

## Aplicación de tecnología de oxidación avanzada en la descontaminación de aguas residuales procedentes del empaque de banano en Tumbes

Application of advanced oxidation technology in the decontamination of wastewater from banana packing in Tumbes

John Rimaycuna R.<sup>1</sup>; Jorge Alemán L.<sup>1</sup>; Percy Neyra A.<sup>1</sup>;  
Dorian Y. Aguirre C.<sup>2</sup>; Jose L. Solis<sup>3</sup>; Gerardo J.F. Cruz C.<sup>1\*</sup>

### Resumen

El presente estudio tuvo por finalidad utilizar métodos combinados de oxidación avanzados para descontaminar aguas residuales procedentes del empaque de banano. Se realizó el muestreo aplicando la técnica no probabilística, el mismo que fue dirigido teniendo en consideración el acceso a las empresas agroindustriales, se recolectó una muestra de 20 L por empresa en horas de mayor producción dentro de las jornadas de trabajo. Los parámetros de campo evaluados fueron: Temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH y turbidez. Luego de la caracterización del agua residual, se procedió a la aplicación de los tratamientos; en los que se utilizó cuatro métodos combinados de oxidación avanzada (UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Ax, UV + TiO<sub>2</sub> + Ax, UV + TiO<sub>2</sub> + Ae, UV + TiO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Ax), durante el desarrollo del experimento se extrajo una muestra después de 1 y/o 2 horas de evaluación, las cuales se analizaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos que permitieron determinar la calidad del agua después de la evaluación. La investigación concluye que los valores determinados de los indicadores para el agua residual final no superan los valores de los estándares de calidad ambiental (ECAs) para la categoría 3- Riego y Bebida de animales; en los parámetros Conductividad eléctrica, nitritos y coliformes; y los parámetros restantes no pudo reducir el nivel de contaminación luego de la aplicación de los métodos combinados de oxidación avanzados como son la DBO, DQO, cloruros, así mismo el valor de pH y oxígeno disuelto que es inferior a los ECA-Agua.

**Palabras clave:** oxidación avanzada; empaque banano; tratamiento de agua; estándares de calidad de agua.

### Abstract

The purpose of the present study was to use advanced combined oxidation methods to decontaminate wastewater from banana packaging. The sampling was carried out applying the non-probabilistic technique, the same one that was directed taking into consideration the access to the agroindustrial companies, a sample of 20 L was collected per company in hours of higher production within the working days. The field parameters evaluated were: Temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity, pH and turbidity. After the characterization of the residual water, the treatments were applied; in which four combined methods of advanced oxidation were used (UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Ax, UV + TiO<sub>2</sub> + Ax, UV + TiO<sub>2</sub> + Ae, UV + TiO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Ax), during the development of the experiment a sample was extracted after 1 and/or 2 hours of evaluation, which analyzed physical, chemical and microbiological parameters that allowed to determine the quality of the water after the evaluation. The research concludes that the determined values of the indicators for the final residual water do not exceed the values of the environmental quality standards (ECAs) for category 3 - Animal Irrigation and Drinking; in the parameters Electrical conductivity, nitrites and coliforms; and the remaining parameters could not reduce the level of contamination after the application of the combined methods of advanced oxidation such as BOD, COD, chlorides, as well as the pH value and dissolved oxygen that is lower than the ECA-Water.

**Keywords:** Advanced oxidation; banana packaging; water treatment; water quality standards.

<sup>1</sup> Departamento Académico de Ingeniería Forestal y Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Tumbes, Ciudad Universitaria, Pampa Grande, Tumbes.

<sup>2</sup> Departamento Académico de Agroindustria, Universidad Nacional de Tumbes, Ciudad Universitaria – Pampa Grande – Tumbes.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Tupac Amaru, Rimac, Lima.

\*Autor correspondiente: [gacruz@untumbes.edu.pe](mailto:gacruz@untumbes.edu.pe) (G.J.F. Cruz).

