

# **Análisis comparativo del proceso de floculación-coagulación en la potabilización de agua de río, usando como fuente de captación el Río Daule y el Río Babahoyo en la Provincia del Guayas**

María Gabriela Yagual V.<sup>(1)</sup>, Francisco Torres A.<sup>(2)</sup>  
Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales<sup>(1), (2)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
mgyagual@espol.edu.ec<sup>(1)</sup>, ftorres@espol.edu.ec<sup>(2)</sup>

## **Resumen**

*El agua es primordial para la preservación de los seres vivos y, por tanto, es importante que cumpla con los parámetros de calidad, establecidos por la Organización Mundial de la Salud y el Instituto Ecuatoriano de Normalización, para el consumo humano. En general, el agua cruda, no se encuentra en estado óptimo para su consumo, y debido a esto, se requiere de la aplicación de procesos de potabilización de agua. La coagulación y floculación son procesos de vital importancia en el tratamiento de aguas con fines de potabilización. Parte importante de estos procesos es la adición de agentes químicos, que mediante su eficiente acción, permiten que el agua se clarifique.*

*Sin embargo, dependiendo de la fuente de captación, el agua presenta diferentes características físicas, químicas y microbiológicas, siendo así que no todos los reactivos que se aplican funcionan con la misma eficiencia. El trabajo realizado tiene como fin evaluar el desempeño de una alternativa de floculante que permita tener los resultados esperados de calidad del agua. Adicionalmente, se pretende observar el comportamiento de los procesos de floculación y coagulación en aguas crudas de diferentes fuentes de captación para determinar si el tratamiento es aplicable en las dos fuentes evaluadas.*

**Palabras Claves:** Agua; agua cruda; potabilización; parámetros de calidad; coagulación; floculación; floculante; fuente de captación, alternativa.

## **Abstract**

*Water is essential for the preservation of living being, therefore, it is important that it accomplishes quality standards for human consumption, that have been established by the World Health Organization and the Ecuadorian Standards Institute. Usually, raw water is not in optimum condition for consumption, and because of this, it requires the application of water purification processes. Coagulation and flocculation are vital processes in water treatment for potable purposes. An important part of this process is the addition of chemical agents, that by its efficient action, water is allowed to be clarified.*

*However, depending on the source of intake, water presents different physical, chemical and microbiological characteristics; whereas, not all of the aids applied work with the same efficiency. This work aims to evaluate the performance of a flocculant aid alternative that allows having the expected results of water quality. Additionally, it is intended to observe the behavior of flocculation and coagulation processes in water uptake of different sources to determine if the treatment is applicable to both sources evaluated.*

**Keywords:** Water; raw water; purification; quality parameters; coagulation; flocculation; flocculant aid, intake source, alternative.

## 1. Introducción

Actualmente en la ciudad de Guayaquil, según el reporte anual de la empresa concesionada para las actividades de potabilización de agua, en el periodo 2010-2011 se captó y potabilizó un promedio mensual de aproximadamente 31 000 000 m<sup>3</sup>. La planta de tratamiento de “La Toma” tiene como fuente de captación el Río Daule. A su vez, el agua es tratada haciendo uso de químicos como sulfato de aluminio líquido, cloro líquido, Praestol 650 TR y cal. Sustancias como el sulfato de aluminio, cal y cloro son fácilmente disponibles en el mercado local, sin embargo, el polímero Praestol 650 TR es disponible gracias a gestiones de importación. El presente trabajo propone encontrar una alternativa de floculante que pueda ser de mayor disponibilidad y no requiera de importaciones para su acceso, es decir, que pueda ser elaborado dentro del país.

La fuente de captación es un factor importante en el proceso de potabilización de agua. En el caso particular de la ciudad de Guayaquil, la principal fuente de captación para agua potable es el Río Daule. Por tal motivo, el trabajo plantea la aplicación de los procesos de potabilización para agua cruda proveniente del Río Babahoyo.

