

▶ Determinación de la tecnología más adecuada para remover los contaminantes de los efluentes industriales de colorantes de **bixina y carmin**

## Fenton térmico activado en el tratamiento de efluentes de la producción industrial de colorantes de carmín y bixina

### *Activated Thermal Fenton in the Treatment of Effluents from the Industrial Production of Dyes Carmine and Bixin*

#### RESUMEN

El principal objetivo del presente estudio fue determinar la tecnología fisicoquímica más adecuada para la remoción de contaminantes de los efluentes industriales de colorantes de bixina y carmín. Dicha tecnología permite lograr que los valores de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST) estén por debajo de los Valores Máximos Admisibles (VMA) normados por el D.S. 021-2009 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú.

De las tecnologías de oxidación avanzada que se aplicaron fueron los procesos de Fenton simple, foto Fenton y Fenton térmico activado los que registraron mejores resultados.

La investigación se realizó en los laboratorios de Tecsup. Los análisis químicos fueron confirmados por un laboratorio acreditado. El estudio llegó a la conclusión que el Fenton térmico activado es la tecnología de tratamiento más eficiente, y la que permite cumplir con el objetivo planteado por el Decreto Supremo 021-2009 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Es importante resaltar que el tratamiento de los efluentes descritos en este trabajo es complejo debido a que las moléculas orgánicas que los constituyen presentan dobles enlaces conjugados en la bixina y anillos aromáticos en la molécula del ácido carmínico.

#### ABSTRACT

*The main objective of this study was to determine the most appropriate physicochemical technology for removing pollutants from industrial effluents of bixin and carmine dyes, and thus achieve values of chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD) and total suspended solids (TSS) lower than the Maximum Permissible Values (VMA) DS 021-2009 regulated by the Ministry of Housing, Construction and Sanitation of Peru.*

*Among the advanced oxidation technologies applied, the best results were obtained with Fenton, photo-Fenton and Activated thermal Fenton.*

*The research was conducted in the laboratories of Tecsup. Chemical analyses were confirmed by an accredited laboratory. It was determined that the activated thermal Fenton is the most efficient treatment technology reaching the objective by the S.D. 021-2009 of the Ministry of Housing, Construction and Sanitation.*

*Importantly, treatment of these effluents is complex because organic their molecules have conjugated double bonds in bixin and aromatic rings in carminic acid molecule.*



#### Palabras Claves

Carmín, bixina, DBO, DQO, SST, oxidación avanzada, Fenton, foto-Fenton, Fenton térmico activado, Valores Máximos Admisibles.

#### Key words

Carmine, Bixine, BOD, COD, TSS, advanced oxidation, Fenton, Photo-Fenton, Activated Thermal Fenton, Maximum Permissible Values.

## INTRODUCCIÓN

En nuestro país la legislación medioambiental es cada vez más exigente. En ese contexto, las industrias que están en ciudades como Lima y vierten sus efluentes al sistema de alcantarillado deben cumplir con los Valores Máximos admisibles (VMA) estipulados en el D.S. 021-2009 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [1]. Por ello, investigaciones como la actual son cada vez más necesarias para la industria, más aún si los vertimientos son dirigidos hacia los ríos, lagos, lagunas o mar, en los que la exigencia legal es mayor respecto a los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares de calidad ambiental (ECA).

En el caso específico de este estudio, el efluente es generado en una planta de colorantes a base de carmín y bixina para alimentos. El principal objetivo del presente trabajo fue determinar la tecnología fisicoquímica más adecuada para la remoción de contaminantes de los efluentes industriales en cuestión, con el fin de que los valores de la demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST) se ajusten a los valores establecidos en el D.S. 021-2009 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Este estudio tuvo también como objetivo definir el sistema complementario de tratamiento de separación sólido-líquido de sedimentación, coagulación-floculación, así como de afino con carbón activado.