## Introducción

La expansión económica del Perú y el creciente, y cada vez más preocupante, tema ambiental ha puesto en la cima de la preocupación social el deterioro del ambiente donde se ubican las industrias. Uno de las actividades en actual crecimiento en nuestro país y aún más en la zona norte es la actividad agroindustrial. Desde Trujillo hasta Tumbes se viene dando un crecimiento en las áreas agrícolas dedicadas a cultivos de exportación y con ello una actividad agroindustrial de empaque de productos en fresco y de transformación. Una de las operaciones comunes dentro de esta actividad agroindustrial, sobretodo dedicado al empaque y procesamiento de frutas y hortalizas, es el lavado de la materia prima, el cual se realiza utilizando grandes cantidades de agua para la eliminación de látex o resinas con importantes concentraciones de cloro para la sanitización de las mismas (Arias y Toledo, 2000). Las concentraciones de cloro utilizadas en el lavado de banano para empaque en fresco son altas, el agua utilizada debe contener cloro activo en concentraciones de 100 a 200 ppm. Este cloro residual se combina con los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes tanto en el agua usada para las actividades de desinfección, como en la superficie de las frutas formando parte de las impurezas de las mismas, produciéndose compuestos que en algunos casos suelen ser recalcitrantes y difíciles de tratar con métodos convencionales (Arias y Toledo 2000). Adicionalmente en muchos de los casos en el agua de lavado de frutas se adicionan alumbre (Zarate y Kuiper, 2013), una

solución de fungicida que actúa como cicatrizante en las zonas de la corona y previene el desarrollo de hongos durante el transporte y almacenamiento, con la finalidad de asegurar la integridad de las frutas durante el transporte a mercado de destino y su llegada al consumidor final o compuestos como cal, el thiabendazol (Moreno *et al.*, 2009 a y b) entre otros que aumentan el nivel de contaminación de estas aguas.

Esta agua de lavado de frutas se junta con las aguas del resto de etapas del proceso como el agua de lavado de equipos y pisos, luego es vertida sin ningún tratamiento previo en drenes agrícolas, campos de cultivo, desagües domésticos, entre otros, causando un impacto sobre componentes del ambiente como el agua, suelo, flora y fauna.

En el presente trabajo de investigación se utilizaron métodos combinados de oxidación avanzados para descontaminar aguas residuales procedentes del empaque de banano; las cuales se basan en la generación de radicales oxigenados (hidroxilo y otros) que actúan como agentes altamente oxidantes, capaces de oxidar gran parte de compuestos orgánicos, como por ejemplo plaguicidas (Parra *et al.*, 2002; Watts y Teel, 2005; Kusic *et al.*, 2006; Kitis y Kaplan, 2007; Oller *et al.*, 2007). La generación de radicales hidroxilo se realiza utilizando reactivos como ozono, peróxido de hidrógeno y/o dióxido de titanio que se pueden combinar además con radiación UV y UV/Vis (Zhou y Smith, 2002). Con la finalidad de descontaminar de aguas residuales del proceso de empaque de banano.

## Material y métodos

### 2.1. Muestreo y recolección de muestras

Se aplicó un muestreo dirigido a las empresas agroindustriales dedicadas al empaque de banano en las márgenes del río Tumbes en lo que concierne a los distritos de Corrales, San Jacinto y

Pampas de Hospital (CEPIBO, ORGANIA, INCA BANANA Y DOLE). Debe considerarse que la elección del muestreo dirigido responde al acceso a las empresas agroindustriales. Las muestras fueron tomadas en un balde de polietileno de primer uso, para evitar la contaminación

de las mismas. La cantidad de muestra recolectada fue de 20 L por empresa en las horas de mayor producción, dentro de la jornada de trabajo.

