de Reducción de hierro manganeso y detergente en el agua, por medio de arena verde de manganeso y carbón activado. En las pruebas de adsorción con carbón activado determinó la remoción del 85% del contenido de detergente, en el agua sometida al tratamiento en columna de carbón activado. Además, concluye que el efluente de la columna con carbón activado alcanza concentración de 0,535 mg/L de detergente, realizando un monitoreo durante 8 semanas, trabajando con un flujo de 7,6 cm³/min.

Casallas & Ivañez, (2008). Realizo estudio de Diseño de un Sistema a Nivel Piloto para la Remoción de Detergentes Aniónicos de una Solución preparada con características de una Lavandería tipo con el fin de reducir la Concentración Letal Media (CL50-48) para *Daphnia Pulex*. Se determinó por medio de bioensayos, la concentración letal media CL50-48 de detergente aniónico ROTEX, su componente activo LAS (Lauril Alquil Sulfato) y detergentes comerciales (FAB TOTAL, ARIEL, DERSA). Se evaluó una solución preparada con características de una lavandería tipo y se determinó la CL50-48 en concentración %(v/v) de una muestra cruda y de una muestra tratada con un sistema de filtración integrado por un filtro de arena y un filtro de carbón activado bituminoso. Se comprobó la reducción de la concentración de detergentes aniónicos presentes en la solución preparada con características de una lavandería tipo con una eficiencia del 73%.

Syafalni et al., (2012), la determinación de los surfactantes, en el agua del río como suministro de agua cruda, agua potable y tratada, es importante ya que los surfactantes se han convertido en una amenaza para nuestra red de suministro de agua. Muchos investigadores han demostrado que el carbón activado es un adsorbente eficaz para tratar el agua con altas concentraciones de compuestos orgánicos. Su utilidad se deriva principalmente de sus grandes volúmenes de microporos y mesoporos y la alta superficie resultante (Fu y Wang, 2011).

2.2 COAGULACIÓN

La coagulación es un proceso que implica muchas reacciones de transferencia de masa. El proceso consta de varias etapas: la desestabilización de partículas, la interacción contaminante-coagulante. Las variables claves que se debe tener en cuenta son la dosis de los coagulantes, la alcalinidad y el pH (Kirchmer, 1981).

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles, entre estas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas pueden ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración (Kirchmer, 1981).

La coagulación se lleva generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- El primero esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla (Barrenechea, 2004).
- El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua (Barrenechea, 2004).

La remoción de partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración.

La coagulación está fundamentalmente en función de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas que definen el valor de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión (Kirchmer, 1981).

Mecanismos de coagulación

En el tratamiento del agua será necesario alterar la fuerza iónica mediante la adición de sales de aluminio o de hierro o de polímeros sintéticos que provoquen el fenómeno de la coagulación (Water research, 2002).

Actualmente se considera la coagulación como el resultado de la acción de cuatro mecanismos:

- Compresión de la capa difusa
- Adsorción y neutralización
- Barrido
- Adsorción y formación del puente

2.3 TIPOS DE COAGULANTES USADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA

Los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el sulfato ferroso y férrico y el cloruro-sulfato férrico, (Kirchmer, 1981).

2.3.1 SULFATO DE ALUMINIO

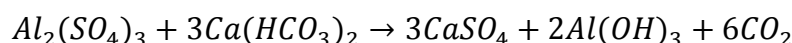
El sulfato de aluminio es el coagulante más usado en el tratamiento de agua. Es un sólido de color grisáceo. Se le conoce como alúmina o alumbre, reacciona con la alcalinidad del agua y con los fosfatos. Su fórmula teórica es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Su concentración se define, en general, por su contenido en alúmina, expresada en Al_2O_3 , es decir, 17% aproximadamente. La densidad aparente del sulfato de aluminio en polvo es

del orden de 1.000 kg/m^3 . El contenido en alúmina Al_2O_3 , de la forma líquida fluctúa generalmente entre 8 y 8,5%; es decir, 48 a 49% en equivalente polvo o también 630 a 650 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ por litro de solución acuosa (Kirchmer, 1981).

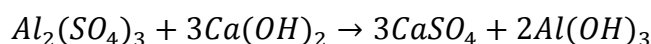
El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas; su pH varía entre 2 y 3,8 según la relación molar Sulfato/alúmina. Por esta razón, su almacenamiento debe hacerse en un lugar seco, libre de humedad. Es necesario tener en cuenta la tendencia ácida para la preparación de las soluciones y los empaques para su distribución, y emplear por lo general materiales de plástico (Kirchmer, 1981).

Principales reacciones del sulfato de aluminio con la alcalinidad

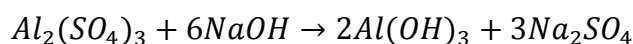
- 1) Sulfato de aluminio (líquido o sólido)



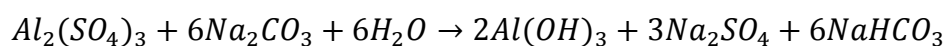
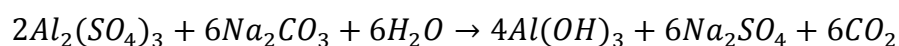
- 2) Sulfato de aluminio + cal



- 3) Sulfato de aluminio + soda cáustica



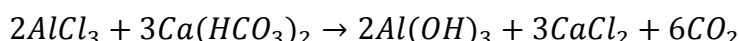
- 4) Sulfato de aluminio + carbonato sódico



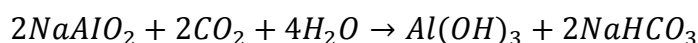
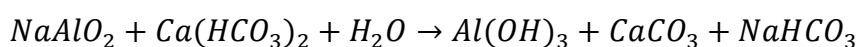
Otras especies alumínicas

Se puede emplear también otras sales de aluminio como el cloruro de aluminio y el aluminato sódico. El cloruro de aluminio se presenta en forma sólida o líquida y se utiliza preferentemente esta última (masa volumétrica de $1,29 \text{ kg/dm}^3$, equivalente a un contenido de Al_2O_3 del 11,4%) (Kirchmer, 1981).

Reacciones de cloruro de aluminio



Reacciones de aluminato sódico



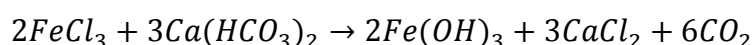
2.3.2 CLORURO FÉRRICO

Está disponible en forma sólida y líquida, se genera por la oxidación de sulfato ferroso con cloro. Este método tiene la ventaja de que la coagulación puede ser llevada bajo diferentes pH (entre 4,8 y 11). Es usado en tratamiento de aguas residuales. Reacciona con la alcalinidad de agua y con los compuestos alcalinos añadidos.

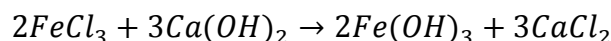
La forma líquida comercial tiene un promedio de 40% de FeCl_3 . Para evitar toda confusión entre los contenidos de producto puro o de producto comercial, es recomendable expresar la dosis de coagulantes de Fe equivalente; es decir, 20,5% para la fórmula sólida y 14% aproximadamente para la solución acuosa comercial. En presencia de hierro, las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso FeCl_2 . Esta reacción explica su gran poder corrosivo frente al acero, y la necesidad de seleccionar adecuadamente el material de los recipientes de almacenamiento, de preparación y de distribución (Programa Regional HPE/OPS/CEPIS, 1992).

Reacciones del cloruro férrico en el agua

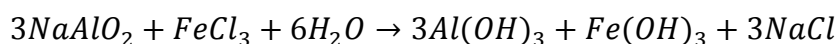
1) Con la alcalinidad



2) Con la cal



3) Con el aluminato sódico



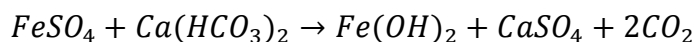
2.3.3 SULFATO FERROSO

Se usa generalmente junto con cal o junto con el cloro

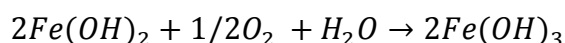
para llevar a cabo una coagulación efectiva. La reacción de $FeSO_4$ con cal hidratada se ve favorecida a pH altos. El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900 kg/m^3 . Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico (Programa Regional HPE/OPS/CEPIS, 1992).

Reacciones del sulfato ferroso

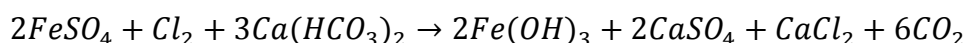
1) Con la alcalinidad del agua



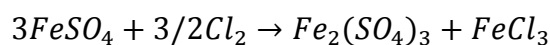
En aguas aireadas, el hidróxido ferroso formado se oxida a hidróxido férrico:



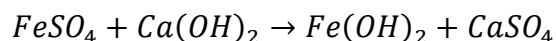
2) Reacción con el cloro



Si se usan sulfato ferroso y cloro para el tratamiento del agua, pueden dosificarse por separado o bien oxidarse previamente la solución de sulfato ferroso con cloro. Se obtiene entonces una mezcla de sulfato y cloruro férrico, a la que se conoce comercialmente con el nombre de cloro-sulfato férrico, según la reacción:



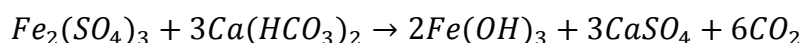
3) Reacción con el cal

**2.3.4 SULFATO FÉRRICO**

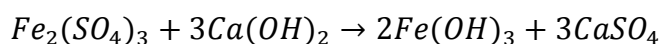
El sulfato férrico está disponible comercialmente en forma granular de color marrón rojizo. Es muy soluble en agua, puede reaccionar con la alcalinidad de agua o con materiales alcalinos añadidos como la cal. El sulfato férrico es muy soluble en el agua, su masa volumétrica aparente es 1.000 kg/m³. Debido a que en solución acuosa se hidroliza y forma ácido sulfúrico, es necesario prevenir los efectos de su acidez (Programa Regional HPE/OPS/CEPIS, 1992).

Reacciones del sulfato férrico

1) Con la alcalinidad



2) Con la cal

**2.3.5 POLICLORURO DE ALUMINIO**

Se comercializa como un líquido de color ambarino. Se emplea en la potabilización de aguas superficiales y en el tratamiento de efluentes líquidos residuales. Su función es la de coagular y acelerar la sedimentación de sólidos en suspensión modificando el potencial zeta de los líquidos a tratar neutralizando las fuerzas de repulsión.

Por todas estas características es un inmejorable producto que una excelente prestación en el tratamiento de las aguas y efluentes líquidos, sin producir ningún tipo de contaminación ni interferencia.

Cuando se lo utiliza en el tratamiento de aguas, brinda una velocidad de floculación mayor a la obtenida con otros coagulantes inorgánicos. Debido a la polimerización de su molécula permite una alta captación de contaminantes (orgánicos e

inorgánicos). Además, permite trabajar en un amplio rango de pH 6-9, eliminando así ajustes de pH siempre y cuando se trabaje en este pH.

FORMA DE USO DE POLICLORURO DE ALUMINIO

Puede usarse diluido como así también se puede utilizar concentrado. La dosis es variada dependiendo del efluente y el agua a tratar. Podemos hablar de dosis que van desde las 10 a 100 ppm en la clarificación de aguas, pudiendo alcanzar en efluentes hasta las 1000 ppm.

La dosis correcta debe determinarse mediante adecuados ensayos previos de laboratorio.

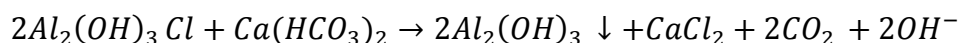
Tabla 1: Propiedades físico-químicas de policloruro de aluminio

| | |
|--|-----------------------------|
| Aspecto | Líquido transparente |
| Color | Ámbar o ámbar coloreado |
| Densidad a 20°C | 1,36-1,41 g/cm ³ |
| Aluminio como Al ₂ O ₃ g/100 | 17,5 |
| Basicidad g/100g | 38-48 |
| pH (10%) | 3-4 |

Fuente: MSDS. ARQUIMIA S.A

Reacciones del policloruro de aluminio

Con la alcalinidad



2.4 FLOCULACIÓN

La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico-flóculos (Andia, 2000).

Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce

una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración (Andia, 2000)

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelve a formar en su tamaño y fuerzas óptimas (Andia, 2000).

La rapidez con que esto ocurre depende del tamaño de las partículas con relación al estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su “grado de desestabilización”, que es el que permite que las colisiones sean efectivas para producir adherencia (Andia, 2000).

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

- Floculación pericinética o browniana. El movimiento natural de las moléculas de agua y está inducida por la energía térmica (Andia, 2000)
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico (Andia, 2000).
- Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que al precipitarse colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

Al disponerse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse (Richter y Carlos, 1981).

2.4.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN

- **Concentración y naturaleza de las partículas**

La velocidad de formación del flóculo es proporcional a la concentración de partículas en el agua y el tamaño inicial de estos.

- **Tiempo de detención**

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayo de Jarras, esto se puede lograr dividiéndolo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempo cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras en floculación en serie. Por razones de orden práctico en número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres unidades (Richter y Carlos, 1981).

- **Gradiente de velocidad**

Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del flóculo. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados (Richter y Carlos, 1981).

