

**EVALUACIÓN DE TRATAMIENTO QUÍMICO PARA AGUAS  
RESIDUALES PROVENIENTES DE LA ELABORACIÓN DE  
PRODUCTOS CÁRNICOS**

**EVALUATION OF CHEMICAL TREATMENT FOR WASTEWATERS FROM  
THE ELABORATION OF MEAT PRODUCTS**

*Miguel A. Díaz Díaz<sup>1\*</sup>, Lester Rivas Trasancos<sup>1</sup>, Daylén Salazar Alemán<sup>1</sup>,  
Raisa Teutelo Núñez<sup>1</sup>, Nora la Maza Pineda<sup>1</sup> y Carlos L. Sosa Muñoz<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET). Churruca No.481, e/Washington y Vía Blanca,  
Cerro, La Habana, Cuba.

Recibido: Septiembre 16, 2019; Revisado: Octubre 18, 2019; Aceptado: Noviembre 28, 2019

**RESUMEN**

Se realizó la evaluación de un tratamiento químico mediante adición de coagulante y floculante con el objetivo de disminuir la carga contaminante de las aguas residuales provenientes del proceso de elaboración de productos a partir de carne de cerdo deshuesada. Los ensayos del proceso se efectuaron en equipo de Pruebas de Jarras (*Jar Test*), donde se evaluaron los productos policloruro de aluminio (PAC) y cloruro férrico con cuatro floculantes comerciales. La eficiencia de remoción se siguió mediante la determinación de los sólidos suspendidos totales, según método standard (APHA-AWWA-WEF, 2017). Los parámetros operacionales óptimos para el tratamiento químico con PAC y cloruro férrico fueron determinados, obteniendo con los pares coagulante/floculante seleccionados una remoción de más de 99% para la materia suspendida y más de 85% para la DQO en el agua residual tratada.

**Palabras clave:** aguas residuales; coagulación; floculación.

**ABSTRACT**

Evaluation of a chemical treatment through coagulant and flocculants addition with the objective of diminishing the polluting load of products elaboration from boneless pig meat wastewaters. The tests were made in a Jar Test equipment, where the products aluminum polichloride (PAC) and ferric chloride were evaluated with four commercial



Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Miguel A. Díaz, Email: [michael@ceinpet.cupet.cu](mailto:michael@ceinpet.cupet.cu)



floculants. Removal efficiency was followed by total suspended solids determination, according to (APHA-AWWA-WEF, 2017) standard method. The optimal operational parameters were determined for chemical treatment with PAC and ferric chloride, obtaining a suspended matter removal greater than 99% and larger than 85% for chemical oxygen demand for the selected coagulant/ flocculants couples.

**Keywords:** wastewater; coagulation; flocculation.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el proceso de elaboración de productos cárnicos crudos, cocidos y curados a partir de carne de cerdo deshuesada se originan aguas residuales de alta carga contaminante, fundamentalmente de materia orgánica y en suspensión. Para la remoción de las moléculas orgánicas con alto peso molecular ( $10^4$ ) es frecuente utilizar compuestos de hierro o aluminio, con lo cual se logran elevadas eficiencias de tratamiento si se emplean dosis óptimas con el pH requerido. Si se combinan los compuestos de estos metales con la adición de polímeros de cadenas largas con alto peso molecular y alta carga, se forman largas cadenas que desestabilizan y facilitan la aglomeración de las partículas, lo que permite remover la materia suspendida y disminuir la materia orgánica presente en aguas residuales. SITRAFLOCK SA-11 es un sólido granular blanco, basado en una poliacrilamida aniónica en polvo, el cual se considera un floculante universal para la eliminación de la materia en suspensión y es eficaz en un amplio rango de pH (SITRA, 2018). DREWFLOC 2454 es un polímero en emulsión de muy elevado peso molecular, basado en acrilamida y co-monómero catiónico, altamente eficaz en aplicaciones de tratamientos de aguas residuales de origen industrial y en particular, para la deshidratación de lodos (SOLENIS, 2014a). DREWFLOC 2289 es un polímero en emulsión, de elevado peso molecular y carga aniónica media, que proporciona excelentes resultados en la industria de procesado de alimentos (SOLENIS, 2014b).