## 2.2. Tratamiento de las muestras

Las muestras de aguas residuales fueron sometidas a tratamientos con tecnología de oxidación avanzada, basados en procesos fisicoquímicos, capaces de producir cambios considerables en las estructuras de los contaminantes. Una vez trasladadas las muestras al laboratorio; el primer paso corresponde a la homogenización de las muestras tomadas en las 4 empresas o centros de empaque. En cuanto al proceso químico se aplicó peróxido de Hidrógeno a una concentración de 0,5 g/L y dióxido de Titanio a una concentración de 0,25 g/L; y procesos físicos como la radiación UV, agitación y aireación, en periodos de exposiciones de una a dos horas. En la tabla 1 se detallan los componentes y la codificación de cada tratamiento.

Se utilizó una lámpara de luz UV artificial (300 W), como fuente de radiación ultravioleta, contenida en una cámara oscura idónea para la exposición a radiación UV e implementada para soportar las técnicas de agitación y aeración. Una vez con la muestra ya en el

laboratorio se dejó en reposo para su sedimentación por un lapso de una hora.

## 2.3. Análisis de muestras

El análisis de las muestras se obtuvo a través del Standard Method for The Examination of Water and Wastewater, 20th edition 1998. El análisis nos permitió caracterizar el agua residual y la eficiencia de la aplicación de los tratamientos.

La determinación de los parámetros de campo: Temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH, salinidad y turbidez, se realizó con un Multi-parámetro (WTW - Multi 3630).

Para la evaluación de los parámetros químicos como cloruros (Método estándar 4500 B, método argentométrico), demanda bioquímica de oxígeno (Método estándar 5210 - B, método de prueba de DBO 5 días), demanda química de oxígeno (método del reflujo cerrado), nitratos (Método estándar 4500 NO<sub>3</sub>- E, método de Reducción de Cadmio), nitritos (Método estándar 4500 NO<sub>2</sub>- B, método Colorimétrico), fosfatos (Método estándar 4500 - P, método del ácido ascórbico). Los parámetros coliformes totales y termotolerantes (Método de los tubos múltiples) (APHA, 1992; DINAMA, 1996).

**Tabla 1.** Descripción y codificación de los tratamientos empleados

Tratamientos	Métodos de oxidación	Codificación	Tiempo de agitación (horas)
T0	Testigo	---	0
T1	Radiación ultravioleta (UV) + peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) + agitación	UV- 0,5 g/L (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )-Ax	1 2
T2	Radiación ultravioleta (UV) + dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ) dopado con paladio + agitación	UV - 0,25 g/L (TiO <sub>2</sub> Pd)-Ax	1 2
T3	Radiación ultravioleta (UV) + dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ) dopado con paladio + aireación	UV- 0,25 g/L (TiO <sub>2</sub> Pd)-Ae	1 2
T4	Radiación ultravioleta (UV) + peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) + óxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ) dopado con paladio + agitación	UV- 0,5 g/L (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> - 0,25 g/L (TiO <sub>2</sub> Pd)-Ax	1 2

## Resultados y discusión

### 3.1. Caracterización del agua residual del empaque de banano

La tabla 2 muestra las características físico-químicas y microbiológicas del agua residual del proceso de empaque de banano, donde se puede apreciar que los parámetros pH, oxígeno disuelto, cloruro, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno superan considerablemente los valores del ECA Agua categoría 3 D-1 (MINAM, 2017), excepto el pH (3,22) que se encuentra por debajo del rango del ECA agua.

### 3.2. Aplicación de Tratamientos de oxidación avanzada

La Figura 1 muestra los resultados de los parámetros físicos como el pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez durante la evaluación con cada uno de los tratamientos (T0, T1, T2, T3 y T4). Es preciso mencionar que, para el caso de pH, se reducen sus valores ligeramente para todos los tratamientos, modificándose desde el valor de 3,22 hasta a 2,8 en el caso más diferenciado, perdiendo su eficiencia de degradación, debido a que es más eficiente en medios ácidos con valores de  $3 \leq \text{pH} \leq 5$  (Párraga y Galarza, 2009); indicando que ningún tratamiento alcanza los valores establecidos por el ECA-Agua categoría 3 D-1.