2.5 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión, mediante la fuerza de gravedad. En el tratamiento de agua dos son las formas más utilizadas para la sedimentación: sedimentación simple y sedimentación después de la coagulación y floculación o después del ablandamiento; la sedimentación después de adición de coagulantes y/o floculantes es el proceso que se utiliza para remover sólidos sedimentables producto del tratamiento químico, para la remoción de color y turbiedad o remoción de metales pesados de cationes orgánicos del agua, tenemos el tratamiento con cal. La sedimentación se usa en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas (Grites, 2000).

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido re suspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior. La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. (Programa Regional HPE/OPS/CEPIS, 1992).

2.6 FILTRACIÓN

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad (Programa Regional HPE/OPS/CEPIS, 1992).

El avance logrado por la técnica de filtración es el resultado de un esfuerzo conjunto dirigido a lograr que la teoría exprese los resultados de las investigaciones experimentales, de tal modo que sea posible prever, en el diseño, cómo va a operar la unidad de filtración en la práctica (Programa Regional HPE/OPS/CEPIS, 1992).

2.7 DETERGENTES O SURFACTANTES

Los detergentes son compuestos orgánicos sintéticos, que disminuyen la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos. El cambio en la tensión superficial se debe a la presencia de una sustancia activa llamada surfactante (Maldonado, 2008).

Los surfactantes están formados por moléculas relativamente grandes; estas sustancias combinan en una sola molécula un grupo fuertemente hidrofóbico con uno fuertemente hidrofílico. El grupo hidrofóbico es un radical hidrocarburo que contiene de 10 a 20 átomos de carbono en una cadena recta o ligeramente ramificada. El grupo hidrofílico corresponde a la parte polar de la molécula, que puede ser: iónico o no iónico. La parte polar es soluble en agua; mientras que la cadena hidrocarbonada es soluble en aceites o grasas (Romero, 2002; APHA- AWWA, 2005).

Las propiedades y el comportamiento de los surfactantes se deben al carácter dual de sus moléculas. El antagonismo entre las dos secciones de la molécula y el equilibrio entre ellas, es lo que le da a la sustancia sus propiedades activas de superficie. El grupo hidrofílico tiene un efecto solubilizante y tiende a llevar a la molécula a disolución completa; mientras que el grupo hidrofóbico es insoluble y tiende a contrarrestar el efecto del grupo hidrofílico. Si se logra el equilibrio adecuado entre los dos grupos, se ve que la molécula del surfactante no se disuelve por completo. La parte polar permanece en el agua; mientras que la cadena hidrocarbonada se proyecta fuera de ella. La concentración de moléculas en la superficie del líquido provoca que su tensión superficial disminuya (Kirk, 1997).

Las moléculas de los surfactantes están asociadas en solución, a esto se llama micelas. El grupo hidrofóbico de la molécula se sitúa en el interior de la micela; mientras que el grupo hidrofílico se coloca en el exterior e interacciona con las moléculas de agua (Fernandez, 2004).

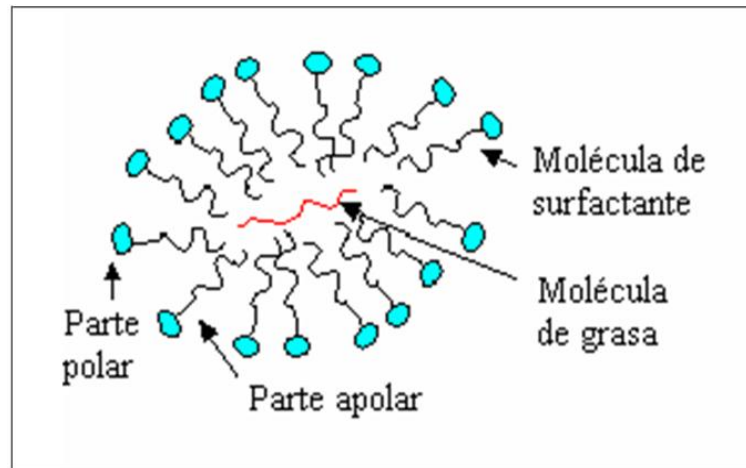


Figura 1: Agrupación micelar de las moléculas del surfactante

Fuente: Fernández, 2004.

El surfactante de más amplia utilización en los detergentes, es el dodecil benceno sulfonato de sodio, cuya estructura molecular se muestra en la Figura 2 (APHA- AWWA, 2005; Fernández, 2004).

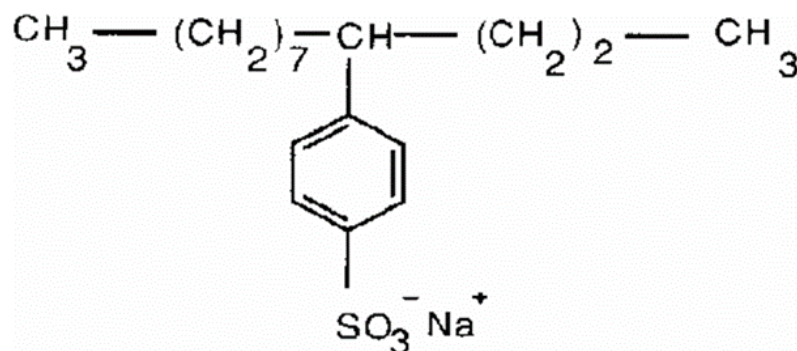


Figura 2: Estructura molecular del dodecil benceno sulfonato de sodio

Fuente: Fernández, 2004.

Los detergentes tienen acción solubilizante, humectante, dispersante, emulsionante y de formación de espuma; todas ellas provocadas por el descenso en la tensión superficial del líquido en el que se encuentran. Gracias a la baja tensión superficial, los detergentes penetran en todas las concavidades y se combinan con los

residuos, para luego atraerlos hacia la superficie y mantenerlos en suspensión (Kirk, 1997).

Los detergentes sintéticos pueden reaccionar con los iones de dureza tales como calcio y magnesio, pero los productos resultantes son solubles o permanecen dispersos en forma coloidal en el agua, por lo que no reducen su acción espumante y limpiadora. A pesar de que los detergentes no forman precipitados insolubles con los iones de dureza, actúan de manera más eficaz en el agua blanda (Manahan, 1993).

En la actualidad, la mayoría de los detergentes son biodegradables. La biodegradación de estos compuestos depende del tipo de ramificaciones que tenga la estructura del surfactante; mientras más larga y menos ramificada es su cadena hidrocarbonada, mayor es su biodegradabilidad (Austin, 1998).

2.8 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE DETERGENTES SINTÉTICOS

Se muestra, en términos generales las diferentes etapas que se cumplen durante el proceso productivo de fabricación de los detergentes sintéticos en cada una de sus presentaciones.

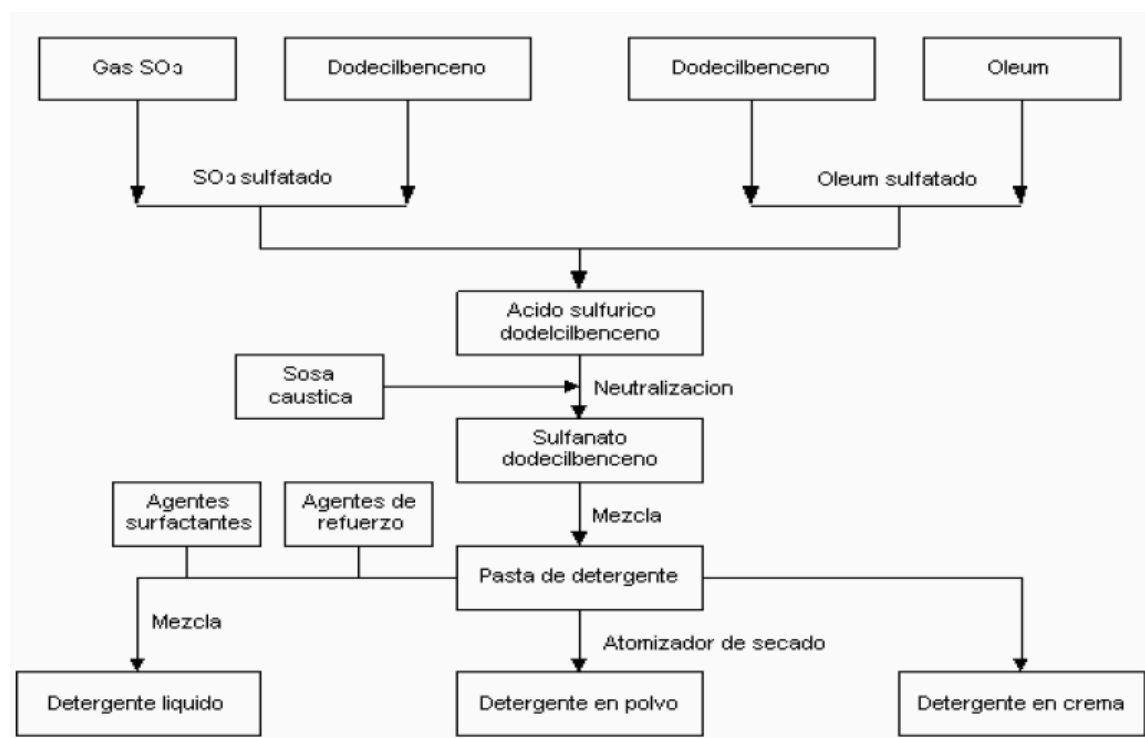


Figura 3: Diagrama proceso productivo detergentes sintéticos

Fuente: Casallas & Ivañez, 2008

2.9 PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS DETERGENTES

Las sustancias que se usan en las fórmulas de los detergentes son:

- **Surfactantes.**- sustancias sintéticas de superficie activa, que proveen a los detergentes la capacidad de limpieza (Austin, 1998).
- **Agentes suavizadores.**- estas sustancias reducen la dureza del agua, suministran las condiciones óptimas para la remoción de la suciedad, facilitan la solubilización de todos los componentes del detergente, promueven la dispersión de la suciedad y evitan que se vuelva a depositar en el tejido. Entre los principales agentes suavizadores tenemos: tripolifosfato de sodio, ácido etilendiaminotetracético (EDTA), carboximetilcelulosa, carbonatos, silicatos y citratos (Kirk, 1997).
- **Agentes eliminadores de manchas.**- se encargan de degradar las grasas para que puedan ser removidas de los tejidos. Entre los más importantes tenemos: blanqueadores y enzimas (Kirk, 1997).
- **Abrillantadores ópticos.**- sustancias fluorescentes que se encargan de que la ropa se vea más blanca o que los colores queden más vivos (Kirk, 1997).
- **Reguladores de espuma.**- son necesarios para que los surfactantes realicen una limpieza eficiente. Entre los más importantes tenemos: jabones de ácidos grasos saturados y amidas de ácidos grasos superiores (Austin, 1998).
- **Inhibidores de la corrosión.**- sustancias que se añaden para proteger los objetos que se lavan. El más utilizado es el silicato de sodio (Austin, 1998).
- **Perfumes.**- dan olor a la ropa (Fair et al., 1989).
- **Diluyentes.**- no tienen ninguna función limpiadora, se los usa para aumentar el volumen del detergente. El más utilizado es el sulfato de sodio (Fair et al., 1989).
- **Potenciadores o constructores:** retienen el calcio y el magnesio que pueda haber en el agua, y evitan que la suciedad se vuelva a depositar en el tejido. Se dice que el agua es dura si contiene mucho calcio o magnesio (Casallas & Ivañez, 2008).

2.10 CLASIFICACIÓN DE LOS DETERGENTES

A los detergentes se los ha dividido en tres grupos principales, de acuerdo al tipo de grupo hidrofílico que tenga la molécula del surfactante. Los detergentes pueden ser: aniónicos, catiónicos y no iónicos

2.10.1 DETERGENTES ANIÓNICOS

Los surfactantes que se emplean en las fórmulas de los detergentes aniónicos, están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que contiene de 10 a 14 átomos de carbono y en el extremo polar de la molécula se encuentra un anión. Este tipo de surfactantes son básicamente sales de sodio del tipo sulfato $[\text{ROSO}_3]^- \text{Na}^+$ y tipo sulfonato $[\text{RSO}_3]^- \text{Na}^+$. Entre los más importantes tenemos: sulfatos de alcoholes grasos, alquil benceno sulfonato y alquil benceno sulfonato lineal (APHA-AWWA, 2005; Kirk, 1997).

A. Alquilbencenosulfonatos de cadena ramificada (ABS), biológicamente duros

Hasta principios de 1960, el surfactante aniónico más empleado era el alquil benceno sulfonato (ABS). El ABS obtenido a partir del tetrámero del propileno, es un compuesto altamente ramificado que al sulfonarse tiene propiedades deterativas muy buenas, aunque adolece de un adecuado comportamiento en el medio ambiente, debido a que su estructura molecular lo hace resistente al ataque de los microorganismos, por lo que no se biodegrada fácilmente (Manahan, 1993; Romero, 2000).

