

## **INFORME DE CONSULTORÍA:**

Optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas en la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA para el cumplimiento de los parámetros de control descritos en la resolución 0631 de 2015

**Carlos Fernando Vergel Zapata**

Docente consultor del grupo de investigación GICBA de las Unidades Tecnológicas de Santander

Bucaramanaga, Junio de 2018

## Contenido

1. Resumen .....	3
2. Objetivos de la consultoría.....	4
2.1. Objetivo General.....	4
2.2. Objetivos Específicos .....	4
3. Métodos y Materiales.....	5
3.1. Descripción del proceso.....	5
3.2. Caracterización inicial de las aguas residuales no domésticas de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA .....	6
3.3. Selección y dosificación óptima de los reactivos químicos para el mejoramiento del STARnD.....	7
3.4. Selección y dosificación óptima de los reactivos químicos para el mejoramiento del STARnD.....	7
4. Resultados y productos .....	8
4.1. Propuesta de diseño para la optimización del STARnD de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA.....	8
4.1.1. Cálculos para la aplicación en campo al nuevo STARnD de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA.....	10
4.2. Caracterización de las aguas residuales no domésticas luego de la implementación de mejoras del STARnD .....	10
4.3. Productos derivados de la consultoría .....	11
5. Conclusiones y recomendaciones .....	13

## 1. Resumen

El informe que se presenta a continuación corresponde al cierre de la consultoría optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas en la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA para el cumplimiento de los parámetros de control descritos en la resolución 0631 de 2015 y tiene como propósito presentar los resultados y el cumplimiento de los objetivos. La ejecución de ésta, se desarrolló entre el 10 de Febrero hasta el 10 de Mayo del año 2018 según acuerdo de cooperación firmado por las partes.

La empresa sociedad minera Trompeteros LTDA ubicada en el Municipio de Vetas del Departamento de Santander, tiene como operación extraer mineral para su respectivo procesamiento aurífero. Luego de que el mineral es procesado, las aguas residuales generadas son tratadas por un sistema de tratamiento y posteriormente son vertidas a la quebrada Jaimes. Inicialmente la empresa Trompeteros LTDA presentó dificultades relevantes en el ámbito ambiental por dichos vertimientos. Según los resultados arrojados en la caracterización realizada en Diciembre de 2016 para el cumplimiento del artículo 4 numeral 3 de la resolución 001314 del 22 de Diciembre de 2015 por el cual se otorga el permiso de vertimiento en el sistema de tratamiento de aguas residuales y cuerpo receptor, la empresa sociedad minera Trompeteros LTDA no cumplió con los límites permisibles en los parámetros de concentración de sólidos suspendidos totales (SST), concentración de sólidos sedimentables totales (SSED) y concentración de hierro, descritos en la resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015. Teniendo en cuenta que el problema inmediato a solucionar es mitigar el impacto ocasionado al cuerpo receptor y al mismo tiempo cumplir dicha resolución, la presente consultoría implementará un proceso físico-químico en la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la planta de producción aurífera. Finalmente la optimización se enfocó en el mejoramiento estructural de los tanques sedimentadores, y en la dosificación de reactivos químicos no contaminantes para el cumplimiento de la norma ambiental vigente. Ya optimizado el sistema de tratamiento de aguas residuales y luego de una análisis de aguas de vertimiento, se observó el cumplimiento de los límites máximos permisibles exigidos por la resolución 0631 del 17 de Marzo del 2015, dando como resultado la continuidad de operación de la empresa Trompeteros LTDA.

## **2. Objetivos de la consultoría**

### **2.1. Objetivo General**

Optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas generado por la planta producción de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA, para dar cumplimiento con los límites permisibles descritos en la resolución 0631 del 17 de Marzo del 2105 para vertimientos mineros en la explotación de oro.

