

Artículo Original

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES OPERACIONALES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ÁCIDO HÚMICO A PARTIR DE LA CACHAZA

DETERMINATION OF OPERATIONAL CONDITIONS FOR THE HUMIC ACID FROM THE FILTER CAKE EXTRACTION PROCESS

Irina Pedroso Rodríguez ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-5853-7607>
Lourdes Yamén González Sáez ¹ <https://orcid.org/0000-0001-8478-6618>
Jesús Luis Orozco ¹ <https://orcid.org/0000-0001-6484-0672>

¹Departamento de Química, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Matanzas.
Vía Blanca a Varadero km 4 ½. 44740, Matanzas, Cuba.

Recibido: Marzo 4, 2021; Revisado: Marzo 15, 2021; Aceptado: Abril 13, 2021

RESUMEN

Introducción:

El ácido húmico es un fertilizante de origen orgánico que mejora las condiciones del suelo y favorece el desarrollo de las plantas. La cachaza es un residuo de la producción de azúcar, una fuente rica y renovable de materia orgánica.

Objetivo:

Determinar las condiciones operacionales del proceso de extracción de ácido húmico a partir de la cachaza.

Materiales y Métodos:

La extracción se realiza en dos etapas, un tratamiento básico con hidróxido de sodio y luego con ácido sulfúrico. Se planifica un diseño experimental compuesto central, con los factores relación sólido-líquido y los tiempos de cada tratamiento. Se optimiza el proceso a partir gráficos de superficie de respuesta y se aplica un análisis de regresión múltiple para la obtención de los modelos matemáticos que permitan predecir las condiciones óptimas.

Resultados y Discusión:

La cachaza presentó un contenido de materia orgánica de 74,57% lo que indica un alto grado de maduración de la fuente orgánica, además presenta un pH igual a 6,2 y 65,02% de humedad. Las condiciones óptimas obtenidas fueron relación sólido-líquido igual a



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Irina Pedroso, Email: irina.pedroso@umcc.cu



0,12 g/ml y 10 h de extracción en cada etapa, con un porcentaje de extracción de ácido húmico igual a 15,37% y un beneficio bruto de 694,23 \$/h.

Conclusiones:

En el proceso de extracción de ácido húmico a partir de la cachaza influyen para un 10% de nivel de significación la relación sólido-líquido y los tiempos de cada extracción. Se obtiene un 15,37% de extracción de materia orgánica en el ácido húmico.

Palabras clave: ácido húmico; cachaza; condiciones operacionales; extracción; optimización.

ABSTRACT

Introduction:

Humic acid is an organic origin fertilizer that improves soil conditions and favors the plants development. Filter cake, a waste from sugar production, is a rich and renewable source of organic matter.

Objective:

To determine operational conditions of humic acid from filter cake extraction process

Materials and Methods:

The extraction is carried out in two stages, a basic treatment with sodium hydroxide and then with sulfuric acid. A central compound experimental design is planned, with the solid-liquid ratio and treatment time as variable factors. The process is optimized from response surface graphs. Multiple regression analysis is applied to obtain the mathematical models that allow to predict optimal conditions.

Results and Discussion:

Filter cake had a 74.57%, organic matter content which indicates a high degree of maturation of the organic source; in addition, it presents a pH equal to 6.2 and 65.02% of humidity. The optimal conditions obtained were solid-liquid ratio equal to 0.12 g/ml and 10 h of extraction in each stage, with a humic acid extraction percentage equal to 15.37% and a gross profit of 694.23 \$/h.

Conclusions:

With a 10% level of significance, solid-liquid ratio and extraction time, influence in humic acid from the filter cake extraction process. A 15.37% extraction of organic matter is obtained in humic acid.

Keywords: humic acid; filter cake; operations conditions; extraction; optimization.