El dodecibencenosulfonato sódico es un buen surfactante con excelentes propiedades de formación de espuma y como se deriva de materias primas económicas y fácilmente disponibles. Sin embargo, estos materiales son biológicamente duros, es decir, se degradan biológicamente con bastante lentitud debido al grupo alquilo altamente ramificado, basado en propileno tetrámero. Esto quiere decir que una proporción significativa de ABS sódico que va a los desagües domésticos sobrevive al tratamiento de aguas residuales y se descarga a los ríos y lagos. Con ello se originan espumas desagradables durante el tratamiento de aguas residuales y en los ríos (Casallas & Ivañez, 2008).

El ABS se biodegrada en un 20 %. La estructura molecular del alquil benceno sulfonato se muestra en la Figura 3 (Manahan, 1993; Romero, 2000).

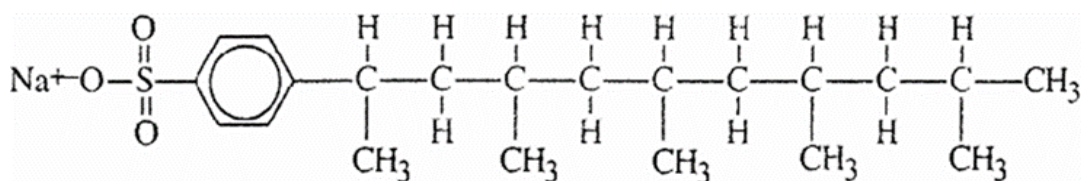


Figura 4: Estructura molecular del alquil benceno sulfonato (ABS)

Fuente: Manahan, 1993.

B. Alquilbencenosulfonatos de cadena lineal (LAS), biológicamente suaves:

En el principio de la década de 1960 se desarrolló y comercializó un conjunto de rutas para los alquilbencenos de cadena recta; los materiales duros basados en propileno tetramero han sido ya reemplazados por alquilbencenosulfonatos suaves. Las propiedades de los alquilbencenosulfonatos sódicos de cadena recta dependen de la longitud de cadena del grupo alquilo y de la posición del anillo bencénico en la cadena alquímica (Casallas & Ivañez, 2008).

El LAS obtenido a partir de cloroparafinas u olefinas lineales, es un compuesto no ramificado en donde el anillo bencénico puede estar ligado a cualquier punto de la cadena alquímica excepto en los extremos. Este compuesto al sulfonarse mantiene las excelentes propiedades deterativas, y se biodegrada fácil y rápidamente por los microorganismos existentes en el medio ambiente (Manahan, 2010).

El LAS es biodegradable en condiciones aerobias, y resistente a la actividad bacteriana anaerobia. El LAS se biodegrada en un 90 % (Romero, 2000).

La biodegradación del LAS empieza con una omega-oxidación de la cadena alquímica, en la que se forma el ácido sulfofenil carboxílico (SPC); este ácido se descompone a través de un proceso de beta oxidación. Luego se da la apertura del anillo bencénico y se tiene como productos finales: agua, anhídrido carbónico, sulfato sódico y biomasa (Kirk, 1997).

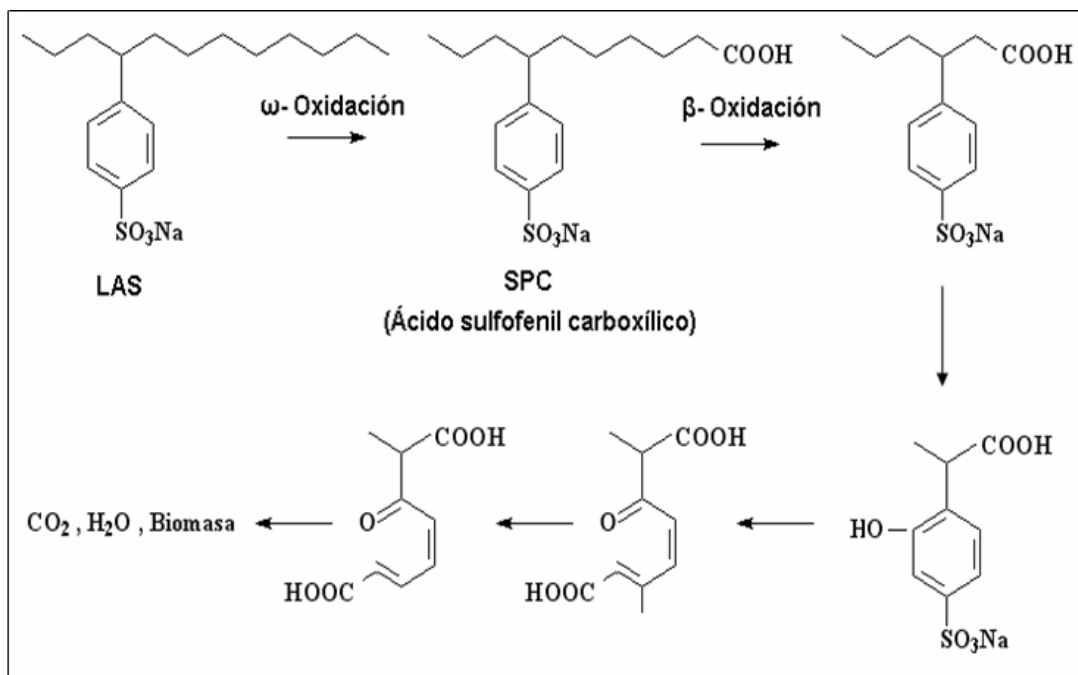


Figura 5: Proceso de biodegradación del alquil benceno sulfonato lineal

Fuente: Kirk, 1997.

El LAS ha reemplazado al ABS de cadena ramificada, en las fórmulas de los detergentes aniónicos. En la Figura 2 se muestra la estructura molecular de un alquil benceno sulfonato lineal.

Los sulfatos de alcoholes grasos se obtienen al sulfatar alcoholes de cadena larga, los cuales son producidos por hidrogenación de ésteres de ácidos grasos. En la Figura 5, se muestra la estructura molecular del sulfato de alcohol graso (Kirk, 1997; Fernández, 2004).

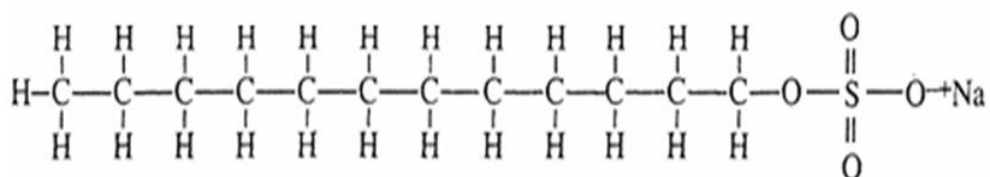


Figura 6: Estructura molecular del sulfato de alcohol graso

Fuente: Fernández, 2004.

Los sulfatos de alcoholes grasos tienen mejores propiedades deterativas que los alquil benceno sulfonatos (Kirk, 1997).

Los sulfatos de alcoholes grasos son susceptibles a la acción bacteriana, por lo que presentan buenas características de biodegradabilidad. En la Figura 6, se muestra el proceso de biodegradación de los sulfatos de alcoholes grasos (Kirk, 1997).

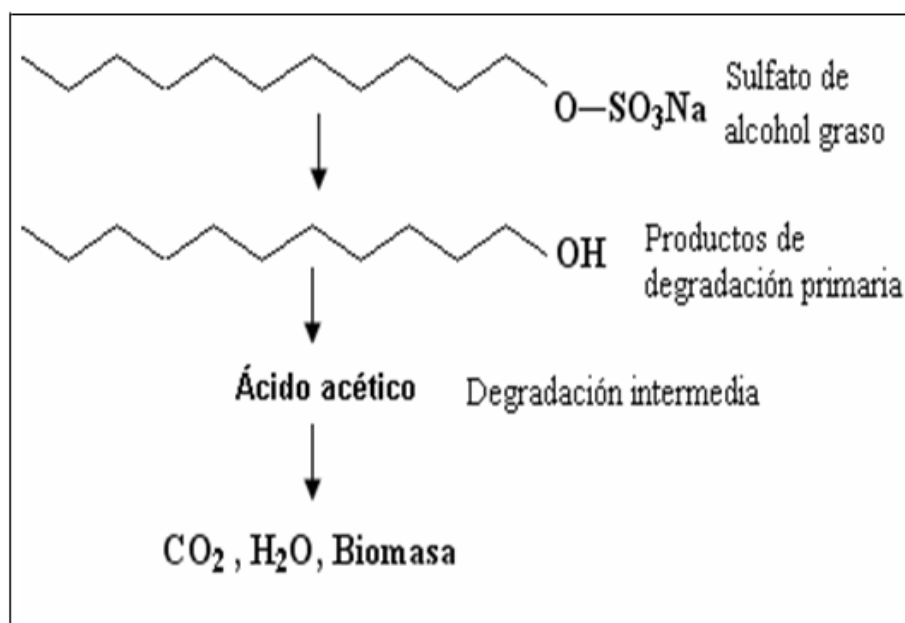


Figura 7: Proceso de biodegradación del sulfato de alcohol graso

Fuente: Kirk, 1997.

Tanto los sulfatos de alcoholes grasos como los alquil benceno sulfonatos, tienen buena resistencia a los álcalis; estos compuestos son solubles en soluciones alcalinas de baja concentración. A diferencia de los sulfatos de alcoholes grasos, los alquil benceno sulfonatos no sufren hidrólisis en un medio fuertemente ácido. Más del 90 % de los surfactantes aniónicos que se producen, pertenecen a los sulfatos de alcoholes grasos y a los alquil benceno sulfonatos. Los detergentes aniónicos son los que se utilizan más en el hogar y en la industria (Kirk, 1997).

2.10.2 DETERGENTES CATIONICOS

Los surfactantes que se emplean en las fórmulas de los detergentes catiónicos, están constituidos por una cadena alquílica larga y en el extremo polar de la molécula se encuentra un catión. El grupo hidrofílico lo constituye el nitrógeno tetravalente en forma de sales de amonio cuaternario o sales de alquil aminas. El anión suele ser un ión cloruro o bromuro. El surfactante catiónico más importante es el cloruro de

cetiltriethylamonio, su fórmula molecular es: $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_2\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3]^+ \text{Cl}^-$ (Kirk, 1997).

Los surfactantes catiónicos poseen las mejores propiedades bactericidas y bacteriostáticas, pero son bastante caros por lo que se usan más como desinfectantes que como agentes de limpieza. Este tipo de compuestos son incompatibles con surfactantes aniónicos. Cuando se mezclan en solución, surfactantes aniónicos y catiónicos, el anión de los primeros reacciona con el catión de los segundos, produciendo un compuesto de elevado peso molecular que generalmente precipita, inactivándose así ambos compuestos. A los surfactantes catiónicos se los suele llamar jabones invertidos ya que su ionización es inversa a la de los surfactantes aniónicos (Romero, 2002; Kirk, 1997).

Los surfactantes catiónicos son biodegradables, pero algunos compuestos empleados como auxiliares de tintura o suavizantes, son altamente resistentes a la biodegradación, inhibiendo en muchos casos el poder oxidante de las bacterias.

2.10.3 DETERGENTES NO IÓNICOS

Los surfactantes que se emplean en las fórmulas de los detergentes no iónicos, están constituidos por una cadena alquílica larga y en el extremo polar de la molécula se encuentra un grupo neutro. La solubilidad de estos surfactantes depende de la cantidad de grupos polares que estén presentes en la molécula. Estos compuestos se solubilizan mediante un efecto combinado de un cierto número de grupos solubilizantes débiles (hidrofilicos), tales como enlaces etéreos o grupos hidroxilos. Su fórmula molecular es del tipo: $\text{RO}(\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{O})_n\text{H}$ (Romero, 2002; Kirk, 1997)

Los surfactantes no iónicos son básicamente los productos de condensación del óxido de etileno con materiales fenólicos o ácidos grasos. Entre los más importantes tenemos a los alcoholes y alquil fenoles etoxilados (Fernández, 2004)

Los surfactantes no iónicos tienen un poder detergente superior al de los aniónicos. Estos compuestos son compatibles con surfactantes aniónicos, catiónicos y con coloides cargados positiva y negativamente. Los surfactantes no iónicos son biodegradables, pero algunos compuestos como los alquil fenoles etoxilados son biológicamente duros (Kirk, 1997).