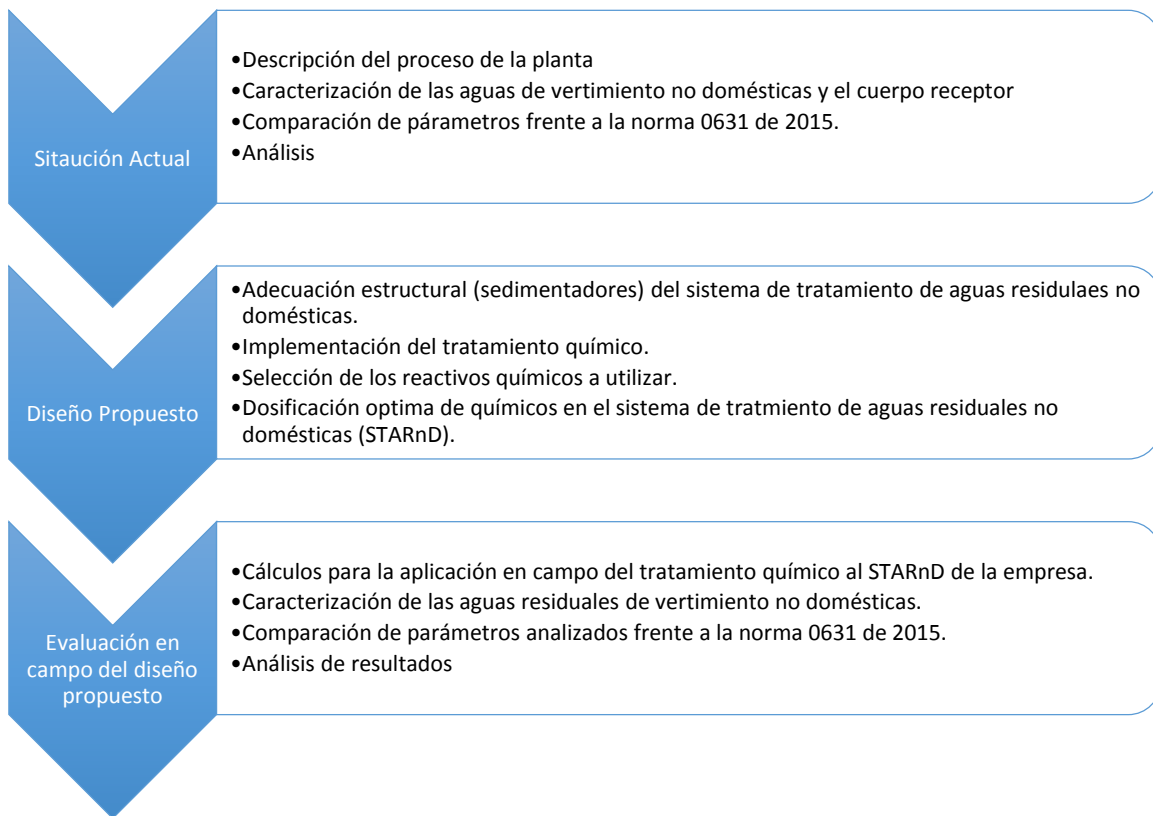
### **2.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar las aguas residuales no domésticas de vertimiento generadas por la planta de producción de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA.
- Implementar las mejoras físicas en el sistema de tratamiento de vertimientos de la empresa Sociedad Minera Trompeteros en cuanto al diseño de los tanques sedimentadores.
- Seleccionar los reactivos químicos no contaminantes apropiados para las aguas de vertimiento de la empresa.
- Determinar la dosificación de los reactivos con el fin de aumentar el proceso de sedimentación en los vertimientos.
- Controlar todo el proceso de optimización para dar cumplimiento con los límites permisibles descritos en la resolución 0631 del 17 de Marzo del 2105.

### 3. Métodos y Materiales

La metodología desarrollada para la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas (STARnD) de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA en comparación a los límites máximos establecidos por la resolución 0631 de 2015 consistió en 3 etapas cuya secuencia se muestra en la Figura 1.