## FUNDAMENTOS

### 1. DESCRIPCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS

- Demanda química de oxígeno (DQO/COD)

Es la cantidad necesaria de oxígeno para oxidar la materia orgánica susceptible a oxidación por medios químicos. En el caso de la materia orgánica, esta se convierte en dióxido de carbono y agua. La DQO se mide en mg/L.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO/BOD)

Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: pseudomonas, escherichia, aerobacter, bacillus), hongos y plancton consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. También se mide en mg/L.

Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, el análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C y el resultado se expresa como DBO<sub>5</sub>.

La DBO proporciona una medida aproximada de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales:

- Agua pura 0 - 20 mg/L
- Agua levemente contaminada 20 - 100 mg/L

- Agua medianamente contaminada 100 - 500 mg/L
- Agua muy contaminada 500 - 3 000 mg/L
- Agua extremadamente contaminada 3 000 - 15 000 mg/L

El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente.

Por otra parte, los gramos o miligramos de oxígeno se refieren, en el caso de la DBO, a los requeridos por la degradación biológica de la materia orgánica; mientras que en el caso de la DQO representan los necesarios para la degradación química de la materia orgánica.

La relación entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO da una idea del nivel de contaminación de las aguas.

- Si la relación (DBO<sub>5</sub>/DQO) < 0,20, casi toda la materia oxidable es no biodegradable; por ello, no es aplicable un tratamiento biológico pero sí fisicoquímico.
- Si la relación (DBO<sub>5</sub>/DQO) está en el rango < 0,20 - 0,60 >, es necesario un tratamiento fisicoquímico o de combinación con el sistema biológico. En este escenario se debe tener en cuenta el área disponible para el sistema biológico, el capital de inversión y los costos operativos, para decidir la tecnología de tratamiento.
- Si la relación (DBO<sub>5</sub>/DQO) > 0,60, la mayoría de la materia oxidable es biodegradable. En este caso, las aguas residuales pueden ser tratadas por medios biológicos o fisicoquímicos.

Es importante resaltar que los tratamientos fisicoquímicos son aplicables en cualquiera de los tres escenarios, pero si la DBO se acerca al valor de la DQO hay posibilidades de que el tratamiento sea biológico o incluso de combinar ambos. Ello dependerá de si existen áreas para el tratamiento biológico en el recinto industrial, así como de los costos de inversión y costos operativos.

- Sólidos suspendidos totales (SST/TSS). Es un parámetro utilizado en la evaluación de la calidad del agua y en su tratamiento. Indica la cantidad de sólidos no disueltos presentes, es decir en suspensión (sedimentables o coloidales) y que pueden ser separados por coagulación-floculación y por medios mecánicos, como la sedimentación, filtración al vacío o centrifugación. Está asociado a la turbidez del agua.

La turbidez es una medida cuantitativa ligada a los sólidos suspendidos que suele usarse en la salida de las plantas de tratamiento de aguas para indicar la calidad de los procesos. Se expresa en NTU (unidades nefelométricas de turbidez) en la estimación de la calidad del agua residual.

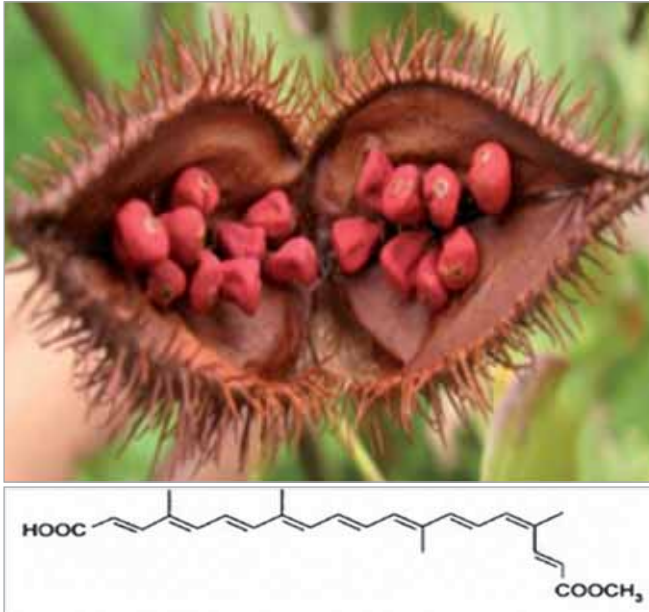
### 2. DESCRIPCIÓN DE LÍNEA DE EFLUENTES