2.10.4 DETERGENTES NATURALES

Muchos de los detergentes que utilizamos a diario para la limpieza de nuestros hogares contienen químicos tóxicos que pueden ser dañinos tanto para nuestros bebés

como para el medioambiente. Sin embargo, existen muchas alternativas naturales seguras para la limpieza de nuestro hogar. Algunos de ellos son:

- **Jugo de Limón:** El jugo de limón se puede usar para desodorizar, eliminar manchas en el aluminio, en la ropa y en la porcelana. (Casallas & Ivañez, 2008)
- **Bórax:** El bórax es un efectivo desodorizador que previene el crecimiento de hongos, a la vez que aumenta el poder de los detergentes de lavar, y ayuda a remover las manchas de la ropa (Casallas & Ivañez, 2008)

2.11 APLICACIONES DE DETERGENTES SINTÉTICOS

Los detergentes sintéticos son utilizados en muchos procesos industriales, entre los más importantes tenemos:

- **Industria textil.-** se consumen grandes cantidades de estos compuestos en los procesos de limpieza, cocción y otras operaciones. Para limpiar los tejidos, se utilizan detergentes aniónicos o no iónicos, que contienen pequeñas cantidades de carbonato sódico o un fosfato condensado. En el proceso de cocción se usan alcoholes grasos sulfatados para fomentar la humectación de los tejidos. En el proceso de blanqueo, se aplican sulfatos de alcoholes grasos, alquil benceno sulfonatos y compuestos no iónicos. Industria agrícola.- se los utiliza para proporcionar fluidez y capacidad de humectación a productos químicos como: insecticidas, herbicidas, y germicidas (Nalco, 1996; Freeman, 1998).
- **Industria de la construcción.-** se aplican los detergentes para mejorar la resistencia y humectación del cemento, aumentar la manejabilidad de polvos decorativos en cerámicas, aumentar la fluidez del hormigón, como agentes espumantes para la fabricación de materiales aislantes, se los adiciona a arcillas para crear estructuras porosas en la fabricación de refractarios (Maldonado, 2008).
- **Industria minera.-** se usan como protectores del polvo durante la excavación, carga, y transporte de carbón y minerales (Maldonado, 2008).
- **Industria metalúrgica.-** se emplean para la limpieza de metales, flotación de minerales (Kirk, 1997).

- **Industria del transporte.**- se ocupan en el lavado de: cisternas para transportar aceite, depósitos de lubricantes, automóviles (Freeman, 1998).
- **Industria química.**- los utiliza como acondicionadores de productos terminados, dispersantes, emulsionantes, coadyuvantes para el procesamiento de hule, en la fabricación de: productos fitosanitarios y de limpieza, colorantes, lacas, pigmentos (Freeman, 1998).
- **Industria naval.**- se aplican grandes cantidades en la limpieza de depósitos, lavado de embarcaciones, y como medio de lucha en los accidentes de derrame de crudos de petróleo (Maldonado, 2008).
- **Lavado de ropa.**- La principal aplicación de los detergentes sintéticos es en el lavado de ropa casera y aseo personal (Maldonado, 2008).

2.12 PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES

Los detergentes desempeñan un papel importante para aumentar la contaminación originada en las aguas residuales que provienen de áreas residenciales en forma de detergente doméstico, escorrentía agrícola en forma de herbicidas e insecticidas y de ciertas industrias. Aproximadamente el 90-97% de los detergentes pueden ser biodegradados por bacterias y pueden descomponerse en pequeñas cantidades en condiciones anaeróbicas (Vinod et al., 2012).

En la actualidad, se utilizan grandes cantidades de detergentes sintéticos en actividades tanto industriales como humanas. Generalmente, los detergentes se encuentran en las aguas residuales en concentraciones de 1 a 20 mg/l, se tiene que el límite máximo permisible para la descarga de efluentes que contienen detergentes aniónicos es de 0,5 mg/l. Por lo que estos compuestos son una fuente de contaminación del agua (Romero, 2002; Dirección Metropolitana de Medio Ambiente del ilustre Municipio de Quito, 2005)

Los principales problemas ambientales ocasionados por el uso desmedido de los detergentes sintéticos son:

- **Espuma.**- la presencia de espuma en las aguas residuales inhibe los procesos de depuración natural, concentran las impurezas y pueden diseminar las bacterias o los virus. Se tiene problemas de operación en las plantas de tratamiento, ya que la espuma afecta la sedimentación primaria, dificulta la solubilidad del oxígeno, y

recubre las superficies de trabajo con sedimentos que contienen altas concentraciones de surfactantes, grasas, proteínas y lodos (Kirk, 1997).

Los surfactantes también son responsables no solo de causar espuma en los ríos y crear problemas de procedimiento durante el tratamiento de aguas residuales, sino también de la reducción de la calidad del agua (Vinod et al., 2012)

- **Toxicidad en la agricultura.**- si la irrigación se hace con aguas negras que contienen detergentes, se da la contaminación de los suelos y cultivos; además se altera la permeabilidad de los suelos y en consecuencia facilitan la penetración de microorganismos en las aguas subterráneas. El ABS inhibe en un 70% el crecimiento de las plantas (Maldonado, 2008).

- **Toxicidad en la vida acuática.**- los detergentes perturban el transporte de oxígeno a través de las membranas de los organismos acuáticos. No es posible dar un valor límite de toxicidad debido a que la sensibilidad de cada organismo varía con relación a la especie, tipo de detergente y otros factores físicos del medio ambiente (Manahan, 1993). La toxicidad de los detergentes respecto a los peces y crustáceos en general, radica esencialmente en sus propiedades físicas, pues la disminución de la tensión superficial del agua tiene por consecuencia, la fuerte viscosidad en las branquias, piel y caparazón, disturbios en el equilibrio natural y finalmente la muerte. Los detergentes son tóxicos para la vida acuática en ≤ 0.025 LAS / l. LAS tiene efectos adversos en las especies acuáticas a 0.005 LAS / l (Misra et al., 1987) y puede causar degradación histológica en especies de peces (Fujii et al., 2007).

- **Efectos de enzimas activadas.**- algunos detergentes contienen enzimas para atacar sustratos orgánicos específicos. La presencia de estas enzimas en las aguas residuales, producen daños en los seres vivos y en los nutrientes que componen su dieta alimenticia (Maldonado, 2008).

- **Eutrofización.**- el uso desmedido de fosfatos en los detergentes, ocasiona el desperdicio de uno de los recursos más importantes en la naturaleza y una fuente de contaminación significativa. Cuando hay una gran cantidad de estos compuestos en el agua, se da el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, las cuales tienden a cubrir la superficie del líquido e impiden el libre intercambio de oxígeno y bióxido de carbono. Se produce un desbalance en el equilibrio ambiental, lo que provoca la muerte de otros seres vivos, como los peces. Una de las consecuencias

de la eutrofización es el agotamiento del oxígeno disuelto, por lo que la descomposición tiene que hacerse de forma anaerobia, dando como productos secundarios metano, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos que le confieren al agua un olor desagradable (Kirk, 1997; Romero, 2000).

- **Alteración de la transferencia y disolución del oxígeno.**- los detergentes disminuyen la solubilidad del oxígeno en el agua, por la formación de una película superficial protectora que dificulta la renovación del oxígeno disuelto; con lo que se inhibe la autodepuración de los ríos (Romero, 2000).

2.13 REMOCIÓN DE DETERGENTES EN AGUAS RESIDUALES

Los detergentes pueden ser removidos de las aguas residuales mediante los siguientes tratamientos).

2.13.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO

Esta técnica se basa en el empleo de un reactor biológico que mantiene una alta concentración de microorganismos, los cuales se encuentran en suspensión o pegados a las paredes del reactor. El mecanismo de oxidación biológica consiste en que los microorganismos producen una enzima que se encarga de degradar la molécula de los detergentes, para poder utilizarla como fuente de carbono. Este método es apropiado para tratar detergentes biodegradables, hasta una concentración máxima de 30 mg/l. Para un tratamiento biológico, las condiciones de entrada del agua contaminada al reactor, deben ser lo más estables posibles. Cambios bruscos en la temperatura o en la concentración, pueden ser perjudiciales al proceso y a los microorganismos (CERIDE, 2005)

2.13.2 TRATAMIENTO CON OZONO

El empleo del ozono es muy apropiado para el tratamiento de aguas, ya que recupera sus características comunes, eliminando todo tipo de sabores, colores y olores extraños. El ozono tiene la capacidad de oxidar hierro, manganeso y otros metales pesados, que están presentes en el agua. Además, neutraliza cianuro, amoníaco, nitritos y urea. (Jalil, 2005).

Destruye virus, bacterias y hongos. Es apto para disgregar compuestos orgánicos tales como fenoles, trihalometanos, pesticidas y detergentes. El ozono descompone gran parte de los detergentes biodegradables y no biodegradables, transformándolos en

estructuras más simples de biodegradación. La demanda de ozono por parte de los detergentes es del orden de 3 mg por cada mg de ABS, que corresponde a un poco menos de 10 mg de ozono por radical funcional sulfonato ($-\text{SO}_3\text{Na}$). Para reducir en un 50 % el contenido de detergentes aniónicos no biodegradables, es necesario utilizar dosis que varían entre 1,5 y 3 g de ozono por m^3 de agua. Mediante este proceso se puede reducir la concentración de detergentes hasta en un 70 - 90% (Jalil, 2005).

2.13.3 TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVADO

Este proceso se emplea en plantas de purificación de agua potable para la remoción de color, compuestos productores de olores y de sabores, así como de contaminantes orgánicos. En plantas de tratamiento de aguas residuales se usa como tratamiento terciario, después del tratamiento biológico o luego del tratamiento físico-químico, para mejorar la calidad del efluente. En general, el carbón activado es especialmente útil para la adsorción de compuestos orgánicos disueltos. Mediante este proceso se puede remover hasta un 90 % de orgánicos disueltos (Jalil, 2005; Romero, 2002).

2.14 ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO

El proceso de adsorción puede describirse como la transferencia de una sustancia en solución hacia la superficie de un sólido, en donde es retenida mediante fuerzas físicas y/o químicas. La sustancia que va a ser removida de la solución se llama adsorbato, mientras que el sólido que va a retener a dicha sustancia se llama adsorbente. El adsorbente se caracteriza principalmente por su afinidad hacia el adsorbato y por una gran relación de área superficial respecto al volumen asociado (Corbitt, 2003)

2.14.1 CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado puede ser considerado como un polímero orgánico complejo, que posee una estructura altamente porosa, una gran superficie específica y una alta capacidad de adsorción (Guevara, 2005).

El carbón activado se puede producir a partir de una gran variedad de materiales carbonosos como la madera, carbón mineral, coque, lignina, cascara de nuez, bagazo de caña de azúcar, aserrín, residuos de petróleo (Romero, 2002)

El carbón activado se puede utilizar en forma granular o en polvo. Los carbones activados en polvo presentan tamaños de partícula menores a 100 μm , siendo los

tamaños típicos entre 15 y 25 μm . este tipo de carbones se utilizan normalmente en procesos intermitentes. En los carbones activados granulares el tamaño de partícula varía usualmente entre 0,2 y 1,7 mm. Esta clase de carbones se usan en sistemas de flujo continuo. A pesar de la diferencia de tamaño de partícula, las propiedades de adsorción del carbón activado granular y del carbón activado en polvo son fundamentales la misma, porque las características del carbón activado que controlan los aspectos de equilibrio de adsorción son independientes del tamaño de partícula. Sin embargo, el tamaño de partícula que influye en la cinética de adsorción (Menendez, 2006).

2.14.2 PROPIEDADES

Las propiedades del carbón activado dependen de las características del material carbonoso empleado y del proceso de activación. Entre las más importantes tenemos:

- **Área superficial:** Es la cantidad de superficial referida al conjunto de los poros del carbón. Esta propiedad indica el área disponible para la adsorción. Se determina midiendo la cantidad de nitrógeno adsorbido por el carbón, mediante un método estándar (Romero, 2002).
- **Tamaño efectivo:** Es la medida de la malla que permite el paso del 10% del peso del carbón sometido a cribado, pero que atrapa al 90% restante. Se determina por interpolación de una curva de distribución granulometría (QuimiNet, 2004).
- **Densidad real:** Es la densidad de la estructura porosa de una partícula de carbón (QuimiNet, 2004).
- **Densidad aparente:** Es el peso por unidad de volumen de una masa homogénea de carbón activado (QuimiNet, 2004)
- **Volumen de poros:** Es la medida del volumen total de los macro, meso y microporos dentro de las partículas del carbón (Romero, 2002)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES DE LABORATORIO

3.1.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Espectrofotómetro Hach DR/850
- Balanza analítica
- Agitador magnético
- Equipo Test Jarra
- pH metro
- Embudos 500 mL
- Papel filtro
- Fiolas de 100 mL
- Pipetas
- Vaso precipitado
- Cronómetro
- Pera de decantación
- Soporte universal
- Porta embudo

3.1.2 REACTIVOS E INSUMOS

- Policloruro de aluminio (16% Al)
- Sulfato de aluminio
- Sulfato ferroso
- Reactivo detergente
- Solución Buffer Sulfato
- Benceno
- Carbón activado
- Cal
- Ácido Clorhídrico
- Hidróxido de sodio
- Agua destilada

3.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES DE LAVANDERÍAS

Se recogerán muestras de agua de las lavanderías de la ciudad de Puno, utilizando frascos PET (1 L de capacidad) para determinar los parámetros fisicoquímicos, de sólidos suspendidos y la concentración de detergentes, y se almacenarán en el refrigerador a 4°C antes del análisis. Las mediciones siempre se llevarán a cabo durante el día de muestreo con el fin de mantener una fluctuación mínima de los parámetros físicos y químicos causados por las diferencias de temperatura.

Tamaño de muestra

Se han muestreado de 2 lavanderías de la ciudad de Puno, Lavandería Don Marcelo y Lava Clin cada muestra tomada fue de 10 L. Se juntarán las 2 muestras haciendo un volumen total de 20 litros como tamaño de muestra experimental.