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de sus ventajas, el empleo de fertilizantes químicos no ha podido solucionar los múltiples problemas relacionados con la fertilidad del suelo. Por el contrario, debido al uso intensivo de este insumo agrícola y de métodos inadecuados de manejo de suelos y de los cultivos, se han presentado serios problemas de degradación ambiental, de pérdida de la capacidad productiva de los suelos y la contaminación de los alimentos destinados a la población (Kandil et al., 2013). Por este motivo, existe una tendencia a sustituir productos químicos que se utilizan en la fabricación y/o producción de

alimentos, por productos naturales. De Oliveira et al., (2016) exponen que los productos químicos pueden ser una de las fuentes causantes del incremento de cáncer y otras enfermedades que se observa en la actualidad, por lo que existe una tendencia a disminuir el consumo de los mismos e incrementar la utilización de productos naturales. Es por ello, que la producción de fertilizantes orgánicos se ha convertido en una necesidad dada la no existencia de otros y para poder realizar producciones de alimentos ecológicos, libres de productos químicos.

El ácido húmico es el componente activo de varios materiales orgánicos, por lo que estudios sobre purificación y usos del mismo, se reportan a nivel internacional (Raposo et al., 2016); (Guo et al., 2016); (Yang et al., 2016); (Scaglia et al., 2016), y se buscan las vías y métodos más adecuados para la extracción del mismo, para su uso como fertilizante y existen aplicaciones desarrolladas por Zanetti, (1994) en terapéutica en el tratamiento del virus de inmunodeficiencia adquirida SIDA y de diferentes tipos de metástasis de cáncer.

La cachaza es un residuo del proceso azucarero, considerado por Galba (Galba et al., 2010) una fuente rica y renovable de materia orgánica (MO), lo que la convierte en una posible fuente de sustancias promotoras de crecimiento vegetal como es el ácido húmico. Según datos del Grupo Azucarero AZCUBA (perteneciente a la Agroindustria Azucarera Cubana), en la provincia de Matanzas, Cuba, existe una disponibilidad del mismo de 605 641,6 kg/día. El objetivo de este trabajo es determinar las condiciones operacionales en el proceso de extracción de ácido húmico a partir de la cachaza.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Método de obtención de ácido húmico

La materia prima utilizada es la cachaza, proveniente del Central Azucarero Jesús Rabí ubicado en el municipio de Calimete en la provincia de Matanzas. Se recopilan muestras puntuales de cachaza cada 15 días, durante todo el período de zafra y se mezclan para obtener una muestra compuesta para la investigación. La materia prima es triturada para lograr la homogenización de la muestra hasta un tamaño de partícula de 2 mm (Xu et al., 2017). La caracterización de la muestra se realiza en el Laboratorio Provincial de Suelos de Matanzas, a partir de los siguientes parámetros: materia orgánica, contenido de cenizas, humedad y pH (Martínez et al., 2004).

El método de extracción de sustancias húmicas que se aplica (Asing et al., 2009) consta de dos etapas (ver figura 1). En la primera etapa se separan las sustancias húmicas y la humina, a partir de un tratamiento básico, con el solvente hidróxido de sodio (NaOH) a concentración de 0,5 mol/L (Zhang et al., 2017), (De Souza y Roca, 2018), con diferentes relaciones sólido - líquido (tabla 1). Después de transcurrido el tiempo de extracción (tabla 1) se centrifuga la muestra durante 10 minutos a 3200 rpm (Saito y Seckler, 2014), (Baglieri et al., 2007), siendo la humina el precipitado y las sustancias húmicas el sobrenadante; estas pasan a la segunda etapa, donde ocurre su fraccionamiento, a través de un tratamiento con ácido sulfúrico a concentración de 6 mol/L (Asing et al., 2009), (Atiyeh et al., 2002) hasta lograr un pH entre 1 y 2. Después de transcurrir el tiempo de extracción ácida (tabla 1), la suspensión resultante se centrifuga durante 10 minutos a 3200 rpm (Saito y Seckler, 2014) para obtener ácido húmico (AH) en forma de precipitado y ácido fúlvico como sobrenadante.