- Bixina

Es un colorante natural empleado en la industria alimentaria como aditivo. Es extraído del achiote (bixa orellana), especí-



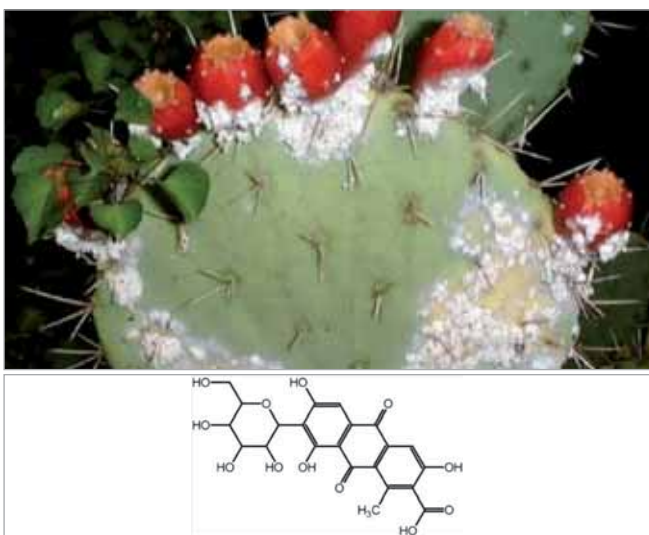
ficamente del extracto el cual contiene annatto, la bixina y la norbixina, entre otros. Su código es E-160b según la Unión Europea. El annatto es la denominación dada al extracto crudo, mientras que la bixina es la parte del colorante liposoluble y la norbixina, la parte hidrosoluble. Todos tienen capacidad colorante [2].



**Figura 1.** Estructura de la bixina, colorante que proviene del achiote.  
Fuente: Adaptado de "Corantes naturales" por D. Ribeiro (2015).

- Carmín

Es uno de los colorantes más antiguos, que se emplea en Europa desde hace trescientos años. Su poder colorante se debe al ácido carmínico que se encuentra en el *Dactilopius coccus* costa o cochinilla. El carmín es un complejo formado a partir del ácido carmínico y iones aluminio y calcio, que se liga también con compuestos proteicos. Su código es E120[2].



**Figura 2.** Estructura del ácido carmínico, colorante proveniente de la cochinilla.  
Fuente: Adaptado de Apuntes de Ciencia y Tecnología.

### 3. TRATAMIENTO DE DETOXIFICACIÓN DE CONTAMINANTES

- Procesos de oxidación avanzada

Son procesos en los cuales el agente oxidante por excelencia es el radical hidroxilo ( $^{\circ}\text{OH}$ ), que se forma por ruptura homolítica de la molécula que lo precede, generalmente peróxido de hidrógeno. Este radical tiene un potencial de oxidación ( $\epsilon^{\circ} = 2,8$  voltios) es mucho mayor que el de otros oxidantes tradicionales. Estos radicales son capaces de oxidar compuestos orgánicos principalmente por sustracción de hidrógeno o adición electrofílica a enlaces dobles para generar radicales orgánicos libres ( $\text{R}^{\circ}$ ) los cuales con moléculas de oxígeno forman un radical peróxido, para luego dar paso una serie de reacciones de degradación oxidativa que pueden conducir a la completa mineralización de los contaminantes [6].

- Reacción de oxidación avanzada por el método Fenton

Es un proceso de oxidación avanzada en el cual se producen radicales hidroxilos altamente reactivos ( $^{\circ}\text{OH}$ ). Se realiza en condiciones de ambiente ácido y a presión y temperatura ambiente, mediante el uso de oxidantes fuertes a base de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) estabilizado, que está catalizado con metales de transición, generalmente hierro. La reacción se aplica para el tratamiento de aguas residuales.