Equipo de laboratorio Jar-Test para coagulación y floculación

Se dispone de un equipo de laboratorio Jar-Test provisto de 4 unidades de tratamiento simultáneo. Cada una de ellas dispone de un agitador de palas normalizado con regulador de velocidad para el mezclado rápido o lento de las etapas de coagulación y floculación respectivamente. Dispone además de un controlador de tiempo que nos permite realizar las etapas de coagulación y floculación.

Para evaluar la eficiencia del tratamiento y la dosificación óptima de floculante y coagulación en una muestra en estudio se deben realizar varias medidas y ensayos con diferentes concentraciones de floculantes.

3.3 DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD EN AGUAS

- Llenar la celda (el blanco) con 25 mL de agua destilada
- Llenar otra celda (la muestra) con 25 mL de agua de muestra a analizar
- Realizar la lectura de la turbidez en unidades de NTU.

3.4 PROCEDIMIENTO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Se realizan ensayos de jarras empleando la dosis de coagulante previamente calculada.

- Se ajusta el pH del agua residual con soluciones de HCl y NaOH.
- Se toma 600 mL de muestra de agua residual y se transfiere al Jarra-test.
- Se dosifica el coagulante de acuerdo a la cantidad calculada previamente, en cantidades crecientes y simultáneamente a todos los vasos.
- Se inicia la coagulación haciendo la mezcla rápida durante 1 min a 100 rpm.
- Terminado el tiempo de coagulación se baja la velocidad de agitación a 45 rpm durante 15 min.
- Se levanta la paleta del agitador y se deja sedimentar durante 30 min,
- Se determina la turbiedad con el equipo colorímetro Hach
- Finalmente se calcula el porcentaje de sólidos suspendidos removidos.

3.5 DETERMINACIÓN DE DETERGENTES EN AGUAS POR EL MÉTODO HACH

- En una probeta tomamos 100 mL de muestra de agua residual se lavaría.
- Aforamos a 300 mL con agua destilada
- La muestra diluida lo llenamos a un embudo de decantación de 500 mL.
- Se agrega 10 mL de solución buffer sulfato.
- Cerrar el embudo y sacudir por 5 segundos
- Anadir una almohadita (reactivo detergente).
- Cerrar el embudo y agitar hasta que el polvo se disuelva (movimiento lento)
- Añadir 30 mL de benceno
- Cerrar el embudo y agitar suavemente durante 1 minuto
- Colocar el embudo en un soporte durante media hora, luego realizar la lectura en el colorímetro Hach.

3.6 ADSORCIÓN DE DETERGENTES CON CARBÓN ACTIVADO EN POLVO

A. ADSORCIÓN DE DETERGENTES CON CACP DE AGUA RESIDUAL TRATADA CON FLOCULANTE POLICLORURO DE ALUMINIO

- ✓ Se ajusta el pH del agua residual con solución de HCl 0,1N
- ✓ Pesar 1 g de carbón activado en polvo
- ✓ En un vaso de precipitado colocar 100 mL de agua residual tratada con floculante policloruro de aluminio.
- ✓ Agregar al vaso precipitado con muestra el carbón activado
- ✓ Llevar a una velocidad de agitación de 400 rpm
- ✓ Tomar muestras dentro de 30 min y 1 hora
- ✓ Seguir el procedimiento para determinar cantidad de detergente absorbido por el carbón activado.
- ✓ Realizar la lectura mg/L LAS en el colorímetro Hach.

B. ADSORCIÓN DE DETERGENTES CON CACC DE AGUA RESIDUAL TRATADA CON FLOCULANTE SULFATO DE ALUMINIO

- ✓ Se ajusta el pH del agua residual con solución de NaOH 0,1 N
- ✓ Pesar 1 g de carbón activado en polvo
- ✓ En un vaso de precipitado colocar 100 mL de agua residual tratada con floculante sulfato de aluminio.
- ✓ Agregar al vaso precipitado con muestra el carbón activado
- ✓ Llevar a una velocidad de agitación de 400 rpm
- ✓ Tomar muestras dentro de 30 min y 1 hora
- ✓ Seguir el procedimiento para determinar cantidad de detergente absorbido por el carbón activado.
- ✓ Realizar la lectura mg/L LAS en el colorímetro Hach.

3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL Y FACTORES SELECCIONADOS

El diseño factorial 2^3 , considera tres factores cada uno de ellos a dos niveles, contiene ocho combinaciones de niveles de factores, tres efectos principales (X_1 , X_2 y X_3), tres interacciones de dos factores (X_1X_2 , X_1X_3 y X_2X_3) y una interacción de tres factores (cantidad de adsorbente, pH y tiempo de adsorción), además con tres réplicas en el punto central.

Elaborar una ecuación estadística – matemática que permita controlar la adsorción de detergente con carbón activado en función de las variables más importantes. En el presente estudio se elabora un Diseño Factorial 2^n donde “n” es igual a 3 variables independientes y “2” significa 2 niveles mínimo y máximo. El porcentaje de adsorción de detergente es la variable respuesta. Se han tomado tres variables independientes que son:

Variables independientes

- a. Cantidad de adsorbente
- b. pH
- c. Tiempo de adsorción

Variable Dependiente

Porcentaje de remoción de detergentes aniónicos

Tabla 2: Niveles máximos y mínimos

| CÓDIGO | FACTOR | UNIDAD | MÍNIMO | MÁXIMO |
|--------|------------------------|--------|--------|--------|
| A | Cantidad de adsorbente | G | 0,5 | 1,0 |
| B | pH | Escala | 6 | 10 |
| C | Tiempo de Adsorción | Min | 30 | 60 |

Fuente: Elaboración propia en base a niveles máximos y mínimos.

Tabla 3: Matriz de diseño factorial

| N° | X1 | X2 | X3 | X1X2 | X1X3 | X2X3 | X1X2X3 | Recuperación |
|----|----|----|----|------|------|------|--------|--------------|
| 1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | 90,30 |
| 2 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | 91,14 |
| 3 | -1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | +1 | 89,45 |
| 4 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 89,87 |
| 5 | -1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | 92,41 |
| 6 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | 93,67 |
| 7 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | 90,72 |
| 8 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 90,30 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90,72 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 91,14 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90,72 |

Fuente: Elaboración propia en base a diseño factorial 2^3 .

Ecuación de regresión

El modelo de la ecuación es:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3$$

Dónde:

Y = Variable respuesta

X_1 = Cantidad de adsorbente

X_2 = pH

X_3 = Tiempo de adsorción

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ y b_7 coeficientes de correlación lineal de la ecuación

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL DE LAVANDERÍA

La caracterización fisicoquímica del Agua Residual de la Lavandería Don Marcelo se realizó en el laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química, como se puede apreciar en el anexo F.

| | |
|---|-----------------|
| pH | : 9,2 |
| Temperatura | : 14,2°C |
| Sólidos en suspensión | : 944 mg/L |
| Turbidez | : 945 NTU |
| Conductividad | : 2440,00 uS/cm |
| Dureza como CaCO ₃ | : 557,76 mg/L |
| Alcalinidad como CaCO ₃ | : 737,71 mg/L |
| Cloruros como Cl ⁻ | : 240,54 mg/L |
| Sulfatos como SO ₄ ²⁻ | : 600,00 mg/L |
| Detergente (LAS) | : 2,84 mg/L |
| Fosforo | : 29,47 mg/L |
| Sólidos totales disueltos | : 1561,60 mg/L |

4.2 TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LAVANDERÍA POR COAGULACION Y FLOCULACION

4.2.1 FLOCULACIÓN CON POLICLORURO DE ALUMINIO

- ✓ Concentración inicial turbidez = 945 NTU.
- ✓ Ajustar el pH a 7,5.
- ✓ Tomar un volumen de 600 mL de muestra (Agua residual de lavandería) en los vasos y colocar en el equipo de test jarras
- ✓ Dosificar el coagulante policloruro de aluminio en cantidades crecientes y simultáneamente a todos los vasos

- ✓ Mantener la velocidad de agitación a 100 rpm durante 1 minuto y luego bajar la velocidad de agitación a 40 rpm por 15 minutos, una vez transcurrido los 15 minutos retirar los agitadores de los vasos y dejar el sistema en reposo por 30 minutos.
- ✓ Analizar la turbidez con el colorímetro Hach.

Tabla 4: Resultados de análisis de turbidez (NTU)

| N° PRUEBAS | DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE (mL) | NTU (mg/L) |
|------------|---------------------------------|------------|
| 1 | 0,1 | 541 |
| 2 | 0,2 | 448 |
| 3 | 0,3 | 337 |
| 4 | 0,4 | 126 |
| 5 | 0,5 | 37 |
| 6 | 0,6 | 19 |

Cálculo de porcentaje de remoción de sólidos en suspensión

$$\% \text{ Remoción sólidos suspendidos} = \left(1 - \frac{NTU \text{ final}}{NTU \text{ inicial}}\right) \times 100$$

$$\% \text{ Remoción sólidos suspendidos} = \left(1 - \frac{19}{945}\right) \times 100$$

$$\% \text{ Remoción sólidos suspendidos} = 97,99\%$$

4.2.2 FLOCULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO

- ✓ Concentración inicial (NTU) = 945 NTU
- ✓ Ajustar el pH a 9,5.
- ✓ Pesar 0,5 g de sulfato de aluminio, diluir y aforar en fiola de 500 mL.
- ✓ Hallar con la ecuación de dilución los volúmenes de sulfato de aluminio que se va agregar a los vasos a diferentes concentraciones.

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

$$1000 \text{ mg/L} * V1 = 70 \text{ mg/L} * 600 \text{ mL} = 42 \text{ mL}$$

- ✓ Tomar un volumen de 600 mL de muestra (Agua residual de lavandería) en los vasos y colocar en el equipo de test jarras
- ✓ Dosificar el coagulante sulfato de aluminio en cantidades crecientes y simultáneamente a todos los vasos
- ✓ Mantener la velocidad de agitación a 100 rpm durante 1 minuto y luego bajar la velocidad de agitación a 40 rpm por 15 minutos, una vez transcurrido los 15 minutos retirar los agitadores de los vasos y dejar el sistema en reposo por 30 minutos.
- ✓ Analizar la turbidez con el colorímetro de Hach.

Tabla 5: Resultados de turbidez (NTU)

| N° PRUEBAS | CONCENTRACIÓN DEL FLOCULANTE mg/L | DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE (mL) | NTU (mg/L) |
|------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------|
| 1 | 70 | 42 | 420 |
| 2 | 75 | 45 | 396 |
| 3 | 80 | 48 | 394 |
| 4 | 85 | 51 | 386 |
| 5 | 90 | 54 | 272 |
| 6 | 150 | 90 | 201 |
| 7 | 200 | 120 | 121 |
| 8 | 250 | 150 | 84 |
| 9 | 300 | 180 | 48 |

Fuente: Elaboración propia de resultados de análisis de turbidez

Cálculo de porcentaje de remoción de sólidos en suspensión

$$\% \text{ Remoción sólidos suspendidos} = \left(1 - \frac{\text{final NTU}}{\text{inicial NTU}}\right) \times 100$$

$$\% \text{ Remoción sólidos suspendidos} = \left(1 - \frac{48}{945}\right) \times 100$$

$$\% \text{ Remoción sólidos suspendidos} = 94,92\%$$

A. CANTIDAD DE DETERGENTE DESPUES DE LA FLOCULACION CON POLICLORURO DE ALUMINIO

Base de cálculo

- En una probeta tomamos 100 mL de muestra de agua residual de lavandería y lo aforamos a 300 mL con agua destilada siguiendo todo el proceso para determinar detergentes.
- Pasado la media hora realizamos la lectura, al realizar la lectura nos marca un límite por lo que hacemos dilución.
- Tomamos 10 mL de muestra y diluimos en 100 mL luego se lectura nuevamente.
- Resultado de la lectura en equipo Hach 0,079 mg/L LAS
- $0,079 \text{ mg/l} * 3 * 10 = 2,37 \text{ mg/l}$
- Cantidad de detergente 2,37mg/L LAS

B. CANTIDAD DE DETERGENTE DESPUES DE LA FLOCULACION CON SULFATO DE ALUMINIO

Base de cálculo

- En una probeta tomamos 100 mL de muestra de agua residual de lavandería y lo aforamos a 300 mL con agua destilada siguiendo todo el proceso para determinar detergentes.
- Pasado la media hora realizamos la lectura, al realizar la lectura nos marca un límite por lo que hacemos dilución.
- Tomamos 10 mL de muestra y diluimos en 100 mL luego se lectura nuevamente.
- Resultado de la lectura en equipo Hach 0,086 mg/L LAS
- $0,086 \text{ mg/L} * 3 * 10 = 2,58 \text{ mg/L}$
- Cantidad de detergente 2,58 mg/L LAS

4.3 RESULTADOS DE EXTRACCIÓN DE DETERGENTE CON CARBON ACTIVADO DE CUESCO DE PALMA

Tabla 6: Resultados de adsorción de detergente (CON CACP)

| Tiempo (min) | Concentración de detergente Inicial (mg/L) | Concentración de detergente final (mg/L) | % adsorción |
|--------------|--|--|-------------|
| 0 | 2,37 | 2,37 | 0,00 |
| 15 | 2,37 | 1,30 | 45,15 |
| 30 | 2,37 | 0,45 | 81,01 |
| 60 | 2,37 | 0,15 | 93,67 |
| 80 | 2,37 | 0,14 | 94,10 |