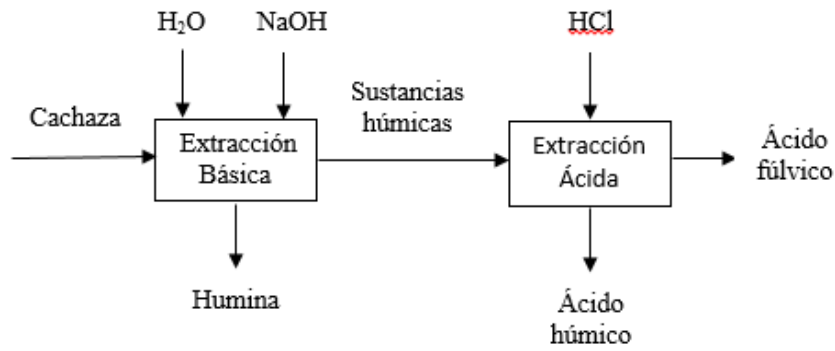


Figura 1. Etapas de obtención de ácido húmico

2.2 Diseño experimental

En la investigación se planifica un diseño experimental de superficie de respuesta compuesto central ortogonal con tres factores y dos variables respuestas. En la tabla 1 se muestran los niveles de los factores a estudiar. Las variables respuestas de la investigación son la masa de ácido húmico obtenido y el porcentaje de extracción del contenido de materia orgánica en el ácido húmico (% EMO_{AH}), por ser el componente de interés de este producto, el cual se calculó a partir de la ecuación 1:

$$\% EMO_{AH} = \frac{X_{(MO)AH} m_{(AH)}}{X_{(MO)C} m_{(C)}} \quad (1)$$

Donde:

$m_{(C)}$: masa de cachaza, kg.

$m_{(AH)}$: masa de ácido húmico obtenido, kg.

$X_{(MO)C}$: composición de materia orgánica en la cachaza.

$X_{(MO)AH}$: composición de materia orgánica en el ácido húmico.

% EMO_{AH} : Porcentaje de extracción del contenido de materia orgánica en el ácido húmico extraído, %.

Tabla 1. Niveles de los factores en estudio

<i>Factores</i>	<i>Unidad</i>	<i>Niveles</i>	<i>Fuente</i>
Relación sólido-líquido (S/L)	g/mL	(1/15; 1/10; 1/5)	(De Souza y Roca, 2018), (Galba et al., 2010), Antilén et al., 2014), Asing et al., 2009)
Tiempo de extracción básica (t_{EB})	h	(4; 8; 12)	(Asing et al., 2009), (Baglieri et al., 2007)
Tiempo de extracción ácida (t_{EA})	h	(4; 8; 12)	(Saito y Beckler, 2014), (Asing et al., 2009), (Baglieri et al., 2007)

La masa de AH se determina por el método gravimétrico y la composición de materia orgánica en el mismo a partir de la técnica recomendada por (Martínez et al., 2004).

2.3 Herramientas estadísticas empleadas

Para determinar la influencia de los factores en el proceso se aplica Análisis de Varianza Multifactorial y Diagramas de Pareto. Se realiza una optimización global del proceso

con los resultados experimentales obtenidos, a partir de gráficos de superficie de respuesta. Para determinar los modelos matemáticos bajo las condiciones óptimas del diseño se realiza un análisis de regresión múltiple. Se utiliza el paquete estadístico *STATGRAPHICS PLUS* Versión 5.1.

2.4 Valoración técnica-económica

Para la selección de la alternativa de extracción más factible se tendrá en cuenta la factibilidad técnica y económica de proceso. La factibilidad técnica se determina a partir del porcentaje de extracción del contenido de materia orgánica en el ácido húmico obtenido (ecuación 1) y la factibilidad económica a partir del beneficio bruto (BB) obtenido del resultado de venta de los productos (VP) (ácido húmico y ácido fúlvico), así como los costos de la materia prima y los materiales auxiliares consumidos (CMP), que se muestran en la tabla 2, a partir de la ecuación 2:

$$BB = VP - \sum CMP \quad (2)$$

Los precios de los ácidos húmico y fúlvico son 11,55 y 1,75 \$/kg, respectivamente, según Laboratorio de Tecnologías Biológicas Jiangsu Zhifeng, reportado por Santiago, (2017).