El proceso de coagulación requiere mezclado rápido, mientras la floculación requiere mezclado lento. El mezclado instantáneo, intenso y rápido, es crítico para bajar la carga superficial de las partículas coloidales (Howe et al., 2012). El comportamiento de los coloides en el agua es fuertemente influenciado por su carga electrocinética, donde cada partícula coloidal lleva una carga propia, la cual en su naturaleza es usualmente negativa. Los polímeros, que son cadenas largas de alto peso molecular y alta carga, cuando se añaden al agua comienzan a hacer largas cadenas, lo que permite remover numerosas partículas de materia suspendida (Satterfield, 2005). El objetivo de este estudio es evaluar un tratamiento químico para las aguas residuales de la elaboración de productos cárnicos mediante adición de coagulante y floculante con vistas a remover la materia suspendida y la materia orgánica presentes en las mismas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la evaluación de un tratamiento químico mediante adición de coagulante y floculante para disminuir la carga contaminante de las aguas residuales provenientes del proceso de elaboración de productos cárnicos crudos, cocidos y curados a partir de carne de cerdo deshuesada. Se tomaron muestras representativas (ISO, 2019 a) a la salida de la trampa de grasas con volumen mínimo de 20 L cada vez, sobre la cual se

llevaron a cabo los tratamientos a escala de laboratorio. Los ensayos del tratamiento químico fueron realizados en un equipo de Pruebas de Jarras (Jar Test), marca AZTEC de fabricación inglesa para coagulación y floculación, con posibilidad de ajuste y medición de la velocidad de agitación en un rango entre 40 y 400 rpm.

Se evaluaron los productos comerciales policloruro de aluminio (PAC 300) y cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) con cuatro floculantes diferentes. Los coagulantes se prepararon en dilución al 10% mediante pesada directa (de valor conocido) de una masa de 10g diluida en 100 ml de agua. Las preparaciones se realizaron diariamente. Los floculantes evaluados fueron D2289, SA-11, ASC-253 y D2454, los cuales se prepararon al 0,5% mediante pesada directa (de valor conocido) de aproximadamente 0,5 g en 100 ml de agua. Los floculantes se añadieron mediante una jeringa, sobre el vórtice de agitación. La adición se realizó relativamente lenta, para evitar la formación de grumos que tardaran en disolverse. Las condiciones de mezcla fueron: agitación de 200 rpm durante 3 minutos, para posteriormente mantener agitación de 40 rpm durante 10 minutos y 20 minutos de reposo. El agua residual inicial fue homogeneizada y se le realizó los análisis que aparecen en la tabla 1, según métodos standards (APHA-AWWA-WEF, 2017), (ISO, 2019 b). El tratamiento estadístico se realizó con las herramientas de Excel 10.

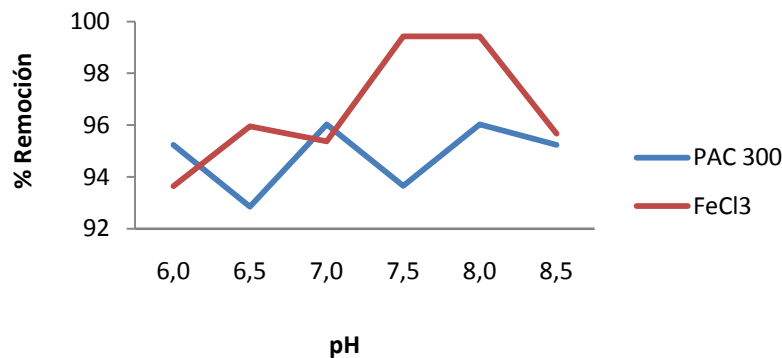
**Tabla 1.** Caracterización del agua residual inicial