En el caso de conductividad eléctrica la tendencia general es a elevarse ligeramente luego de 1 y/o 2 horas de los diferentes tratamientos. El valor inicial de la conductividad eléctrica fue de 833  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los tratamientos T1, T3 y T4 finalizado el tiempo del tratamiento presentaron valores por encima de los ECA-Agua categoría 3 D-1; excepto en el tratamiento T2 que eleva ligeramente hasta el valor de 932  $\mu\text{S}/\text{cm}$  estando por debajo del ECA-Agua.

El parámetro oxígeno disuelto, después de finalizado el tiempo de evaluación de los tratamientos, su concentración se reduce ligeramente en todos los tratamientos, incluso en el tratamiento T3, que estuvo en constante aireación. El valor inicial fue de 3,65 mg/l llegando a reducir hasta concentración de 1,58 mg/l en el caso más notable, sin embargo, ninguno de los tratamientos alcanzó la concentración mínima del ECA-Agua categoría 3 D-1.

El nivel de temperatura tiende a elevarse significativamente con la aplicación de los tratamientos, provocando una contaminación térmica, debido a que el incremento excede a los 3 °C como establece el ECA-Agua categoría 3 D-1. El valor inicial fue de 27,5 °C llegando hasta niveles de 45,2 °C luego de 2 horas del tratamiento.

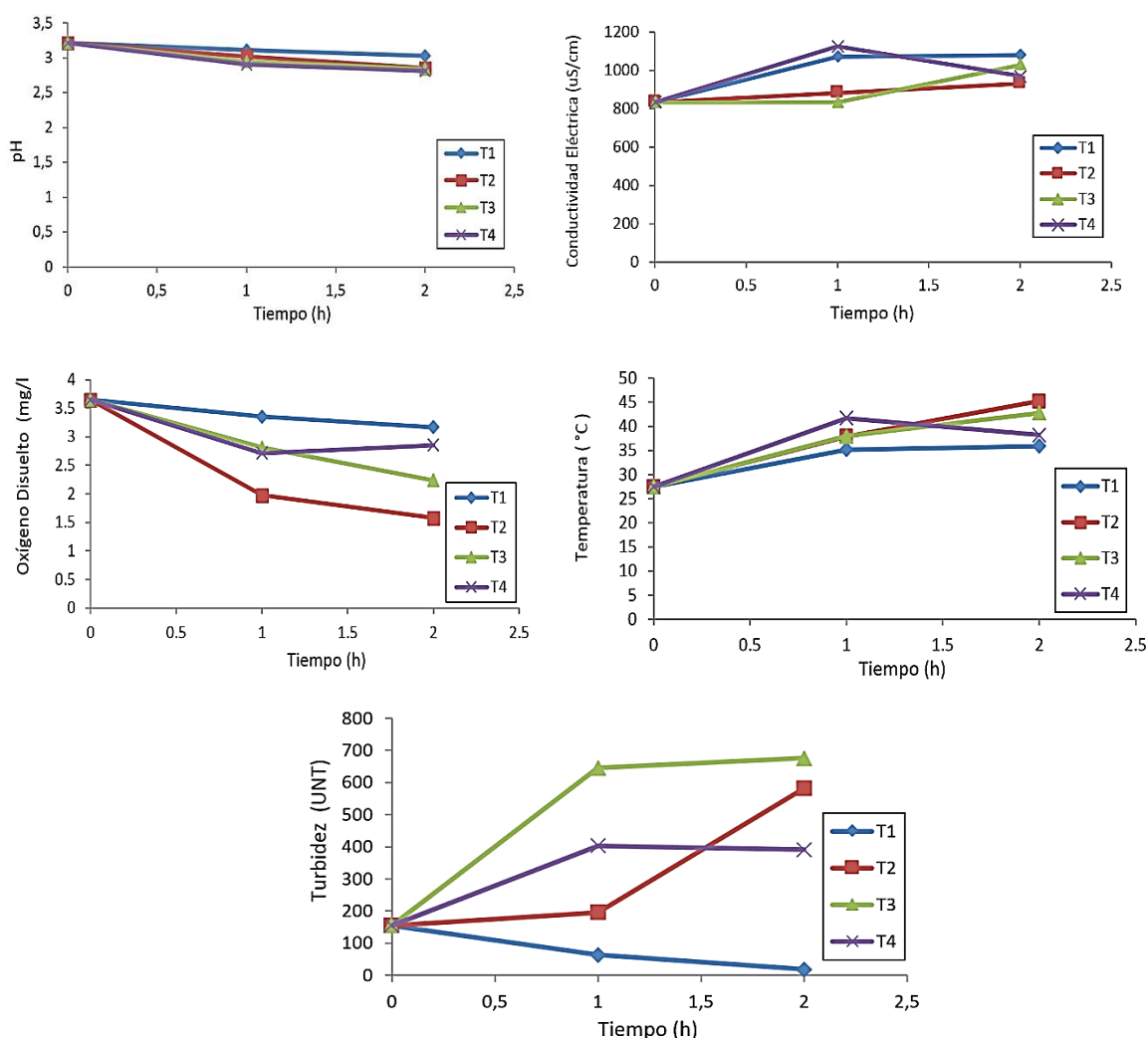
**Tabla 2.** Caracterización del agua residual del empaque de banano

