

PROPUESTA TECNOLÓGICA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DEL INGREDIENTE ACTIVO PALMEX

TECHNOLOGICAL PROPOSAL FOR TREATMENT OF WASTEWATER FROM THE INDUSTRIAL PLANT OF PRODUCTION OF PALMEX ACTIVE INGREDIENT

Niubis Ortega Peña^{a,*} (1 0000-0003-2770-2830)
Matilde López Torres^a (<http://orcid.org/0000-0002-0547-6716>)
Mayra Bataller Venta^a (<http://orcid.org/0000-0001-7619-7880>)
Eliet Veliz Lorenzo^a (<http://orcid.org/0000-0003-3253-4632>)
José Blas López Urquía^a (<http://orcid.org/0000-0001-7117-8664>)
Claudia Pedroso García^a (<http://orcid.org/0000-0002-1882-7140>)
Daniela Cárdenas García^a (<http://orcid.org/0000-0002-6478-6829>)

^a Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Biocubafarma.

*niubis.ortega@cnic.cu

Recibido: 22 de noviembre de 2022;

Aceptado: 14 de febrero de 2022;

RESUMEN

Dentro del proceso inversionista del Centro Nacional de Investigaciones Científicas se proyecta la planta de producción industrial del ingrediente activo Palmex, indicado para el tratamiento de la hiperplasia prostática benigna. Esta planta permitirá sustituir importaciones y un significativo aporte al cuadro de medicamentos del país. Para dar cumplimiento a los requerimientos ambientales de la inversión, el presente trabajo se trazó como objetivo caracterizar las aguas residuales de las producciones de este ingrediente, con vistas a proponer un esquema tecnológico de tratamiento para la planta industrial. Estos residuos presentan características oleosas, con variación en su composición y flujo. Los resultados indicaron altas concentraciones de materia orgánica (14 950 mg DQO L⁻¹), grasas y aceites (263 mg L⁻¹), conductividad eléctrica (8 251 μ S cm⁻¹) y sólidos totales (6 268 mg L⁻¹). Se evaluaron diferentes condiciones, tanto a nivel de laboratorio como de banco. A partir de los resultados de la eficiencia de reducción de los indicadores ambientales obtenidos y de la estimación del balance de la carga contaminante se propuso el esquema de tratamiento, el cual consta de los órganos siguientes: tamiz-sedimentador, tanque homogeneizador-1, trampa de grasas-sedimentador primario, tanque de compensación, tanque homogeneizador-2, sistema de ozonización y tanque séptico-filtro biológico. Esta secuencia garantizó que los efluentes tratados cumplieran con la norma de vertimiento NC 27:2012, al sistema de alcantarillado. Los resultados constituyen la base de la Tarea Técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la planta de producción a escala industrial presentada, como requerimiento de la inversión, para la solicitud de la Licencia Ambiental al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA).

Palabras claves: Aguas residuales, tratamiento, medioambiente, Palmex, tecnología.

ABSTRACT

Within the investment process of the National Center for Scientific Research, the industrial production plant of the active ingredient Palmex is projected, indicated for the treatment of benign prostatic hyperplasia. This plant will allow substituting imports and a significant contribution to the country's medicine table. In order to comply with the environmental requirements of the investment, the objective of this work was to characterize the wastewater from the production of this ingredient with a views, to proposing a technological treatment scheme for the industrial factory. These residues have oily characteristics, with variation in their composition and flow. The results indicated high concentrations of organic matter (14 950 mg COD L⁻¹), fats and oils (263 mg L⁻¹), electrical conductivity (8 251 μ S cm⁻¹) and total solids (6 268 mg L⁻¹). Different conditions were evaluated, both at laboratory and bench level. Based on the results of the reduction efficiency of the environmental indicators obtained and the estimation of the balance of the contaminant load, the treatment scheme was proposed, which consists of the following organs: sieve-settler, homogenizer tank-1, fat trap - primary settler, compensation tank, homogenizer tank-2, ozonation system and septic tank-biological filter. This sequence guaranteed that the treated effluents complied with the discharge standard NC 27:2012, to the sewer system. The results constitute the basis of the Technical Task of the wastewater treatment plant of the industrial-scale production plant presented, as an investment requirement, for the application of the Environmental License to Cuban Ministry of Science, Technology and Environment (CITMA).

Keywords: Wastewater, treatment, environment, Palmex, technology.

INTRODUCCIÓN

La gestión y manejo del agua es reconocido como un tema estratégico y un eje de las políticas ambientales y económicas, además de ser un factor base del desarrollo social. Debido a la contaminación ambiental por las aguas residuales, una fracción importante del agua dulce, disponible del planeta, presenta algún tipo de afectación modificando sus características. Según la Organización Mundial de la Salud, más de 1 200 millones de personas consumen agua sin garantías sanitarias, lo que provoca un grave problema de salud (Ambientum, 2020).

Se ha reportado que más del 48 % de las aguas residuales en el mundo son vertidas, al entorno ambiental, sin ningún tratamiento. Esto impacta negativamente en la salud pública y la preservación de los recursos naturales (Jones, *et al.*, 2021). Las consecuencias económicas indican que en muchas ocasiones el costo del impacto causado supera la inversión necesaria para depurar las aguas residuales (Alfárez *et al.*, 2019).