Fuente: Resultado de porcentaje de extracción de detergente

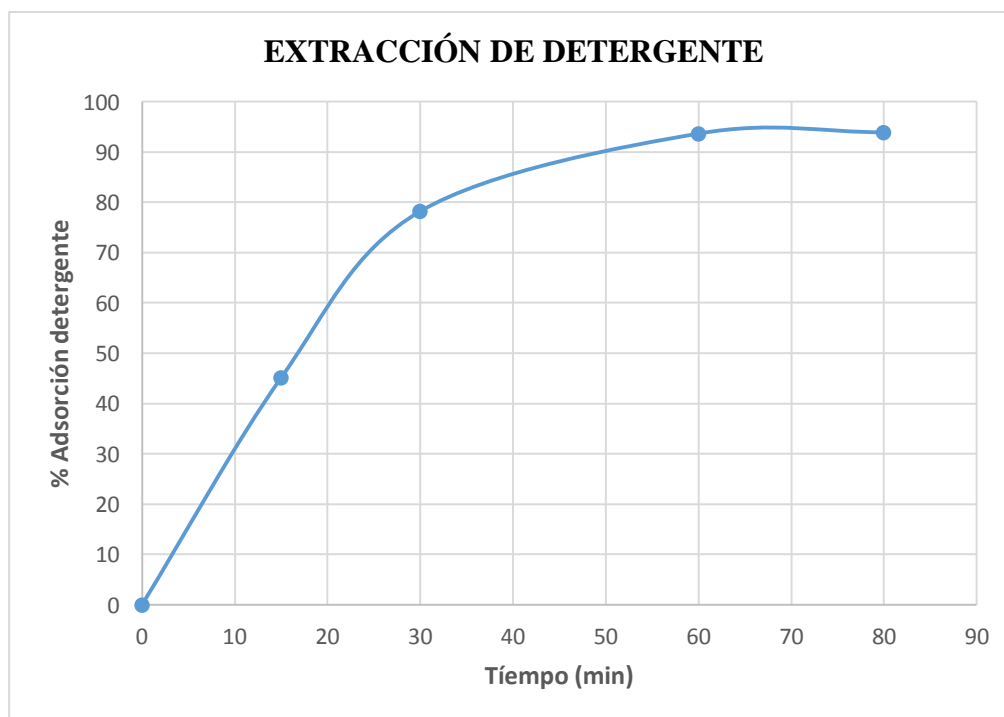


Figura 8: Porcentaje de adsorción de detergente

La figura 8, nos muestra el porcentaje de remoción de detergentes a diferentes tiempos. La máxima remoción alcanzada fue de 93% de LAS, en un tiempo de 60 min.

La gráfica nos muestra que a 30 min alcanza 81% de remoción, esto nos indica que la cinética de reacción es rápida en los primeros minutos.

4.3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL 2ⁿ

Tabla 7: Resultados de cálculos de adsorción de detergente (CON CACP)

| N° | Concentración inicial (mg/L) | Concentración final (mg/L) | % adsorción detergente |
|----|------------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1 | 2,37 | 0,23 | 90,30 |
| 2 | 2,37 | 0,21 | 91,14 |
| 3 | 2,37 | 0,25 | 89,45 |
| 4 | 2,37 | 0,24 | 89,87 |
| 5 | 2,37 | 0,18 | 92,41 |
| 6 | 2,37 | 0,15 | 93,67 |
| 7 | 2,37 | 0,22 | 90,72 |
| 8 | 2,37 | 0,23 | 90,30 |
| 9 | 2,37 | 0,22 | 90,72 |
| 10 | 2,37 | 0,21 | 91,14 |
| 11 | 2,37 | 0,22 | 90,72 |

Fuente: Elaboración propia en base a diseño factorial 2³.

Tabla 8: Matriz de diseño experimental (PARA CACP)

| N° | A (Adsorbente) | B (pH) | C (Tiempo) | % adsorción detergente |
|----|----------------|--------|------------|------------------------|
| 1 | 0,5 | 6 | 30 | 90,30 |
| 2 | 1,0 | 6 | 30 | 91,14 |
| 3 | 0,5 | 10 | 30 | 89,45 |
| 4 | 1,0 | 10 | 30 | 89,87 |
| 5 | 0,5 | 6 | 60 | 92,41 |
| 6 | 1,0 | 6 | 60 | 93,67 |
| 7 | 0,5 | 10 | 60 | 90,72 |
| 8 | 1,0 | 10 | 60 | 90,30 |
| 9 | 0,75 | 8 | 45 | 90,72 |
| 10 | 0,75 | 8 | 45 | 91,14 |
| 11 | 0,75 | 8 | 45 | 90,72 |

Fuente: Elaboración propia en base a matriz de diseño factorial

4.3.2 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE VARIANZA (CACP)

Tabla 9: Análisis de varianza para adsorción de detergentes (CON CACP)

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| A:Adsorbente | 0,551 | 1 | 0,551 | 6,32 | 0,066 |
| B:Ph | 6,444 | 1 | 6,444 | 73,90 | 0,001 |
| C:Tiempo | 5,024 | 1 | 5,024 | 57,62 | 0,002 |
| AB | 0,551 | 1 | 0,551 | 6,32 | 0,066 |
| AC | 0,022 | 1 | 0,022 | 0,25 | 0,642 |
| BC | 1,080 | 1 | 1,080 | 12,39 | 0,024 |
| Error total | 0,348 | 4 | 0,087 | | |
| Total (corr.) | 14,022 | 10 | | | |

Fuente: Análisis de varianza calculada por programa STATGRAPHICS
Centurion.

R-cuadrada = 97,513 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93,782 porciento

Error estándar del est. = 0,295

Error absoluto medio = 0,174

Estadístico Durbin-Watson = 2,371 (P=0,757)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,283

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Adsorción de detergente en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 97,513% de la

variabilidad en Adsorción de detergente. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 93,782%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,295.

El error medio absoluto (MAE) de 0,174 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

4.3.3 ESTIMACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO (CACP)

Comentario: Adsorción de detergente

Tabla 10: Coeficiente de regresión para adsorción de detergente (CON CACP)

| Coeficiente | Estimado |
|--------------|----------|
| Constante | 83,342 |
| A:Adsorbente | 5,88 |
| B:Ph | 0,496 |
| C:Tiempo | 0,161 |
| AB | -0,525 |
| AC | -0,014 |
| BC | -0,012 |

Fuente: Coeficientes estimados por programa STATGRAPHICS

En la Tabla 10, se interpreta la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Adsorción de detergente} = 83,342 + 5,88*\text{Adsorbente} + 0,496*\text{pH} + 0,161*\text{Tiempo} - 0,525*\text{Adsorbente}*\text{pH} - 0,014*\text{Adsorbente}*\text{Tiempo} - 0,012*\text{pH}*\text{Tiempo}.$$

El modelo matemático muestra el comportamiento físico químico del proceso de adsorción de detergente en función de las variables cantidad de adsorbente, pH y tiempo de adsorción. Los valores óptimos han sido optimizados por el modelo matemático obtenido estadísticamente

4.3.4 RESPUESTA DE OPTIMIZACIÓN (CACP)

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Adsorción de detergente

Valor óptimo = 93,479

Tabla 11: Variables óptimas de adsorción de detergente (CON CACP)

| Factor | Bajo | Alto | Óptimo |
|----------------|------|------|--------|
| Adsorbente (g) | 0,5 | 1,0 | 1,0 |
| pH | 6,0 | 10,0 | 6,0 |
| Tiempo (min) | 30,0 | 60,0 | 60,0 |

Fuente: Elaboración propia en base a variables óptimas de adsorción

La tabla 11, muestra la combinación de niveles de factores que maximiza la adsorción de detergente. También muestra la combinación de factores a la cual se alcanza el óptimo. La máxima optimización alcanzada en la adsorción de detergente con CACP es 93,479%. Así mismo muestra las variables óptimas como la cantidad de adsorbente 1,0 g; pH 6,0 y tiempo de adsorción 60 min.

DIAGRAMA DE PARETO

Diagrama de Pareto Estandarizada para Adsorción de detergente

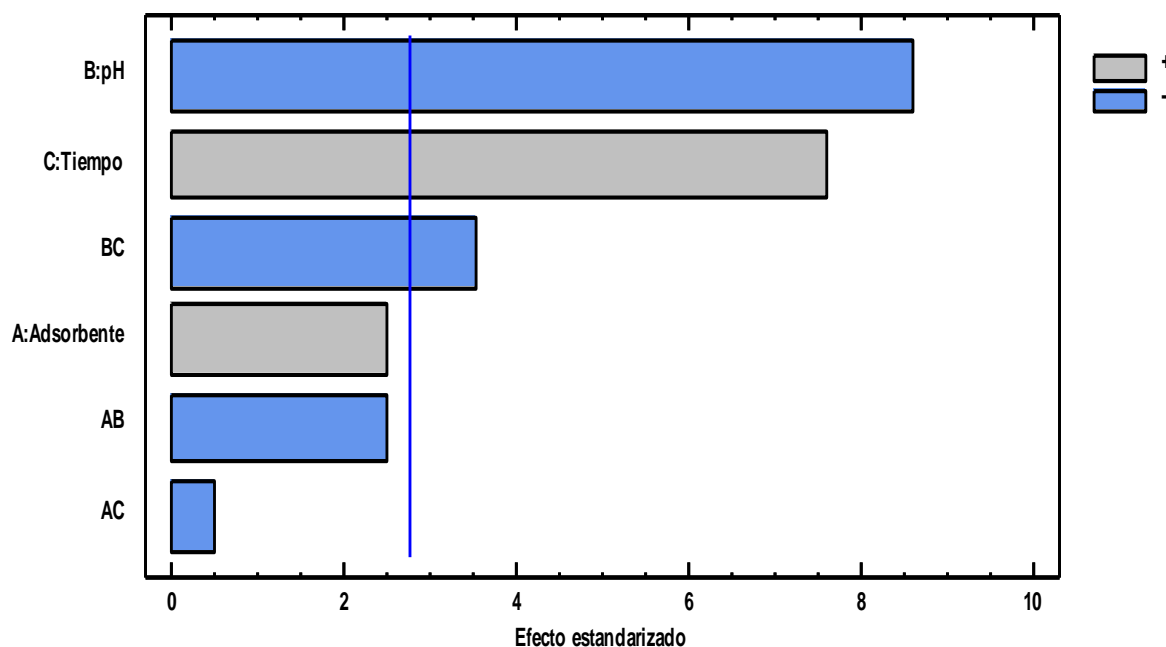


Figura 9: Diagrama de pareto estandarizado (PARA CACP)

El diagrama de pareto de la figura 9, nos muestra los efectos de las variables en la remoción de detergentes con CACP. El factor B variable pH tiene mayor efecto significativo en la remoción de detergente es decir tiene mayor influencia en el proceso de adsorción y es inversamente proporcional respecto a porcentaje de adsorción. El factor C variable tiempo también tiene efecto significativo después de variable pH y es directamente proporcional con respecto a porcentaje de adsorción de detergente. El de menor efecto significativo es el factor A variable adsorbente también es directamente proporcional. La interacción BC y AB son significativas y la interacción AC muestra efecto de menor significancia en la remoción de detergente.

Gráfica de Efectos Principales para Adsorción de detergente

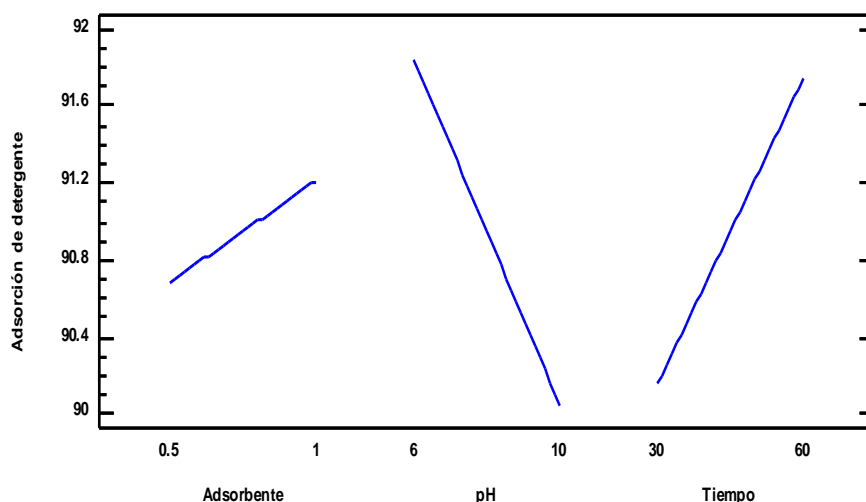


Figura 10: Efectos de interacciones en la adsorción de detergente

En la figura 10, se muestra las tres variables independientes cantidad de adsorbente, pH y tiempo. La línea de la variable adsorbente tiene pendiente positivo esto nos indica que cuando aumenta la cantidad de adsorbente aumenta también la adsorción de detergente. Lo mismo ocurre con el variable tiempo. Con respecto al variable independiente pH la pendiente es negativo lo que nos indica que al aumentar el pH la adsorción disminuye.