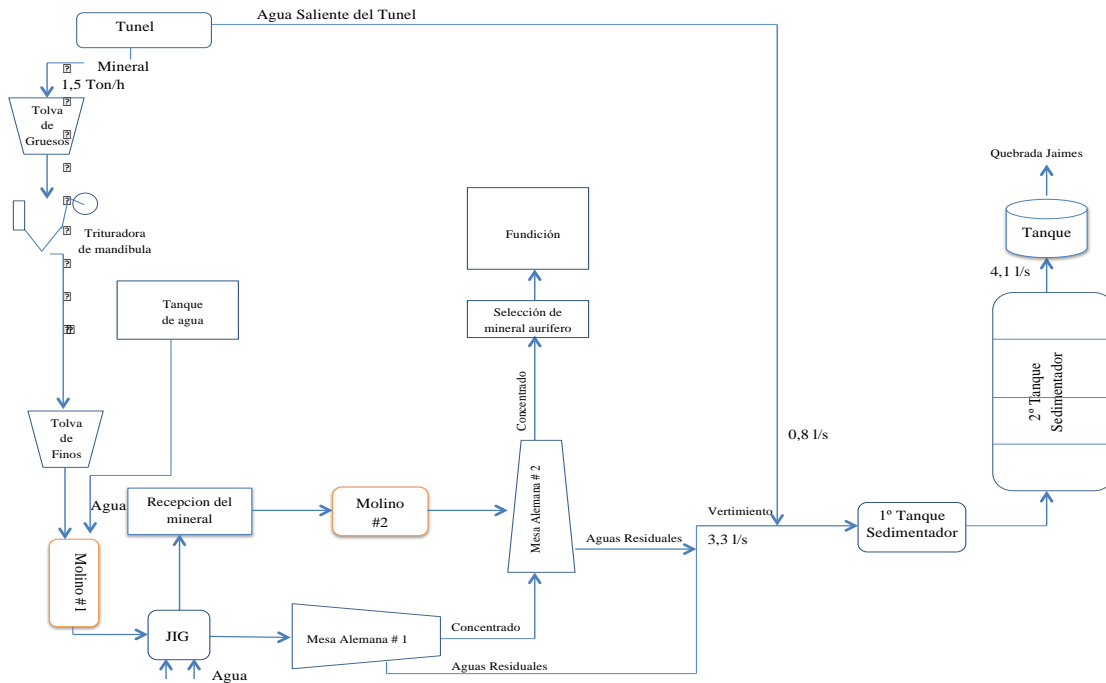
**Figura 1.** Etapas de desarrollo del proyecto



#### 3.1. Descripción del proceso

Inicialmente la empresa contaba con un simple sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas que consistía en solo dos tanques sedimentadores que según su diseño solo eran funcionales para tanques de almacenamiento, el sistema no presentaba tratamiento químico (ver la Figura 2). Las aguas de vertimiento ingresaban al STARnD y luego de un tiempo corto entraban en contacto con la quebrada Jaimes.

**Figura 2.** Diagrama del proceso de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA



### 3.2. Caracterización inicial de las aguas residuales no domésticas de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA

El día 13 de Diciembre del año 2016 la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA realizó la caracterización de aguas de vertimiento del STARnD (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales no Domésticas) en donde se evaluaron los parámetros exigidos en el artículo 10 de la resolución 0631 de 2015.

Los parámetros pH, sólidos sedimentables y caudal se midieron in situ de la siguiente forma:

- La medición del pH se realizó con un sensor de pH (pH-metro).
- La medición del caudal se realizó mediante la técnica volumétrica (utilizando un recipiente de 12 litros aforado y un cronómetro).
- Los sólidos sedimentables se midieron utilizando el cono imhoff.

Los parámetros restantes fueron analizados por el laboratorio ECOSAM S.A.S., acreditado por el Instituto de Hidrologías y Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

### **3.3. Selección y dosificación óptima de los reactivos químicos para el mejoramiento del STARnD**

La selección de los reactivos químicos (coagulante y floculante) para el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas se realizó basado en las características de los diversos reactivos existentes en comparación con el efluente de la planta de producción de la empresa Trompeteros LTDA en cuanto a la composición físico-química y a las condiciones operacionales. Ya seleccionado los reactivos se realizaron 3 pruebas de Jarras con una muestra compuesta tomada cada hora durante 8 horas continuas del STARnD de la empresa, con el fin de encontrar la óptima dosificación; la primera prueba se realizó utilizando solo el coagulante, la segunda prueba se utilizó el floculante y la tercera prueba se utilizaron ambos, la toma de decisión se basó en la apreciación cualitativa y cuantitativa final en la clarificación de la muestra en los parámetros de turbidez, color aparente, color verdadero y alcalinidad total.

### **3.4. Selección y dosificación óptima de los reactivos químicos para el mejoramiento del STARnD**

En el instante que se implementó las mejoras al STARnD de la empresa Trompeteros LDTA se procedió a controlar el sistema realizando mediciones durante el proceso, se controló las dosificaciones de los reactivos químicos, el pH y los sólidos sedimentables, parámetros que pueden medirse in situ. También se mantuvo la concentración uniforme de cada reactivo en su tanque de almacenamiento, se instalaron agitadores en cada tanque con el fin de mantener una solución homogénea en todo momento durante su aplicación en el proceso.

