



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE OXIDACIÓN AVANZADA EN LA
DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES
DEL EMPAQUE DE BANANO EN TUMBES**

Elaborado por:

Bach. JORGE TEODORO ALEMÁN DE LAMA

Bach. PERCY AUGUSTO NEYRA ALEMÁN

TUMBES, PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE OXIDACIÓN AVANZADA EN LA
DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES
DEL EMPAQUE DE BANANO EN TUMBES**

Elaborado por:

Bach. JORGE TEODORO ALEMÁN DE LAMA

Bach. PERCY AUGUSTO NEYRA ALEMÁN

**TUMBES, PERÚ
2018**

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Nosotros, JORGE TEODORO ALEMÁN DE LAMA y PERCY AUGUSTO NEYRA ALEMÁN declaramos que los resultados reportados en esta tesis, son producto de nuestro trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Asimismo, declaramos que hasta donde sabemos no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En este sentido, afirmamos que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de nuestra propia autoría. Declaramos, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de nuestro propio trabajo con la dirección y apoyo de asesores de tesis y el jurado calificador, en cuanto a la concepción y al estilo de la presentación o a la expresión escrita.

Jorge Teodoro Alemán De Lama

Percy Augusto Neyra Alemán

ACTA DE REVISIÓN Y DEFENSA DE TESIS

RESPONSABLES

JORGE TEODORO ALEMÁN DE LAMA

EJECUTOR

PERCY AUGUSTO NEYRA ALEMÁN

EJECUTOR

DR. CRUZ CERRO GERARDO JUAN FRANCISCO

ASESOR

JURADO DICTAMINADOR

MG. ING. VICTOR BENJAMIN CARRIL FERNANDEZ.

PRESIDENTE

MG. BIOLOG. JORGE ECHEVARRIA FLORES

SECRETARIO

MG. ING. CESAR YOEL FEIJOO CARRILLO

VOCAL

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN.	11
2. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA.	
2.1. Antecedentes.	
2.2. Bases teórico-científicas.	
2.3. Definición de términos básicos.	
3. MATERIAL Y MÉTODOS.	
3.1. Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis.	
3.2. Población, muestra y muestreo.	
3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.	
3.4. Procesamiento y análisis de datos.	
4. RESULTADOS.	
5. DISCUSIÓN.	
6. CONCLUSIONES.	
7. RECOMENDACIONES.	
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	
9. ANEXOS	

RESUMEN

El presente estudio tuvo por finalidad utilizar métodos combinados de oxidación avanzados para descontaminar aguas residuales procedentes del empaque de banano. Para el desarrollo de la investigación se aplicó la metodología en seis pasos. Primero se definió el área de estudio identificando el sector agroindustrial de mayor acceso en Tumbes. Como segundo paso se realizó el muestreo aplicando la técnica no probabilística, el mismo que fue dirigido teniendo en consideración el acceso a las empresas agroindustriales. El tercer paso estuvo relacionado con la recolección de la muestra de 20 L por empresa en horas de mayor producción dentro de las jornadas de trabajo. La medición de parámetros de campo estuvo dada por: Temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH y turbidez. El cuarto paso corresponde a la aplicación de los tratamientos; en los que se utilizó cuatro métodos combinados de oxidación avanzada (UV + H₂O₂ + Ax, UV + TiO₂ + Ax, UV + TiO₂ + Ae, UV + TiO₂ + H₂O₂ + Ax). El quinto paso estuvo dado por el análisis de las muestras en el laboratorio entre las cuales se analizaron parámetros físicos y químicos que permitieron determinar la cantidad de cloruros, nitratos, nitritos, etc. En el sexto paso se procesó la información la que se representó a través de gráficas de comparación con la finalidad de identificar si existe alguna tendencia en cuanto a la descontaminación de agua residual. El análisis se hizo de forma individual por cada parámetro identificado. 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; así mismo reduce considerablemente la concentración inicial de fosfatos, nitratos y residuos fecales en aguas residuales del proceso de empaque de banano luego de la aplicación de los métodos combinados de oxidación avanzados.

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. For the development of the research, the methodology was applied in six steps. First, the study area was defined, identifying the most accessible agro-industrial sector in Tumbes. As a second step, sampling was carried out applying the non-probabilistic technique, the same one that was directed taking into consideration the access to agro-industrial companies. The third step was related to the collection of the sample of 20 L per company in hours of increased production within the working days. The measurement of field parameters was given by: Temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity, pH and turbidity. The fourth step corresponds to the application of the treatments; in which four combined methods of advanced oxidation were used (UV + H₂O₂ + Ax, UV + TiO₂ + Ax, UV + TiO₂ + Ae, UV + TiO₂ + H₂O₂ + Ax). The fifth step was given by the analysis of the samples in the laboratory between which physical and chemical parameters were analyzed, which allowed to determine the amount of chlorides, nitrates, nitrites, etc. In the last step, the information was processed, which was represented by comparison graphs with the purpose of identifying if there is any tendency regarding the decontamination of residual water. The analysis was done individually for each identified parameter. 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; It also considerably reduces the initial concentration of phosphates, nitrates and faecal residues in wastewater from the banana packing process after the application of advanced combined oxidation methods.

Key words: Advanced oxidation method, banana packaging, water treatment, water quality standards.

1. INTRODUCCIÓN.

La continua expansión económica de Perú y el creciente, y cada vez más preocupante, tema ambiental ha puesto en la cúspide de la preocupación social el deterioro del medio donde las industrias se ubican. Se suman a esto las crecientes presiones internacionales (convenios de mercado, inversiones sujetas a evaluación ambiental previa, etc.), que ameritan un acabado estudio del tema. Es en este aspecto donde el tratamiento de residuos o subproductos generados por las industrias cobra actual relevancia.

Uno de los rubros en actual crecimiento en nuestro país y aún más en la zona norte del mismo es el de 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 con importantes concentraciones de cloro para la sanitización de las mismas. Las concentraciones de cloro residual utilizadas en el lavado de banano para empaque en fresco, por ejemplo, se encuentran por encima de las 200 ppm de cloro residual. Estas concentraciones se logran utilizando productos químicos como el dióxido de cloro, cloro gaseoso, hipoclorito de sodio, entre otras en concentraciones elevadas.

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 tales como los trihalomentanos.

Adicionalmente en muchos de los casos en el agua de lavado de frutas se adicionan fungicidas post-cosecha 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, 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. Algunos de los parámetros encontrados en estas aguas incluyen altos niveles de demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y turbidez.

Este impacto podría incluir la introducción de compuestos tóxicos en las cadenas tróficas asociadas, así como casos de intoxicaciones agudas o crónicas. Es por ello que será de vital importancia asegurar que estas aguas sean dispuestas o reutilizadas con un previo tratamiento que permita mitigar el impacto actual de las mismas, con miras a la prevención de la contaminación ambiental.

En esta coyuntura se planteó como pregunta de investigación ¿Podrán las aguas residuales procedentes del empaque de banano ser descontaminadas utilizando tecnologías de oxidación avanzadas en Tumbes? El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general utilizar métodos combinados de oxidación avanzados para descontaminar aguas residuales procedentes del empaque de banano; y como objetivos específicos: caracterizar las aguas residuales del proceso de empaque de banano y aplicar métodos combinados de oxidación avanzados que incorporen procesos químicos y físicos para la descontaminación de aguas residuales del proceso de empaque de banano.

La hipótesis general del presente estudio está formulada de la siguiente forma: Si pueden ser descontaminadas las aguas residuales procedentes del empaque de banano utilizando tecnologías de oxidación avanzadas en Tumbes.

El presente estudio se justifica desde los siguientes puntos de vista:

- Técnico: Del presente estudio se obtendrá la base técnica, mediante la utilización de métodos de oxidación avanzados, para el tratamiento de

aguas residuales de plantas de empaque de banano, de tal forma que, aplicando el escalamiento del mismo, en el caso de ser exitoso, se tendrá un tratamiento efectivo a nivel industrial.

- Económico: Los métodos aplicados son relativamente baratos en comparación con otros métodos de tratamiento que utilizan químicos o infraestructura especializada. Se tendrá que evaluar en un futuro, pero es importante considerar la reutilización de estas aguas, acorde al tratamiento final, con la finalidad de reducir costos en el consumo del mismo.
- Ambiental: El estudio permitirá reducir el impacto ambiental de la mala disposición de las aguas residuales de las plantas de empaque de banano, evitando problemas en los ecosistemas circundantes e indirectamente la afectación de la salud humana.
- Social: Al ser el tratamiento exitoso, las empresas del rubro podrán mejorar la imagen que tienen ante la sociedad, al empezar una preocupación por el ambiente.

2. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA.