En el proceso de potabilización de agua cruda que abastece a Guayaquil se llegan a emplear hasta 26 645 745 kg de sustancias químicas por año. Debido a que el 75% de estos reactivos son empleados para los procesos de coagulación y floculación, es importante la búsqueda de nuevos reactivos que puedan resultar en mayor eficiencia del proceso.

La fuente de captación de agua es el Río Daule debido a su cercanía con la ciudad y las características del cuerpo de agua, así como la calidad de la misma. Sin embargo, es importante encontrar nuevas fuentes de agua cruda que puedan convertirse en agua potable para el abastecimiento de sectores rurales o alejados.

Es importante indicar que el escoger una nueva fuente de captación de agua puede tener efectos positivos a nivel social, económico y ambiental. En referencia al aspecto social, una nueva planta puede abastecer a sectores que actualmente no cuentan con facilidades de acceso a agua potable, lo cual constituye una mejora en la calidad de vida de los habitantes de estos fragmentos. A largo plazo, se disminuirían costos en redes de abastecimiento por las distancias cercanas y hasta podría implicar una redistribución de la captación del agua que permita tener una menor afectación a los cuerpos de agua. Es evidente en el sentido económico que se podría realizar ahorros en la inversión por consumibles empleados en la potabilización del agua cruda, disminuyendo el costo de operación por m<sup>3</sup> de agua tratada.

### 1.1. Objetivos

- Analizar la eficiencia de los floculantes usados en las pruebas de laboratorio para la determinación de la dosis óptima del floculante en función de la turbidez del agua cruda;
- Caracterizar parámetros básicos del agua cruda y del agua tratada de los ríos Daule y Babahoyo, confrontándola con la normativa vigente;
- Analizar el efecto de los agentes coagulantes y floculantes en el sistema coloidal del agua proveniente de los ríos Daule y Babahoyo;
- Determinar si los procesos ensayados son aplicables para las fuentes de captación mencionadas.

### 1.2. Hipótesis

El Floculante Químico no comercial es más eficiente en la remoción de turbidez que el floculante Praestol 650 TR en condiciones de laboratorio para cada fuente de agua empleada.

## 2. Metodología

Las muestras de agua fueron recogidas en horario de la mañana en el caso del río Daule, en un punto cercano a la fuente de captación de agua “La Toma”. La muestra del Río Babahoyo fue tomada en el pueblo Cortijo Histórico en horas de la tarde.

La recolección y análisis de las muestras de agua de río, así como de agua tratada se realizó siguiendo los lineamientos de los *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Edición 20. El agua de río fue colectada en bidones plásticos de 20 litros, los mismos que fueron lavados en el laboratorio y preparados para lo indicado. Previo a la toma de muestras, se realizaron enjuagues in-situ con el agua de río. Después de colectar las muestras de agua cruda, éstas fueron mantenidas en refrigeración hasta el momento de su análisis y tratamiento.

El agua tratada, por otra parte, fue colectada directamente desde el equipo de prueba de jarras, luego de la sedimentación de los sólidos. Los envases para el agua tratada fueron de plástico, lavados y enjuagados con el agua tratada. Estos tenían capacidad para colectar medio litro de agua. Se emplearon envases plásticos en todos los casos, debido a que éstos no producen interferencias en los parámetros que fueron caracterizados con posterioridad.

### 2.1. Pruebas de Jarras

Se determinó la variación en la cantidad de los reactivos empleados y la dosis óptima de coagulante y floculantes mediante las pruebas de jarras. La prueba de jarras se llevó a cabo con el procedimiento que sigue los lineamientos de la norma ASTM D2035-80, como se indica a continuación.

