

# Evaluación del Lebame en el tratamiento de los residuales de Fitomas

Dianelis Roget-Guevara\*, Claudia Fandiño-Rodríguez, Indira Pérez- Bermúdez, Yohana de la Hoz-Izquierdo

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Vía Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

\*dianelis.roget@icidca.azcuba.cu

---

## RESUMEN

El vertimiento de los residuos líquidos está impactando negativamente sobre la biota acuática, destruyendo la vegetación y provocando graves daños a la salud humana. Por esta razón, se quiere lograr que tanto empresas como productos sean amigables con el medio ambiente. Ello ha conllevado a investigar para encontrar nuevas y mejores alternativas de tratamiento a residuales. Pero antes es necesario monitorear, caracterizar y diagnosticar físico-química y microbiológicamente estas corrientes. Dentro de los tratamientos para disminuir la carga contaminante en las aguas residuales, la implementación de los tratamientos biológicos suelen tener altos rendimientos y menores costos económicos de explotación. Es por ello que el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar ha desarrollado un bioproducto de nombre LEBAME constituido por microorganismos eficientes (ME) con el objetivo principal de evaluar la efectividad del mismo en el tratamiento de las aguas residuales, y en primera instancia se evaluará en las aguas residuales de la producción del biofertilizante FitoMas con el propósito de disminuir la carga orgánica contaminante. Los parámetros analizados fueron dos concentraciones de ME (1/500 g/L y 1/1000 g/L) a dos tiempos de retención (10, 20 y 30 días). Después de realizar el análisis estadístico, utilizando como variable de respuesta el porcentaje de remoción, los resultados obtenidos en el ensayo de laboratorio arrojaron que el mayor porcentaje corresponde cuando se empleaba el ME a menor concentración y a menor tiempo de retención.

**Palabras clave:** residuales, microorganismos eficientes, ME, carga contaminante, remoción.

## ABSTRACT

The dumping of liquid waste is negatively impacting aquatic biota, destroying vegetation and causing serious damage to human health. It is for this reason, that we want to make both companies and products friendly to the environment. This has led to research to find new and better alternatives to waste treatment. But first, it is necessary to monitor, characterize and diagnose these currents physically and chemically and microbiologically. Among the treatments to reduce the pollutant load in wastewater, the implementation of biological treatments tend to have high yields and lower economic costs of exploitation. That is why the Cuban Institute of Investigation of the Sugar Cane Derivatives has developed a bioproduct named LEBAME constituted by efficient microorganisms (ME) with the main objective of evaluating its effectiveness in the treatment of water residuals, and in the first instance it will be evaluated in the residual waters of the production of the biofertilizer FitoMas with the purpose of diminishing the organic load contaminant. The parameters analyzed were two ME concentrations (1/500 g/L and 1/1000 g/L) at two retention times (10, 20 and 30 days). After carrying out the statistical analysis using the percentage of removal as the response variable, the results obtained in the laboratory test showed that the highest percentage of removal corresponded when ME was used at a lower concentration and a shorter retention time.

**Key words:** residuals, efficient microorganisms, ME, contaminant load, removal.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales industriales ha tomado fuerza durante los últimos años, con el objetivo que este recurso no renovable pueda ser aprovechado y que pueda así mismo cumplir con los requerimientos exigidos por la normatividad ambiental existente (1).

Los sistemas de tratamiento pueden reconocerse en base a su ubicación en el proceso de limpieza como: primarios, secundarios y avanzados y los procesos utilizados principalmente son físicos, químicos y biológicos. Hay una gran variedad de métodos para la descontaminación de aguas y aguas residuales, y entre ellos se encuentran la utilización de microorganismos, denominados eficientes (EM), y su importancia resulta en que ellos enriquecen la microflora balanceando los ecosistemas microbiales y suprimiendo microorganismos patógenos sin generar subproductos contaminantes (2).