Tabla 2. Costos de la cachaza y los materiales auxiliares

<i>Materiales auxiliares</i>	<i>Costo unitario</i>		<i>Fuente</i>
	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>	
Cachaza	\$/t	18,5	Ficha de venta de la Delegación del MINAG Matanzas
Hidróxido de sodio	\$/t	460,93	Ficha de precios de la Empresa Electroquímica Sagua
Agua	\$/m ³	1,55	Ficha técnica de la Delegación INRH Matanzas
Ácido sulfúrico	\$/t	150	Ficha de precios de la UEB Rayonitro

Para una demanda de una tonelada mensual de ácido húmico, según datos de consumo de fertilizantes en organopónicos del municipio de Matanzas, y en dependencia del estimado del tiempo de producción (t_{prod}) para cada alternativa, se determina el flujo de ácido húmico (W_{AH}). Los flujos de ácido fúlvico producido, de cachaza y de materiales auxiliares consumidos (extractante básico, extractante ácido y agua) en cada alternativa se calculan por la ecuación 3:

$$W_X = W_{AH} \frac{m_{(X)}}{m_{(AH)}} \quad (3)$$

Donde:

W_X : flujo de cada corriente (ácido fúlvico, de cachaza, extractante básico, extractante ácido y agua), kg/h

$m_{(X)}$: masa de cada corriente consumida o producida, kg

La cantidad de agua consumida será la sumatoria del agua que se consumen en cada extractante para lograr la concentración deseada y la que se debe adicionar a la extracción básica para garantizar la relación sólido-líquido requerida en cada alternativa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de la materia prima

La cachaza utilizada en la investigación presenta un contenido de materia orgánica (MO) igual a 74,57 %, similar al obtenido por Galba (Galba et al., 2010) que es de 78,25 %, el cual, en su estudio expone que esta materia prima es la que presenta mayor contenido de materia orgánica entre los residuos orgánicos que se utilizan como fertilizante; por ejemplo, Santiago, (2017) utiliza un estiércol de ganado vacuno con 32,21 % y Kulikowska (Kulikowska et al., 2015) un compost con 47,9 % de materia orgánica. El bajo contenido de cenizas (25,43 %) permite una mayor degradación de la materia orgánica, lo que refleja el alto grado de maduración de la fuente orgánica. El valor del pH es igual a 6,2 similar al obtenido por Galba (Galba et al., 2010) de 6,0. Esta débil acidez permite el uso de este residuo como enmienda en el suelo. La humedad es de 65,02 %, con alto contenido de agua, lo que provoca un mayor consumo de materia prima y favorece un menor consumo de agua, en dependencia de la relación sólido-líquido utilizada en la extracción básica.

3.2 Optimización de las condiciones operacionales en la extracción de ácido húmico

La tabla 3 muestra la matriz del diseño experimental y las variables respuestas para cada alternativa. La mayor cantidad de ácido húmico extraída (0,08 kg) se obtiene en la alternativa 9, pero no coincide con la que permite el mayor % de extracción de materia orgánica (14,79 %) que es la alternativa 4. Como el contenido de materia orgánica es esencial para el efecto de este tipo de fertilizante, se realiza una optimización de esta variable para las condiciones experimentales.

Tabla 3. Resultados experimentales para cada alternativa

<i>Alternativa</i>	<i>S/L (g/mL)</i>	<i>t_{EB} (h)</i>	<i>t_{EA} (h)</i>	<i>m_(AH) (kg)</i>	<i>% EMO_{AH} (%)</i>
1	1/10	2	8	0,034	8,63
2	1/10	8	8	0,045	15,33
3	1/15	12	12	0,043	13,05
4	1/10	14	8	0,046	14,79
5	1/5	4	12	0,063	10,88
6	1/15	4	4	0,056	11,98
7	1/5	12	12	0,074	14,19
8	1/10	8	14	0,043	14,51
9	1/4	8	8	0,08	12,69
10	1/5	4	4	0,057	9,53
11	1/15	12	4	0,045	12,57
12	1/20	8	8	0,04	14,63

13	1/5	12	4	0,066	11,18
14	1/10	8	8	0,045	15,39
15	1/15	4	12	0,054	12,43
16	1/10	8	2	0,046	12,41

En el diagrama de Pareto (figura 2) se aprecia que en la masa de ácido húmico influye significativamente para un 90 % de confianza de la relación sólido - líquido. Se obtiene que un aumento de la relación sólido - líquido favorece la obtención de este producto y esto se debe fundamentalmente al contenido de humedad que presenta la cachaza. A su vez, un aumento del tiempo de cada extracción provoca un incremento en la masa de ácido húmico, pues existe mayor contacto entre materia prima y extractante.