**Tabla 1.** Metodología empleada en las pruebas de jarras

Fase		RPM	Tiempo (min)
Primera	Mezcla rápida	100	1
Segunda	Mezcla lenta	30	30

El equipo empleado para las pruebas de jarras consta de una serie de agitadores motorizados, la velocidad de los agitadores es regulada por una perilla situada al lado derecho del equipo. La frecuencia de agitación es expresada en Revoluciones por Minuto (RPM) y es presentada en un panel digital. El equipo puede realizar hasta 6 pruebas simultáneas, donde cada jarra de forma cúbica tiene un volumen estándar de 2 litros de líquido.

Los reactivos empleados para el tratamiento de floculación y coagulación en aguas del río Babahoyo y río Daule fueron:

- Sulfato de Aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ )
- Floculante Praestol 650 TR (FP)
- Floculante Químico Artesanal (FQ)

## 2.2. Caracterización del Agua

Se realizó la caracterización de los parámetros de calidad del agua antes y después de la clarificación con coagulantes y floculantes. Los parámetros y métodos de medición son los presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Parámetros de calidad de agua y métodos de medición

Parámetro	Método
pH	SM 4500-H <sup>+</sup> B
Sólidos suspendidos	SM 2540 D
Sólidos totales	SM 2540 B
Turbiedad	SM 2130 B
Conductividad	SM 2510 B

## 2.3. Procesamiento de Datos

Los resultados obtenidos de las pruebas de jarras, es decir los parámetros de calidad del agua medidos fueron ordenados y recopilados a fin de facilitar su evaluación.

Para la determinación de la dosis óptima de coagulante y floculantes se hizo uso de gráficos Turbidez Vs. Dosis de químico. Con estos gráficos se pudo apreciar y analizar el comportamiento de la turbidez del agua en relación a las dosis de reactivos aplicados. Adicionalmente, se realizaron gráficos que relacionan las dosis con el potencial de hidrógeno (pH), conductividad, sólidos suspendidos y sólidos disueltos. De esta forma se analizó el efecto de los

reactivos usados sobre los distintos parámetros de calidad del agua.

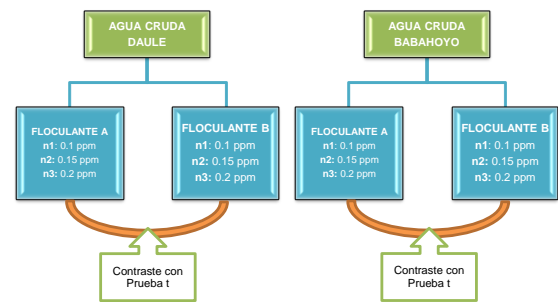
Se escogió la turbidez como parámetro de respuesta para la determinación de la dosis óptima de reactivos, debido a la importancia de ésta en la calidad del agua potable. Se debe tener en cuenta que la turbidez del agua potable entregada a los usuarios no debe sobre pasar los 5 NTU (unidades nefelométricas de turbidez) según la norma NTE INEN 1108:2011 para la calidad del agua potable.

La eficiencia del proceso fue determinada mediante el porcentaje de remoción de turbidez de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{turbidez inicial} - \text{turbidez final}}{\text{turbidez inicial}} \times 100\%$$

## 2.4. Comprobación Estadística de la Hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se siguió el siguiente esquema de diseño experimental:



**Figura 1.** Esquema de diseño experimental

A fin de verificar la hipótesis planteada se practicó la prueba estadística *t* de *student* pareada. Dentro del análisis quimiométrico, esta prueba es empleada para determinar si los métodos empleados producen resultados significativamente diferentes. La prueba pareada permite identificar diferencias separando el método de aplicación de un tratamiento y los métodos o tratamientos aplicados [12]. Es decir, para los fines de este estudio se verifica si es estadísticamente significativa la diferencia entre los resultados obtenidos con Praestol y el floculante químico artesanal, a distintas concentraciones de los mismos.

Para contrastar los datos se observa la diferencia, *d*, entre cada par de resultados dados por los dos floculantes. Si no existen diferencias entre los dos resultados, entonces estas diferencias se obtienen de una población media,  $\mu_d=0$ . Para probar la hipótesis nula, se prueba si  $\bar{d}$  difiere significativamente de cero utilizando el estadístico *t* [12].