La industria farmacéutica genera aguas residuales con determinadas concentraciones de fármacos, los cuales deben ser eliminados antes del vertimiento. Estos al ser liberados continuamente, al medio ambiente, se convierten en agentes contaminantes de gran impacto negativo en las fuentes hídricas, alterando los ciclos vitales de la fauna y la flora tanto terrestre como acuática (Ghernaout *et al.*, 2019; Cárdenas, 2022). Por lo tanto, el tratamiento adecuado de estas aguas residuales es una medida ecológica de gestión ambiental importante para conservar el ciclo del agua, así como mejorar la calidad de vida al permitir un mayor acceso a un agua potable (Espinosa, 2011).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible incluye un conjunto de objetivos, entre ellos el No. 6 “Agua limpia y saneamiento” con el propósito de garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos (ONU, 2018). En Cuba es vital el control de los residuos líquidos debido a la poca disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas. Para ello, existen normativas (ONN, 2007; ONN, 2012) que regulan su vertimiento a un cuerpo receptor, además es preciso el control sistemático de los indicadores ambientales.

Generalidades del aceite de palma y el tratamiento de efluentes de su producción

En Cuba, la palma real (*Roystonea regia* H.B.K. Cook) crece y se reproduce en forma silvestre (Rodríguez *et al.*, 2020). De los frutos de la *Roystonea regia*, conocido como palmiche, se obtiene un aceite, el cual está compuesto principalmente por una mezcla de ácidos grasos (entre 8 y 18 átomos de carbono) con más de un 40 % de insaturados (Vicente *et al.*, 2017).

Se ha reportado que los efluentes del proceso de extracción del aceite contienen gran cantidad de materia orgánica, sólidos en suspensión y aceites. El tratamiento previo a su descarga de estas aguas residuales debe orientarse a estabilizar la materia orgánica (Malacatus *et al.*, 2017).

Los métodos para tratar los efluentes del proceso industrial en este sector incluyen filtros de grasa o separadores de aceite/agua para eliminar los sólidos flotantes; la equalización de flujo y carga contaminante; la sedimentación destinada a reducir los sólidos en suspensión con el empleo de clarificadores; el tratamiento biológico, normalmente anaerobio, seguido del tratamiento aerobio para reducir la materia orgánica soluble; la eliminación de nutrientes biológicos para reducir el nitrógeno y el fósforo. Además, la cloración de los efluentes siempre que sea necesario la desinfección, la deshidratación y eliminación de residuos sólidos. (IFC, 2015).

Estrategias del Centro Nacional de Investigaciones Científicas desde el punto de vista ambiental

El Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), como primera prioridad en la estrategia ambiental, se trazó prevenir y controlar la contaminación ambiental en las fuentes de origen y reducir a niveles permisibles aquella cuya generación no pueda evitarse, promoviendo la mejor gestión de materias primas, recuperación, reúso y reciclaje en los procesos productivos. Este accionar se corresponde con el eje estratégico “Recursos naturales y el medio ambiente” del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social de Cuba, 2030 (Gutiérrez *et al.*, 2022).

Consecuentemente, el tratamiento de las aguas residuales de las producciones del CNIC también forma parte de su estrategia ambiental. Se cuenta con los permisos de vertimiento otorgados por las entidades competentes y se cumple con los controles ambientales, caracterizando y monitoreando sistemáticamente las aguas residuales generadas (López *et al.*, 2022).

En este sentido, el CNIC en su función de empresa tiene como premisa la gestión y tratamiento de las aguas residuales de sus producciones. Dentro del proceso inversionista del CNIC se proyecta la planta de producción industrial del ingrediente activo (IA) Palmex, indicado para el tratamiento de la hiperplasia prostática benigna (HPB).

Para dar cumplimiento a los requerimientos ambientales de la inversión, el presente trabajo se trazó como objetivo caracterizar las aguas residuales generadas de las producciones del ingrediente activo Palmex con vista a proponer un esquema tecnológico de tratamiento para la planta industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Medicamento para la HPB.

La HPB consiste en un agrandamiento benigno de los elementos glandulares de la próstata, que conducen a una compresión de la uretra y producen síntomas del tracto urinario bajo como retención urinaria, disminución del volumen de orina entre otros (Barboza, 2017). La HPB es muy frecuente en hombres mayores de 50 años, y su frecuencia aumenta con la edad. El envejecimiento de la población cubana será muy notorio en los próximos años, lo que unido al incremento de la expectativa de vida indica un aumento de enfermedades asociadas, como la HPB.

En el mundo se comercializan medicamentos para tratar la HPB. Además, existen varias alternativas fitoterapéuticas, como los extractos lipídicos del fruto de *Saw palmetto* (*Serenoa repens*). Ninguna de estas alternativas se producía en el país, ni se encontraban disponibles en la red de farmacias nacionales (Gil, 2016). Teniendo en cuenta estos antecedentes, en el CNIC, se desarrolló un producto denominado D004, obtenido a partir del fruto de la Palma Real Cubana (*Roystonea regia*) registrado como Palmex.

Caso de estudio

El presente trabajo corresponde con la propuesta de un esquema tecnológico para la planta de tratamiento de las aguas residuales (PTAR) de la planta de producción industrial del IA Palmex. Esta planta de producción representa beneficios sociales y económicos, ya que se comercializará en el mercado nacional, con lo cual sustituirán importaciones, previéndose, además, su exportación a países asiáticos donde la demanda de productos naturales es elevada.