2.1. Antecedentes.

Son muchos los trabajos de investigación donde se han aplicado tecnologías de oxidación avanzadas para el tratamiento de aguas residuales con altos contenidos de cloro y otros compuestos que aumentan la demanda química de oxígeno en diferentes aguas residuales de origen industrial:

- Casierra et al (2016) aplicaron tecnologías avanzadas de oxidación (TAO) para el tratamiento de aguas residuales, la investigación abordó la desinfección de agua residual doméstica con fines de reutilización, evaluando el potencial de combinación de un proceso fotocatalítico solar que utiliza peróxido de hidrógeno (UV solar/H₂O₂) con un sistema de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal (HC FSSH). Sus resultados indicaron que es posible obtener un grado de desinfección de 99.999% de coliformes fecales y totales cuando se acoplan la TAO y el sistema biológico con un tiempo de retención de tres días en el HC FSSH y cinco horas en el fotorreactor.
- Kumar et al (2011) aplican la oxidación fotocatalítica de un efluente blanqueador (solución de cloro libre elemental) con un tratamiento combinado de UV/TiO₂ para reducir la carga ambiental. El efluente fue generado en el laboratorio dióxido de cloro para el blanqueado y la extracción alcalina de una mezcla de pulpa de madera kraft bajo condiciones controladas. La fotocatalisis fue aplicada bajo radiación ultravioleta con 0,5 g/l de TiO₂ a un pH de 7,0 por 4 horas en un reactor. Una remoción de hasta 46,3% de demanda bioquímica de oxígeno, 64,2 % de demanda química de oxígeno y 88,3% de color.
- Dincer et al. (2008) realizan un estudio donde combinan diversos métodos de oxidación avanzada tales como H₂O₂/Fe⁺², UV/H₂O₂/Fe⁺² y UV/H₂O₂ en el tratamiento de aguas residuales de la industria del

petróleo (refinería). Esta agua básicamente tiene alta contaminación tal como 21000 mg/L de demanda química de oxígeno, 8000 mg/l de DBO, 1140 mg/l de aceites y grasas, 37000mg/l de sólidos totales disueltos y 2580 mg/l de sólidos suspendidos. La eficiencia de remoción de DQO ($DQO/H_2O_2=1/2(w/w)$) fue 90%, 55% y 39% cuando la DQO inicial fue 1050, 4200 y 21000 mg/l, respectivamente mediante dilución del agua residual.

- Gil et al (2006) valoraron la posibilidad de usar técnicas evolucionadas de oxidación como fotocatalisis heterogénea ($TiO_2/H_2O_2/UV$) y fotocatalisis homogénea ($FeSO_2/H_2O_2/UV$), para las aguas residuales resultantes del proceso de producción de bebidas isotónicas. Estos estudios fueron realizados a escala de laboratorio en un reactor cilíndrico parabólico compuesto, en operación semibatch. Con el objetivo de verificar la mineralización de los compuestos se usaron técnicas habituales y avanzadas para el rastreo del proceso, tales como COT, DBO, DQO. Para el análisis de la reducción de color se aplicaron técnicas espectrofotométricas. Se exploraron los efectos de pH, concentración de catalizador y concentración de peróxido de hidrógeno, mediante un diseño de experimentos de superficie de respuesta. Los adecuados parámetros obtenidos fueron, pH 3, 0,286 g/L de catalizador TiO_2 y concentración de peróxido de hidrogeno 1,0204 g/l con un porcentaje de decoloración de 97,88 %.
- Vogelpohl & Kim (2004) determina que las tecnologías avanzadas de oxidación son factibles de usar en el tratamiento de diversos tipos de aguas residuales con compuestos orgánicos tóxicos en pequeñas concentraciones y sin la generación de compuestos secundarios peligrosos.
- Perkowski y Kos (2003) utilizan diferentes combinaciones de oxidación avanzada para la eliminación de colorantes en aguas residuales de la industria textil utilizando agentes oxidantes como el ozono, peróxido de hidrogeno, radiación UV y gama y varias combinaciones de ellos. La más

efectiva versión de los procesos de oxidación avanzados utilizados fue la combinación de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3$, llegando a la cercana decoloración del agua residual.

- Garces et al. (2004) hace un recuento de los métodos de oxidación avanzada usados en el tratamiento de aguas residuales de origen urbano, industrial y agrícola, resaltando el empleo de la energía solar en la fotocatalisis para el tratamiento de las mismas.
- Arroyave et al (2008) obtuvieron un 100 % de remoción del colorante tartrazina para la mezcla de oxidación química mediante el empleo de 0 mg/L de TiO_2 y 0,4 %v/v del agente oxidante peróxido de hidrógeno, además de las combinaciones experimentales del proceso fotoquímica de la catálisis heterogénea con los ensayos experimentales de 50 mg/l de TiO_2 y 0,2 %v/v H_2O_2 y 50 mg/l de TiO_2 y 0,4 %v/v H_2O_2 para un porcentaje de remoción igual al 100 %.
- En el estudio desarrollado por Coleman et al. (2001) se logra la remoción de contaminantes en fuentes de agua usando técnicas de oxidación avanzada, en particular fotocatalisis con dióxido de titanio. Los contaminantes degradados fueron 1 - 4 dioxinas, lográndose resultados satisfactorios
- Navarro et al (2005) degradan contaminantes de aguas residuales de la industria de vino por oxidación catalítica avanzado (fotocatalisis). Encontrando que el sistema $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2$ produce alta eficiencia en el tratamiento.
- Sarathy & Mohseni (2010) aplican con éxito la oxidación avanzada basada en una combinación de radiación UV y H_2O_2 en aguas superficiales para oxidar la materia orgánica natural existente en ellas y evitar la potencial formación de trihalometanos.

2.2. Bases teórico-científicas.

2.2.1. Aguas residuales

Según OEFA (2014) Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

Para Espigares y Pérez (S/F) Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.

2.2.1.1. Clasificación

Para la OEFA (2014), las aguas residuales se clasifican en tres tipos:

a. Aguas residuales domésticas

Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.

b. Aguas residuales municipales

Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

c. Aguas residuales industriales

Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

2.2.2. Tecnologías o procesos de oxidación avanzada

Según Domèbech, Jardim y Litter (2012) define a los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs “Advanced Oxidation Processes”) como procesos fisicoquímicos encargados de originar cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. El concepto fue inicialmente establecido por Glaze y colaboradores, quienes definieron los POAs como los procesos que comprenden la generación y uso de especies transitorias poderosas , fundamentalmente el radical hidroxilo (HO). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. (Legrini, Oliveros y Braum, 1993).

2.2.3. Indicadores utilizados en la caracterización de aguas

Los indicadores de calidad de aguas se dividen en físicos, físico-químicos, bioquímicos, químicos y microbiológicos. Dentro de los parámetros indicadores físicos se tiene el color, olor y la turbidez principalmente, mientras que dentro de los fisicoquímicos se tiene a la temperatura, pH, potencial redox, conductividad eléctrica y sólidos, dentro de los bioquímicos se consideran el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno. En el grupo de los químicos podemos encontrar metales pesados, hidrocarburos, nutrientes y pesticidas y en los microbiológicos se incluyen los coliformes totales y fecales, parásitos entre los más importantes (Carranza, 2001).

Los contaminantes comunes del agua son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos, coliformes fecales, pH, nitrógeno amoniacal, fosforo, aceites y grasas y cloro residual (Viessman y Hammer, 2005).

- **Temperatura**

La temperatura es un indicador importante sobre todo en el caso de cuerpos receptores tales como el mar, lago, ríos, etc., debido a que la temperatura tiene efecto inverso sobre la solubilidad del oxígeno disuelto (es decir a mayor temperatura menor solubilidad del oxígeno); y por otro lado tiene un efecto directamente proporcional sobre el metabolismo de los organismos vivientes que en su mayoría en este tipo de cuerpos son poiquilotermos, es decir que no pueden regular por si solos su temperatura corporal, dependiendo de la temperatura del medio. Además, al aumentar la temperatura, aumenta la solubilidad de las sales, produciendo cambios de la conductividad y el pH (Murgel, 1984).

- **pH**

El pH es una medida convencional de la acidez o basicidad de soluciones acuosas. Vertimientos ácidos, $\text{pH} < 6$ en corrientes de agua con poca alcalinidad originan reducciones del pH del agua natural menor a los valores de tolerancia de las especies acuáticas (pH entre 5 y 9), de igual forma ocurre con vertimientos alcalinos $\text{pH} > 9$. Los vertidos de pH ácido, disuelve los metales pesados y el pH alcalino los precipitan (Glynn, 1999).

- **Potencial oxido reducción (Eh)**

El potencial redox es un parámetro que describe la intensidad redox preponderantes en el agua, y da la actividad hipotética de un electrón en el equilibrio. Mide la tendencia relativa de una solución para donar o aceptar electrones. Un potencial redox alto indica una tendencia hacia la oxidación, mientras que un potencial bajo una tendencia hacia la reducción (Harrison, 1999).

La medición del potencial redox representa la relativa intensidad de la condición oxidante reductora de la solución y su valor es

proporcional al del pH. Los procesos redox controlan los procesos químicos naturales e indican los cambios en las propiedades del agua debido a los procesos biológicos aerobios o anaerobios. (Seoanez, 1999).

Spiro y Stigliani (2004) afirman que las reacciones redox proporcionan la energía necesaria para el sustento y desarrollo de la vida. En estos procesos se produce una transferencia electrónica entre moléculas acompañada de desprendimiento de energía. Los microorganismos han desarrollado a base de proteínas y membranas, una complicada maquinaria para canalizar dicha energía a través de los ciclos bioquímicos. En medios aeróbicos, el proceso redox más importante es la respiración, donde la materia orgánica (CH_2O) es oxidada (O_2) para dar como productos CO_2 y agua; sin embargo, los microorganismos han desarrollado otros mecanismos de obtención de energía según las condiciones del medio, así cuando la concentración de oxígeno molecular del agua o del suelo disminuye, como ocurre por ejemplo en suelos inundados y humedales, el nitrato disponible se convierte en el mejor oxidante. Las bacterias desnitrificantes consumen nitrato y emiten nitrógeno molecular y dióxido de nitrógeno. En suelos agrícolas la desnitrificación conduce al consumo del 20 % del nitrógeno suministrado como fertilizante. Las bacterias desnitrificantes también son activas en ríos altamente contaminados, o estuarios donde se produce una acumulación de materia orgánica.