Indicadores	Valor
pH (UpH)	3,22
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}$ )	833
Oxígeno Disuelto (mg/l)	3,65
Temperatura (°C)	27,5
Turbidez (UNT)	156
Cloruros (mg/l)	1559,8
Fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) (mg/l)	0,37
Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) (mg/l)	1,09
Nitritos ( $\text{NO}_2$ ) (mg/l)	0,43
Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/l)	323
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (mg/l)	266,31
Coliformes fecales (NMP/100ml)	700
Coliformes totales (NMP/100ml)	700

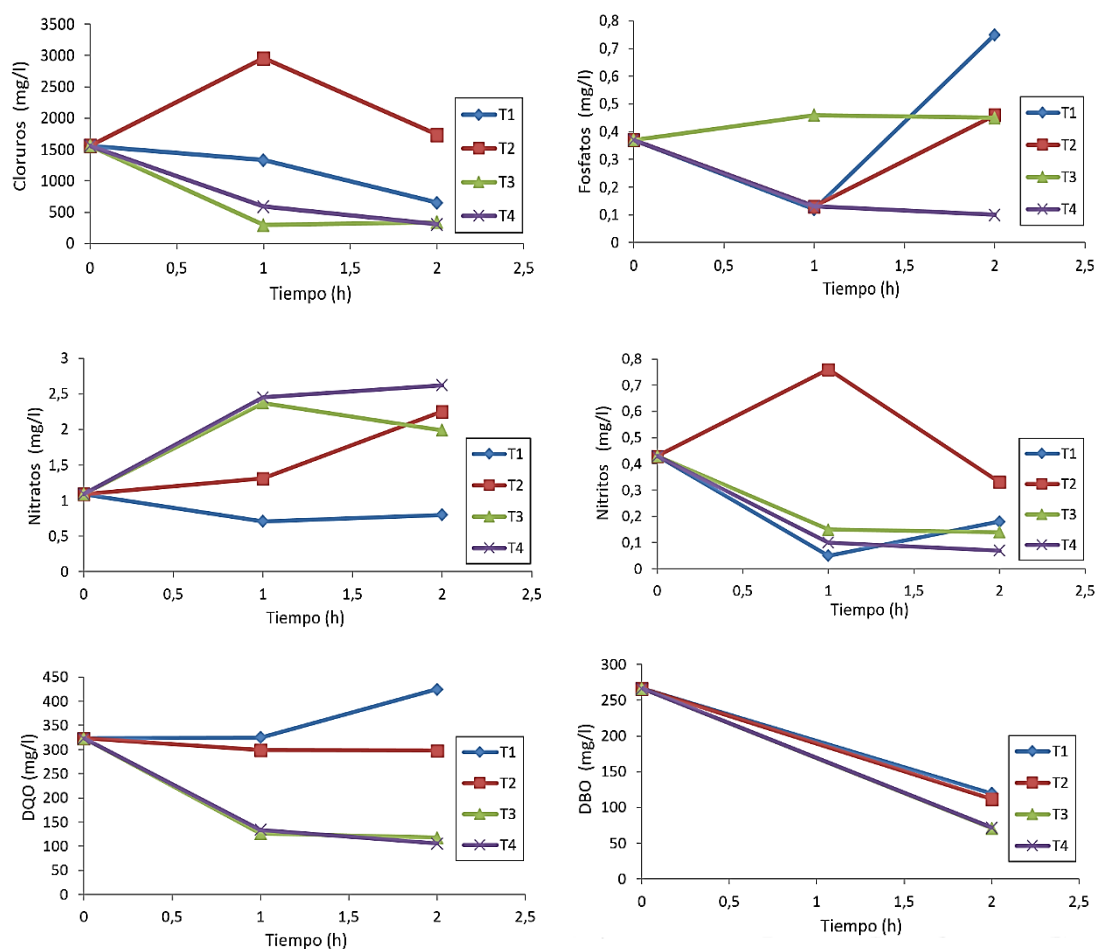
Para la turbidez el valor inicial fue de 156 NTU. El tratamiento T1 reduce los niveles de turbidez más significativo luego de dos horas de evaluación, hasta el valor de 19,4 NTU. Para el resto de tratamientos la tendencia es a subir los niveles incluso por encima del valor inicial durante el periodo de experimentación.