La planta de producción del ingrediente activo se ubicará en una de las plantas de la Agrupación-2 del CNIC, la cual será remodelada. En esta Agrupación está la planta de producción de cápsulas blandas (PCB), que dispone de una PTAR.

Se realizó un diagnóstico inicial en una visita técnica a las instalaciones donde se ubicará la planta referida. Se verificó que la PTAR existente para la PCB consta de los órganos de tratamiento siguientes: trampa de grasas-sedimentador primario, tanque homogeneizador, sistema de ozonización y, finalmente, un tanque séptico-filtro biológico (filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA). Estos órganos tienen la capacidad suficiente para el tratamiento de los efluentes de la PCB y además los tres últimos órganos permiten el tratamiento de otros efluentes. Por ello, se valora emplear parte del sistema existente para tratar las aguas residuales de las producciones de IA Palmex. El correcto funcionamiento de la propuesta de la PTAR permitirá que el CNIC cumpla con las normativas de vertimiento NC 27:2012.

Muestras de aguas residuales

Como referencia para la caracterización de las aguas residuales que se generarán en la planta de producción industrial se realizaron muestreos en la Planta Piloto de producción del IA Palmex del CNIC. Para ello, se recolectaron aguas residuales de las diferentes etapas del proceso productivo, a partir de las cuales se conformó una muestra compuesta, teniendo en cuenta el volumen de agua residual generado en cada etapa y la información disponible (PNO de limpieza, Tarea Técnica del Proyecto Industrial, intercambio con especialistas y técnicos).

Instalación experimental

Los procesos de tratamiento por trampa de grasa, sedimentación primaria y ozonización de las aguas residuales de la producción de IA Palmex se llevaron a cabo en una instalación experimental ubicada en el Laboratorio de Tecnologías del CNIC, los cuales se muestran en las Figuras 1, 2 y 3.

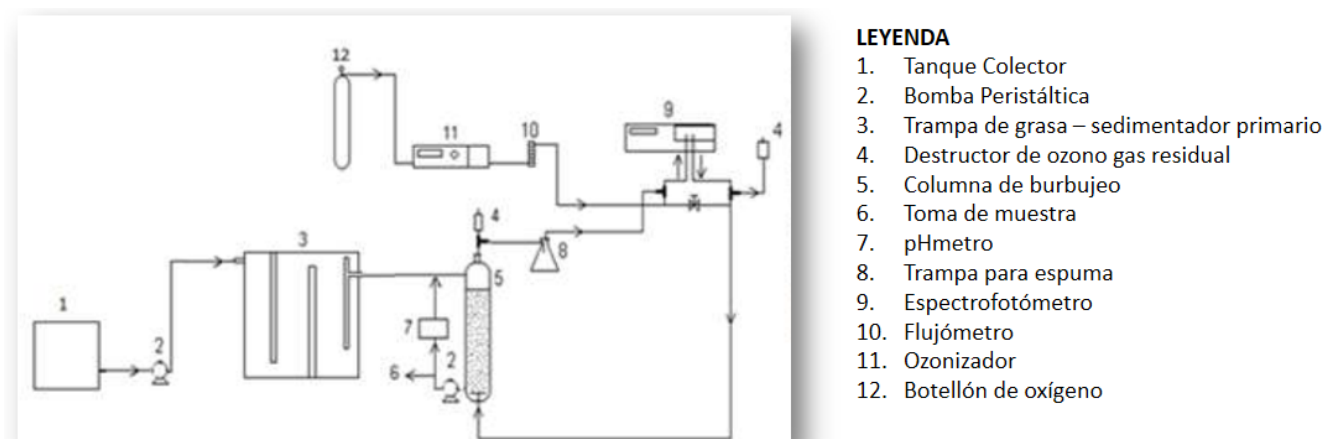


Fig. 1. Esquema general de la instalación experimental.

Las ozonizaciones se realizaron en una columna de burbujeo de 600 mL, en operación semicontinua, equipada con un difusor de vidrio poroso, toma muestra, entrada y salida de gas (Figura 3). La mezcla oxígeno-ozono se obtuvo de un equipo generador de ozono modelo AQOZO (Cuba), alimentado con oxígeno comprimido. El ozono gaseoso residual (que no se consumió) fue destruido catalíticamente a la salida de la columna. Se empleó un flujo de gas de 10 L h⁻¹ y una concentración de ozono en el gas

a la entrada de la columna de 50 mg L^{-1} . La concentración de ozono en el gas fue determinada a una longitud de onda de 256 nm , en un espectrofotómetro UV-VIS modelo Pharmacia LKB (Reino Unido). Para la evaluación, las muestras de agua ozonizada se tomaron a diferentes tiempos de tratamiento. La medición de pH del agua residual a tratar se realizó con un pHmetro Orion modelo 720.



Fig. 2. Bomba peristáltica (1) y Trampa de grasas - sedimentador primario (2).