<i>Parámetro</i>	<i>U/M</i>	<i>Valor</i>	<i>Parámetro</i>	<i>U/M</i>	<i>Valor</i>
pH (25 °C)	u	5,74 ± 0,01	Conductividad	μS/cm	1708 ± 2,6
Sólidos suspendidos totales	mg/L	445 ± 38	DBO <sub>5</sub>	mg/L	946 ± 50
Sólidos sedimentables	ml/L	6,0 ± 0,1	DQO	mg/L	1586 ± 13
Grasas y Aceites	mg/L	48,8 ± 0,5	N total	mg/L	58.6 ± 0,5
Oxígeno disuelto	mg/L	2,85 ± 0,11	P total	mg/L	6,05 ± 0,05

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Determinación del pH más favorable para la coagulación

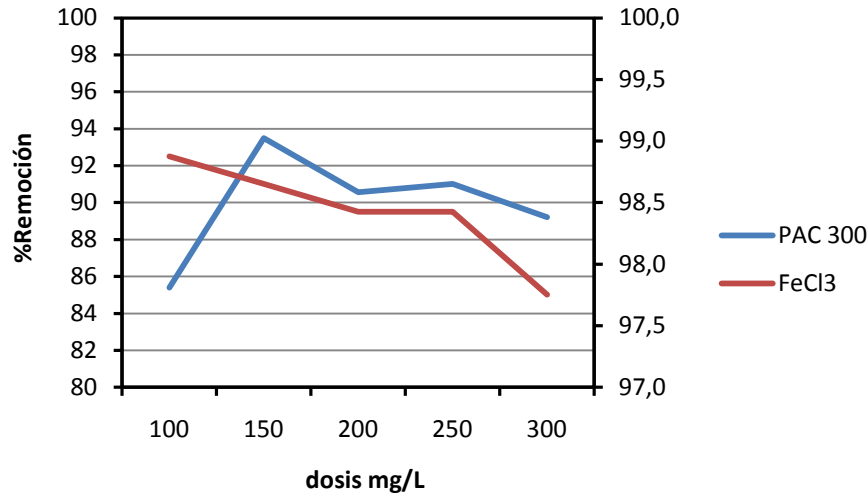
En la figura 1 se aprecian los valores de pH óptimos para los coagulantes evaluados, de acuerdo a la remoción de materia en suspensión alcanzada. Para el coagulante PAC 300 se alcanzaron los mejores resultados a pH 7,0 con un 96% de remoción, y para el cloruro férrico a pH 7,5 con un 99,4% de remoción, valores comparables a los reportados por otros autores (Howe et al., 2012), (Hurtado y San Martín, 2006).



**Figura 1.** Determinación del pH más favorable para la coagulación

### 3.2 Determinación de la concentración más favorable para la coagulación

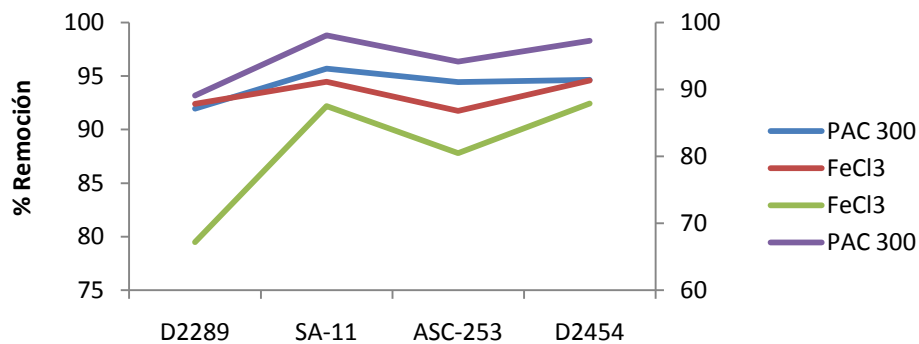
En la figura 2 se muestran las concentraciones más favorable para el funcionamiento de los coagulantes evaluados al pH seleccionado en un rango de dosis de 100-300 mg/l. Se aprecia que para el PAC 300 se obtuvo una remoción mayor del 93% de sólidos suspendidos con dosis de 150 mg/l, aunque para el cloruro férrico se alcanzó un 99% de remoción con una dosis de 100 mg/l.