En la Figura 2 se observan los resultados de los parámetros químicos después de la evaluación con cada uno de los tratamientos (T0, T1, T2, T3 y T4); en los cloruros los tratamientos que más reducen su concentración son el T3 y T4 con valores de 342,66 y 307,23 mg/l, que se encuentran por debajo de los valores del ECA-Agua

categoría 3 D-1, en cambio los tratamientos restantes la tendencia es a incrementar las concentraciones de cloruros finalizadas las dos horas de evaluación. Para el caso de fosfatos después de la aplicación de los tratamientos, el tratamiento T4, mostró mejor resultado obteniendo valor de 0,10 mg/l. Los resultados del resto de tratamiento fueron muy variables, en el caso del T3 se incrementó con valor de 0,45 mg/l; para los tratamientos T2 y T1 a la primera hora se reduce los niveles de fosfatos, sin embargo, el valor registrado a la segunda hora de experimentación mostro un incremento en los niveles de fosfatos.



**Figura 1.** Variación de los parámetros físicos con la aplicación de los tratamientos de oxidación avanzada.



**Figura 2.** Variación de los parámetros químicos con la aplicación de los tratamientos de oxidación avanzada.

En los nitratos la concentración inicial fue de 1,09 mg/l. luego de dos horas de experimentación se obtuvo que el tratamiento T1 fue el único que redujo los niveles de nitratos con valor de 0,80 mg/l. Para el resto de tratamientos los valores de nitratos fueron en aumentando.

En los nitritos la aplicación de los tratamientos, reducen los niveles de concentración; el valor inicial fue 0,43 mg/l. Luego de dos horas de experimentación el tratamiento T4 obtuvo valor de 0,07 mg/L, seguido por el tratamiento T1 con valor de 0,18 mg/l; el tratamiento T1 fue el único tratamiento que aumento los niveles de nitritos fue el T2 con valor 0,33 mg/l. sin embargo las concentraciones de todos los tratamientos se encuentran por debajo de los valores del ECA-Agua categoría 3 D-1.