En el presente trabajo se realiza el diseño experimental para determinar la influencia del tiempo de residencia y la concentración en el porcentaje de remoción en el tratamiento de los residuales de la planta de Fitomas, ubicada en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Esta planta posee una capacidad de producción proyectada de hasta dos millones de litros al año, que permite garantizar las demandas del Grupo Empresarial Azucarero de Cuba (AZCUBA) y una parte de las de otros productores agrícolas. Los residuales generados no cumplen con las normas de vertimiento, por lo que su tratamiento es de vital importancia para el cuidado del medio ambiente y de la Bahía de La Habana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización del residual utilizado

El proceso productivo de obtención de Fitomas se caracteriza por ser realizado en lote y no genera corrientes de residuales líquidos significativas, salvo pequeñas cantidades que se generan durante las limpiezas por el lavado del equipamiento y del área. Este residual se almacena en una cisterna para ser tratado antes de su vertimiento a la Bahía de La Habana.

La evaluación química del residual se realizó en la campaña de producción del mes de octubre de 2018. Para ello fue colectada una muestra integral de 20 L, a la salida de la cisterna de la planta de producción.

### Técnicas analíticas empleadas

Se empleó la metodología propuesta por Obaya *et al.* (3) para la caracterización de las aguas y aguas residuales de la industria azucarera y los procedi-

mientos estandarizados (4). Los mismos se llevaron a cabo en el laboratorio de agua y aguas residuales (LAGUAZUR) que forma parte del Centro Nacional de Gestión de Medio Ambiente (CENGMA), perteneciente al ICIDCA. Los métodos analíticos realizados fueron los siguientes:

- Demanda Química de Oxígeno empleando la modificación rápida del Standard Methods (5).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno empleando el equipo Oxitop de la WTW (Alemania).
- pH y conductividad a partir de la medición por electrodos.
- Fósforo por determinación colorimétrica, después de digestión en medio ácido.
- Los sólidos totales, por desecación en la estufa a 110 °C durante 4 horas y en la mufla a temperatura de 600 °C durante 4 horas.

A partir de las determinaciones analíticas realizadas de DQO se calculó el porcentaje de remoción de DQO mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de remoción DQO} = \left( \frac{DQO_{(inicial)} - DQO_{(final)}}{DQO_{(inicial)}} \right) \times 100$$

### Diseño experimental y análisis estadístico

Con el objetivo de evaluar el empleo de los microorganismos eficientes en el tratamiento de este residual, se decidió aplicar un diseño experimental factorial multinivel aumentado en dos puntos centrales. Cada condición experimental se realizó por triplicado. La tabla 1 muestra la matriz de diseño con las 6 condiciones experimentales obtenidas mediante el empleo de la herramienta de software Statgraphics Centurion XV (2013). Se fijaron dos factores: tiempo de residencia y concentración y dos variables de respuesta: porcentaje de remoción y pH. Los niveles para los factores fueron los siguientes:

Factores	Niveles		
	Bajo (-1)	Intermedio (0)	Alto (1)
Tiempo de residencia (días)	10	20	30
Concentración (g/L)	1/500	-	1/1000

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización físico-química del residual

Se realizó la caracterización de la muestra residual de Fitomas, teniendo en cuenta la norma NC 27:2012 (Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y alcantarillado – especificación) (6). Los métodos de ensayos realizados permiten conocer el grado de contaminación que presentan las aguas residuales.

**Tabla 1.** Matriz del diseño experimental para la evaluación del empleo de los microorganismos eficientes en el tratamiento del residual de la producción de Fitomas en el ICIDCA

Condición	Tiempo de residencia (días)	Concentración (g/L)
1	-1.0	1.0
2	0.0	-1.0
3	1.0	-1.0
4	1.0	1.0
5	-1.0	-1.0
6	0.0	1.0

**Tabla 2.** Caracterización de la muestra residual de la producción de Fitomas

Método de ensayo	Muestra del residual de Fitomas	Según NC 27:2012
DQO (mg/l)	<b>23892</b>	250
DBO (mg/l)	<b>11666</b>	100
pH	<b>3.86</b>	6-10
(Temperatura ensayo) °C	23.6	50
Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	27.1	4000
(Temperatura ensayo) °C	23.1	50
Fósforo (mg/l)	<b>47.72</b>	10

La caracterización de la muestra tomada, desde el punto de vista de contaminación ambiental se muestra en la tabla 2.