**Figura 2.** Concentración más favorable para el funcionamiento de los coagulantes

### 3.3 Determinación del tipo de floculante más favorable para cada coagulante

Para decidir el floculante más favorable en una primera aproximación para los coagulantes evaluados se ensayaron dosis de 2 mg de floculante /L de residual, según recomienda el fabricante. En la figura 3 se observa que para el PAC 300, los mejores resultados se obtuvieron con el floculante SA-11, con el que se logró una remoción promedio del 97% ( $s \pm 1,7$ ) de sólidos en suspensión, mientras que para el cloruro férrico fue más efectivo el floculante D2454 que logró una remoción promedio del 90% ( $s \pm 2,4$ ). Los resultados con los floculantes D2454 con el PAC 300 y SA-11 con el cloruro férrico fueron también efectivos, alcanzando valores de remoción promedio de 96 ( $s \pm 1,9$ ) y 89% ( $s \pm 2,6$ ), respectivamente. Se debe señalar que no se tienen referencias previas de estos productos comerciales y su interacción con los coagulantes, de acuerdo a estos resultados se debe continuar el estudio con ambos productos.



**Figura 3.** Floculante más favorable para cada coagulante

### 3.4 Determinación de la concentración más favorable de floculante para cada coagulante

Para determinar la concentración más favorable de floculante para los coagulantes evaluados se ensayaron dosis en un rango de 0,5-2,5 mg de floculante/L de agua residual, de acuerdo a experiencias anteriores. Para los dos coagulantes evaluados, se aprecia en la figura 4 que con el PAC 300, la mejor dosis del floculante SA-11 fue 0,5 mg/L de residual y la del floculante D2454 fue 1,5 mg/L de residual. Con el cloruro férrico la mejor dosis del floculante D2454 fue 1,0 mg/L de residual y la del floculante SA-11 fue 1,5 mg/L de residual, con las cuales se lograron remociones del orden de 99% de materia suspendida en ambos casos, aunque estadísticamente no se obtuvo diferencias significativas con dosis de 2,0 mg/L residual de ambos floculantes para el FeCl<sub>3</sub>, según la Prueba F para varianzas de dos muestras.

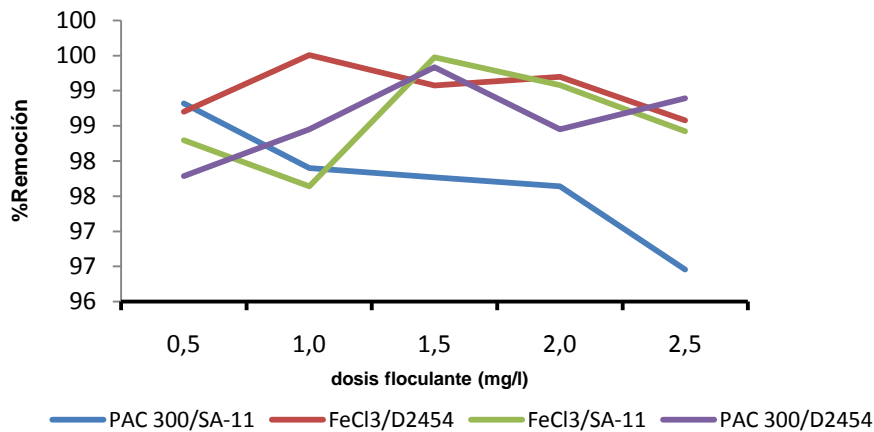


Figura 4. Concentración óptima de floculante para cada coagulante

### 3.5 Determinación de las características del agua tratada para cada sistema de tratamiento (par coagulante/floculante)

Para determinar las características del agua tratada se evaluaron a pH 7,0 los pares coagulante/floculante PAC 300/SA-11, PAC 300/D2454, FeCl<sub>3</sub>/SA-11 y FeCl<sub>3</sub>/D2454 para las dosis seleccionadas. Como se aprecia en la figura 5, los mejores resultados para los sólidos suspendidos (eje primario) correspondieron al PAC 300 con el floculante D2454 y al cloruro férrico con el floculante SA-11, lo que se refleja en los elevados porcentos de remoción alcanzados (más de 99% en ambos casos).