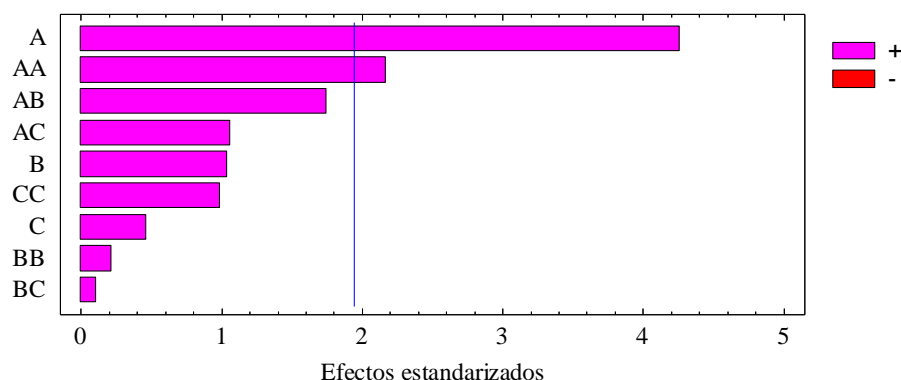


Figura 2. Diagrama de Pareto con un 90 % de confianza para la masa de ácido húmico extraída
 Legenda: A: relación sólido – líquido, B: Tiempo de extracción básica, C: Tiempo de extracción ácida

La figura 3 muestra que, sobre el porcentaje de extracción de materia orgánica en el ácido húmico, influyen significativamente para un 90 % de confianza el tiempo de extracción básica, el tiempo de extracción ácida y el efecto cuadrado de cada uno. Estos resultados coinciden con los reportados por (Saito y Beckler, 2014) y (Asing et al., 2009), que demuestran que a mayores tiempos de extracción se extrae un contenido de materia orgánica superior en el producto.

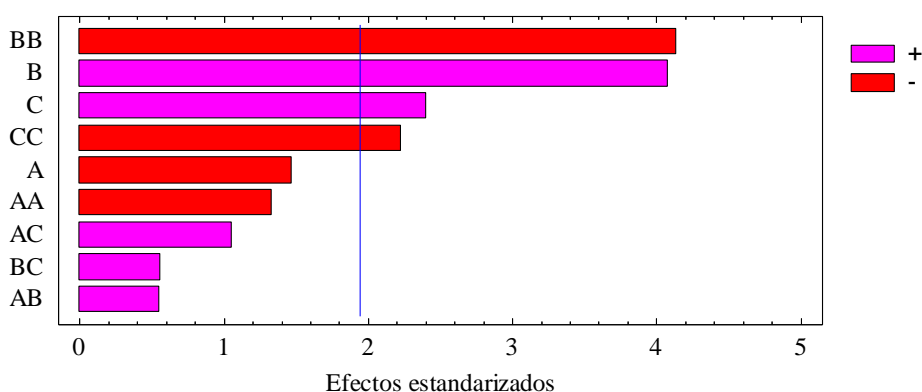


Figura 3. Diagrama de Pareto con un 90 % de confianza para el porcentaje de extracción de materia orgánica en el ácido húmico

Legenda: A: relación sólido – líquido, B: Tiempo de extracción básica, C: Tiempo de extracción ácida

En la tabla 3 se muestra que la mayor masa de ácido húmico (0,08 kg) se obtiene para la

alternativa 9, con una relación sólido-líquido igual a 0,25 g/mL y un tiempo de 8 h para cada extracción; sin embargo, estas no coinciden con las condiciones óptimas de extracción del contenido de materia orgánica en el ácido húmico obtenido que son: 0,12 g/mL de relación sólido - líquido y un tiempo de 10 h para cada extracción, con un 15,73 % de extracción de materia orgánica (figura 4). Este resultado es inferior al obtenido por (Siong et al., 2006), que fue de 13,67%.