Según los resultados obtenidos, los ensayos resaltados se encuentran fuera de norma. Los valores de DQO y  $\text{DBO}_5$  brindan una mayor información sobre la carga orgánica presente en la muestra, lo que ofrece una medida de cómo varía la materia orgánica cuando se aplica a este residual un tratamiento biológico empleando ME. Estos microorganismos son los encargados de eliminar la materia orgánica biodegradable soluble presente en el efluente líquido, obteniéndose así un residual menos agresivo para el medio ambiente.

La DQO es el método de ensayo que brinda una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos convirtiéndola en dióxido de carbono y agua.

El alto valor de DQO en la muestra analizada, indica que hay gran cantidad de materia orgánica que está presente, lo que se corresponde con el resulta-

do de nuestro ensayo para este tipo de residual.

Los valores elevados de materia orgánica obtenida a través de este análisis, se evidencian también en los valores obtenidos de  $\text{DBO}_5$ . La DBO no es más que la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Cuanto mayor sea la contaminación, mayor será la DBO.

El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO, debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. La relación  $\text{DBO}/\text{DQO}$  se denomina índice de biodegradabilidad. Cuanto menor es este índice, mayor es la fracción de componentes difícilmente biodegradable. La relación ( $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ ) de la muestra analizada tiene un valor de 0.49 lo que indica que solo el 49 % de la materia orgánica es biodegradable. Cuando esta relación toma valores mayores de 0.4 podrán utilizarse sistemas biológicos para su tratamiento (7).

Para el empleo de tratamientos biológicos hay que asegurar el crecimiento y reproducción de los microorganismos, se les debe permitir un tiempo de permanencia en el sistema y óptimas condiciones operativas. Los principales nutrientes inorgánicos que deben existir en el fluido, son: nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, magnesio y calcio. Por lo que el fósforo que se encuentra fuera de norma será empleado por el microorganismo como fuente de nutriente para su crecimiento y desarrollo.

Debido a esto, la aplicación de un tratamiento biológico empleando los ME, para los residuales de Fitomas, según la naturaleza de la muestra puede ser una alternativa de tratamiento con el fin de eliminar la contaminación ambiental.

Por lo general, la implementación de los tratamientos biológicos de aguas residuales son procesos tecnológicos, ecológicamente adecuados y amigables con el medio ambiente, suelen tener altos rendimientos y menores costos económicos de explotación. Las cargas orgánicas en las aguas constituye el sustrato para el crecimiento de la comunidad microbiana. Según sea el tipo de compuesto a eliminar, se puede determinar el tipo de tratamiento biológico, que elimina compuestos carbonados, nitrogenados y fosforados. El tratamiento con ME se produce con microorganismos existentes en la naturaleza que desempeñan funciones favorables para la salud de los ecosistemas y los seres vivos.

### Resultados de la aplicación de los microorganismos eficientes en el residual de Fitomas

Los resultados de las variantes experimentales para cada variable respuesta, según la matriz de diseño estadístico se muestran en la tabla 3.