En el control de las dosificaciones de los reactivos químicos se utilizaron como instrumentos de medida probetas de vidrio de 25 ml y cronómetro. En el control del pH se utilizaron cintas de pH marca MERCK y para la medición de sólidos sedimentables se utilizó el cono imhoff.

#### 4. Resultados y productos

Los resultados obtenidos en la caracterización inicial de las aguas residuales de vertimiento de la empresa Sociedad minera Trompeteros LTDA realizada el 13 de Diciembre del 2016 se compararon con los límites máximos exigidos por la resolución 0631 de 2015 (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Comparativo entre la caracterización de las aguas de vertimiento no domésticas de la empresa Trompeteros LTDA y la resolución 0631 de 2015

Análisis	Unidades	Resolución 0631/2015	Efluente del sistema de tratamiento	Cumplimiento
pH	Unidades de pH	6,00 – 9,00	8,4	Sí
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	50,00	10,4	Sí
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	50,00	26	Sí
Grasas y Aceites	mg/L	10,00	<12	Sí
Sólidos suspendidos Totales	mg/L	50,00	3890	No
Sólidos Sedimentables	ml/L	2,00	11	No
Sulfuros	mg S/L	1,00	<1,2	Sí
Hierro Total	mg Fe/L	2,00	57,6	No
Cobre	mg Cu/L	1,00	0,102	Sí
Plomo	mg Pb/L	0,20	0,152	Sí
Zinc	mg Zn/L	3,00	0,938	Sí
Cianuro Total	mg CN/L	1,00	<0,02	Sí
Mercurio	mg Hg/L	0,002	<0,002	Sí

Los datos observados en la Tabla 1 muestran que el efluente del STARnD de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA no cumplía con la resolución 0631 de 2015 en su totalidad, específicamente en los parámetros que corresponden a los sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y Hierro Total. Razón por la cual se hizo necesario la optimización del STARnD, encontrar un tratamiento más eficiente y adecuado que permita el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente.

##### 4.1. Propuesta de diseño para la optimización del STARnD de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA

La optimización se llevó a cabo cumpliendo con las etapas descritas en la Figura 1:

- Se modificó los tanques sedimentadores basándose en las características de diseño de los tanques sedimentadores de placas paralelas.



- Se implementó un tratamiento químico que consistió en un proceso de coagulación-floculación, los reactivos seleccionados fueron el Policloruro de Aluminio y la Poliácridamida iónica adecuados con las características del efluente de la empresa. Sus dosificaciones óptimas se obtuvieron mediante la metodología de Jarras. La Tabla 2 presenta los datos obtenidos de la prueba de Jarras.

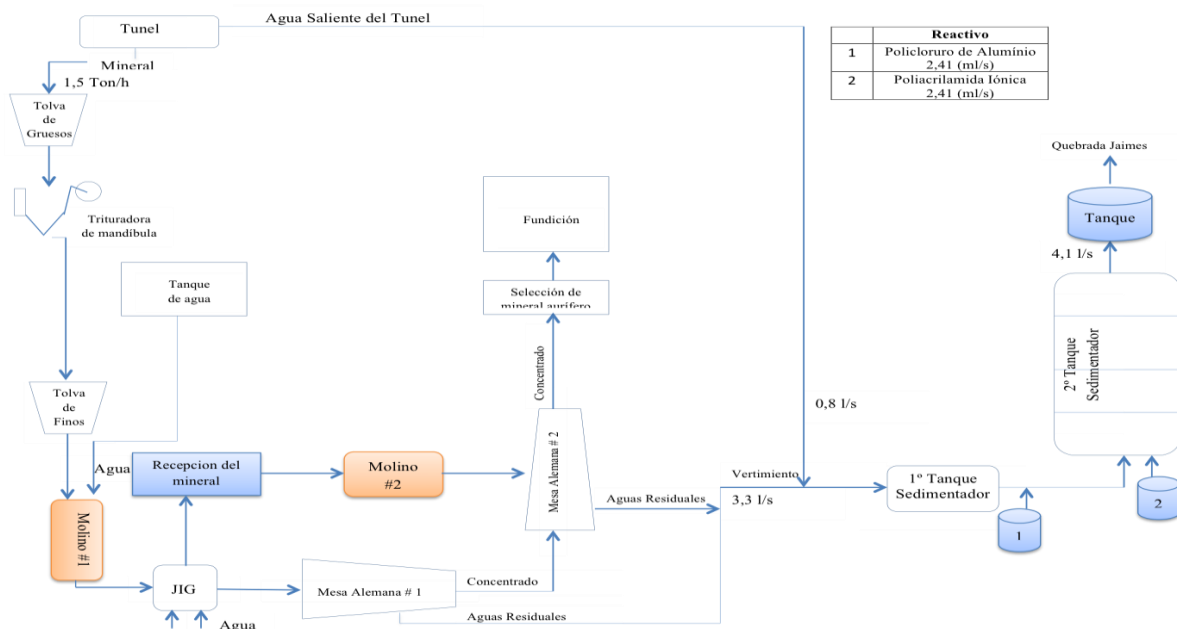
**Tabla 2.** Prueba de Jarras con Policloruro de Aluminio y Poliácridamida iónica