El cálculo del estadístico *t* en el caso de resultados emparejados se define por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{d} \sqrt{n}}{S_d}$$

Donde  $\bar{d}$  y  $S_d$  son la media y la desviación estándar, respectivamente, de  $d$ , la diferencia entre los valores pareados. El número de grados de libertad de  $t$  es  $n-1$ .

Si el valor calculado de  $|t|$  es menor al valor crítico tabulado de  $t$ , entonces no se rechaza la hipótesis nula que sostiene lo siguiente:

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_d=0$ , no existe diferencia estadísticamente significativa en los niveles de remoción de turbidez obtenidos como resultado de la aplicación de los distintos floculantes.

### 3. Resultados

#### 3.1. Observaciones

**Flóculos:** Se percibieron notables diferencias entre los flóculos generados con el Praestol y los generados en presencia del floculante químico. La diferencia consistía primordialmente en el tamaño, siendo de mayor consistencia y tamaño los flóculos obtenidos con Praestol. Cabe notar que los flóculos producidos por el floculante químico eran similares a los vistos en las pruebas realizadas con sulfato de aluminio únicamente. Adicional a esto, los flóculos producidos con Praestol tendían a unirse entre sí formando cadenas; este fenómeno no sucedía con el uso del floculante químico.

El tamaño de los flóculos formados con floculante químico se encuentra en el rango de 1.50-2.25 mm de diámetro y los formados con Praestol en el orden de 3.0-4.5 mm, difiriendo entre sí en razón 1:2

Con respecto al Índice de Willcomb, los flóculos observados con Praestol entran dentro de la categoría 8. Por otro lado los flóculos formados con el floculante químico son de índice 4. Esto según la descripción de la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Índice de Willcomb

Número de Índice	Descripción
0	Flóculo coloidal
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud
8	Bueno. Flóculo que se deposita pero no completamente
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente dejando el agua cristalina.

Fuente: Giordani, 2008 [8]

**Tiempo de Sedimentación:** El tiempo de sedimentación para todas las jarras varió entre 5-7 minutos. Los mayores tiempos se apreciaron en las

jarras con altas dosis de sulfato de aluminio, siendo esto independiente del coadyuvante de coagulación empleado. Sin embargo, en jarras con bajas dosis de sulfato de aluminio y Praestol, se observó que los flóculos se sedimentaban formando más aglomeración en el centro de la jarra durante la agitación.

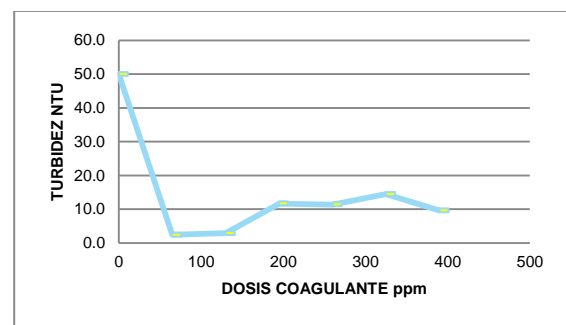
#### 3.2. Dosis Óptima de Reactivos

En la siguiente tabla se presenta el conjunto de dosis óptimas encontradas para cada reactivo según la fuente de agua:

**Tabla 4.** Dosis Óptimas de Reactivos

Reactivo	Río Daule	Río Babahoyo
Sulfato de Aluminio	60-65 ppm	100-130 ppm
Praestol	0,1 ppm	0,1 ppm
Floculante Químico	0,1 ppm	0,1 ppm