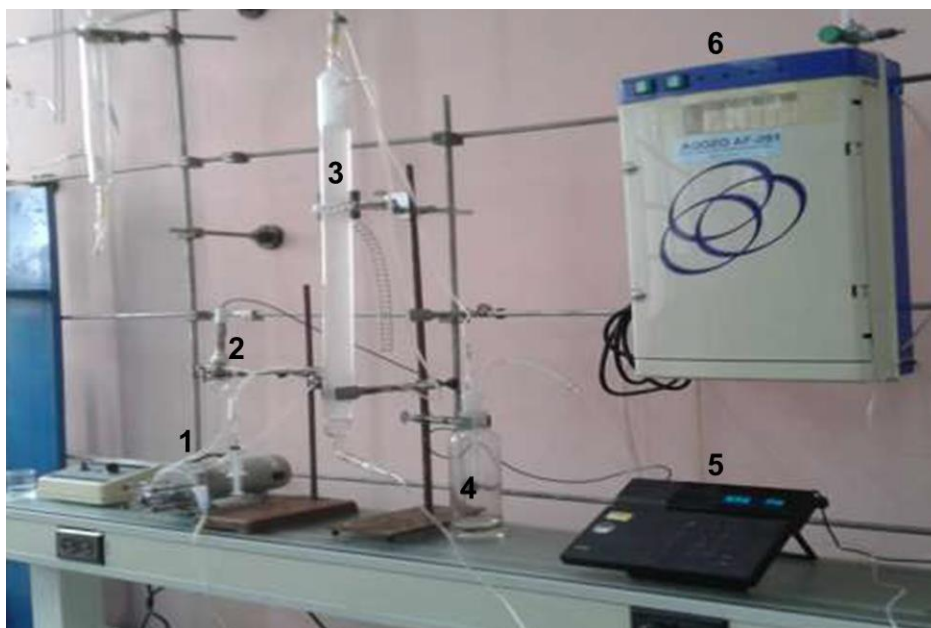


Fig. 3. Sistema de ozonización: Bomba peristáltica (1), electrodo de pH (2), columna de ozonización (3), trampa de espuma (4), pHmetro (5), equipo ozonizador (6).

Ensayos analíticos

Los ensayos fueron realizados por triplicado, empleando los métodos establecidos para las determinaciones de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos Totales (ST), Sólidos Sedimentables (SSed), Grasas y Aceites (G y A), Conductividad Eléctrica (CE), Temperatura y pH (APHA, AWWA, WEF, 2017). A los efectos del análisis se compararon los valores de los diferentes indicadores analizados en las muestras con la Norma Cubana de Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas

Terrestres y al Alcantarillado. Especificaciones, NC 27:2012, considerando los Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) para las descargas de aguas residuales al sistema de alcantarillado.

Procesamiento estadístico

Se empleó el programa de computación Microsoft® Excel y el paquete de programas estadísticos STATGRAPHICS Centurion XIX.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los principales contaminantes para aguas residuales provenientes de la industria oleosa, según la literatura, son las grasas y aceites y, en general, compuestos orgánicos, responsables de los elevados valores de DQO y DBO₅. Los valores reportados de DQO oscilan entre 3 000 y 60 000 mg L⁻¹, el pH entre 5 y 9, G y A entre 74 y 72 824 mg L⁻¹, y sólidos sedimentables entre 0 y 10 mg L⁻¹ (Yu et al, 2017; Sánchez *et al.*, 2018 ; Rodríguez *et al.*, 2022).

La Tabla 1 muestra los valores promedios de los indicadores de contaminación evaluados. La caracterización de las aguas residuales generadas en la producción de Palmex en la Planta Piloto indicó que los niveles de DQO, CE, pH, G y A no cumplen con los LMPP de la NC 27:2012 para el vertimiento al sistema de alcantarillado.

Tabla 1. Caracterización físico-química de las aguas residuales generadas en la Planta Piloto de Producción de IA Palmex.

Parámetro	Planta Piloto		LMPP NC 27:2012
	Min - Max	X	
DQO (mg L ⁻¹)	8 300 – 19 250	14 950	< 700
pH	4,74 - 7,07	-	6-9
CE (μS cm ⁻¹)	6 109 – 9 577	8 251	< 4 000
T (°C)	25,4	25,4	< 50
G y A (mg L ⁻¹)	143 - 483	263	< 50
SSed (mL L ⁻¹)	0,1	0,1	< 10
ST(mg L ⁻¹)	5 253 – 7 304	6 268	-

X: Promedio; LMPP: Límites Máximos Permisibles Promedio

Por lo que se puede observar en la Tabla 1, los valores obtenidos en estas muestras coinciden con los reportados en la literatura para este tipo de industria. El pH muestra una tendencia ácida, siendo en ocasiones inferior al LMPP establecido por la norma cubana.

Estudio a nivel de laboratorio

Se comprobó que la etapa del proceso productivo que más aporta CE es la de Purificación (después del lavado con HCl), correspondiente a la fase acuosa que se desecha, al inicio, con un valor promedio de 14 479,8 μS cm⁻¹. Cuando se conformó la muestra compuesta, con el mezclado de las aguas residuales generadas en el resto de las

etapas de producción, la CE disminuyó a $7\,874\ \mu\text{S cm}^{-1}$ logrando una reducción del 45 % de este indicador.