Para el caso del Demanda Química de Oxígeno, después de la aplicación de los

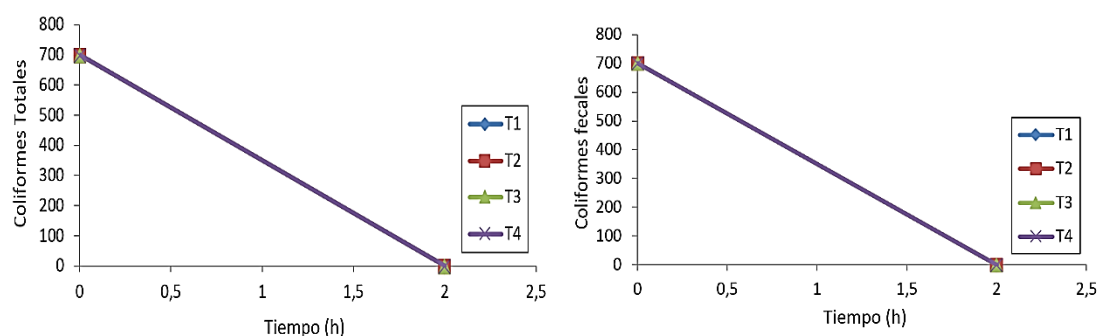
tratamientos, tienden a disminuir la concentración; el valor inicial es 323 mg/l. luego dos horas de experimentación tenemos que el tratamiento T4 redujo considerablemente los niveles, obteniendo valor de 106 mg/l, seguido por el tratamiento T3 con valor de 118 mg/l. El tratamiento T1 mostro un aumento ligero en la concentración con niveles de 425 mg/l, ninguno de los valores obtenidos se encuentra por debajo de los ECA-Agua categoría D-1.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno, con la aplicación de los tratamientos produjo una reducción de la concentración; el valor inicial es 266,31 mg/l. luego de 2 horas de experimentación tenemos que el tratamiento T3 redujo considerablemente los niveles, obteniendo el valor de 71,13 mg/l; seguido por el tratamiento T4 con el valor de 71,84 mg/l y finalmente los tratamientos T2 y T1 con

valores de 111,87 y 119,63 mg/l respectivamente; a pesar de ello ninguno de los tratamientos alcanzo los valores del ECA-Agua para la categoría 3 D-1.

En la Figura 3, los parámetros microbiológicos, coliformes totales y termotolerantes existe una eliminación

total de los microorganismos presentes, con la aplicación de cada uno de los tratamientos, reduciendo el valor de 700 NMP/100ml hasta el valor de 0 NMP/100ml, finalizado el proceso de evaluación del experimento.



**Figura 3.** Variación de los parámetros microbiológicos con la aplicación de los tratamientos de oxidación avanzada.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos de la caracterización de las aguas residuales procedentes del empaque de banano indican altos niveles de cloruros (1559,8 mg/l), demanda química y bioquímica de oxígeno (323 y 266,31 mg/l respectivamente) y de coliformes totales y fecales de (700 NMP/100 ml), y valores inferiores a los ECA-Agua categoría 3 D-1 en oxígeno disuelto (3,65 mg/l) y pH (3,22); lo que resulta en un nivel de contaminación que debe ser tratada previo vertimiento en un cuerpo receptor.

Basados en la reducción de la mayor cantidad de contaminantes, los tratamientos combinados de radiación ultra violeta, dióxido de titanio dopado con paladio y aireación (T3) y el de radiación ultra violeta, dióxido de titanio dopado con paladio, peróxido de hidrógeno y aireación (T4) son los que permitirían reducir la carga contaminante de las aguas residuales del empaque de banano. La utilización de diferentes combinaciones de oxidación avanzada para la eliminación y/o reducción de contaminantes en aguas residuales de la industria

del empaque de banano, aplicando agentes oxidantes como el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), dióxido de titanio ( $TiO_2$ ), radiación Ultra violeta (UV), Aireación (Ae) y Agitación (Ax) y varias combinaciones de ellos resultan altamente eficientes.