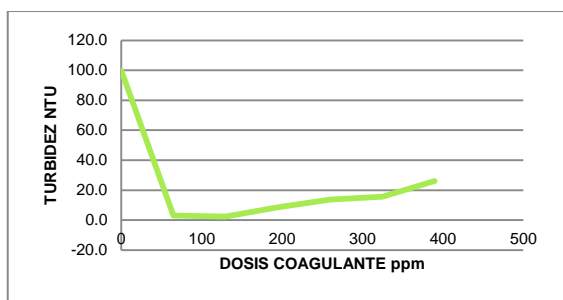
#### 2.6.1. Coagulante



**Figura 2.** Dosis óptima de coagulante usando agua cruda del Río Daule

La gráfica muestra la prueba realizada con seis diferentes concentraciones del coagulante. Se observa que los menores datos de turbidez ocurren en el intervalo de 65 ppm a 130 ppm. En estos dos puntos la turbidez es 2,4 NTU y 2,9 NTU respectivamente. Estos valores cumplen con el estándar propuesto de 3 NTU de turbidez. A partir de 130 ppm, la turbidez aumenta con el aumento de la dosis suministrada hasta llegar a 14.5 con 325 ppm de coagulante.

Del gráfico se puede suponer que la dosis óptima para el tratamiento del agua cruda en estas condiciones se encuentra entre 60 – 65 ppm. Con esta concentración se logra obtener la mayor disminución de turbidez en las muestras analizadas.



**Figura 3.** Dosis óptima de coagulante usando agua cruda del Río Babahoyo

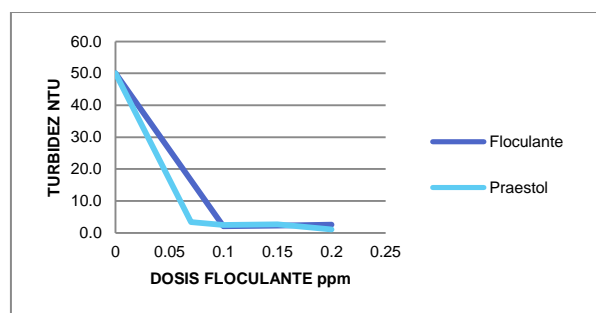
La prueba de jarras realizada usando agua cruda del Río Babahoyo mediante la aplicación de dosis de sulfato de aluminio es la representada en la Figura 3. Se observa una tendencia similar a la observada en la Figura 2, donde a partir de aproximadamente 150 ppm de sulfato de aluminio se genera el efecto indeseado de incremento de turbidez. Este efecto se genera por la re-suspensión de sólidos, debido a un exceso de cargas positivas por parte del coagulante. La mayor turbidez (26 NTU) registrada en este ensayo fue con la mayor dosis de coagulante (390 ppm).

El intervalo de dosis donde se presentan los menores niveles de turbidez, por debajo o igual a 3 NTU, es el comprendido entre 65 y 130 ppm. Los valores de turbidez obtenidos con estas dosis son 3 y 2,3 NTU.

La dosis óptima para este ensayo y con miras al ahorro del reactivo, se encuentra entre 100 y 130 ppm del producto. En este rango se pueden obtener valores por debajo de los 3 NTU de turbidez según la tendencia observada.

### 3.3. Dosis Óptima Floculantes

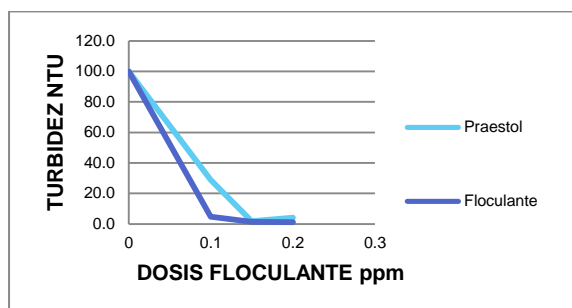
Conocida la dosis óptima de coagulante, se procedió a determinar la dosis de floculante que mejor trabaja con la dosis óptima de coagulante.