SUPERFICIE DE RESPUESTA

Superficie de Respuesta Estimada
Tiempo=45.0

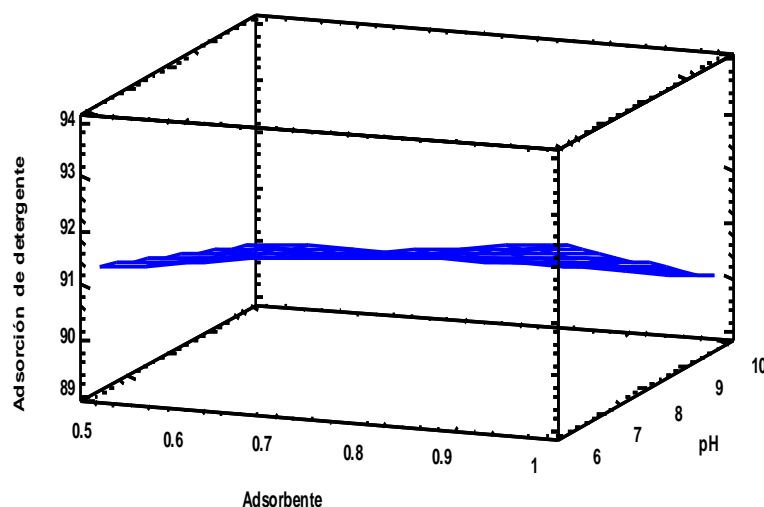


Figura 11: Superficie de respuesta estimada (PARA CACP)

La figura 11, nos muestra contornos de superficie de respuesta para la adsorción de detergente con carbón activado de cuesco de palma en polvo. La adsorción de detergente es aproximadamente de 93% en función de cantidad de adsorbente y pH. Manteniendo el tiempo como variable constante.

4.4 RESULTADOS DE PORCENTAJE DE ADSORCIÓN DE DETERGENTES CON CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE COCO

Tabla 12: Resultados de porcentaje de adsorción (CON CACC)

| N° | Concentración inicial detergente (mg/L) | Concentración final detergente (mg/L) | % adsorción detergente |
|----|---|---------------------------------------|------------------------|
| 1 | 2,58 | 0,22 | 91,50 |
| 2 | 2,58 | 0,23 | 91,09 |
| 3 | 2,58 | 0,19 | 92,64 |
| 4 | 2,58 | 0,17 | 93,41 |
| 5 | 2,58 | 0,23 | 91,10 |
| 6 | 2,58 | 0,21 | 91,86 |
| 7 | 2,58 | 0,19 | 92,64 |
| 8 | 2,58 | 0,12 | 95,35 |
| 9 | 2,58 | 0,18 | 93,02 |
| 10 | 2,58 | 0,19 | 92,64 |
| 11 | 2,58 | 0,19 | 92,64 |

Fuente: Elaboración propia en base a diseño factorial 2^3 .

Tabla 13: Matriz de diseño experimental (PARA CACC)

| N° | A (Adsorbente) | B (pH) | C (Tiempo) | % adsorción detergente |
|----|-------------------|-----------|---------------|---------------------------|
| 1 | 0,5 | 6 | 30 | 91,50 |
| 2 | 1,0 | 6 | 30 | 91,10 |
| 3 | 0,5 | 10 | 30 | 92,70 |
| 4 | 1,0 | 10 | 30 | 93,60 |
| 5 | 0,5 | 6 | 60 | 91,20 |
| 6 | 1,0 | 6 | 60 | 91,80 |
| 7 | 0,5 | 10 | 60 | 92,67 |
| 8 | 1,0 | 10 | 60 | 95,35 |
| 9 | 0,75 | 8 | 45 | 93,10 |
| 10 | 0,75 | 8 | 45 | 92,50 |
| 11 | 0,75 | 8 | 45 | 92,60 |

Fuente: Elaboración propia en base a matriz de diseño factorial

4.4.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE VARIANZA (CACC)

**Tabla 14: Análisis de varianza para porcentaje adsorción de detergente
(CON CACC)**

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|----------------------|----|-------------------|---------|---------|
| A:Adsorbente | 1,786 | 1 | 1,786 | 17,34 | 0,014 |
| B:pH | 9,505 | 1 | 9,505 | 92,30 | 0,001 |
| C:Tiempo | 0,562 | 1 | 0,562 | 5,46 | 0,080 |
| AB | 1,428 | 1 | 1,428 | 13,87 | 0,020 |
| AC | 0,966 | 1 | 0,966 | 9,38 | 0,038 |
| BC | 0,218 | 1 | 0,218 | 2,12 | 0,220 |
| Error total | 0,412 | 4 | 0,103 | | |
| Total (corr.) | 14,877 | 10 | | | |

Fuente: Análisis de varianza calculada por programa STATGRAPHICS
Centurion.

R-cuadrada = 97,231 por ciento
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93,078 por ciento
 Error estándar del est. = 0,321
 Error absoluto medio = 0,129
 Estadístico Durbin-Watson = 2,662 (P=0,969)
 Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,366

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Porcentaje adsorción en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 97,231% de la variabilidad en Porcentaje adsorción. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 93,078%.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,321. El error medio absoluto (MAE) de 0,129 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

4.4.2 ESTIMACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO (CACC)

Tabla 15: Coeficiente de regresión para adsorción de detergente (CON CACC)

| Coefficiente | Estimado |
|---------------------|-----------------|
| Constante | 96,161 |
| A: Adsorbente | -9,04 |
| B: pH | -0,336 |
| C: Tiempo | -0,096 |
| AB | 0,845 |
| AC | 0,093 |
| BC | 0,006 |

Fuente: Coeficientes estimados por programa STATGRAPHICS

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Porcentaje adsorción} = 96,161 - 9,04*\text{Adsorbente} - 0,336*\text{pH} - 0,096*\text{Tiempo} + 0,845*\text{Adsorbente}*\text{pH} + 0,093*\text{Adsorbente}*\text{Tiempo} + 0,006*\text{pH}*\text{Tiempo}$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

4.4.3 RESPUESTA DE OPTIMIZACIÓN (CACC)

Meta: maximizar Porcentaje adsorción

Valor óptimo = 95,319

Tabla 16: Valores óptimos de adsorción de detergente (CON CACC)

| Factor | Bajo | Alto | Óptimo |
|------------|------|------|--------|
| Adsorbente | 0,5 | 1,0 | 1,0 |
| pH | 6,0 | 10,0 | 10,0 |
| Tiempo | 30,0 | 60,0 | 60,0 |

Fuente: Elaboración propia en base a variables óptimas de adsorción

Esta tabla 16, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza porcentaje adsorción de detergente. El valor óptimo determinado es 95,319% de detergente LAS. Siendo valores óptimos cantidad de adsorbente 1 g; pH 10 y tiempo de adsorción de 60 min.

DIAGRAMA DE PARETO

Diagrama de Pareto Estandarizada para Porcentaje adsorción

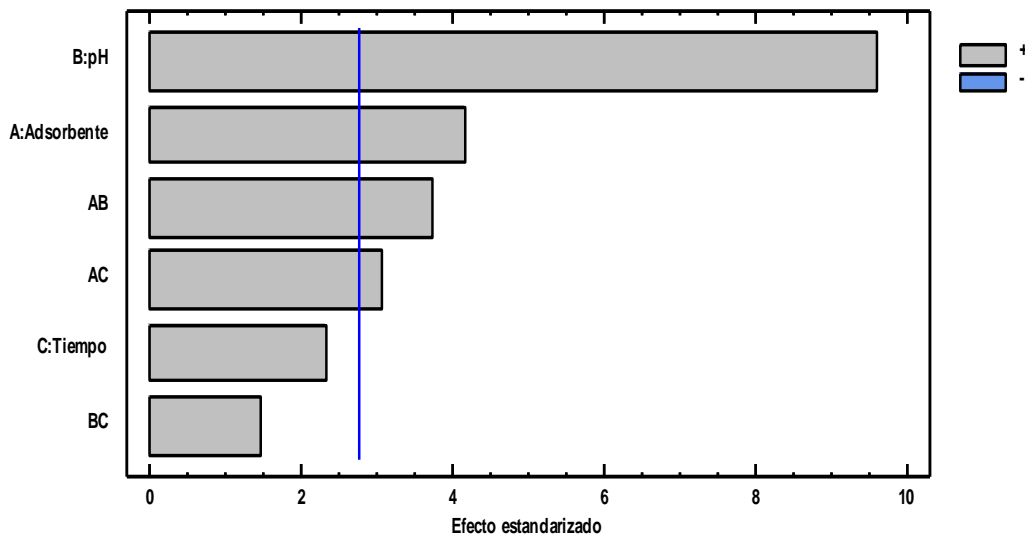


Figura 12: Diagrama de pareto estandarizado (PARA CACC)

El diagrama de pareto de la figura 12, nos muestra los efectos de las variables en la adsorción de detergentes. El factor B variable pH tiene mayor efecto significativo en la remoción de detergente y es directamente proporcional con respecto a adsorción de detergente. El factor A variable adsorbente es también significativo seguido de la variable pH. El de menor efecto significativo es el factor C variable tiempo. La interacción AB y AC son significativos y, la interacción BC tiene menor significancia en la adsorción de detergente.

SUPERFICIE DE RESPUESTA

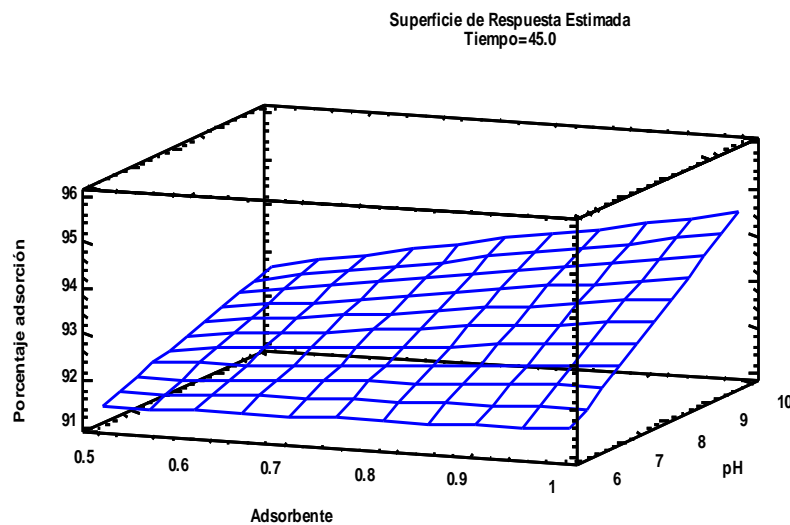


Figura 13: Superficie de respuesta estimada (PARA CACC)

La figura 13, nos muestra contornos de superficie de respuesta para la adsorción de detergente con carbón activado de cascara de coco. La adsorción de detergente es aproximadamente de 95% en función de cantidad de adsorbente y pH. Manteniendo constante el tiempo.

Según, comparación de resultados, se discute: según Maldonado (2008), en su trabajo de Remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato disuelto en agua en sistemas agitados y columnas empacadas, obtuvo como resultado, una remoción del 92,5% bajo las siguientes condiciones: pH 6, tiempo de operación de 26 días, reduciendo la concentración de detergentes aniónicos de 2,19 mg/L hasta el límite máximo permisible de 0,5mg/L. Del mismo modo Castaneda & Guillermo (2004), en su trabajo de investigación de Reducción de hierro manganeso y detergente en el agua, por medio de arena verde de manganeso y carbón activado, realizó las pruebas de adsorción con carbón activado determinando la remoción del 85% del contenido de detergente, con un monitoreo durante de 8 semanas alcanzando la concentración de 0,535 mg/L de detergente. Casallas & Ivañez (2008), Realizó estudio de Diseño de un Sistema a Nivel Piloto para la Remoción de Detergentes Aniónicos de una Solución preparada con características de una Lavandería tipo con el fin de reducir la Concentración Letal Media (CL50-48) para *Daphnia Pulex*. Comprobó la reducción de la concentración de detergentes aniónicos presentes en la solución preparada con características de una lavandería tipo con una eficiencia del 73%.

En el presente trabajo de investigación, los porcentajes de remoción de detergentes (LAS) con carbón activado de cuesco de palma en polvo fue de 93,43% y con carbón activado de cáscara de coco en polvo fue de 95,31%, en sistemas de lecho agitado.

En el presente trabajo de investigación, se ha realizado las pruebas de remoción de detergentes (LAS) de las aguas residuales de lavanderías Don Marcelo, considerando el parámetro óptimo con carbón activado de cuesco de palma en polvo a pH 6, en un tiempo de operación de 60 min se ha determinado la adsorción del 93,43% de detergente (LAS) y con carbón activado de cáscara de coco en polvo a pH 10, en un tiempo de operación de 60 min se ha determinado la adsorción del 95,31%. Por tanto, la remoción de detergentes (LAS) utilizando carbón activado de Cuesco de palma y cascara de coco son eficientes.