Bajo condiciones anaeróbicas a potenciales redox alrededor de -200 mV, y en presencia de bacterias metanogénicas como las presentes en los pantanos, áreas inundadas, cultivo de arroz, el carbono parcialmente reducido origina metano además de CO_2 (Spiro y Stigliani, 2004).

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad es un parámetro cuyo valor está relacionado y refleja el nivel de mineralización del agua y su producción potencial. El

aumento de la conductividad de las aguas naturales influye en la productividad de los ecosistemas (Murgel, 1984).

- **Oxígeno disuelto**

El Oxígeno disuelto indica la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto (O_2) en una solución acuosa. El oxígeno se introduce en el agua mediante difusión desde el aire, por aeración (movimiento rápido) y como un producto de desecho de la fotosíntesis (Seoanez, 1999).

En el agua el oxígeno se consume rápidamente debido a la descomposición de la materia orgánica (CH_2O). A menos que el agua se reoxigene eficazmente, como en el caso de que exista un flujo turbulento, pierde rápidamente oxígeno y no es capaz de sostener formas de vida acuática. Además de la utilización del oxígeno por los microorganismos que metabolizan la materia orgánica, el oxígeno en el agua puede ser consumido para la bio-oxigenación de material nitrogenado y por la oxidación química o bioquímica de agentes reductores como Fe^{2+} y SO_3^{2-} . La concentración de oxígeno en el agua es inversamente proporcional a la temperatura (Manahan, 2007).

- **Cloruros**

Siendo el cloruro uno de los aniones inorgánicos primordiales en el agua natural y residual. El sabor salado del agua potable emanado por el cloruro es variable y depende de la composición química del agua. Aunque el sabor se percibe mucho más si el catión predominante en el medio es el sodio, y se percibe mucho menos si el catión es calcio o magnesio. En las aguas residuales se concentran los cloruros debido a que el $NaCl$ es muy habitual en la dieta y muchas veces no es detectado por el sistema digestivo. La concentración elevada de cloruro puede malograr los conductores y estructuras metálicas, además de afectar el crecimiento vegetal por la salinidad de los suelos. (Chang, R. 2007).

- **Nitratos**

Son compuestos inorgánicos compuestos por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es NO₃. El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO₂). (Organización Mundial de la Salud, 2006)

La reducción de nitrato a nitrito ocurre en la saliva y en otras partes del organismo incluyendo el estómago. La intensidad de esta transformación es inversamente proporcional a la acidez del medio.

- **Nitritos**

Los nitritos (sales de ácido nitroso, HNO₂) se convierten de forma natural a partir de los nitratos, sea por reducción bacteriana o por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos y terrestres.

Se sabe que el ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Este es bastante reactivo y suele actuar como agente oxidante y reductor, es por ello que se encuentra sólo en cantidades adecuadas en condiciones de baja oxigenación. Esto es lo que permite que los nitritos se conviertan fácilmente para dar nitratos y que, usualmente, estos últimos prevalezcan en las aguas, tanto subterráneas como superficiales. Esta reacción de oxidación se puede efectuar en los sistemas biológicos y también por factores abióticos. (Barrenechea, 2004)

- **Demanda bioquímica y demanda química de oxígeno**

En cuanto al indicador DBO₅, nos indica la cantidad de materia orgánica presente en el agua y está definido como la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica biodegradable (Manahan, 2007).

La Demanda Química de Oxígeno conocida por sus iniciales como

“DQO”, es una medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos, por medio de la acción de agentes fuertemente oxidantes en un medio ácido y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/L). Mientras que la materia orgánica se oxida hasta llegar a dióxido de carbono y agua, el nitrógeno orgánico se transforma en amoníaco. La DQO aprueba realizar evaluaciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que también es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en el proceso biológico de degradación de la materia orgánica en el agua. El vocablo degradable puede referenciarse como la expresión de la materia orgánica que puede ser alimento para las bacterias; es decir, al aumentar el DBO, aumenta el grado de contaminación. Por ende, este indicador se corresponde de forma directa con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), relacionado a las descargas de materia orgánica y otros. La DQO se manifiesta en los cuerpos de agua y en los efluentes de aguas domésticas y plantas industriales, pero no es un indicador del carbono orgánico total dentro del cuerpo de agua, esto debido a que unos compuestos orgánicos no son oxidados por el dicromato de potasio, mientras que otros compuestos inorgánicos sí lo son (Ruiz et al, 2006).

Ruiz et al (2006) afirma que la correspondencia entre DBO₅ y DQO es significativa, dado que si el valor del índice DBO₅/DQO es alto existe gran proporción material biodegradable (O₂ disponible), mientras que si el valor del índice es bajo entonces existe pequeña cantidad de material biodegradable (poco O₂ disponible). Orozco et al (2005) afirma que valores de la relación DBO₅/DQO mayores a 0,6 indican que la presencia de materia orgánica de carácter biodegradable en esas aguas no es importante predominando las de naturaleza orgánica biodegradable, mientras que valores menores a 0,2 indican la presencia de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable.

Existe una relación entre el Eh y la DBO, de tal forma que el potencial redox disminuye a medida que aumenta el valor del DBO

(Spiroy Stigliani, 2004).

- **Coliformes termotolerantes o fecales**

Es sabido que el agua contaminada con residuos fecales presenta relación con la transmisión de agentes patógenos por el agua. Es este motivo, el que precisa métodos sensibles que faciliten evaluar el grado de contaminación fecal.

Coliformes Termotolerantes se denominan a algunos miembros del grupo de bacterias Coliformes Totales que se encuentran relacionados fuertemente con la contaminación fecal, y que antes se les conocía como Coliformes Fecales. Estos Coliformes usualmente no se multiplican en los ambientes acuático y crecen a una temperatura que inhabilita el crecimiento de los Coliformes no tolerantes, esta temperatura de incubación es de 44,5 °C.

Los Coliformes Termotolerantes son evaluados por pruebas simples, de bajo costo y usadas generalmente en los programas de supervisión de la calidad del agua. Generalmente, ¡las técnicas de análisis conocidas son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana; aunque actualmente se ofertan otras técnicas más avanzadas, pero el uso de las técnicas tradicionales está aprobado por los estándares internacionales.

A este grupo de Coliformes Termotolerantes pertenecen la *Escherichia* y ocasionalmente la *Klebsiella*. (Aurazo, 2004).

- **Coliformes totales**

El total de bacterias coliformes (o «coliformes totales») encierra una gran variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes dedicados a proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y provocando ácido o aldehído en 24 h a 35–37 °C.

2.2.4. Tratamientos de aguas residuales

2.2.4.1. Tratamiento con Oxidación química

La oxidación química utiliza sustancias químicas denominadas oxidantes para combatir la contaminación en los suelos y en las aguas subterráneas. Los oxidantes facilitan la transformación de las sustancias químicas dañinas en otras inofensivas, como el agua y el dióxido de carbono o anhídrido carbónico. La oxidación química puede eliminar diversos tipos de sustancias químicas, como combustibles, solventes y plaguicidas. (USEPA, 2001).

Las aguas residuales industriales o las aguas subterráneas contaminadas usualmente presentan sustancias orgánicas no biodegradables. Entre estas sustancias se encuentran, por ejemplo, los hidrocarburos clorados. Estas sustancias se suelen oxidar químicamente, provocando así su eliminación. Durante una oxidación se encuentran siempre dos elementos: la sustancia a oxidar y el oxidante. Mientras que el oxidante capta electrones, reduciéndose, por otro lado, la sustancia a oxidar concede los electrones.

Esta oxidación de sustancias orgánicas se da por etapas, con creación de productos intermedios. Para el caso de oxidación completa de sustancias orgánicas, éstas se convierten en los productos finales inorgánicos, agua y dióxido de carbono.

Cuadro Nro. 1: Comparacion de diferentes oxidantes quimicos

Oxidantes	Ventajas	Desventajas
Cloro y dióxido de cloro	Barato	Aumento de sales Produce derivados clorados No oxida hasta CO ₂
Permanganato de potasio	No produce derivados clorados	Caro No oxida todos los compuestos Genera fangos
Oxígeno a altas presiones y temperaturas	Alta eficiencia. No produce residuos	Sistemas sofisticados
Aire	Barato	Baja eficiencia
Ozono	No produce residuos	Caro. No oxida todos los componentes
Agua oxigenada	Alta eficiencia Bajos niveles de residuos	Reacción lenta a temperatura y presión ambientes

Fuente: Oliver (1999)

En el cuadro siguiente a su vez se muestran los potenciales de oxidación de los oxidantes más utilizados, lo cual permite complementar la información disponible en el cuadro anterior para tener una visión general de los compuestos químicos utilizados.