**Figura 4.** Dosis óptima de floculante usando agua cruda del Río Daule

En la Figura 4 se presenta el comportamiento de la turbidez en presencia de 65 ppm de coagulante y diferentes dosis de coadyuvantes de coagulación en agua cruda del río Daule. La turbidez se mantiene cerca de los 3 NTU para todas las dosis de los

reactivos empleados, presentando un comportamiento similar como se observa en las dos curvas. Según los ensayos realizados y lo representado en la figura, no disminuye la turbidez con el aumento en la dosis de los reactivos, simplemente se mantiene. Por tal motivo se puede establecer que la dosis óptima de floculante es la misma para los dos reactivos y es 0,1 ppm.



**Figura 5.** Dosis óptima de floculante usando agua cruda del Río Babahoyo

De acuerdo con los ensayos realizados con agua cruda del río Babahoyo, se determinó que la dosis óptima de coagulante se encontraba dentro de 100 y 130 ppm, para efecto de los ensayos se realizaron las pruebas con los floculantes en presencia de dosis de 130 ppm de sulfato de aluminio.

Los resultados se observan en la Figura 5. El comportamiento de las dos curvas para floculante químico y Praestol es el mismo. En este caso la turbidez se mantiene cerca de 1 NTU sin variaciones significativas con el aumento de la dosis. Se destaca que en este caso se obtiene un mayor porcentaje de remoción que lo observado en las aguas del río Daule. De igual forma se observa que la dosis óptima para los dos reactivos es la misma y alcanza 0.1 ppm, tanto de Praestol como de floculante químico.

### 3.4. Caracterización del Agua

A continuación se presentan los resultados de los parámetros de calidad de agua analizados antes y después del tratamiento

**Tabla 5.** Resultados de caracterización del agua en condiciones iniciales y con la aplicación de dosis óptimas de reactivos coagulantes y floculantes

	pH	Turbi dez NTU	SST ppm	ST ppm	Conduc tividad (uS/cm)
<b>Río Daule</b>					
<b>Inicio</b>	6,7	50	94	128	93,1
<b>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b>	5,8	2,4	50	125	111,6
<b>FP</b>	5,2	2,5	43	28	96
<b>FQ</b>	6	2	38	103	147,6
<b>Río Babahoyo</b>					
<b>Inicio</b>	7	100	308	1292	1890
<b>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b>	5,1	2,3	30	868	1756
<b>FP</b>	5,1	0,8	56	893	1740
<b>FQ</b>	5,2	1,2	38	882	1807

### 3.5. Eficiencia de las Dosis Óptimas de reactivos empleadas en los experimentos

A fin de comprobar la hipótesis planteada se calculó el porcentaje de remoción de turbidez con las dosis óptimas de Praestol y floculante químico según la fuente de captación del agua.

**Tabla 6.** Eficiencia por % de remoción de turbidez en dosis óptimas de reactivos

Río Daule		Río Babahoyo	
% Remoción FQ	% Remoción FP	% Remoción FQ	% Remoción PP
95,9	95,0	98,8	99,2
95,5	94,6	98,3	99,1
94,8	97,7	98,9	98,1

### 3.6. Prueba *t* de *Estudent* Pareada

Para aplicar la ecuación correspondiente a la prueba *t*, se requiere determinar la diferencia *d* entre cada par de resultados por cada fuente de agua cruda. Una vez obtenida la diferencia se calcula la media aritmética de las diferencias  $\bar{d}$  encontradas y su respectiva desviación estándar  $S_d$

**Tabla 6.** Diferencia entre pares de resultados por fuente de agua cruda, media y desviación estándar

Fuente de Captación	<i>d</i>			$\bar{d}$	$S_d$
	n1	n2	n3		
Río Daule	0,9	0,9	-2,9	0,4	2,18
Río Babahoyo	-0,4	-0,8	0,8	-0,1	0,81

Entonces para el río Daule se tiene que:

$$t = 0,4 \sqrt{3}/2,18$$

$$t = -0,31$$

Para el río Babahoyo se tiene que:

$$t = -0,1 \sqrt{3}/0,81$$

$$t = -0,23$$

Para el 95% de confianza y  $n=3$  (2 grados de libertad), la tabulación indica que el valor crítico de *t* es 4,3. Por lo tanto se cumple para las fuentes de agua cruda que  $|t| \leq 4,3$  y no se rechaza la hipótesis nula.