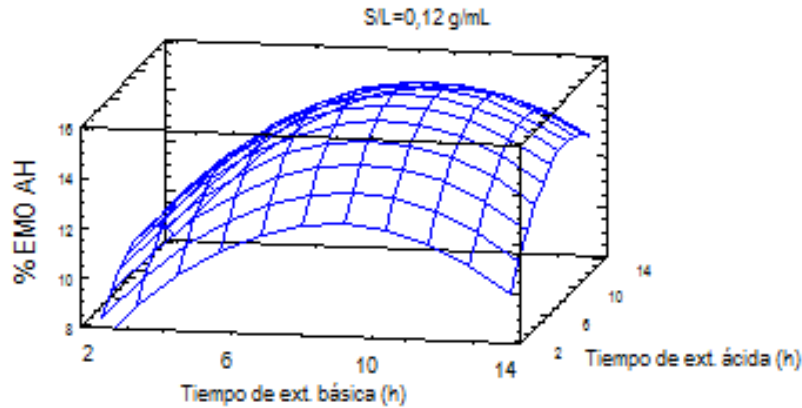


Figura 4. Superficie de respuesta para el porcentaje de extracción de materia orgánica en los ácidos húmicos

3.3 Valoración técnica – económica

La tabla 4 muestra los resultados para cada alternativa de los flujos de materias primas y productos, así como los egresos e ingresos de cada uno respectivamente.

Tabla 4. Resultados de los consumos de cachaza y materiales auxiliares, así como los flujos de los ácidos húmicos y fúlvicos producidos para cada alternativa

Alt	Cachaza		Extractante básico		Extractante ácido		Agua		Ácido húmico		Ácido fúlvico		BB (\$/h)
	W	CMP	W	CMP	W	CMP	W	CMP	W	VP (\$/h)	W	VP (\$/h)	
1	17,27	0,32	6,91	3,19	2,57	0,04	179,31	0,27	19,44	224,58	120,69	211,21	431,98
2	18,32	0,34	7,33	3,38	7,44	0,11	203,64	0,31	27,78	320,83	146,43	256,26	572,95
3	27,15	0,50	16,29	7,51	10,78	0,16	436,17	0,65	38,89	449,17	363,30	635,78	1076,12
4	23,69	0,44	9,48	4,37	6,50	0,10	254,43	0,38	36,11	417,08	178,33	312,07	723,87
5	26,40	0,49	5,28	2,43	5,36	0,08	146,68	0,22	27,78	320,83	81,88	143,29	460,90
6	8,99	0,17	5,39	2,49	3,15	0,05	143,28	0,21	16,67	192,50	108,80	190,40	379,98
7	31,50	0,58	6,30	2,90	3,43	0,05	166,56	0,25	38,89	449,17	83,75	146,56	591,94
8	24,95	0,46	9,98	4,60	6,39	0,10	266,58	0,40	36,11	417,08	186,49	326,36	737,89
9	20,90	0,39	3,34	1,54	1,87	0,03	88,55	0,13	27,78	320,83	43,28	75,74	394,49
10	17,55	0,32	3,51	1,62	1,96	0,03	92,92	0,14	16,67	192,50	50,96	89,17	279,56
11	18,38	0,34	11,03	5,08	7,79	0,12	296,80	0,45	27,78	320,83	245,99	430,49	745,33
12	13,95	0,26	8,37	3,86	7,54	0,11	229,91	0,34	27,78	320,83	255,78	447,61	763,87
13	25,25	0,47	5,05	2,33	1,76	0,03	130,67	0,20	27,78	320,83	66,93	117,14	434,95
14	18,38	0,34	7,35	3,39	7,62	0,11	204,77	0,31	27,78	320,83	146,30	256,02	572,70
15	15,20	0,28	9,12	4,20	4,91	0,07	241,03	0,36	27,78	320,83	185,79	325,14	641,05
16	12,78	0,24	5,11	2,36	3,57	0,05	137,40	0,21	19,44	224,58	94,82	165,93	387,66
Ópt.	22,75	0,42	7,28	10,64	5,86	0,09	207,41	0,31	33,33	385	183,25	320,69	694,23

Leyenda: W: Flujo de cada producto involucrado en el proceso de extracción (kg/h), CMP: Costo de la materia (\$/h), VP: Valor del producto (\$/h), BB: Beneficio bruto (\$/h), Opt (condiciones óptimas)

Los consumos de cachaza necesarios para producir ácidos húmicos en cada alternativa son inferiores a la disponibilidad de esta materia prima diaria en todos los centrales de

la provincia (605 641,6 kg/día), lo que indica que es posible utilizar la misma.