Por otra parte, se tiene previsto, para la planta industrial, incrementar los lavados a 12 con agua suavizada en la etapa de Purificación, a diferencia de lo que se estaba realizando en la planta piloto (máximo de 6 lavados), lo que incrementará el volumen total de mezclado. En general, las aguas residuales iniciales del proceso productivo se mezclarán con las aguas residuales generadas de los ciclos de lavados de las matrices oleosas con agua suavizada, lo que tendrá un efecto notable en la reducción de la CE.

En este sentido, se realizaron pruebas de mezclado en el laboratorio donde se lograron eficiencias de disminución de CE entre 43 y 66 % (Tabla 2). Además, se verificó que el agua de acueducto que se utilizará en la planta de producción de IA Palmex a nivel industrial, ubicada en la Agrupación-2, tiene una CE promedio de $715\ \mu\text{S cm}^{-1}$. Este valor es menor que la CE del agua de proceso que se emplea actualmente en la planta piloto, la cual procede de un pozo que tiene una CE de $1\,400\ \mu\text{S cm}^{-1}$ y que, por lo tanto, aporta un agua con alta CE. Todo lo anterior tendrá un impacto positivo importante en la disminución de la CE y otros indicadores como DQO y ST.

Tabla 2. Efecto en los valores de CE y pH del mezclado de las aguas residuales de la Planta Piloto con agua suavizada

Parámetro	Muestra compuesta	Agua Suavizada	Mezcla 1:1	Mezcla 1:2	Mezcla 1:3	Mezcla 1:4
pH	6,46	8,15	7,07	7,19	7,34	7,42
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	7077,5	705,6	4 060,6	2 945,8	2 441,7	2 039,8

Nota: La mezcla es la proporción de muestra compuesta del agua residual con agua suavizada de la Agrupación 2, es decir muestra compuesta: agua suavizada en las relaciones 1:1, 1:2, 1:3.

Según la tendencia mostrada en la Tabla 2 con respecto a la disminución de la CE en las mezclas analizadas, se evaluó el comportamiento de la DQO, para las relaciones comprendidas entre 1:1 y 1:3, para lo que se consideró, como adecuado, este límite de mezcla. En la Tabla 3 se resumen los resultados de la eficiencia de reducción de este indicador.

Tabla 3. Eficiencia de remoción de la DQO para las diferentes mezclas de muestra compuesta y agua suavizada

Relación (muestra compuesta : agua suavizada)	Eficiencia de remoción de DQO (%)
Mezcla 1:1	18
Mezcla 1:2	26
Mezcla 1:3	55

Por otra parte, teniendo en cuenta que los residuos líquidos de la planta de producción de IA Palmex presentan un alto contenido de sustancias oleosas, se propuso evaluar el empleo de una trampa de grasa - sedimentador primario. Este órgano de tratamiento

fue evaluado de forma particular en el laboratorio, y los resultados son recogidos en trabajos previos no publicados del Grupo de Gestión de los SCT-DECA del CNIC. En la Tabla 4 se presenta un resumen de los resultados evaluados con la combinación de la trampa de grasa y el sedimentador primario. Se escogieron una gama de valores máximos, intermedios y mínimos de diferentes tiempos de retención hidráulico (TRH: 30, 90 y 180 min). Se puede constatar que estas unidades de tratamiento presentaron una eficiencia de reducción de G y A entre 10 y 51 % para los TRH evaluados. El mejor valor se obtuvo para TRH: 180 min.

Tabla 4. Evaluación de remoción de G y A de la trampa de grasa - sedimentador primario según el TRH

G y A Concentración inicial en el AR sin tratar (mg L ⁻¹)	G y A Concentración final en el AR tratada (mg L ⁻¹)	THR (min)	Eficiencia de remoción (%)
183	165	30	10
143	81	90	43
483	236	180	51

AR: agua residual.

En la tabla anterior también se observa que, el TRH influye y es directamente proporcional a la remoción de G y A, conclusión que coincide con lo referido por Ayquipa (2021).

Por el alto contenido de aceites y grasas aún presente en los efluentes de las etapas anteriormente evaluadas, se realizaron pruebas de ozonización a nivel de laboratorio con aguas residuales recolectadas en la planta piloto de IA Palmex, que fueron previamente tratadas por la trampa de grasas-sedimentador primario bajo un TRH de 180 min. Los resultados indicaron que después de la ozonización los valores de G y A disminuyen a 24 mg L⁻¹ (remoción de más de 89 %). Por ello, se logró cumplir con el LMPP de la NC 27:2012 para este parámetro. De acuerdo con estos resultados, se decidió, para la propuesta de tratamiento, incorporar los efluentes de la trampa de grasas-sedimentador primario al homogeneizador-2 y de este al sistema de tratamiento con ozonización, etapas estas dos últimas ya existentes en la PTAR de la PCB.

La reacción de ozonización con los aceites vegetales se logra con el burbujeo de gas ozono en estos sustratos bajo condiciones de reacción controladas. Durante esta reacción se forman diferentes sustancias como: lipoperóxidos, ozónidos, aldehídos, cetonas, entre otras (Sánchez, 2021). Los ácidos grasos presentes en los aceites vegetales, desde el punto de vista químico, son ácidos carboxílicos con una cadena alifática que puede ser monoinsaturada o tener varias insaturaciones (ácidos grasos poli-insaturados) más susceptibles a la oxidación. Dentro de estos compuestos los insaturados son los que reaccionan más fácilmente con el ozono para dar lugar a los productos de oxidación, los cuales pueden ser eliminados por la ozonización o transformados a compuestos con estructuras químicas más fácilmente biodegradables por un tratamiento biológico posterior, aspecto que se tiene previsto en la propuesta.