- Proceso foto Fenton

Es una variante del Fenton que involucra la absorción de luz ultravioleta. Durante el proceso tienen lugar reacciones de oxidación y reducción en presencia de un catalizador y de la radiación ultravioleta, que generan oxidantes como el radical hidroxilo, los cuales, en medio acuoso, reaccionan con los contaminantes orgánicos y los degradan a dióxido de carbono y agua ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) y otras sales.

- Proceso Fenton térmico activado

Es una tecnología en la que aplican altas temperaturas, lo que aumenta significativamente la eficacia del proceso de detoxificación de la carga orgánica, disminuye las dosis necesarias del oxidante fuerte y de los iones de hierro y, por tanto, baja también los costos operacionales del tratamiento.

La reducción con metabisulfito de sodio, anterior a la oxidación avanzada, genera  $\text{SO}_2$  como agente reductor que rompe los enlaces pi de las cadenas orgánicas complejas. Al respecto, F. J. Padilla, C. G. Vargas Aya y F. Colpas (2000) en su investigación *Degradación de cianuro en aguas residuales provenientes de la actividad minera del municipio de San Martín de Loba empleando métodos de oxidación química*, plantean: "El poder reductor de este producto puede ser sustituido por otros re-

ductores químicos que contienen SO<sub>2</sub> como predecesor en su proceso de fabricación y que, sin embargo, pueden sustituir al bióxido de azufre en las reacciones de destrucción de cianuros, eliminando los riesgos tanto físicos como ambientales que implica el uso directo del SO<sub>2</sub>". [5].

## METODOLOGÍA

El estudio se realizó a partir de muestras compósito (acumulación de efluente) generadas cada hora, por espacio de 5 horas en 6 días intercalados. La investigación tuvo lugar en tuvo dos momentos:

1. En diciembre del 2014, la caracterización de las muestras de efluentes de bixina y carmín mostró una concentración media de 6 420 mg/L de DQO y 890 mg/L de DBO<sub>5</sub>, con una relación DBO<sub>5</sub>/DQO de 0,14, que indicaba que el efluente no podía ser tratado biológicamente, aunado a que la industria que solicitó el estudio no contaba con áreas para el tratamiento biológico. Entonces se estaba frente a un efluente que requería la aplicación de una tecnología de oxidación avanzada. El Fenton térmico activado fue la que logró mayor remoción con menores dosis de químicos, al alcanzar niveles de DQO por debajo de 1000 mg/L, DBO inferiores a 500 mg/L, y SST menores también a 500 mg/L. Es importante recalcar que el estudio se llevó a cabo cuando la planta industrial aún no trabajaba a su capacidad máxima. Si tomamos como ejemplo, la muestra del día 9 de diciembre del 2014, con una DQO de 6420 mg/L, se obtuvo una DQO final de 202 mg/L, lo que aseguraba que era el método correcto de tratar el efluente.

Para incrementar el rendimiento en la remoción de los contaminantes orgánicos del efluente se implementó un tratamiento químico de cinética de reacción, mediante un proceso de reducción y oxidación avanzada a pH ácido, a una temperatura de 75 °C a 80 °C para el rompimiento de los enlaces carbono-hidrógeno-oxígeno; así como de algunos compuestos aromáticos a través del proceso Fenton térmico activado que remueve la materia orgánica. Este tratamiento es seguido de un proceso de coagulación y floculación para separar los sólidos en suspensión por sedimentación y finalmente un afinamiento mediante el paso por carbón activado, para luego descargar el efluente a la red de alcantarillado público, el cual cumple los VMA del D.S. 021-2009 del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.

2. Las observaciones en el muestreo compósito fueron validadas a partir del 14 de enero del 2015 en un sistema de producción de planta a capacidad máxima y totalmente estabilizado, en el que los valores de la DQO del efluente estaban por encima de 12.000 mg/L. Los resultados iniciales promedio fueron los siguientes:

Efluente	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Ratio DBO/DQO
Bixina + carmín	95	4,8 – 5,2	10.442,90	12.259,00	0,852

Cuadro 1. Parámetros promedio con efluente estable. Fuente: Elaboración propia.