V. CONCLUSIONES

- Los resultados de la caracterización de aguas residuales de lavanderías Don Marcelo de la ciudad de Puno son: pH: 9,2, Sólidos en suspensión: 944 mg/L, Turbiedad: 945 NTU, Dureza: 557,76 mg/L, Alcalinidad: 737,71 mg/L, Cloruros: 240,54 mg/L, Sulfatos: 600,00 mg/L, Fosforo: 29,47 mg/L y Detergente LAS: 2,84 mg/L.
- Los floculantes policloruro de aluminio y sulfato de aluminio ha permitido remover sólidos en suspensión de aguas residuales de lavanderías Don Marcelo. Los porcentajes de remoción con policloruro de aluminio es 97,99% reduciendo la concentración de 945 NTU a 19 NTU y con sulfato de aluminio es 94,92% cuya remoción es de 945 NTU a 48 NTU. Además, los detergentes fueron removidos de 2,84 mg/L a 2,37 mg/l con policloruro de aluminio y de 2,84 mg/L a 2,58 mg/L con sulfato de aluminio.
- Los carbones activados fueron utilizados para la remoción de detergentes de aguas residuales de lavanderías. El porcentaje de remoción de detergentes con carbón activado de cuesco de palma en polvo fue de 93,43% llevados a cabo a pH 6 y tiempo de adsorción de 60 min, la reducción de concentración de detergente fue de 2,37 mg/l a 0,15 mg/L. Así mismo el porcentaje de remoción de detergentes con carbón activado de cáscara de coco en polvo fue de 95,31% a pH 10 y tiempo de adsorción de 60 min, la reducción de concentración de detergente es de 2,58 mg/L a 0,12 mg/L LAS.

VI. RECOMENDACIONES

- Aplicar la tecnología de adsorción con carbón activado para la remoción de detergentes.
- Recomendar a las lavanderías de la ciudad de Puno tratar su agua residual y no verter sin tratamiento a cuerpos de agua.
- Realizar el proceso de remoción de detergentes por otros métodos.
- Utilizar otros carbones activados en la adsorción de detergentes.
- Estudiar la cinética de adsorción de detergentes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andia Cardeñas, Y. (2000). *Tratamiento de Aguas Coagulación y floculación*. Lima.
- APHA, A. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (21^o ed.). EE.UU.
- Austin, G. (1998). *Manual de Procesos Químicos en la Industria*. México: McGraw Hill.
- Casallas, N. D., & Ibañez Acosta, K. A. (2008). *Diseño de un Sistema a Nivel Piloto para la Remoción de Detergentes Aniónicos de una Solución preparada con características de una Lavandería tipo con el fin de reducir la Concentración Letal Media (CL50-48) para Daphnia Pulex*. Bogota.
- Castaneda Castro, J. G. (2004). *Reducción de Hierro Manganeso y Detergente en el agua, por medio de Arena Verde de Manganeso y Carbón Activado*. Guatemala. Recuperado el 2018
- CERIDE. (s.f.). *Degradación del Petroleo y detergentes con Microorganismos*.
- Company, N. C. (1996). *Manual del Agua: Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. México: McGraw Hill.
- Fair, Geyer, & Okun. (1989). *Ingeniería sanitaria y de aguas residuales* (Tomo II ed.). México: Limusa Noriega.
- Fernandez, A. (2004). *Surfactantes, Generalidades y materias primas*. Venezuela: Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Freeman, H. (1998). *Manual de prevención de contaminación industrial*. México: McGraw Hill, México.
- Kirchmer, C., & Pérez Carrión, J. (1981). *Coagulación. Programa Regional de Mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano*.
- Kirk, O. (1997). *Enciclopedia de tecnología química*. México.
- Maldonado P, S. L. (2008). *Estudio de la remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato con carbón activado*. Ecuador, Quito.
- Manahan, S. (1998). *Environmental Chemistry* (9th ed.).
- Menendez, A. (2006). *Carbon Activado* .
- QuimiNet. (2004). *Glosario de terminos usados en el campo del Carbon Activado*.
- Romero, J. (2002). *Purificación de agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Smuders, E. (2002). *Laundry Detergents*.

ANEXOS

ANEXO A: TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL DE LAVANDERÍA
“DON MARCELO”

ANEXO B: MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL EN EL LABORATORIO DE
CONTROL DE CALIDAD

ANEXO C: TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LAVANDERIA CON
FLOCULANTES

ANEXO D: TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVADO

ANEXO E: DETERMINACIÓN DE DETERGENTES EN AGUAS POR EL
MÉTODO HACH

ANEXO F: CERTIFICADO DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUA
RESIDUAL DE LAVANDERÍA

ANEXO G: CERTIFICADO DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUA
RESIDUAL TRATADA

ANEXO A

TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL DE LAVANDERÍA “DON MARCELO”

- La toma de muestra de agua residual se realiza en la Lavandería Don Marcelo, a las 15:40 horas, la lavandería utiliza detergente industrial (Marcella), para el lavado de las prendas agrega 500 gramos de detergente usando 30 litros de agua para 70 kg de ropa en un tiempo de lavado de 20 min.



A1. Lavandería Don Marcelo

- La Lavandería Don Marcelo, cuenta con lavadoras y secadoras para realizar el lavado de las prendas.



A2. Lavadoras



A3. Secadoras

- Se realiza el recojo de muestras de agua residual utilizando frascos PET, para determinar los parámetros fisicoquímicos.



A4. Llenado de agua residual en los frascos PET.

ANEXO B

MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

- Las muestras de agua residual de la lavandería, son llevadas al laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química, donde las muestras son homogenizadas.



ANEXO C

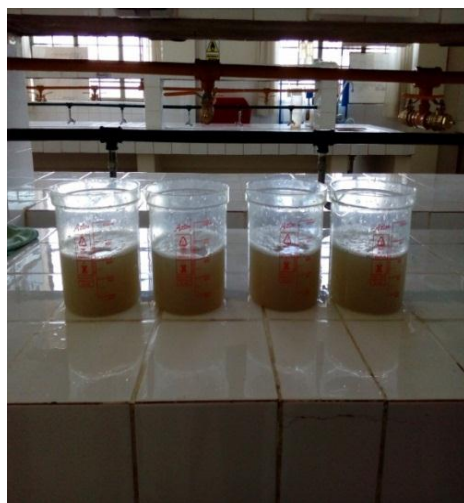
TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LAVANDERIA CON
FLOCULANTES

- Se dispone de un equipo de laboratorio Jar-Test provisto de 4 unidades de tratamiento simultáneo. Cada una de ellas dispone de un agitador de palas normalizado con regulador de velocidad para el mezclado rápido o lento de la etapas de coagulación y floculación respectivamente.



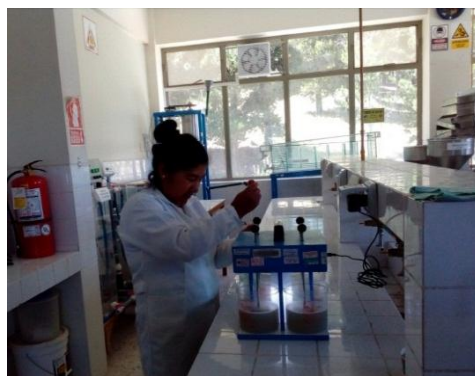
C1. Equipo de Tes de Jarras con 4 envases de 1 L de capacidad

- Se toma un volumen de 600 mL de muestra (Agua residual de lavandería) en los 4 vasos y colocar en el equipo de test jarras.

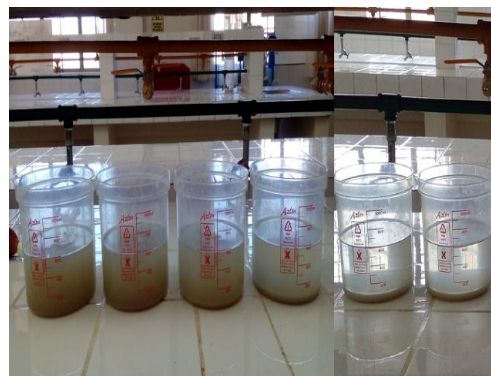


C2. Envases de Tes Jarras con muestras de agua residual

- Se dosificar el coagulante en cantidades crecientes y simultáneamente a todos los vasos, manteniendo la velocidad de agitación a 100 rpm durante 1 minuto y luego bajar la velocidad de agitación a 40 rpm por 15 minutos, una vez transcurrido los 15 minutos retirar los agitadores de los vasos y dejar el sistema en reposo por 30 minutos.



C3. Dosificación del floculante a los envases



C4. Agua residual después del tratamiento con floculantes

ANEXO D

TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVADO

- En un vaso de precipitado colocar 100 mL de agua residual tratada con floculante, agregar carbón activado al vaso precipitado y llevar a una velocidad de agitación de 400 rpm.



D1. Agua residual tratada con floculantes.



D2. Adsorción de detergentes con CACP y CACC

- Pasado el tiempo establecido se realiza el filtrado de la muestra y luego seguir el procedimiento para determinar cantidad de detergente absorbido por el carbón activado.



D3. Filtración

ANEXO E

DETERMINACIÓN DE DETERGENTES EN AGUAS POR EL MÉTODO HACH

- En una probeta tomamos 100 mL de muestra de agua residual de lavandería y lo aforamos a 300 mL con agua destilada, la muestra diluida lo llenamos a un embudo de decantación de 500 mL, agregando 10 mL de solución buffer sulfato, una almohadita (reactivo detergente), 30 mL de benceno luego colocar el embudo en un soporte durante media hora.

E1. Embudo de decantación
con 300 ml de muestraE2. Coloración de la muestra por
la presencia de detergentes

- Pasado el tiempo establecido se realiza la lectura en el Colorímetro HACH.



E3. Equipo colorímetro Hach



E4. Lectura en el colorímetro Hach.

ANEXO F

CERTIFICADO DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUA RESIDUAL DE LAVANDERÍA



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



IQ-2017/0479

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL DE LAVANDERÍA
PROCEDENCIA : LAVANDERIA DON MARCELO PUNO
INTERESADO : ZULMA CHAMBI HANCCO
MOTIVO : Trabajo de tesis
MUESTREO : 25/04/2018 por el interesado
ANÁLISIS : 26/04/2018
Código de muestra : B009-00000023

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

ASPECTO : Líquido
COLOR : Incoloro
OLOR : Inodoro
SABOR : Inspido

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

pH : 9,2
 Temperatura : 14,2°C
 Conductividad : 2440,0 uS/cm
 Sólidos en suspensión* : 944,00 mg/L
 Turbidez0 : 945,00 NTU
 Dureza como CaCO₃ : 557,76 mg/L
 Alcalinidad como CaCO₃ : 737,71 mg/L
 Cloruros como Cl⁻ : 240,54 mg/L
 Sulfatos como SO₄²⁻ : 600,00 mg/L
 Detergente (LAS) : 2,84 mg/L
 Sólidos totales disueltos : 1561,60 mg/L
 Fósforo : 29,47 mg/L

Puno, C.U. 31 de Mayo del 2018.

VºBº

Dra. Edith Tello Palma
 DECANA
 FACULTAD ING. QUÍMICA
 UNA - PUNO

M.Sc. José Miguel Castillo Prado
 Coordinador, Laboratorio Control de Calidad
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
 FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
 UNA-PUNO

ANEXO G

CERTIFICADO DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUA RESIDUAL TRATADA



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ-2018 N°0480

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de : AGUA RESIDUAL LAVANDERIA TRATADA
PROCEDENCIA : Lavanderías - Puno
INTERESADO : Bach. Zulma Chambi Hancoo
MOTIVO : TRABAJO DE TESIS
MUESTREO : 09/05/2018, por el interesado
ANÁLISIS : 10/05/2018
COD. MUESTRA : B009-00000023

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:

ASPECTO : Líquido
COLOR : Incoloro
OLOR : Inodoro

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS:

| Parámetros | Muestra A | Muestra B |
|---|-------------|-------------|
| pH | 6.35 | 8.00 |
| Sólidos en Suspensión | 8.00 mg/L | 8.00 mg/L |
| Turbidez | 9.00 NTU | 9.00 NTU |
| Dureza como CaCO ₃ | 153.15 mg/L | 175.80 mg/L |
| Alcalinidad CaCO ₃ | 170.10 mg/L | 270.40 mg/L |
| Cloruros como Cl ⁻ | 350.20 mg/L | 349.17 mg/L |
| Sulfatos como SO ₄ ²⁻ | 520.14 mg/L | 540.11 mg/L |
| Detergente (LAS) | 0.15 mg/L | 0.12 mg/L |
| Fosforo | 24.14 mg/L | 24.02 mg/L |

Puno, C.U. 31 de mayo de 2018.

VºBº



[Signature]

Dra. Edith Tello Palma
 DECAÑA
 FACULTAD ING. QUÍMICA
 UNA - PUNO



[Signature]
 M. Sc. José Miguel Castillo Prado
 Jefe de Laboratorio, Laboratorio Control de Calidad
 Puno PUNO, FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
 UNA-PUNO