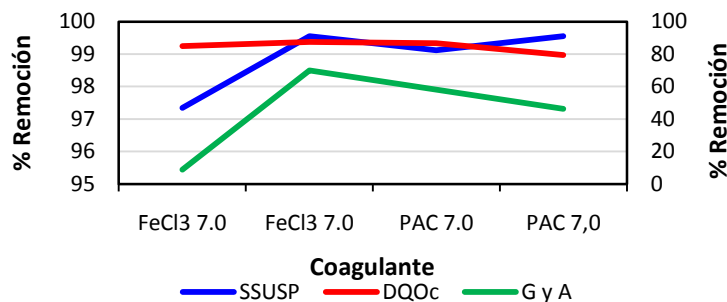


Figura 5. Remoción de contaminantes para cada par coagulante/floculante

La remoción de DQO y de grasas y aceites (eje secundario) estuvo alrededor del 85% y 70%, respectivamente. Los números que aparecen en la leyenda de la figura 5, junto a

cada parámetro corresponden a las desviaciones standards obtenidas para los mismos. El pH del agua clarificada estuvo entre 7,0 – 9,0 y tres de los parámetros (pH, SSUSP, G y A) cumplieron con las condiciones de vertimiento.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. Se determinaron las características operacionales para el tratamiento químico con PAC 300 y con cloruro férrico, obteniendo para ambos una remoción de más de 99% para la materia suspendida y más de 85% para la demanda química de oxígeno, para el par coagulante/floculante seleccionado en cada caso.
2. El agua clarificada cumple con los requerimientos de vertimiento (NC 27, 2012) para los parámetros pH, sólidos suspendidos y grasas y aceites.

#### **REFERENCIAS**

- APHA-AWWA-WEF., Standard Methods for the examination of water and wastewater., 23<sup>rd</sup> ed. Editorial R.B. Baird, A.D. Eaton & E.W. Rice, Washington DC, 2017, pp. 2-44 – 5-40.
- Howe, K.J., Hand, D.W., Henden, J.C., Rhodes, R., Tchobanoglous, G., Principles of water treatment., John Wiley & Sons, N.J. 2012, pp. 225-286.
- Hurtado, C., & San Martín, R., Coagulantes inorgánicos de uso frecuente en el tratamiento de aguas., 2006. pp. 1-18.
- ISO., ISC Fields 13.060.45 Examination of water in general including sampling., 2019a, ISO 5667 (Part 1,2). (Consultado 01/02/2019), Disponible en: <http://www.iso.org/>.
- ISO., ISC Fields 13.060.50 Examination of water for chemical substances., 2019b, ISO 5815, 6060, 10523. (Consultado 01/02/2019), Disponible en: <http://www.iso.org/>.
- NC 27: 2012., Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones., Norma Cubana, 2012, pp. 1-14.
- Satterfield, Z., Jar Testing., Spring, Vol. 5, No. 1, Tech Brief. National Environmental Services Center, 2005, pp. 1-4.
- SITRA., SITRAFLOCK SA-11., 2018. Disponible en: <http://www.sitra.es>.
- SOLENIS., Drewfloc<sup>TM</sup> 2454 /Floculante catiónico en emulsión., WWT-PDS-EMEA-DREWFLOC 2454-R1, 2014a.
- SOLENIS., Drewfloc<sup>TM</sup> 2289 /Floculante aniónico., WWT-PDS-EMEA-DREWFLOC 2289-R1, 2014b.