Los residuos líquidos de la PCB son similares, por su composición, a los que serán generados en la planta de producción de IA Palmex, ya que en ambos casos se producen productos farmacéuticos oleosos, y se aplican procesos de limpieza y

productos químicos similares. En este sentido, se realizaron varias pruebas experimentales de ozonización a nivel de laboratorio y a escala industrial con aguas residuales reales de la PCB, a partir de diferentes concentraciones de DQO. De estos resultados se tomaron como referencia los valores máximos y mínimos de eficiencia, en la etapa de ozonización, los que oscilaron entre 50 y 70 % de reducción de la DQO en el efluente tratado.

Descripción de los órganos de tratamientos propuestos y eficiencia del tratamiento previsto

Según la bibliografía consultada (Gil, 2016; Malacatus *et al.*, 2017; Ayquipa, 2021; Cárdenas, 2022,) y los resultados obtenidos en el laboratorio y a escala de banco, se describe a continuación la alternativa tecnológica propuesta, para el tratamiento de residuales líquidos de la planta de producción de IA Palmex.

En la Figura 4, se presenta el esquema general del sistema de tratamiento que se propone. En el recuadro de líneas discontinuas se muestra el nuevo proceso que se adicionará al sistema de tratamiento ya existente en la Agrupación-2, para el tratamiento previo de estas aguas residuales.

Las aguas residuales del lavado y la desinfección del palmiche (materia prima) pasarán inicialmente por un cribado (tamiz) y un sedimentador, lo más cercano al punto de generación, con el objetivo de separar los sólidos que puedan obstruir los conductos y posteriores etapas de tratamiento. Luego, estas aguas se vierten al tanque homogeneizador-1 el cual amortizará las variaciones de caudal durante el día, y logrará la mezcla entre las aguas residuales generadas en las diferentes etapas productivas y las aguas de otros procesos (como son las limpiezas de pisos de áreas sociales y productivas, lavado de las bolsas de extracción (telos) y el lavado y desinfección del palmiche). Este tanque tendrá agitación mecánica, lo que permitirá obtener un residual líquido homogéneo.

Las aguas residuales procedentes del tanque homogeneizador-1 se descargarán a la trampa de grasa-sedimentador primario, con el propósito de separar las grasas y aceites y sedimentar los sólidos que puedan contener estas aguas, ya que el IA Palmex es un producto oleoso. Los efluentes de la trampa de grasa - sedimentador primario pasarán al tanque compensador. Este dispondrá en su interior de una bomba sumergible para el vertimiento controlado de las aguas residuales. El objetivo de esta descarga controlada será lograr la regulación de la CE en el posterior tanque de homogeneización-2.

El efluente bombeado desde el tanque de compensación transita hacia a un registro, el cual permite la interconexión con la tubería que conduce los efluentes de la PCB hacia el tanque homogeneizador-2 (existente), así como la inspección y limpieza del sistema colector de forma fácil. Este registro permite la unión de ambas tuberías y las conecta con el tanque homogeneizador-2. Por lo tanto, a este tanque homogeneizador-2 llegan las aguas residuales de las producciones de IA Palmex y de la PCB.

El tanque homogeneizador-2 está dividido en su interior y uno de sus compartimientos funciona como estación de bombeo, donde a través de una bomba sumergible estas aguas son enviadas hacia el sistema de ozonización. En el fondo del tanque se pueden depositar los sólidos, por lo que hay que tener en cuenta su extracción periódica con las gestiones de Aguas de La Habana.

El sistema de ozonización existente tiene instalada una columna de burbujeo acoplada a un sistema de generación de ozono y un sistema de ajuste de pH, que permite realizar procesos de oxidación avanzada con ozono a pH elevados, en caso de existir residuales de naturaleza química difíciles de tratar por los métodos tradicionales. Las condiciones

de operación de la ozonización y dosis de ozono pueden ser ajustadas durante el proceso de tratamiento. Posteriormente, los efluentes del sistema de ozonización se unirán con las aguas albañales (sociales) en el registro de entrada al tanque séptico-filtro biológico. También este sistema de ozonización, tiene una tubería de rebose directo hacia el alcantarillado para el caso de rotura del tanque séptico-filtro biológico. En este último órgano de tratamiento se logrará la estabilización final de todas las aguas residuales generadas en la Agrupación-2. Los efluentes tratados del tanque séptico-filtro biológico se verterán hacia el alcantarillado de la ciudad.