Cuadro Nro. 02: Potenciales de oxidación de algunos compuestos

Oxidante	Potencial
Flúor	3,06 V
Radical OH	2,80 V
Ozono	2,07 V
Ion permanganato	1,77 V
Agua oxigenada	1,67 V
Dióxido de cloro	1,50 V
Cloro	1,36 V

Fuente: Vogelpohl & Kim (2004)

2.2.4.2. Tratamiento con tecnologías avanzadas de oxidación (TAOs)

Las TAOs se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Los procesos avanzados de oxidación incluyen la procreación y uso de especies transitorias fuertes, especialmente el radical hidroxilo ($\text{HO}\cdot$). Este radical puede ser formado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y tiene una alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Algunos TAOs, como la denominada fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas, acuden además a reductores químicos que admiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados.

Las TAOs son fundamentalmente útiles como pre-tratamiento antes de un tratamiento biológico para contaminantes resistentes a la biodegradación o como proceso de post tratamiento para realizar un pulido de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores. Los procesos involucrados tienen una mayor factibilidad termodinámica y una velocidad de oxidación muy aumentada por la intervención de radicales, principalmente el radical hidroxilo, $\text{HO}\cdot$. Esta especie contiene propiedades adecuadas para arremeter virtualmente a todos los compuestos orgánicos y reaccionar 106-1012 veces más rápido que oxidantes alternativos como el O_3 .

En el cuadro siguiente se observan las tecnologías avanzadas de oxidación disponibles, pudiéndose dividir en procesos no fotoquímicos y procesos fotoquímicos.

Cuadro N° 03: Tecnologías avanzadas de oxidación

<i>Procesos no fotoquímicos</i>	<i>Procesos fotoquímicos</i>
Ozonización	Ultravioleta de vacío.
Ozonización con H ₂ O ₂ /O ₃ .	UV/H ₂ O ₂ .
Procesos Fenton (Fe ²⁺ /H ₂ O ₂) y relacionados	UV/O ₃
Oxidación electroquímica	Foto-Fenton y relacionadas
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones	Fotocatálisis heterogénea:
Plasma no térmico	- Con semiconductores.
Descarga electrohidráulica y ultrasonidos	- Con sensibilizadores orgánicos o complejos de metales de transición.
Oxidación en agua sub y supercrítica	

Fuente: Pey (2010)

Las principales ventajas de estos métodos son las siguientes:

- No sólo modifican de fase al contaminante, sino que lo convierten químicamente.
- Usualmente se logra la mineralización completa (destrucción) del contaminante. En cambio, las tecnologías convencionales, que no usan especies muy fuertemente oxidantes, no logran oxidar por completo la materia orgánica.
- Comúnmente no producen barros que luego requieren de un proceso de tratamiento y/o disposición.
- Son muy ventajosos para contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, especialmente el biológico.
- Se utilizan para tratar contaminantes a muy baja concentración (por ejemplo, ppb).
- No se forman subproductos de reacción, o se forman en baja concentración.

- Son excelentes para minimizar la concentración de compuestos formados por pre tratamientos alternativos, como la desinfección.
- Usualmente, optiman las propiedades organolépticas del agua tratada.
- En la mayoría de los casos, consumen menos energía que otros métodos (por ejemplo, la incineración).
- Facilitan la transformación de contaminantes refractarios en productos tratables luego por métodos más económicos como el tratamiento biológico.
- Descartan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro.

2.3. Definición de términos básicos.

2.3.1 Agua:

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales.

2.3.2 Peróxido de hidrógeno:

El peróxido de hidrógeno, también conocido como agua oxigenada, es un producto químico muy reactivo compuesto por hidrógeno y oxígeno (Green Facts, 2018).

2.3.3 Dióxido de Titanio:

El dióxido de titanio (TiO_2) es un sólido blanco insoluble no tóxico. Se encuentra en forma oscura, o de color castaño, conocida como rutilo. Este mineral contiene un 98% de titanio, mientras que no presenta impurezas y es de color blanco. Se usa en procesos de oxidación avanzada y como pigmento blanco en recubrimientos y en alimentación, Pascual Bolufer (2014)

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Localidad y período de ejecución.

Localidad: Provincia de Tumbes

Período de ejecución: Seis meses.

3.2. Tipo y diseño de investigación.

El tipo de investigación aplicada para el presente estudio hace referencia a un estudio experimental. Según Fidias y Arias (2012), define la investigación experimental como “un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”.

3.3. Población, muestreo y muestra.

3.3.1. Población

La población estuvo determinada por los centros de empaque de banano asentados en la Región Tumbes.

3.3.2. Muestreo

Se aplicó un muestreo dirigido teniendo en consideración el funcionamiento y acceso a las empacadoras de banano en Tumbes.

3.3.3. Muestra

Estuvo determinada por cuatro empacadoras dedicadas al rubro. (CEPIBO, ORGANIA, INCA BANANA Y DOLE).

3.4. Material y métodos

3.4.1. Material

3.4.1.1. Materiales de campo.

- Libreta de campo

- Bidón de polietileno

3.4.1.2. Materiales de laboratorio.

- Probetas
- Pipetas
- Vaso de precipitación
- Fiolas
- Matraz
- Espátula
- Bureta
- Pizeta
- Lámpara UV
- Cámara oscura para la exposición a radiación UV
- Frascos Winkler de 300 ml.
- Columna de reducción de 10 ml.

3.4.1.3. Equipos

- Navegador GPS (Garmin SC Map 62.)
- Destilador (GFL – 2004)
- Multiparámetro (WTW – Multi 3630 IDS SET G)
- Espectrofotómetro (Merck – Spectroquant)
- Agitador magnético (Velp científica – are heating magnetic stirrer)
- Aireador
- Turbidímetro (Lovibond – turbiCheck)
- Incubadora para DBO (VELP SCIENTIFICA – FOC 225L)

3.4.1.4. Reactivos

- Peróxido de Hidrógeno (Merck pa)
- Dióxido de Titanio dopado con paladio al 5% (Merck pa)

3.4.2. Métodos

La metodología aplicada en el presente estudio estuvo conformada de 6 etapas:

3.4.2.1 Definición del área de estudio

El área considerada en el presente estudio comprende las aguas residuales de 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.

3.4.2.2 Muestreo

Se aplicó un muestreo dirigido, considerando 4 empresas del rubro (CEPIBO, ORGANIA, INCA BANANA Y DOLE). Debe considerarse que la elección del muestreo dirigido responde al acceso a las empresas agroindustriales.

3.4.2.3 Recolección de Muestras

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.

3.4.2.4 Aplicación del tratamiento

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. 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 y dos horas. Estos tratamientos se detallan a continuación:

Cuadro N° 04: Caracterización del agua residual derivado del empaque de banano.

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

Fuente: Elaboración Propia

Debe tenerse en consideración que como fuente de radiación ultravioleta se utilizó luz artificial (Lámpara de luz UV artificial, 300 W,) contenida en una cámara oscura idónea para la exposición a radiación UV e implementada para soportar las técnicas de agitación y aeración. Ver imagen 01

Imagen 01: Cámara oscura para la exposición a radiación UV.



Una vez con la muestra ya en el laboratorio se dejó en reposo para su sedimentación por un lapso de una hora.

3.4.2.5 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.

A. Medición de los parámetros de Campo

Los parámetros de campo medidos son: Temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH y turbidez. Para su determinación se tomó una muestra del agua luego se colocaron los electrodos correspondientes para cada parámetro.

✓ Análisis físicos

Los parámetros temperatura, pH, conductividad eléctrica se determinaron con ayuda del equipo multiparámetro y la turbidez se realizó con el turbidímetro, estos parámetros fueron los primeros en determinarse, para cada tratamiento.

B. Medición de los parámetros de Laboratorio

Los análisis microbiológicos de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Salud Ambiental de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental; los análisis físicos químicos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Tumbes. Excepto la demanda química de oxígeno que se realizaron en el Laboratorio de hidráulica de la Universidad de Piura.

Todos los análisis se realizaron siguiendo los procedimientos del manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales del APHA.

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. Luego esta agua homogenizada se tomaron 500 ml que fueron caracterizados en base a su calidad fisicoquímica y microbiológica. Los parámetros fisicoquímicos a analizar del agua residual serán: pH, Eh, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Los parámetros microbiológicos a tomar en cuenta serán los coliformes totales y los coliformes fecales o termotolerantes.

✓ **Análisis químicos**

a) Determinación de Cloruros (Método estándar 4500 B)

La determinación de cloruros estuvo dada por el método Argentométrico, de acuerdo a lo indicado en el Standard Method for The Examination of Water and Wastewater, 20th edition 1998.

Se tomaron 30 mililitros de la muestra en un matraz, luego se añaden 5 gotas de indicador de K_2CrO_4 (Cromato de Potasio) al 5% se agito suavemente para mezclar, después se titula con $AgNO_3$ (Nitrato de Plata). Hasta obtener un color rojizo, se anotó el gasto del nitrato de plata para luego hacer los cálculos.

Fórmula para el cálculo de cloruros

$$\text{ppm Cl}^- = \text{VGT} \times \text{N} \times 35,45 \times 1000 / \text{Vm}$$

Donde:

VGT =Volumen gastado de Titulante, ml

N= Normalidad del Titulante, N

Vm = Volumen de muestra titulada, ml

b) Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (Método estándar 5210 - B)

La determinación de demanda bioquímica de oxígeno se obtuvo aplicando el método de Prueba de DBO 5 días, de acuerdo a lo indicado en el Standard Method for The Examination of Water and Wastewater, 20th edition 1998.