Análisis	Resultados obtenidos		Unidades
	Iniciales	Finales	
pH	7,93	7,60	Unidades de pH
Turbidez	1908	1,16	NTU
Color aparente	4280	29	Unidades Pt-Co
Color verdadero	480	14	Unidades Pt-Co
Alcalinidad total	53	34	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Hierro	--	0,62	mg Fe/L
Sólidos Suspendidos Totales	--	10	mg/L

Dosis óptima:  
**Policloruro de Aluminio: 20 g/m<sup>3</sup>**  
**Poliácridamida iónica: 2 g/m<sup>3</sup>**

Luego se adecuó el tratamiento químico en el STARnD de la empresa, la dosificación se basó en las características de operación de la planta de producción. En la Figura 3 se observa el diagrama de la planta de producción con las adecuaciones del nuevo STARnD.

**Figura 3.** Diagrama del proceso al final de la optimización del STARnD



#### 4.1.1. Cálculos para la aplicación en campo al nuevo STARnD de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA

Los cálculos para la adecuación del tratamiento químico en el STARnD de la empresa se basaron en el caudal promedio del vertimiento de aguas residuales de la empresa y de la dosificación óptima del coagulante y el floculante.

Los cálculos se realizaron para un proceso de 24 horas continuas. Los resultados encontrados utilizaron las siguientes bases de calculo:

- El caudal de las aguas residuales no domésticas de la empresa Trompeteros corresponde a un promedio de 4,1 l/s, se aproximó a 5 l/s por las posibles fluctuaciones que pueda tener la planta de producción.
- La preparación de cada reactivo se realiza en un tanque de 208 litros.
- La dosificación del coagulante (Policloruro de Aluminio) se determinó en 20 g/m<sup>3</sup> y la dosificación del floculante (Poliacrilamida Iónica) se determinó en 2 g/m<sup>3</sup>.

Los resultados de los cálculos basados en los anteriores datos están detallados en la Tabla 3 a seguir.

**Tabla 3.** Dosificación en campo para el tratamiento químico en 24 horas de proceso

Parámetro	Reactivos	
	1	2
Volumen del agua del tanque de preparación (L)	208	208
Caudal de aguas residuales (L/s)	5	5
Flujo másico del reactivo (mg/s)	100	10
Masa adicionada al tanque (kg)	8,64	0,864
Caudal de dosificación (ml/s)	2,41	2,41

\*1: Policloruro de Aluminio \*2: Poliacrilamida Iónica

#### 4.2. Caracterización de las aguas residuales no domésticas luego de la implementación de mejoras del STARnD

Luego de haber implementado las mejoras del STARnD de la empresa se realizó la caracterización de las aguas residuales no domésticas vertidas a la quebrada Jaimes. La Tabla 4 a seguir presenta los resultados obtenidos en el laboratorio en la caracterización inicial y la caracterización final para lo parámetros que la empresa Trompeteros LTDA no estaba cumpliendo frente la norma 0631 de 2015.