Para tratar los efluentes, se empleó la siguiente metodología de aplicación del tratamiento Fenton en el laboratorio:

### Acidificación del efluente

Los efluentes compósito tenían un pH entre 4,8 y 5,2, que se llevó a un valor de 3 para alcanzar la condición idónea de reducción. El tiempo de reacción es de 5 minutos a 300 rpm.



Figura 3. Control de pH. Fuente: Elaboración propia

### Reducción

Una vez a pH 3 se procede a la inyección de metabisulfito de sodio, un agente reductor donador de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), con el objetivo de romper los enlaces dobles de los complejos orgánicos presentes en los efluentes de carmín y bixina. Esta etapa de activación de los complejos orgánicos fuertes permite las condiciones de detoxificación para la siguiente etapa, y obtener como subproductos dióxido de carbono y agua. El tiempo de reacción es de 15 minutos a 300 rpm.

### Inyección de sal de hierro

Se dosifica sal de hierro para acondicionar con el catión Fe<sup>2+</sup> con el fin de obtener el metal disuelto para la catálisis y formación de radical hidroxilo (<sup>•</sup>HO) en la etapa del proceso Fenton térmico. En paralelo se eleva la temperatura hasta llegar a valores entre 75 °C y 80 °C para volatilizar algunos complejos aromáticos y generar el medio ideal para siguiente etapa. El tiempo de reacción y disolución en laboratorio es de 10 minutos a 300 rpm y a pH 3.



Figura 4. Disolución de sal de hierro. Fuente: Elaboración propia

### Oxidación térmica Fenton

Luego de los 10 minutos necesarios para alcanzar una temperatura en el rango de 75 °C a 80 °C en la etapa anterior, se procede con la inyección del oxidante peróxido de hidrógeno estabilizado de elevada capacidad cinética de solubilización, presentando un aditivo inhibitor que evita su descomposición y la pérdida del activo detoxificante.

Luego el radical hidroxilo ( $^{\circ}\text{HO}$ ) actúa sobre la carga orgánica debilitada (que sufrió ruptura previa de enlaces dobles) y activada en la etapa reductora, transformándolos en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .

El tiempo de reacción es de 30 minutos por cada tanque de detoxificación (dos tanques en serie) con la aplicación fraccionada del oxidante y agitación a 300 rpm.



Figura 5. Oxidación avanzada con Fenton térmico. Fuente: Elaboración propia

### Enfriamiento

Se realiza el enfriamiento hasta temperatura ambiente para dar las condiciones adecuadas a la siguiente etapa de oxigenación residual y evitar la pérdida del oxígeno inyectado por disminución de la solubilidad a elevada temperatura. El tiempo aproximado de esta fase es de 30 minutos.

### Oxidación activada

Se procede a oxigenar la solución tratada con oxígeno comprimido para remover la pequeñísima carga orgánica que aún pueda haber quedado no detoxificada. En paralelo, se alcaliniza la solución con soda cáustica hasta llevarla a un pH de 8,5, manteniendo una velocidad de agitación promedio de 300 rpm por 15 minutos.

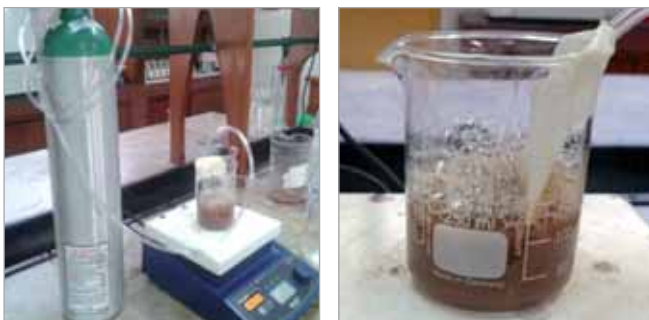


Figura 6. Oxigenación previa a la coagulación. Fuente: Elaboración propia

### Coagulación y floculación

Primero se procede a la alcalinización del efluente a pH 8,5, para luego aplicar un coagulante orgánico (polielectrolito aniónico) mezclando a 400 rpm y un floculante aniónico a una velocidad de agitación 100 rpm con el fin de generar los flocs necesarios que serán separados de una manera fácil en el sistema de separación sólido – líquido (sedimentación)