Se procedió a llenar los frascos winkler con la muestra dos repeticiones por muestra después se agregó 0,3 ml de las soluciones (Solución amortiguadora de fosfato, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico), después se agitaron los frascos para homogenizar repetidas veces; finalmente se determinó el oxígeno disuelto inicial en uno de los frascos winkler y el otro se incubo por 5 días a 20 °C.

Luego de 5 días se mide el oxígeno disuelto final.

Fórmula para el cálculo de DBO_5

$$\text{DBO}_5 = \frac{(\text{ODi} - \text{Odf}) \times (1 - P)}{P \times 1}$$

Donde:

P = dilución en %

ODi = Oxígeno disuelto inicial

ODf = Oxígeno disuelto final

c) Determinación de Nitratos (Método estándar 4500

NO₃- E)

La determinación de demanda de Nitratos se obtuvo aplicando el método de Reducción de Cadmio, de acuerdo a lo indicado en el Standard Method for The Examination of Water and Wastewater, 20th edition 1998.

- Se tomaron 25 ml de la muestra, después se añadieron 75 ml de la solución NH₄Cl - EDTA y mezclar.
- Vaciar la muestra bien mezclada dentro de la columna de reducción y coleccionar en un tiempo de 7 a 10 ml/min. Descartar los primeros 25 ml coleccionar el resto en el frasco original de la muestra.
- No es necesario lavar la columna entre muestras. Mantener la columna de Cu-Cd en esta solución y nunca dejar secar.
- Luego de pasar la muestra por la columna, medir 50 ml de la muestra obtenida en el matraz, después agregar 2 ml de reactivo de color y mezclar.
- Esperar entre 10-30 minutos luego de agregarle

el reactivo de color, depositar en la cubeta de 10 mm la muestra limpiar cuidadosamente los costados de la cubeta.

- Luego de haber seleccionado el método de medición colocar la cubeta dentro del equipo y tomar la lectura.

d) Determinación de Nitritos (Método estándar 4500 NO₂- B)

La determinación de demanda de Nitritos se obtuvo aplicando el método Colorimétrico, de acuerdo a lo indicado en el Standard Method for The Examination of Water and Wastewater, 20th edition 2005.

Se midió 50 ml de la muestra y se añadieron 2 ml del reactivo de color, luego se procedió a mezclar. Esperamos entre 10-30 minutos inmediatamente se agregó el reactivo de color, y se depositó en la cubeta de 10 mm, para finalmente colocarlo en el Espectrofotómetro.

e) Determinación de Fosfatos (Método estándar 4500 – P E)

La determinación de Fosfatos se obtuvo aplicando el Método del ácido ascórbico, de acuerdo a lo indicado en el Standard Method for The Examination of Water and Wastewater, 20th edition 2005.

Se midió 50 ml de la muestra y se agregó 8 ml del reactivo de color, se procedió a mezclar. Esperamos entre 10-30 minutos inmediatamente se agregó el reactivo de color (ácido sulfúrico 5 Normal + molibdato de amonio, tartrato de antimonio de

potasio, ácido ascórbico), y se depositó en la cubeta de 10 mm, para finalmente colocarlo en el Espectrofotómetro a 860 nanómetros de longitud de onda.

3.5. Procesamiento de la información

Para el presente estudio se tuvo a bien recoger muestras del agua residual provenientes del empaque de banano de cuatro empacadoras seleccionadas como muestra del estudio.

Las muestras seleccionadas fueron homogeneizadas para la etapa de análisis y experimentación.

Con los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de cada uno de los tratamientos, se construyeron gráficas de comparación para la identificación de tendencias en cuanto a la descontaminación de agua residual. El análisis se realizó de forma individual por cada parámetro identificado.

4. RESULTADOS.

4.1. Caracterización del agua residual

Las características físico-químicas del agua residual del proceso de empaque de banano se presentan en el cuadro N° 05. La caracterización nos permite determinar que el valor de pH inicial es muy bajo, alrededor de 3,2; la cantidad de cloruros significativamente alta (1559,8 mg/l); la demanda química y bioquímica a niveles medios (323 y 266,31 mg/l, respectivamente); y una alta carga microbiana (700 NMP/100 ml de coliformes totales y fecales)

Cuadro N° 05: Caracterización del agua residual del empaque de banano

Indicadores	Valor
pH (UpH)	3,22
Conductividad eléctrica (μ S)	833
Oxígeno Disuelto (mg/l)	3,65
Temperatura ($^{\circ}$ C)	27,5
Turbidez (UNT)	156
Cloruros (mg/l)	1559,8
Fosfatos (PO_4) (mg/l)	0,37
Nitratos (NO_3) (mg/l)	1,09
Nitritos (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

Fuente: Elaboración propia

El análisis individual de los indicadores evaluados durante los experimentos se realizará a continuación, sin embargo, en el Anexo 01 se muestra el cuadro resumen de los resultados obtenidos.

4.1.1. pH.

Los niveles de pH se reducen ligeramente para todos los tratamientos, modificándose desde el valor de 3,22 hasta valores que llegan a 2,8 en el caso más diferenciado. El tratamiento T1 (UV-H₂O₂-Ax) es en el que menos se reduce los niveles de pH.

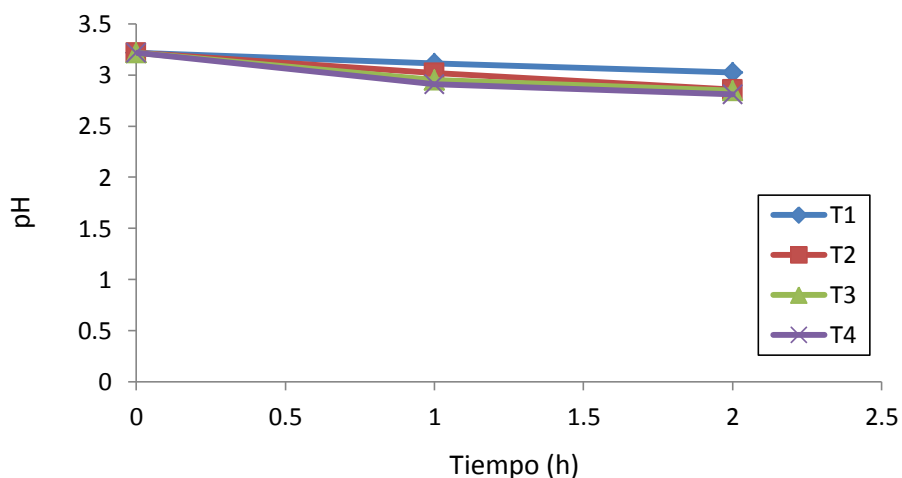


Figura 01. Evolución de los niveles de pH durante los experimentos

4.1.2. Conductividad Eléctrica.

En el caso de conductividad eléctrica la tendencia general es a elevarse ligeramente luego de 1 y/o 2 horas en los diferentes casos. El valor inicial de la conductividad eléctrica fue de 833 $\mu\text{S/cm}$, elevándose hasta niveles de 1079 $\mu\text{S/cm}$ en el caso del tratamiento T1 y luego de dos horas; ligeramente en el caso de T2 hasta 932 $\mu\text{S/cm}$ después de 2 horas; hasta 1029 $\mu\text{S/cm}$ en el caso de T3 y luego de 2 horas; mientras que para el tratamiento T3 ocurre una situación particular dado que luego de 1 hora de experimento la conductividad se eleva hasta niveles de 1124 $\mu\text{S/cm}$ y luego a las 2 horas disminuye hasta niveles de 972 $\mu\text{S/cm}$.

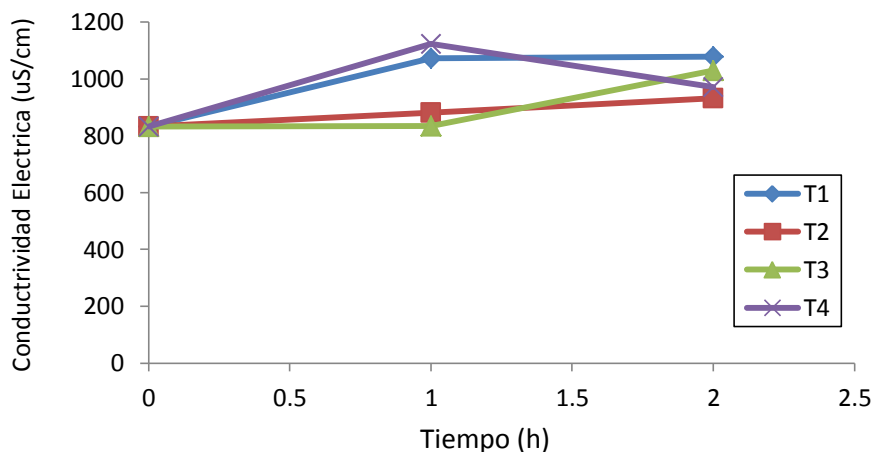


Figura 02. Evolución de los niveles de Conductividad Eléctrica durante los experimentos

4.1.3. Oxígeno Disuelto.

Para el caso del indicador oxígeno disuelto, la tendencia general es a disminuir las concentraciones ligeramente luego de una o dos horas. El valor inicial es de 3,65 mg/l, el tratamiento T2 fue el que más redujo las concentraciones con valores de 1,98 y 1,58 luego del tiempo de experimentación de 2 horas. El tratamiento T1 (UV-H₂O₂-Ax) es en el que menos se reduce los niveles de oxígeno disuelto.