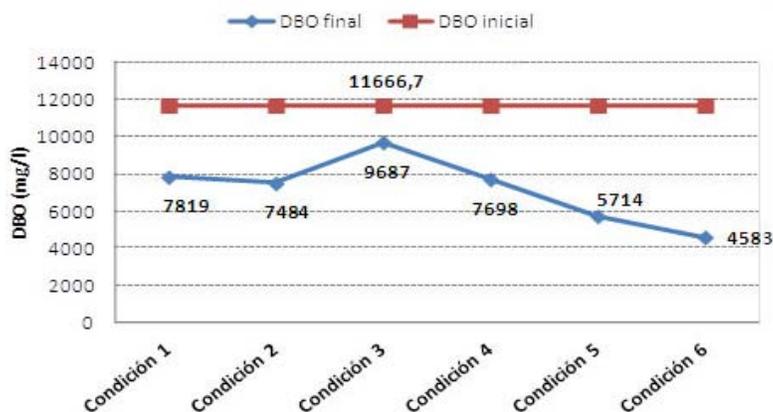
Los resultados demuestran que la mayor remoción de materia orgánica se obtuvo para la concen-

**Tabla 3.** Resultados del tratamiento del efluente líquido según la matriz de diseño experimental

Condición	Tiempo de residencia (días)	Concentración (g/L)	DQO (mg/L)	pH	% remoción (%)
1	-1.0	1.0	16833.00	4.04	29.54
2	0.0	-1.0	17064.67	4.373	28.57
3	1.0	-1.0	20227.00	10.54	15.33
4	1.0	1.0	18616.00	7.19	22.08
5	-1.0	-1.0	16471.00	4.085	31.06
6	0.0	1.0	16826.00	4.31	29.57

tración más baja del producto y menor tiempo de retención, pero solo se alcanzó un 31 % de eliminación. En cuanto al pH, hubo un aumento del mismo para todas las condiciones, siendo mayor las variantes correspondientes al mayor tiempo de residencia aunque no se alcanzó en ninguna de las condiciones evaluadas el límite mínimo permisible de la normativa cubana de vertimiento. Ello demuestra que es necesario continuar esta investigación para evaluar la efectividad del producto en estos residuales, a otras condiciones y poder encontrar la alternativa de tratamiento que cumpla los estándares de vertimiento.

En la figura 1 se grafica el comportamiento de la DBO durante el ensayo experimental. Como puede observarse en todas las condiciones experimentales hubo una disminución del parámetro, alcanzándose el menor valor para la condición 6.



**Figura 1.** Comportamiento de la DBO durante el experimento.

### Resultados del diseño experimental

En la tabla 4 se muestran los efectos estimados para el porcentaje de remoción en DQO (mg/l) obtenidos mediante el software Statgraphics Centurion.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos y sus interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. El factor de

**Tabla 4.** Efectos estimados para % remoción de la DQO

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	29.0753	0.65926	
A: tiempo de residencia	-11.5918	0.932334	1.0
B: concentración ME	2.07557	0.761248	1.0
AA	-9.13625	1.61485	1.0
AB	4.12895	0.932334	1.0

inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1 y como se encuentran por debajo de 10, indican que no existe confusión seria entre los efectos.

El análisis de varianza para el porcentaje de remoción (tabla 4) indica que ningún factor tiene un efecto significativo sobre el mismo para un nivel de confianza del 95 %.

Como muestra el diagrama de Pareto y la gráfica de efectos principales (figuras 2 y 3) a pesar de que ningún factor es significativo, el tiempo de residencia es el de mayor influencia sobre el porcentaje de remoción. Esta influencia es de forma negativa lo que significa que a medida que aumenta el tiempo de residencia disminuye el porcentaje de remoción.

El análisis de varianza para el porcentaje de remoción se muestra en la tabla 5.