Figura 7. Homogenizador de polímero aniónico. Fuente: Elaboración propia

### Filtración

Se espera que el clarificado del sedimentador arrastre pequeños sólidos en suspensión (SST), que le den una ligera turbidez a la solución clarificada. Por ello, el over flow del sedimentador se hace pasar por un filtro pulido de retención de SST finos con el fin de no disminuir la eficiencia de remoción de la carga orgánica y del color de efluente final tratado. En las pruebas de laboratorio se utiliza papel filtro Whatman N°40 para esta etapa.



Figura 8. Proceso de filtración. Fuente: Elaboración propia

### Clarificación y pulido con carbón activado

El filtrado debe pasar por un pulido final de remoción de residuales orgánicos y de ligera turbidez a través de una columna de carbón activado para obtener agua que cumpla con los VMA del D.S. 021-2009 – Vivienda. La necesidad de esta etapa se debe evaluar en un pilotaje (pruebas en continuo).



Figura 9. Adsorción de color y carga orgánica residual. Fuente: Elaboración propia





## RESULTADOS

Se hicieron mediciones de turbidez, DQO y DBO en las muestras obtenidas en dos momentos:

- Al inicio, como parte de la caracterización del efluente.
- Al final, como producto del tratamiento.

El cuadro 2 presenta los valores de cada uno de estos parámetros en el análisis inicial y final de las muestras en las fechas consignadas.

A cada fecha (señalada por una cifra del 1 al 12) corresponden dos tipos de muestras de la misma mezcla de bixina y carmín: las tratadas con Fenton simple (B+C), denotadas con A; y las sometidas al tratamiento con Fenton térmico activado (B+C+T°), denotadas con B.

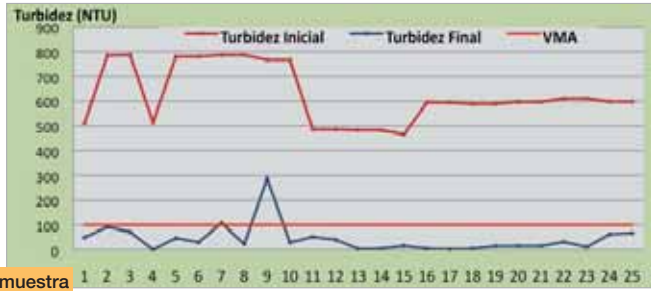
Figura 10. Producto final tratado. Fuente: Elaboración propia

FECHA	N°	MUESTRA (1 LITRO)	TURBIDEZ INICIAL (NTU)	TURBIDEZ FINAL (NTU)	DQO INICIAL (mg/L)	DQO FINAL (mg/L)	DBO INICIAL (mg/L)	DBO FINAL (mg/L)
06/01/15	1A	B + C	511	92,10	4780	1560	850	460
	1B	B + C + T°	511	49,30	4780	1250	850	320
08/01/15	2A	B + C	787	71,70	6510	2580	945	690
	2B	B + C + T°	787	12,08	6510	940	945	450
09/01/15	3A	B + C	789	46,70	6510	2190	960	530
	3B	B + C + T°	789	29,80	6510	2830	960	380
12/01/15	4A	B + C	516	108,00	6510	1100	875	510
	4B	B + C + T°	516	22,70	6510	1020	875	290
13/01/15	5A	B + C	767	287,00	6490	1070	916	504
	5B	B + C + T°	767	29,20	6490	910	916	345
14/01/15	6A	B + C	486	51,80	12060	5390	10442	2780
	6B	B + C + T°	486	40,30	12060	4670	10442	420
15/01/15	7A	B + C	483	2,99	12040	2740	9840	2520
	7B	B + C + T°	483	4,65	12040	3560	9840	413
19/01/15	8A	B + C	595	4,24	12540	1120	10345	2650
	8B	B + C + T°	595	1,71	12540	620	10345	417
20/01/15	9A	B + C	589	4,64	12510	1010	9996	2420
	9B	B + C + T°	589	14,30	12510	1080	9996	401
21/01/15	10A	B + C	597	15,00	12560	650	10220	2640
	10B	B + C + T°	597	14,30	12560	1040	10220	398
22/01/15	11A	B + C	611	31,60	12420	840	10100	2540
	11B	B + C + T°	611	10,20	12420	960	10100	395
23/01/15	12A	B + C	598	62,30	12620	940	9910	2438
	12B	B + C + T°	598	67,00	12620	950	9910	409

Cuadro 2. Resultados de análisis antes y después del tratamiento; para un litro de efluente. Fuente: Elaboración propia.