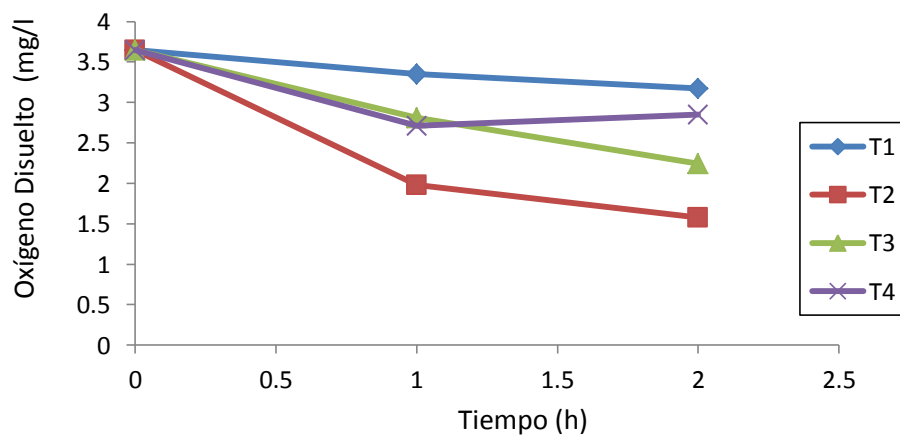


Figura 03. Evolución de los niveles de Oxígeno Disuelto durante los experimentos

4.1.4. Temperatura.

El nivel de temperatura tiende a elevarse significativamente en algunos tratamientos. El valor inicial de 27.5 °C llegando hasta niveles de 37,9 y 45,2 °C luego de 1 y/o 2 horas en el tratamiento T2; mientras que en el tratamiento T3 luego de uno o dos horas llego a niveles de 38 y 42.8 °C. En

el caso de T4 ocurre un caso particular que luego de 1 hora de experimento se eleva a 41,7 °C y luego de 2 horas disminuye a 38,2 °C.

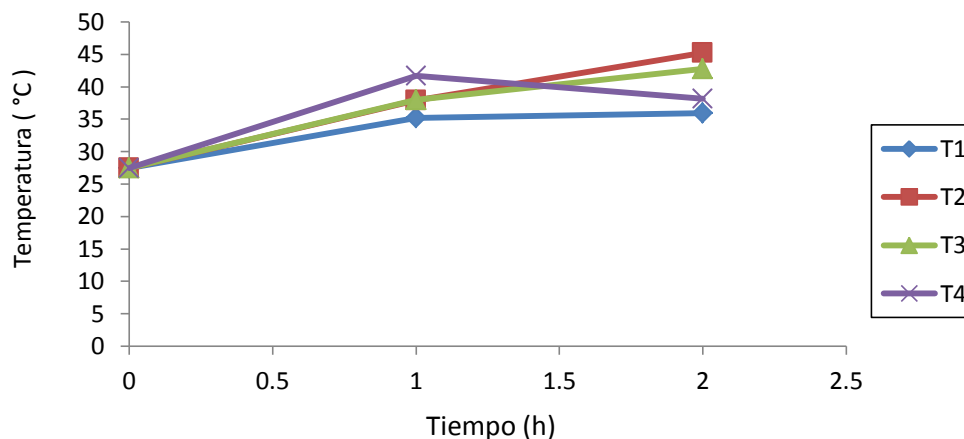


Figura 04. Evolución de los niveles de Temperatura durante los experimentos

4.1.5. Turbidez.

Para la turbidez el valor inicial fue de 156 NTU. El tratamiento T1 es el que reduce los niveles de turbidez más significativo luego de uno y dos horas con niveles de 63,4 y 19,4 NTU. Para el resto de tratamientos la tendencia es a subir los niveles incluso por encima del valor inicial. En el tratamiento T2 llega a 196 y 582 NTU, en el T3 con niveles más altos de 645 y 676 NTU luego de periodo de experimentación.

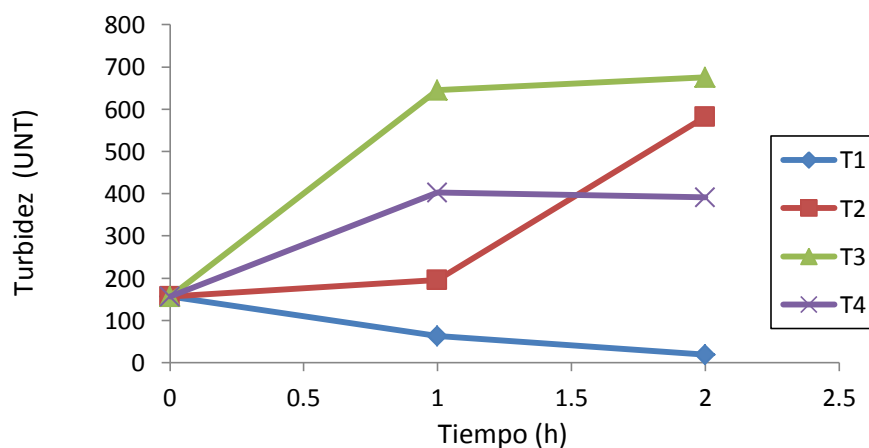


Figura 05. Evolución de los niveles de Turbidez durante los experimentos

4.1.6. Cloruros

Los niveles de cloruros el nivel inicial del experimento es de 1559,8 mg/l. El tratamiento que más ha reducido los niveles luego de uno y dos horas de experimento es el T3 con niveles 295,42 y 342,66 mg/l seguido por el T4 con niveles de 590,83 y 307,23 mg/l. Para el caso del tratamiento T1 y T2 la tendencia es a elevar los niveles de cloruros incluso por encima del nivel inicial para luego reducir los niveles; para T1 los niveles obtenidos son 1332,92 y 650,8 mg/l y para T2 son 2954,17 y 1737,05 mg/l luego del tiempo de experimentación.

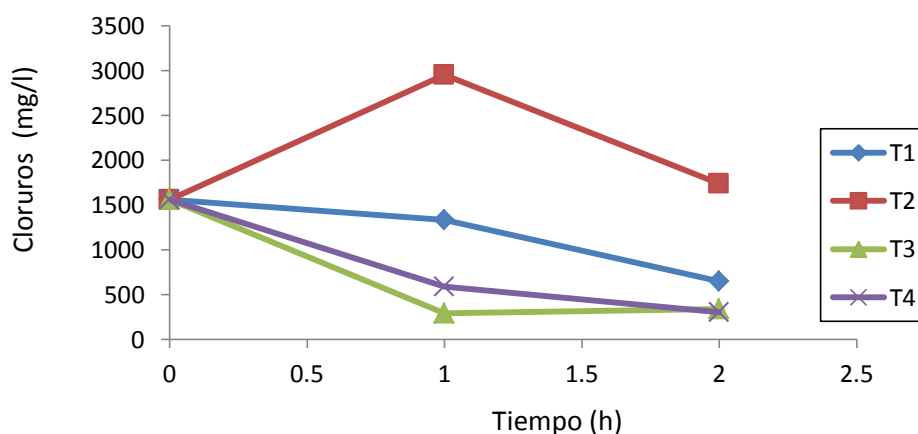


Figura 06. Evolución de los niveles de Cloruros durante los experimentos

4.1.7. Fosfatos

Para el caso de fosfatos los resultados son variables, el valor inicial es 0,37 mg/l, luego de uno y dos horas de experimentación el tratamiento T4, mostró mejores resultados obteniendo valores desde 0,13 y 0,10 mg/l. Los resultados del resto de tratamiento fueron muy variables, en el caso del T3 la tendencia es a incrementarse con valores de 0,46 y 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.

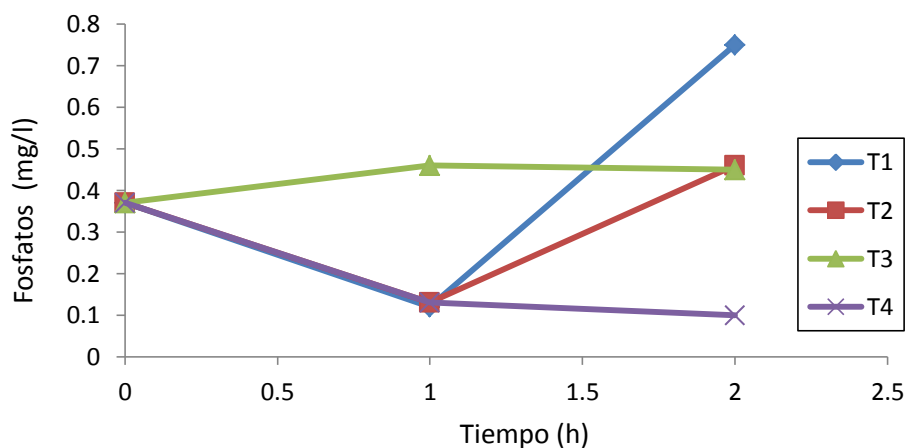


Figura 07. Evolución de los niveles de Fosfatos durante los experimentos

4.1.8. Nitratos

En los nitratos el valor inicial fue de 1,09 mg/l. luego de una y dos horas de experimento se obtuvo que el tratamiento T1 fue el único que redujo los niveles de nitratos con concentraciones de 0,71 y 0,80 mg/l. Para el resto de tratamientos los valores de nitratos fueron en aumentando.