R-cuadrada = 99.5341 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.6705 %

Error estándar del est. = 0.932334

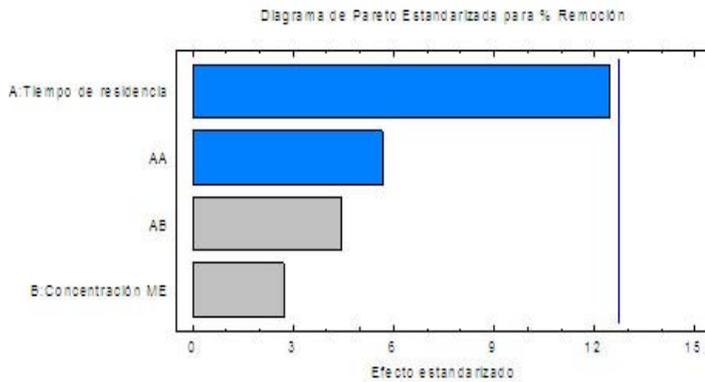
Error absoluto medio = 0.358856

Estadístico Durbin-Watson = 1.58333

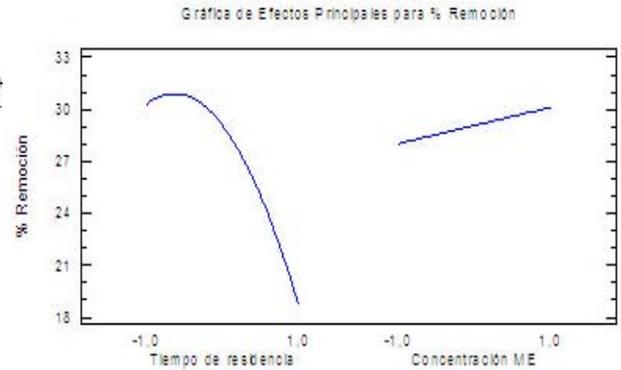
Autocorrelación residual de Lag 1 = -1.08564E-15

Modelo:

% remoción = 29.0753 - 5.79587002 x Tiempo de residencia + 1.03778 x Concentración ME - 4.56812



**Figura 2.** Diagrama de Pareto para porcentaje de remoción de la DQO.



**Figura 3.** Gráfica de efectos para el porcentaje de remoción de la DQO.

**Tabla 5.** Análisis de varianza para % remoción

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: tiempo de residencia	134.369	1	134.369	154.58	0.0511
B: concentración ME	6.46197	1	6.46197	7.43	0.2238
AA	27.8237	1	27.8237	32.01	0.1114
AB	17.0482	1	17.0482	19.61	0.1414
Error total	0.869247	1	0.869247		
Total (corr.)	186.572	5			

### Optimización de múltiples respuestas

La optimización de múltiples respuestas es un procedimiento que ayuda a determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimiza varias respuestas. Lo hace maximizando la función de "deseabilidad" estableciéndose varias características de esta función. Las metas de cada una de las respuestas actualmente están establecidas como aparecen a continuación:

$$x \text{ Tiempo de residencia}^2 + 2.06447 \times \text{Tiempo de residencia} \times \text{Concentración ME}$$

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de % remoción en piezas separadas para cada uno de los efectos, probando la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen una valor-P menor que 0,5, indicando que son significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza de 95 %.

El estadístico R-cuadrada indica que el ajuste del modelo explica el 99.5341 % de la variabilidad en % remoción. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 97.67 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.932. El error medio absoluto (MAE) de 0.358 que es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo.

	Mínimo	Máximo
Respuesta	Observado	Observado
% Remoción	15.3399	31.0606

Respuesta	Deseabilidad			Pesos		
	Baja	Alta	Meta	Primero	Segundo	Impacto
% Remoción	15.0	31.0	Maximizar	1.0	-	3.0

La salida (tabla 6) muestra la función de deseabilidad evaluada en cada punto del diseño. Entre los puntos de diseño, la 'deseabilidad' máxima se alcanza en la corrida 5.