La tendencia del consumo de oxígeno en los diferentes tratamientos denota un consumo de la cantidad de oxígeno durante el proceso; lo que es totalmente predecible considerando que se trata de procesos de oxidación.

Se debe establecer la legislación correspondiente para evitar que las plantas de empaque de banano a nivel regional no viertan las aguas residuales en los ecosistemas artificiales o naturales aledaños, considerando la carga contaminante que contiene.

## Agradecimientos

El agradecimiento a la Universidad Nacional de Tumbes por el apoyo brindado dentro del laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente.

### Referencias bibliográficas

- APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington D.C. 937 p. Brix H.
- Arias, C.; Toledo, J. 2007. Manual de Manejo Postcosecha de Frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). Proyecto TCP/PER/6713. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-ac304s.pdf>
- Dirección Nacional de Medio Ambiente- DINAMA. 1996. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes.
- Kusic, H.; Koprivanac, N.; Loncaric, A. 2006. Minimization of organic pollutant content in aqueous solution by means of AOPs: UV- and ozone-based technologies. *Chemical Engineering Journal* 123: 127-137.
- Kitis, M.; Kaplan, S.S. 2007. Advanced oxidation of natural organic matter using hydrogen peroxide and iron-coated pumice particles. *Chemosphere* 68: 1846-1853.
- MINAM. 2017. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>
- Moreno, J.; Blanco, C.; Mendoza, R. 2009a. Buenas Prácticas Agrícolas en el cultivo del banano de exportación en la región Magdalena. Disponible en: <http://cep.unep.org/repicar/proyectos-demostrativos/colombia-1/publicaciones-colombia/cartilla-banano-definitiva.pdf>
- Moreno, J.; Candanoza, J.; Olarte, F. 2009b. Buenas Prácticas Agrícolas en el cultivo de plátano de exportación en la región de Urabá. En: <https://conectarural.org/sitio/material/buenas-practicas-agricolas-en-el-de-cultivo-de-platano-exportacion-en-la-region-de-uraba>
- Murillo, R. 2010. Caracterización de las aguas residuales de lavado del banano en Honduras. Aplicación de técnicas de oxidación avanzada para su depuración. Tesis de Doctorado en Universidad de Zaragoza.
- Oller, I.; Malato, S.; Sánchez-Pérez, J.A.; Maldonado, M.I.; Gasso, R. 2007. Detoxification of wastewater containing five common pesticides by solar AOPs-biological coupled systems. *Catalysis Today* 129: 69-78.
- Parra, S.; Malato, S.; Pulgarin, C. 2002. New integrated photocatalytic-biological flow system using supported TiO<sub>2</sub> and fixed bacteria for the mineralization of isoproturon. *Applied Catalysis. B.* 36: 131-144.
- Párraga, L.; Galarza, J. 2009. Análisis de la actividad agrícola como contaminante del agua, alternativas tecnológicas para la desinfección del agua para consumo humano en comunidades rurales y recursos legislativos para la prevención y su conservación. Tesis de Pregrado. Escuela Superior Politécnica del Litoral- Ecuador.
- Zarate, E.; Kuiper, D. 2013. Evaluación de Huella Hídrica del banano para pequeños productores en Perú y Ecuador. Disponible en: [http://www.huellahidrica.org/Reports/Zarate%20and%20Kuiper%20\(2013\)%20Water%20Footprint%20Assessment%20of%20Bananas.pdf](http://www.huellahidrica.org/Reports/Zarate%20and%20Kuiper%20(2013)%20Water%20Footprint%20Assessment%20of%20Bananas.pdf)
- Zhou, H.; Smith, D.W. 2002. Advanced technologies in water and wastewater treatment. *Journal of Environmental Engineering Science* 1: 247-264.
- Watts, R.J.; Teel, A. 2005. Chemistry of Modified Fenton's Reagent (Catalyzed H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Propagations-CHP) for In Situ Soil and Groundwater Remediation. *Journal of Environmental Engineering* 131(4): 612-622.