Al no rechazarse la hipótesis nula, no hay diferencia significativa entre los dos grupos. Es decir, los dos productos ofrecen la misma eficiencia estadísticamente para las dos fuentes de agua cruda.

### 3.7. Consideraciones

Aunque estadísticamente no se presenten diferencias significativas entre los resultados obtenidos

con cada floculante, es necesario mencionar que los flóculos obtenidos con el Praestol 650 TR fueron de mejor calidad y consistencia. Esto se aprecia cuantitativamente, a través del diámetro del flóculo e índice de Willcomb. La calidad del flóculo formado incide directamente en la operación del sistema de tratamiento de agua. Es decir, flóculos de buena calidad, al sedimentarse con facilidad, disminuyen tiempos de retención y por tanto aumentan la eficiencia global del sistema de tratamiento, disminuyendo el costo global por potabilización del agua.

Otro factor que se debe tener presente es el costo de los reactivos. Es probable que un floculante elaborado dentro del país sea más económico que uno importado. Sin embargo, es necesario analizar si representa un ahorro global para el proceso. Es decir, el costo por kilogramo de producto puede ser menor, pero la operación con el mismo pudiera ser de costos elevados, considerando que la formación de flóculos de pequeño diámetro y menor resistencia mecánica pudieran inducir mayores requerimientos de filtración posterior del agua tratada. La operación comprende el tipo de decantadores utilizados, clarificadores y tipo de agitación.

De manera general, los costos totales implicados en la potabilización de agua, sin considerar la distribución de la misma, dependen de la secuencia del tratamiento seguido en la planta de tratamiento, lo cual es relacionado con la calidad del agua cruda. La relación es directamente proporcional a la calidad del agua; por ejemplo, mientras más materia en suspensión se encuentre presente en el agua, será necesaria mayor cantidad de reactivos coagulantes y floculantes para su clarificación. Sin embargo, a medida que aumenta la capacidad productiva de una planta de tratamiento, disminuyen relativamente los costos por reactivos de amplio uso.

## 4. Conclusiones

Se pudieron determinar las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio, el floculante químico y el polielectrolito Praestol 650 TR. Estas dosis corresponden a 65 y 130 ppm para aguas crudas del río Daule y Babahoyo respectivamente, así como 1.0 ppm de los floculantes empleados en todos los casos.

Se pudo comprobar que altas concentraciones de sulfato de aluminio producen un efecto indeseado y perjudican el funcionamiento correcto de los coadyuvantes de la coagulación. Las concentraciones máximas recomendables para el uso de sulfato de aluminio son de hasta 200 ppm.

Se lograron alcanzar porcentajes de remoción superiores al 90 % de turbidez y en valores absolutos correspondientes a valores menores o cercanos a 3 NTU lo que revela cumplimiento con la Norma NTE INEN 1108:2011.

Mediante la prueba estadística aplicada, prueba *t*, se evidenció que la hipótesis de que el floculante químico es más eficiente que el floculante Praestol en condiciones de laboratorio y para cada fuente de agua empleada, es falsa. Esto quiere decir que el floculante químico de carga neutra no es más eficiente que el Praestol, más bien, no hay diferencia significativa entre el desempeño de estos reactivos desde el punto de vista estadístico.

Finalmente, se comprobó que el tratamiento es eficiente para las dos fuentes de captación. Se debe tener presente que los niveles de turbidez del río Babahoyo pueden subir significativamente durante época de lluvias, lo que podría conducir a menores eficiencias en el tratamiento aplicado de conformidad con este estudio.

## 5. Agradecimientos

Agradecemos a nuestros familiares y amigos por su incondicional apoyo. Agradecemos al ICQA y a las personas que nos proporcionaron ayuda durante el desarrollo de este trabajo.