### Optimizar deseabilidad

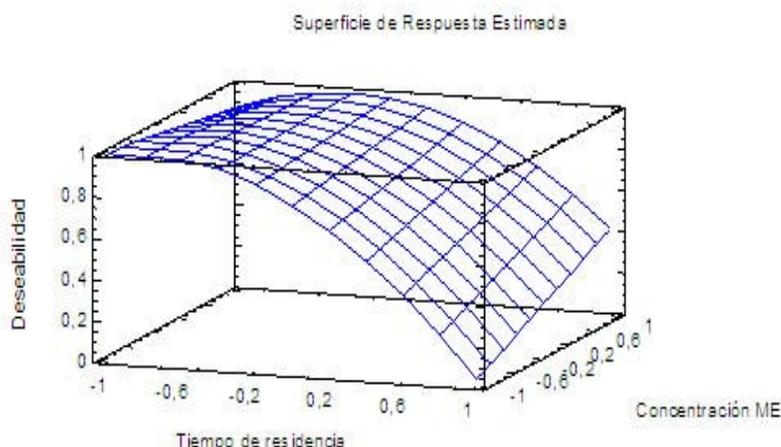
Valor óptimo = 1.0

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo de residencia	-1,0	1,0	-0,777448
Concentración ME	-1,0	1,0	-0,489147
<b>Respuesta</b>	<b>Óptimo</b>		
% remoción	31,0977		

**Tabla 6.** Resultados de la optimización múltiple respuestas

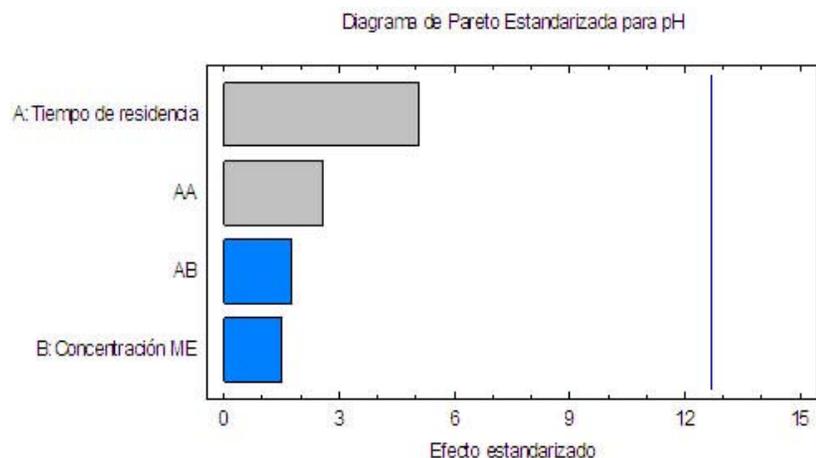
Fila	% Remoción	Deseabilidad	
		Prevista	Observada
1	29.5455	0.892272	0.909094
2	28.5758	0.814845	0.848488
3	15.3399	0.0380651	0.0212438
4	22.0827	0.425847	0.442669
5	31.0606	1.0	1.0
6	29.5748	0.944568	0.910925

En la figura 4 aparece la combinación de niveles de factores que maximiza la función de “deseabilidad” en la región indicada. También muestra la combinación de factores a la cual se alcanza el óptimo.



**Figura 4.** Combinación de niveles de factores que maximiza la función de deseabilidad.

En la tabla 7 aparecen los efectos estimados para el pH obtenido mediante el software Statgraphics Centurion.



**Figura 5.** Diagrama de Pareto para pH.

**Tabla 7.** Efectos estimados para pH

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	4.3415	0.667282	
A: tiempo de residencia	4.8025	0.943679	1.0
B: concentración ME	-1.15267	0.770511	1.0
AA	4.2445	1.6345	1.0
AB	-1.6525	0.943679	1.0

La tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo.

Como muestra el diagrama de Pareto y la gráfica de efectos principales (figuras 5 y 6) a pesar de que ningún factor es significativo, el tiempo de residencia es el de mayor influencia sobre el pH. Esta influencia es de forma positiva lo que significa que a medida que aumenta el tiempo de residencia aumenta el pH.

El análisis de varianza para el porcentaje de remoción de DQO se muestra en la tabla 8.