- En el cuadro destacan claramente dos tipos de efluentes:

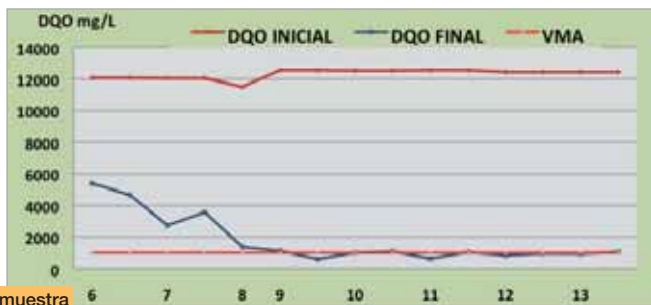
Las primeras lecturas (entre el 6 y 13 de enero) indican una DQO entre 4500 mg/L y 6500 mg/L, aproximadamente, en un periodo en el que la producción de las corrientes de carmín y bixina no operaba al 100% de su capacidad; en tanto que al regularizarse la producción de la planta (entre el 14 y 23 de enero) se obtuvieron valores iniciales de la DQO mayores a 12000 mg/L.



**Gráfica 1.** Tratamiento de efluente con turbidez final < 100 NTU. Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 2.** Tratamiento de efluente con DQO inicial < 7,000 mg/L mediante Fenton simple y Fenton térmico activado. Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 3.** Tratamiento de efluentes con DQO inicial > 10 000 mg/L mediante Fenton térmico activado. Fuente: Elaboración propia.

- En el cuadro 2 se observa que las muestras B presentan valores finales más bajos de los parámetros que las muestras A. Así también, en las gráficas 1, 2 y 3 se puede apreciar que la tecnología Fenton térmico activado aplicada durante la investigación remueve más eficazmente la carga contaminantes orgánica (DQO) y la turbidez (SST/NTU) de los efluentes analizados, en los escenarios de toma de efluentes estabilizados y no estabilizados. En ambos casos la remoción de contaminantes mediante esta tecnología logra que los niveles de estos se sitúen por debajo de los VMA del D.S. 021-2009 Vivienda que se muestran en el siguiente cuadro:

PARÁMETRO	VMA	UNIDAD
DBO	500	mg/L
DQO	1000	mg/L
Sólidos suspendidos totales/SST	500	mg/L

**Cuadro 3.** Anexo N° 1 del D.S. 021-2009-Vivienda. Fuente: Adaptado de [1]

- En el proceso Fenton térmico activado, la oxidación avanzada debe realizarse antes de la etapa de coagulación y floculación, a la cual debe seguir la de sedimentación y filtración, para luego pasar al afino en las columnas de carbón activado. En el contexto de una planta real, la alta remoción de sólidos floculados se da principalmente en el equipo de sedimentación, cuyo clarificado pasa por un filtro de arena y una columna de carbón para su posterior descarga en la red de alcantarillado, y así cumplir con los VMA del D.S. 021-2009-Vivienda. Es decir, antes de la separación sólido-líquido el efluente requiere un proceso de reducción y oxidación avanzadas, para romper las cadenas de carbono, sobre todo los dobles enlaces, anillos aromáticos y los complejos orgánicos ( $C_xH_yO_zN_w$ ) generando moléculas de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y agua principalmente.