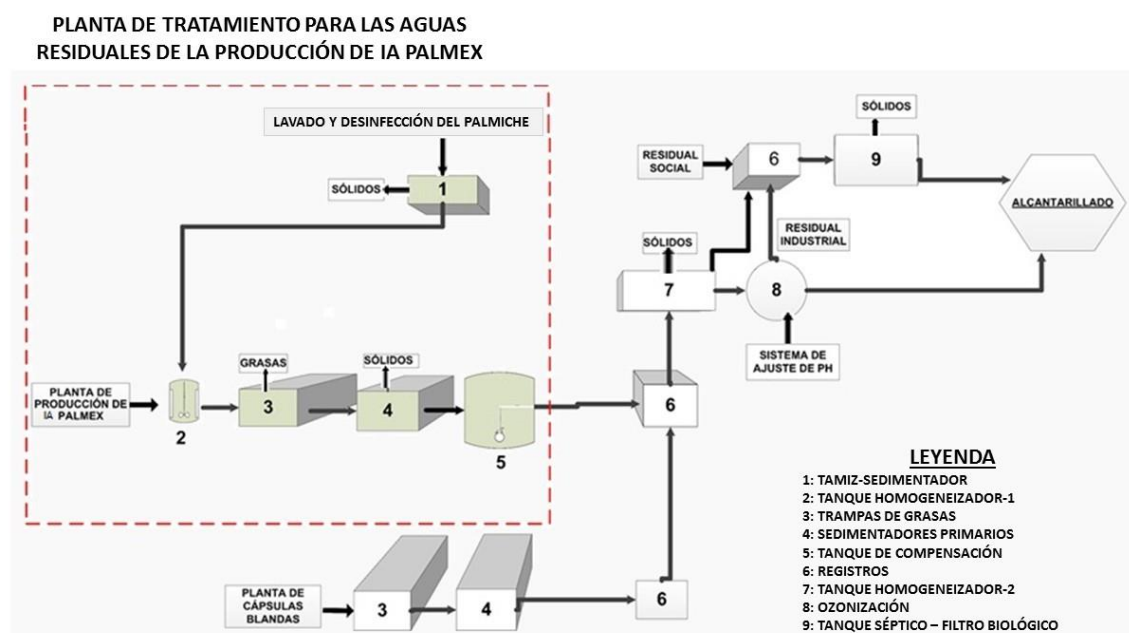


Fig. 4. Esquema general del sistema de tratamiento de aguas residuales.

En la Tabla 5 se presenta la eficiencia de reducción de los parámetros que inicialmente superaban los LMPP de la NC 27:2012, y la secuencia de disminución a través de los diferentes órganos del sistema de tratamiento propuesto comparados con la norma. Estos resultados experimentales a escala de laboratorio, y las pruebas realizadas a escala industrial con el sistema de tratamiento existente, permiten predecir que se obtendrán adecuados niveles de reducción de contaminantes físico-químicos en las aguas tratadas por el esquema de tratamiento que se propone para la planta de producción de IA Palmex a nivel industrial.

En resumen, se logró disminuir eficientemente los parámetros DQO, CE, G y A, así como mantener el pH dentro de los LMPP, lo que garantizará el vertimiento seguro al alcantarillado, permitiendo no contaminar los cuerpos de agua receptores con cargas contaminantes de residuos líquidos del proceso productivo y de los productos químicos que se emplean en la limpieza de las áreas y del equipamiento tecnológico.

Los resultados permitieron, además, proponer un esquema tecnológico de tratamiento para la planta de producción industrial del ingrediente activo Palmex, así como presentar y recibir la Licencia Ambiental del CITMA como requerimiento de la inversión, lo cual constituye la base de la Tarea Técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 5. Comportamiento de los indicadores de contaminación en las distintas etapas de tratamiento y eficiencia total del esquema en su conjunto.

Parámetro	Afluente	Etapas del proceso (medición en los efluentes)							Eficiencia total (%)
		Homogeneizador -1	TG - Sed	Compensador	Homogeneizador - 2	Ozonización	TS-FB	LMPP NC 27:2012	
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	8 251	4 300	4 300	4 300	2 860	2 860	2 409	< 4000	71
DQO (mg L^{-1})	14 950	7 222	6 500	6 500	4 191	1 676	466	< 700	97
G y A (mg L^{-1})	263	145	72	72	35	17	< 17*	< 50	> 94

TG-Sed: Trampa de grasa-sedimentador primario;

*TS-FB: Tanque séptico-filtro biológico; *Limite determinación (LD) del ensayo de G y A < 17 mg L⁻¹.*