## 6. Referencias

- [1] Alexandre L. y Mora, F. (2007). Análisis experimental de tratamientos floculantes de residuos orgánicos derivados de la producción porcina. Departamentos de Agronomía y Zootecnia. Centro de Ciencias Agrarias - UEM. Maringá, Paraná, Brasil.
- [2] American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>ava</sup> edición. Washington, Estados Unidos de Norteamérica.
- [3] American Society of Civil Engineers, American Water Works Association (1969). Water Treatment Plant Design. Segunda Edición 77-104. Mc Graw Hill. Estados Unidos.
- [4] Ashland Water Technologies (2008). Floculantes para Todas las Áreas de la Separación Sólido-Líquido. Alemania.
- [5] Cabrera, X.; Fleites, M.; Contreras, A. (2009). Estudio del Proceso de Coagulación-Floculación de Aguas Residuales de la Empresa Textil “Desembarco del Granma” a Escala de Laboratorio. Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central de Las Villas. Villa Clara.
- [5] Campuzano, D. y Duque, N. (2003). Selección de Dosis Óptima de Productos Químicos para el Tratamiento Primario Avanzado de las Aguas Residuales a Tratar en la PTAR - Cañaveralejo y Optimización del Proceso. Tesis de Pregrado - Universidad Católica de Manizales. Manizales, Colombia.
- [6] Company, J. (2000). Coagulantes y Floculantes Aplicados en el Tratamiento de Aguas. Grinver S.A. Barcelona, España.
- [7] Davis, M.L. (2010). Water and Waste Water Engineering, Design Principles and Practice. Mc Graw Hill Companies Inc. ISBN: 978-0-07-171385-6. Michigan, Estados Unidos de Norteamérica.
- [8] Giordani S.; Gonzales L.; Morales A.; Quijano J. Y Tejada A. (2008). Factibilidad del Uso de Polímeros para la Clarificación del Agua Potable en la Ciudad de Mérida. U.E. Colegio "La Presentación". Publicado Revista Científica Juvenil ISSN 1316-9505 vol VII-VIII (2008-2009): 97-108. Mérida.
- [9] Instituto Nacional de Pesca, INP (1998). Comportamiento Temporal y Espacial de las Características Físicas, Químicas y Biológicas del Golfo de Guayaquil y sus Afluentes Daule y Babahoyo entre 1994- 1996. Guayaquil, Ecuador.
- [10] Interagua C. Ltda. (2011). Informe Anual 2010-2011. Guayaquil, Ecuador.
- [11] LIN, S.D. (2001). Water and Waste Water Calculations Manual. Primera edición, 357 – 369. McGraw – Hill. Estados Unidos.
- [12] Miller, J.N. (2002). Estadística y Quimiometría para Química Analítica. Cuarta edición. McGRAW HILL.
- [13] Ministerio del Ambiente (2002). Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Libro VI, Anexo1. Quito, Ecuador.
- [14] Nalco Chemical Company (2009). The Nalco Water Handbook. Tercera edición. McGRAW HILL.
- [15] ROMERO, J. A. (2000). Purificación del Agua. Pág. 269-274. Primera edición. Centro Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- [16] Romero, J.A. (2002). Calidad del Agua. Primera edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- [17] Spellman, F. (2004). Mathematics Manual for Water and Waste Water Treatment Plant Operators. CRC Press LLC. Estados Unidos
- [18] Rodríguez, M. *et al.* (2009). Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación. INCI, nov. 2007, vol.32, no.11, p.749-756. ISSN 0378-1844.
- [19] Suárez Changuán, P. (2010). Estudio de Impacto Ambiental Definitivo de la Subestación Nueva Prosperina y Línea de Transmisión Eléctrica. Ecuador.
- [20] Villacreces, J.; Vega, J y Matamoros, C. (2009). Evaluación de Dos Casos de Estudio del Fenómenos de Sedimentación en el Tratamiento del Agua.