**Tabla 4.**Comparativo entre las caracterizaciones inicial y final de las aguas de vertimiento no domésticas de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA y los límites máximos permisibles descritos en la resolución 0631 de 2015

<b>Análisis</b>	<b>Resolución 0631/2015</b>	<b>Caracterización inicial/Diciembre de 2016</b>	<b>Caracterización Final/ Abril de 2018</b>	<b>Cumplimiento</b>
pH	6,00 – 9,00	8,4	8,0	Sí
Sólidos Suspendidos Totales(mg/L)	50,00	3890	36	Si
Sólidos Sedimentables (mg/L)	2,00	11	0,3	Si
Hierro Total (mg Fe/L)	2,00	57,6	0,93	Si

Los datos mostrados en la Tabla 4 comprueban las mejoras realizadas en el STARnD de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA, las cuales fueron efectivas. Los parámetros en donde la empresa no estaba cumpliendo con la norma ambiental disminuyeron su concentración en el punto de vertimiento, ubicándose dentro de los límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales presentados en la resolución 0631 del 2015, dando como resultado el cumplimiento total de la norma, es decir, actualmente las aguas residuales generadas por la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA no tiene afectación significativa sobre la calidad del agua de la quebrada Jaimes.

#### **4.3. Productos derivados de la consultoría**

Para una óptima operación del STARnD de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA se realizó un sistema de control del proceso de operación que consiste:

- La elaboración de un formato (ver Figura 4) para la correcta preparación del coagulante y el floculante en el STARnD, parámetro esencial para el cumplimiento de la resolución 0631 de 2015.
- La elaboración de un formato (ver Figura 5) para el monitoreo continuo del pH, el caudal y las dosificaciones de los reactivos (coagulante y floculante) durante el proceso de operación del STARnD. Con esto se logra evitar las fluctuaciones y variabilidades que se puedan presentar en el resultado final del proceso.



## 5. Conclusiones y recomendaciones

Inicialmente el STARnD de la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA presentaba falencias en su operación, de acuerdo a la caracterización inicial del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas (STARnD) realizado en la empresa se identificaron las necesidades del proceso: los tanques sedimentadores operaban como tanques de almacenamiento por la carencia de un diseño propio para el proceso de sedimentación, el sistema carecía de un tratamiento químico para la decantación de partículas suspendidas o disueltas en el agua residual, estos factores ocasionaron la baja remoción de sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y concentración de hierro total disuelto en el agua, debido a esto se realizaron las respectivas mejoras al sistema, como la modificación estructural de los tanques sedimentadores y la aplicación de un tratamiento químico de coagulación-floculación para el aumento de la velocidad de sedimentación. Ya finalizadas las mejoras, el STARnD de la empresa Sociendad Minera Trompeteros LTDA logró optimizar su proceso, sus vertimientos de aguas residuales carecen de turbidez a simple vista, los datos obtenidos en el laboratorio demostraron cuantitativamente el cumplimiento en los límites máximos permisibles de los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales presentados en la resolución 0631 del 2015.

La implementación del tratamiento de coagulación y floculación evitó la posible construcción de mas tanques sedimentadores en busca de su efectividad.

La optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la empresa Trompeteros LTDA mitigó el impacto ambiental generado por su operación a la quebrada Jaimes, iniciando una recuperación ambiental de la quebrada, permitiendo devolver a la misma su ecosistema acuático, minimizando las enfermedades de la población ocasionadas por la turbidez del agua residual y los metales pesados disueltos en ella.

La empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA actualmente presenta una mejor imagen frente a la población de la región de Vetas –Santander y a las entidades gubernamentales responsables del cuidado del medio ambiente (CDMB), fortaleciendo los vínculos minero ambientales en pro de la conservación del medio ambiente.

Se recomienda a la empresa la adquisición de un pH-metro para el monitoreo del pH en las aguas residuales, ya que las cintas de pH no son muy confiables si están expuestas a la humedad de la región. Para la dosificación de reactivos en el sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas, se recomienda la utilización de bombas dosificadoras para un mejoramiento en el control del proceso y evitar posibles errores humanos.

Por causa a las buenas características del efluente que presenta actualmente la empresa Sociedad Minera Trompeteros LTDA se recomienda instalar una bomba centrífuga a la salida del STARnD exactamente en el punto de vertimiento para la recirculación de gran parte del agua vertida hacia la planta de producción y disminuir así la captación del agua limpia de quebradas cercanas.