CONCLUSIONES

La caracterización inicial de las aguas residuales en la producción del ingrediente activo Palmex de la planta piloto indicó niveles de DQO, pH, CE y G y A, que no cumplían con los LMPP de la NC 27:2012 considerando la descarga al sistema de alcantarillado de la zona. Además, se analizaron alternativas de tecnologías de tratamiento para estas aguas y se realizó una propuesta basada en la combinación de procesos (tamiz, tanque homogeneizador, trampa de grasas, sedimentador, tanque de compensación, ozonización, tanque séptico y filtro biológico), que logra reducir la contaminación ambiental y permite el cumplimiento de la normativa de vertimiento vigente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfárez Rivas, L. E. & Pimiento, N. N. (2019). Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado. *Caribeña de Ciencias Sociales* ISSN: 2254-7630. En línea: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/tratamiento-aguas-residuales.html/hdl.handle.net/20.500.11763/caribe1906tratamiento-aguas-residuales>
- Ambientum, Portal profesional del Medio Ambiente (2020). El consumo de agua en porcentajes. Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales. Universidad de Sevilla. www.ambientum.com
- APHA, AWWA, WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Ayquipa Conde, N. Z. (2021). Evaluación de la eficiencia de una trampa de grasa (interceptor de grasa hidromecánico) para el pretratamiento de aguas residuales grises en viviendas unifamiliares del distrito de Lares-Cusco-2021 [Tesis de Grado]. Universidad Continental, Perú.
- Barboza Hernández, M. (2017). Hiperplasia Prostática Benigna. *Revista Médica Sinergia*. 2 (8) pp: 11 -16. ISSN 2215-4523.
- Cárdenas García, D. M. (2022). Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de la producción de cápsulas blandas [Tesis de Grado]. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, Cuba.
- Espinosa, L. (2011). Reflexiones sobre el agua: un espejo de nuestro tiempo. *Dilemata*. (6). pp: 81-99. ISSN: 1989-7022
- Ghernaout, D. & Elboughdiri, N. (2019) Water Reuse: Emerging Contaminants Elimination—Progress and Trends. *Open Access Library Journal*, 6 (12), 1-9. doi: 10.4236/oalib.1105981.
- Gil Ibarra, D. (2016). Tratamiento de los residuales líquidos de una planta de producción de cápsulas blandas. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 47(1), 103-104.
- Gutiérrez-Benítez, O., Castro-Rodríguez, D. J., Poma-Rodríguez, J. R., Pérez-Valdés, H., & Rodríguez-Sánchez, M. M. (2022). Process approach and Cleaner Production strategies to reduce pollution from oily wastes. *Chemical Technology*, 42(2), pp. 266-285. <https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/5253>

- IFC. (2015). Guías sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad para la producción y el procesamiento de aceite vegetal. Grupo del Banco Mundial. www.ifc.org/ehsguidelines
- Jones, E. R., Van Vliet, M. T. H., Qadir, M., & Bierkens, M. F. P. (2021). Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*, 13 (2), 237–254, <https://doi.org/10.5194/essd-13-237-2021>.
- López Torres, M., Espinosa Lloréns, M. C., Ortega Peña, N., & Hurtado Mola, I. (2022). Línea base del comportamiento de las descargas de aguas residuales en la Empresa CNIC. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 53(2), 157-171.
- Malacatus, P., Chamorro, E., Orellana, G. (2017). Análisis de eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en extracción de aceite de palma. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, ISSN 1390-7042/ Año V, 2 (7). Quito.
- Microsoft®. Excel. Microsoft Office Visio Professional, USA. 2019.
- ONN. (2007) NC 521:2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba, pp. 7-14.
- ONN. (2012) NC 27:2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado —Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba, pp. 6-14.
- ONU. Naciones Unidas (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago.
- Rodríguez, B., Martínez-Pérez, M., Vives, Y., Pérez, O., & Ayala, L. (2020). Evaluación de la harina de frutos de *Roystonea regia* para la alimentación de pollos de engorde. *Livestock Research for Rural Development*, 32(7).
- Rodríguez Heredia, D., Córdova Rodríguez, V., Arias Lafargue, T., Tito Ferro, D., & Salazar Arrastre, P. (2022). Evaluación de los residuales de la empresa refinadora de aceites ERASOL de Santiago de Cuba. *Centro Azúcar*, 49(1), 1-12.
- Sánchez, G. M. (2021). Racional científico para las aplicaciones médicas de los aceites ozonizados, actualización. *Ozone Therapy Global Journal*, 11(1), 201-237.
- Sánchez-Rivera, W., & Arias-Lafargue, T. (2018). Propuesta de mejoras en sistemas de tratamiento de residuales en la Empresa Refinadora de Aceite de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, 38(1), 85-100
- Statgraphics. (2020). Statgraphics Centurion XIX. 64 Bit, Statgraphics.net. Madrid, Spain.
- Vicente Murillo, R., Marrero Delange, D., Rodríguez Leyes, E. A., González Canavaciolo, V. L., Sierra Pérez, R. D. L. C., & Tirado Morales, S. (2017). Determinación de compuestos volátiles en el aceite de *Roystonea regia* sometido a degradación forzada. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 48(1), 83-89.
- Yu, N., Xing, D., Li, W., Yang, Y., Li, Z., Li, Y., & Ren, N. (2017). Electricity and methane production from soybean edible oil refinery wastewater using microbial electrochemical systems. *International journal of hydrogen energy*, 42(1), 96-102.

CONTRIBUCCION AUTORAL

Niubis Ortega Peña: Autora principal del artículo. Ejecución del protocolo de investigación (realización de experimentos), montaje de la estación experimental, recolección de datos. Aplicación de técnicas estadísticas, matemáticas, computacionales u otras técnicas formales para analizar, sintetizar o visualizar los datos del estudio. Redacción del artículo

Matilde López Torres: Supervisión durante la ejecución de las actividades de investigación. Revisión crítica del artículo.

Mayra Bataller Venta: Supervisión durante la ejecución de las actividades de investigación. Revisión crítica del artículo.

Eliet Veliz Lorenzo: Conceptualización del protocolo de la investigación, montaje de la estación experimental, realización de experimentos. Supervisión durante la ejecución de las actividades de investigación.

José Blas López Urquía: Ejecución del protocolo de investigación (realización de experimentos), montaje de la estación experimental. Realización de análisis físico-químico.

Claudia Pedroso García: Ejecución del protocolo de investigación (realización de experimentos). Realización de análisis físico-químico

Daniela Cárdenas García: Recolección de datos/evidencia, comentarios en las etapas previas a la publicación.