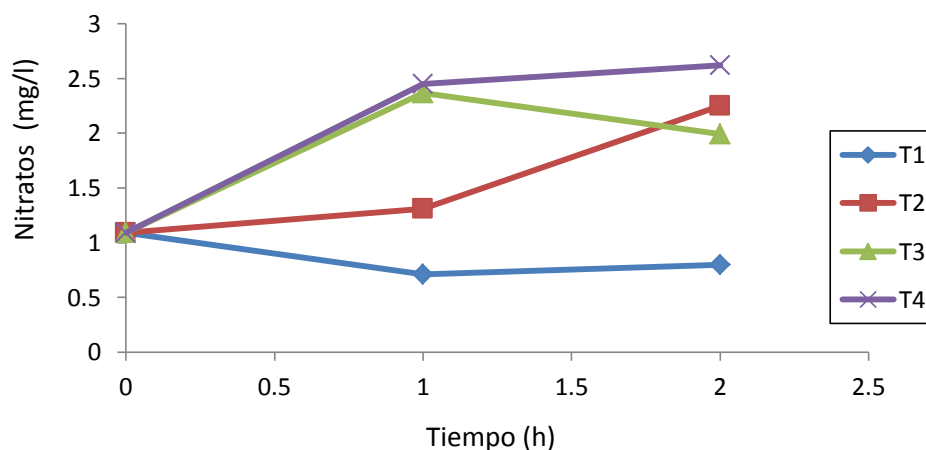


Figura 08. Evolución de los niveles de Nitratos durante los experimentos

4.1.9. Nitritos

En los nitritos la tendencia es a disminuir los niveles ligeramente para cada uno de los tratamientos; el valor inicial fue 0,43 mg/l. Luego de uno y dos horas de experimentación el tratamiento T4 obtuvo valores de 0,1 y 0,07 mg/L, seguido por el tratamiento T1 con valores de 0,05 y 0,18 mg/l y el T3 con resultados de 0,15 y 0,14 m/l, y luego el tratamiento T1. El único tratamiento que aumento los niveles de nitritos fue el T2 con valores de 0,76

y 0,33 mg/l.

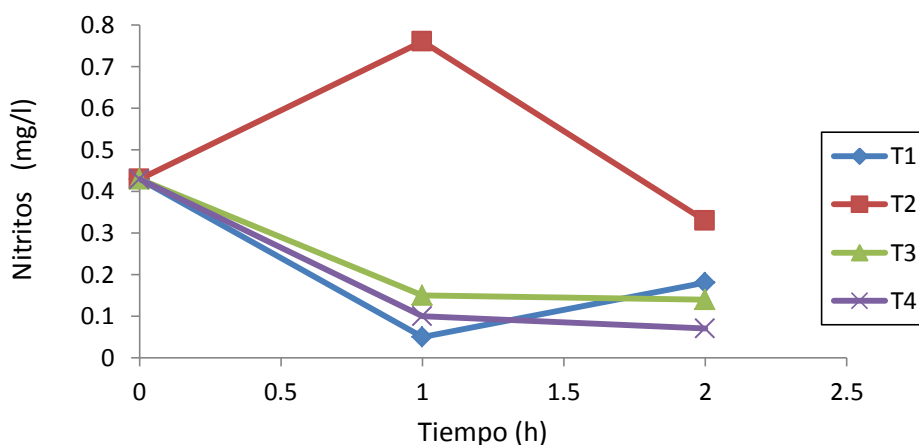


Figura 09. Evolución de los niveles de Nitritos durante los experimentos

4.1.10. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Para el caso del DQO la tendencia es a disminuir la concentración; el valor inicial es 323 mg/l. luego de uno y dos horas de experimentación tenemos que el tratamiento T4 redujo considerablemente los niveles, obteniendo valores de 134 y 106 mg/l, seguido por el tratamiento T3 con resultados de 126 y 118 mg/l. El tratamiento T1 mostro un aumento ligero en la concentración con niveles de 325 y 425 mg/l.

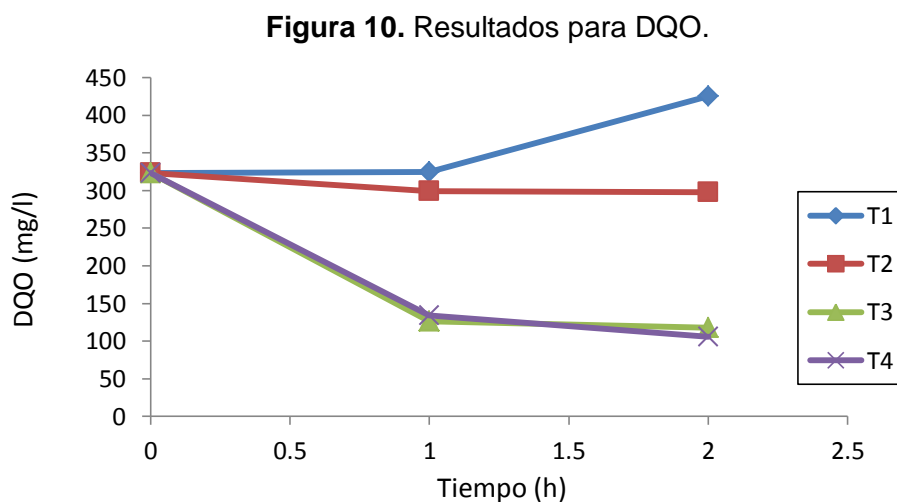


Figura 10. Evolución de los niveles de DQO durante los experimentos

4.1.11. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Para el caso del DBO la tendencia es a disminuir 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.

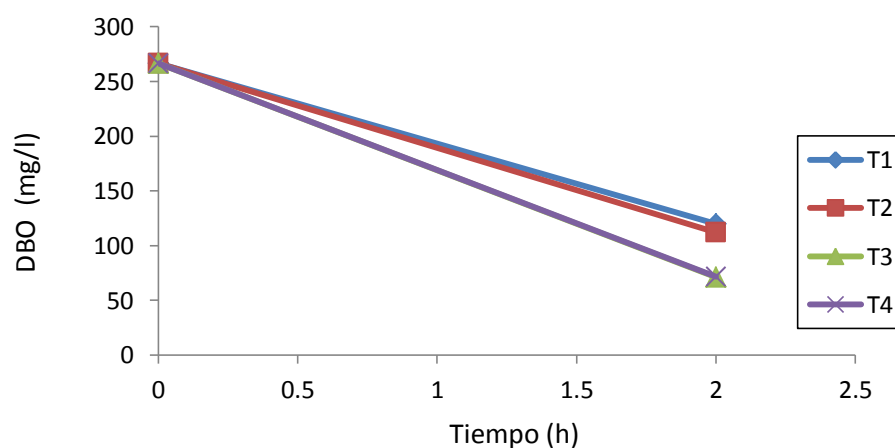


Figura 11. Evolución de los niveles de DBO durante los experimentos

4.1.12. Coliformes totales y fecales.

Para el caso de los coliformes fecales y totales la tendencia es a disminuir la concentración considerablemente; el valor inicial es de 700 NMP/100ml, luego de 2 horas de experimentación tenemos que todos los tratamientos T1, T2, T3 y T4 redujeron los niveles hasta 0 NMP/100ml.

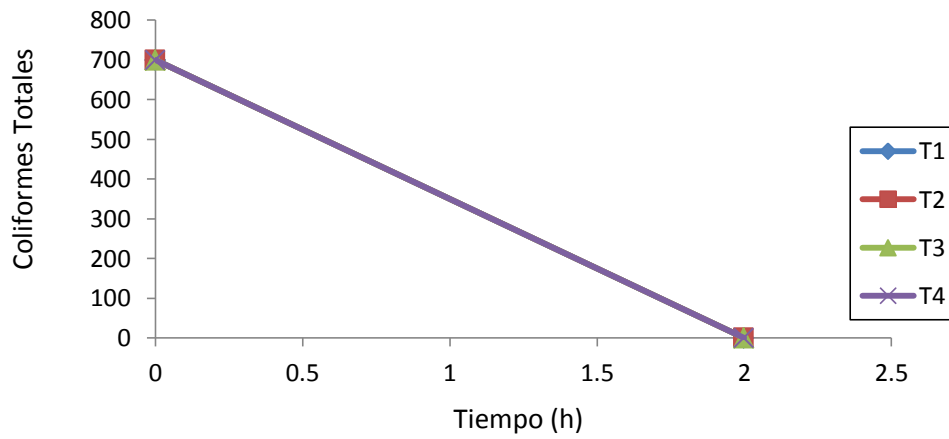


Figura 12. Evolución de los niveles de Coliformes Totales durante los experimentos

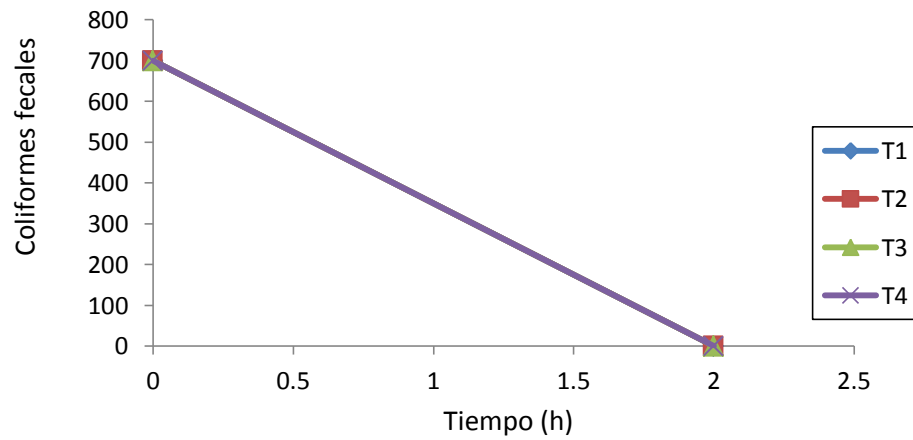


Figura 13. Evolución de los niveles de Coliformes Fecales durante los experimentos

5. DISCUSIÓN.

La presente investigación tuvo como finalidad utilizar métodos combinados de oxidación avanzados para descontaminar aguas residuales procedentes del empaque de banano. Luego de recoger las muestras en las cuatro empacadoras seleccionadas, y aplicárseles los tratamientos, se obtuvieron los resultados que permitieron contrastar con los antecedentes identificados.