## CONCLUSIONES

- Las muestras de efluentes obtenidas durante la segunda etapa de la investigación, en condiciones de alta producción fueron más estables (ver cuadro 2) respecto a DQO, DBO y NTU (caracterización antes de tratar), en comparación a las que se tomaron al inicio del estudio.
- El proceso de tratamiento de remoción de carga orgánica más eficiente desde el punto de vista fisicoquímico es el Fenton térmico activado, por lo que se plantea su potencial aplicación a efluentes que provienen de la producción de colorantes de alimentos, sobre todo a base de bixina y carmín.
- El proceso de oxidación avanzada debe ser complementado con un tratamiento de coagulación-floculación, un sistema de separación sólido-líquido de sedimentación-filtración y una etapa de afino con columnas de carbón activado.
- A partir de estos resultados se pueden realizar pruebas con el efluente en un pilotaje continuo a bajo caudal para luego llevar a escala lo que sería la planta real mediante un estudio de ingeniería de detalle.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Vivienda; Construcción y Saneamiento. (2009). D.S. 021-2009-Vivienda. Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.



- [2] Felows, P. (1994). Tecnología del procesado de alimentos (pp 517-520). Zaragoza: Editorial Acribia.
- [3] Ribeiro, D. (2015). Corantes naturais. Recuperado de <http://quipibid.blogspot.com/2015/01/corantes-naturais.html>
- [4] Ciencia y tecnología (2015). ¿Qué es la cochinilla, carmín o ácido carmínico (E120)? Recuperado de <http://apuntes-decienciaytecnologia.blogspot.com/2011/06/que-es-la-cochinilla-carmin-o-acido.html>
- [5] Padilla, F.; Vargas Aya, C. & Colpas, F. (2000). Degradación de cianuro en aguas residuales provenientes de la actividad minera del municipio de San Martín de Loba empleando métodos de oxidación química. Bolívar.
- [6] Alarcón C. (2014). Curso de especialización: Tratamiento de aguas residuales. Instituto de ciencias de la naturaleza, territorio y energías renovables (INTE). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

## ACERCA DE LOS AUTORES

### Huguez Enrique Ames Ramírez

Ingeniero químico por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Estudios de maestría en la Universidad de Piura. Miembro del Colegio de Ingenieros del Perú. Experiencia en la industria química y metalúrgica, principalmente en el tratamiento de aguas residuales de procedencia doméstica e industrial. Ha sido docente en la Universidad Nacional Agraria La Molina, la Universidad Continental de Ciencia e Ingeniería en Huancayo y el Instituto de Ciencias y Humanidades. Es autor de diversos textos y compendios de cursos universitarios y preuniversitarios. Ha sido asesor-consultor del Ministerio de Educación en currículo, evaluación y materiales en ciencias. Actualmente, es docente del Departamento de Minería y Procesos Químico - Metalúrgicos en Tecsup Lima; además, es consultor técnico en una reconocida empresa dedicada al tratamiento de aguas y de efluentes industriales.

 hames@tecsup.edu.pe

### María Janet Reque Córdova

Bióloga por la Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Estudios de Biología Molecular Vegetal en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Experiencia en la industria alimentaria como analista de control de calidad en la empresa Icatom S.A., como jefa de control de calidad en plantas agroexportadoras de diversos productos agrícolas, así como asesora externa en biología molecular vegetal para diversas entidades. Actualmente, trabaja en la empresa Stockholm Mining S.A.C. que ofrece soluciones integrales en el tratamiento de aguas y de efluentes industriales.

 greque@consorciostockholm.com

### César Daniel Vásquez Rodríguez

Ingeniero metalúrgico por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Estudios de diplomado en Sistemas de Gestión Integrado y Sistema de Gestión QA/QC. Miembro del Colegio de Ingenieros del Perú. Experiencia en la industria metalúrgica de fundición como supervisor en el Área de Procesos de Diseño de Sistema de Alimentación en AutoCAD, en la industria de la corrosión como supervisor de sistema de protección catódica e integridad de ductos en el Proyecto de Camisea en Malvinas Provincia de Echarate, La Convención, Cusco. Actualmente, trabaja en la empresa Stockholm Mining S.A.C. que ofrece soluciones integrales en el tratamiento de aguas y de efluentes industriales.

 cvasquez@consorciostockholm.com