R-cuadrada = 97.4324%  
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87.1621 %  
 Error estándar del est. = 0.943679  
 Error absoluto medio = 0.363222  
 Estadístico Durbin-Watson = 1.58333  
 Autocorrelación residual de Lag 1=4,05177E-16

Modelo:

$$\text{pH} = 4.3415 + 2.40125 \times \text{Tiempo de residencia} - 0.576333 \times \text{Concentración ME} + 2.12225 \times \text{Tiempo de residencia}^2 - 0.82625 \times \text{Tiempo de residencia} \times \text{Concentración ME}$$

La tabla ANOVA para la variabilidad de pH muestra que en este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95 %.

El estadístico R-cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 97.43 % de la variabilidad en pH. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 87.16 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.943. El error medio absoluto (MAE) de 0.363 es el valor promedio de los

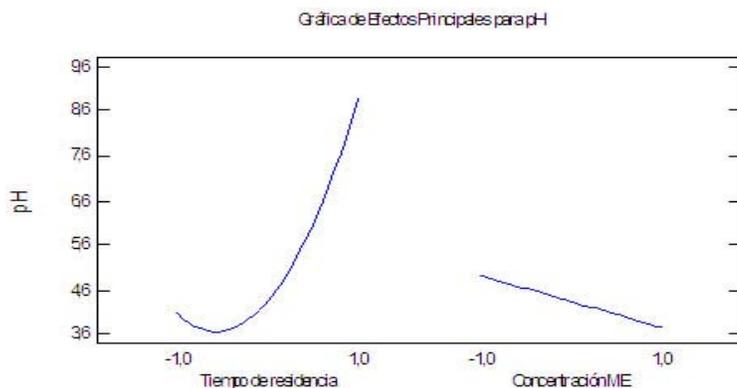


Figura 6. Gráfica de efectos para el pH.

Tabla 8. Análisis de varianza para % remoción de DQO

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: tiempo de residencia	23.064	1	23.064	25.90	0.1235
B: concentración ME	1.99296	1	1.99296	2.24	0.3751
AA	6.00526	1	6.00526	6.74	0.2340
AB	2.73076	1	2.73076	3.07	0.3303
Error total	0.89053	1	0.89053		
Total (corr.)	34.6835	5			

residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo.

## CONCLUSIONES

- Los valores de DQO y  $DBO_5$  del residual de Fitomas utilizado no cumplen con la norma cubana de vertimiento.
- La relación ( $DBO_5/DQO$ ) de la muestra tiene un valor de 0.49 lo que corrobora que pueden emplearse sistemas biológicos para su tratamiento

- Los resultados del diseño experimental mostraron que ni el tiempo de residencia ni la concentración son significativos en el porcentaje de remoción y el pH.
- El máximo del porcentaje de remoción se logra para los menores niveles de concentración y tiempo de residencia, alcanzándose un 31 %.

## RECOMENDACIONES

- Realizar los ensayos de la segunda etapa, probando la mejor condición obtenida en esta etapa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bejarano, E.; Escobar, M. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Programa de ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá D.C.
2. López, M. V. (1981). Tratamiento biológico de aguas residuales en perspectiva de la biotecnología en México. Editorial CONACYT, México. pp. 259-284.
3. Obaya, M. C.; *et al.* (2003) Metodología para la caracterización de las aguas y aguas residuales para su calidad de aguas para riego. Compendio de los derivados de la caña de Azúcar. ICIDCA. La Habana. Moanografía 21.
4. APHA-AWWA-WPCF. (2005). Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC, 21 ed. Joint Editorial Board.
5. Conde, J. *et al.* (1978). Determinación rápida de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar. 12 (3): 21-31.
6. NC 27:2012. Oficina Nacional de Normalización. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. La Habana. Cuba. Octubre 2012.
7. Hernández, M. A. (1998). Depuración de aguas residuales. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, Madrid, España.
8. Statgraphics Centurion XV (2013). Software Versión 15.2.05.