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, los cuales requieren la presencia de este gas para tener lugar.

Cuadro N° 06: Comportamiento del oxígeno durante los tratamientos

Indicadores	Valor inicial	ECA 2008	ECA 2015	ECA 2017	T1		T2		T3		T4	
					UV + H ₂ O ₂ + Ax		UV + TiO ₂ + Ax		UV + TiO ₂ + Ae		UV + TiO ₂ + H ₂ O ₂ + Ax	
					1H	2H	1H	2H	1H	2H	1H	2H
Oxígeno Disuelto (mg/l)	3,65	>= 4	4	≥ 4	3.35	3.17	1.98	1.58	2.81	2.24	2.71	2.85

Fuente: elaboración propia

Todos los valores de oxígeno disuelto, incluido el valor inicial del agua residual, se encontraron por debajo del óptimo para una descarga de aguas residuales que es ≥ 4 comparando estos valores con los ECAs Categoría 3- Riego de Vegetales y Bebida de Animales.

En cuanto a la disminución de la turbidez, la aplicación del tratamiento T1 (UV+H₂O₂+Ax) concuerda con Perkowski y Kos (2003) que en su investigación utilizaron la combinación de (UV+H₂O₂+O₃) resultando ambos tratamientos eficientes para la decoloración de aguas residuales.

Los niveles de reducción para el caso de cloruros en el caso del T3 y T4, fueron significativos, reduciendo considerablemente las concentraciones iniciales, obteniendo al término de las dos horas de experimentos concentraciones de, 342,66 y 307,26 mg/l; encontrándose dentro de los ECAs Categoría 3- Riego de Vegetales y Bebida de Animales con concentración de 500 mg/l.

En cuanto a la disminución de la demanda química de oxígeno (DQO) la aplicación del tratamiento T3 que combina (UV+TiO₂+Ae) en un período de exposición de dos horas reduce 63.47% de DQO, tendencia que tiene similitud con Kumar et al (2011) quien en su investigación aplica bajo radiación ultravioleta con 0,5 g/L TiO₂ a un pH de 7 en 4 horas de exposición, generando una remoción de hasta 64,2% de DQO.

Los valores de los indicadores para el agua residual final que no superan los valores de los ECAs para la categoría 3- Riego y Bebida de animales, son Cloruros con concentraciones de 342,66 y 307,23 mg/l por debajo de los ECAs que tienen una concentración de 500 mg/l, sin embargo para el tratamiento T3 se obtuvieron mejores resultados a una hora de exposición obteniendo una concentración de 295.42 mg/l; los fosfatos también al término de los experimentos logro mantener sus concentraciones finales por debajo de los ECAs (2008) que tienen concentraciones de 1 mg/l; y los resultados obtenidos de los tratamientos arrojan valores desde 0,1 hasta 0,75 mg/l; los coliformes totales y fecales en todos los tratamientos reduce considerablemente la concentración inicial, llevándolo hasta valores de 0 NMP/100ml para cada indicador.

En tal sentido la degradación de contaminantes en aguas residuales del tratamiento que combina el H₂O₂/TiO₂ en un proceso de oxidación fotocatalítico (UV+TiO₂ + H₂O₂+Ax) concuerda con Navarro et al (2005) cuya investigación encontró que el sistema H₂O₂/TiO₂ produce alta eficiencia en el tratamiento.

6. CONCLUSIONES.

- 6.1. 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.
- 6.2. 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) lo que resulta en un nivel de contaminación que debe ser tratada previo vertimiento en un cuerpo receptor.
- 6.3. 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 (H₂O₂), dióxido de titanio (TiO₂), radiación Ultra violeta (UV), Aireación (Ae) y Agitación (Ax) y varias combinaciones de ellos resultan altamente eficientes.
- 6.4. Que la reducción de los valores de DBO y DQO resultaron significativos obteniendo 73.3 % y 67.19%, respectivamente, sin embargo, pese a esto, los valores siguen superando los ECAs para la

categoría 3- Riego y Bebida de animales, cuyos valores son 15 mg/l y 40 mg/l. respectivamente.

- 6.5.** 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.

7. RECOMENDACIONES.

- 7.1.** 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.

- 7.2.** Para aquellos indicadores que persisten en superar lo establecido en los ECAs categoría 3 – Riego de vegetales y bebida de animales es necesario experimentar intensificando los procesos físicos como la aireación así como el incremento de la exposición a fin de controlar dichos indicadores.

8. REFERENCIAS

- APHA (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association. Washington D.C. 937 p. Brix H.
- Arias C. y Bubba M. (2001). *Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands*. *Water Sci. Technol.* 44, 47-54.
- Aurazo de Z.(2004). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano Capítulo 2: Aspectos Biológicos de la Calidad del Agua*. Perú. Auspiciado por Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y Organización Panamericana de la Salud.
- Barrenechea M. (2004). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano Capítulo 1: Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua*. Perú. Auspiciado por Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y Organización Panamericana de la Salud.
- Casierra-Martínez, H., Casalins-Blanco, J., Vargas-Ramírez, X., & Caselles-Osorio,A. (2016). *Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso*. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(4), 97-111. Recuperado en 10 de noviembre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000400097&lng=es&tlng=es.

Cervantes-Carrillo F., Pérez J. y Gómez J. (2000). *Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales*. Rev. Latinoam. Microbiol. 42, 73-8.

Chang, R. 2007. "Química" 9ª edición. Edit. Mc. Graw Hill. México.

Cooper P. (1999). *A review of the design and performance of vertical flow and hybrid reed bed treatment systems*, Water Sci. Technol. 40, 1-9.

Cupe E.D. y Portocarrerocontreras C.J. (2009). *Evaluación de la eficiencia de plantas acuáticas flotantes Lemna Minor (Lenteja de agua), Eichhorna Crassipes (Jacinto de agua) y Pistia Stratoidea (Lechuga de agua), para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Tesis para Optar el Título Profesional. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental.

Domèbech, X., F. Jardim, W., & I. Litter, M. (2012). *Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes*. Obtenido de www.estrucplan.com.ar

Esponda A. (2001). *Arranque de un sistema experimental de flujo vertical a escala piloto de tipo humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Gopal B. (1999). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. *Water Sci. Technol.* 40, 27-35.
- Karpiscak W. y Foster A. (2000). *Nutrient and heavy metal uptake and storage in constructed wetland systems in Arizona wetland systems for water pollution control.*
- Ley N° 17752, *Ley General de Aguas del 24.JUL.1969; y sus modificatorias.*
Decretos Supremos N° 261-69-AP y N° 007-83-SA del 17.MAR.1983.
- Madueño Huánuco R.J. y Salvador Tixe J.C. (2009). *“Evaluación del uso de la Planta acuática Lemna para determinar la eficiencia remocional de nutrientes a escala reactor del efluente de la laguna Secundaria de la planta CITRAR”* Tesis para Optar el Título Profesional. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Pág. 123 – 125.
- Metcalf & Eddy. Antonio García Ed. (1995). *“Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización”*. Vol. I & II. 3ra Edición. Madrid: McGraw-Hill. Impreso
- Miranda R.M. (2000). *Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo horizontal de México.* Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable, primer apéndice.* tercera edición, Volumen 1. Ginebra. Organización Mundial de la Salud.

Reglamento Nacional de Edificaciones (2007). *Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano OS 020*. Viceministerio de Construcción y Saneamiento Dirección Nacional de Saneamiento. Pág. 191-210.

Rodríguez-Monroy J. y Durán de Bazúa C. (2006). *Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco*. *Tecnol. Ciencia Ed.* 21, 25-33.

Romero Rojas, Jairo Alberto. (2000). *“Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño”*. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
Impreso.

Shiomi N., Sitoh S. (2005). *“Azolla Utilization : Proceedings. The Fujian Academy of Agricultural Sciences - Use of Azolla as a decontaminant in sewage treatment”*. *Departament of applied Biology – radiation Center of Osaka Prefecture*. Osaka – Japón. Pág.170-175.

Valderrama L.T. (2005). *Evaluación del Efecto del Tratamiento con Plantas Acuáticas en la Remoción de Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas Residuales Domésticas*. Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental – Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia. Pág.3-7.

Vymazal J. (2002). *The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience*. *Ecol. Engin.* 18,

646.

Zarela M. y García (2012). *“Comparación de Tres Plantas Acuáticas para la Determinación de la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas”*, FIA-UNI. Lima, Perú.