En la tabla 4 se observa que la alternativa 3 (relación S/L de 1/15 g/mL, 12 h de extracción básica y 12 h de extracción ácida) arroja el mayor beneficio bruto (1076,12 \$/h); sin embargo, estas no coinciden con las que se obtiene el mayor porcentaje de extracción del contenido de materia orgánica en el ácido húmico (15,73 %) bajo las siguientes condiciones: 0,12 g/mL de relación sólido - líquido; tiempo (extracción básica) = 10 h; tiempo (extracción ácida) = 10 h.

Para estas condiciones óptimas resulta necesario estimar los flujos de consumos de materia prima y materiales auxiliares y de generación de los productos (ácidos húmico y fúlvico), a partir de modelos de correlación múltiple (ver tabla 5), los cuales son representativos para un 95 % de confianza, pues arrojan valores de probabilidad inferiores a 0,05.

Tabla 5. Modelos de correlación múltiple para las condiciones operacionales óptimas

<i>Variable</i>	<i>Modelo</i>	<i>Valor de probabilidad</i>
W_{EA}	$W_{EA} = 6,22 - 26,98 S/L + 0,29 t_{EB}$ (4)	0,0053
W_{agua}	$W_{agua} = 184,04 - 914,69 S/L + 10,38 t_{EB} + 10,41 t_{EA}$ (5)	0,0001
W_{AF}	$W_{AF} = 146,62 - 1025,6 S/L + 8,38 t_{EB} + 7,59 t_{EA}$ (6)	0,0002
<i>Leyenda: (S/L) relación sólido – líquido, (t_{EB}) tiempo de extracción básica, (t_{EA}) tiempo de extracción ácida</i>		

Los consumos de cachaza y materiales auxiliares, así como los flujos de los ácidos húmico y fúlvico producidos para estas condiciones se muestran en la tabla 4. El beneficio bruto para las condiciones óptimas es igual a 694,23 \$/h, superior al obtenido en la alternativa 14 que arroja el mayor % de extracción de materia orgánica en el ácido húmico (572,70 \$/h).

4. CONCLUSIONES

La extracción de ácido húmico a partir de la cachaza utilizando hidróxido de sodio y ácido sulfúrico como extractantes, bajo diferentes condiciones operacionales arrojan que:

1. En el proceso de extracción influyen significativamente la relación sólido - líquido y los tiempos de cada extracción para un 90 % de confianza, para las condiciones experimentales establecidas en la investigación.
2. Se obtiene un 15,73 % de extracción del contenido de materia orgánica en el ácido húmico, para condiciones operacionales óptimas iguales a 0,12 g/ml de relación sólido - líquido y un tiempo de 10 h para cada extracción.
3. Todas las alternativas presentan un beneficio bruto positivo, para las condiciones óptimas es igual a 694,23 \$/h.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo del VLIR UOS a través del proyecto ZEIN2015PR402 – 3942, por la colaboración en la investigación de profesores de la Universidad Católica de Leuven, Bélgica.

REFERENCIAS

- Antilén, M., Silva, K., Acevedo, S., Amiama, F., Faúndez, M., Knicker, H., & Pizarro, C., Characterization of humic acids extracted from biosolid amended soils., *Journal of soil science and plant nutrition*, Vol. 14, No. 4, 2014, pp. 1005-1020.
- Asing, J., Wong, N.C., & Lau, S., Optimization of extraction method and characterization of humic acid derived from coals and composts., *Journal Tropical Agriculture and Food Science*, Vol. 37, No. 2, 2009, pp. 211–223.
- Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., & Metzger, J.D., The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth., *Bioresource Technology*, Vol. 84, 2002, pp. 7-14.
- Baglieri, A., Ioppolo, A., Negre, M., & Gennari, M., A method for isolating soil organic matter after the extraction of humic and fulvic acids., *Organic Geochemistry*, Vol. 38, No. 1, 2007, pp. 140-150.
- De Oliveira, L., De Almeida, C., Fernandes, L., Friese, K., & Rosa, A., Interaction of arsenic species with tropical river aquatic humic substances enriched with aluminum and iron., *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 23, 2016, pp. 6205-6216.
- De Souza, F., & Roca, S., Extraction and characterization of humic acid from coal for the application as dispersant of ceramic powders., *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 7, No. 3, 2018, pp. 254-260.
- Galba, J., Basilio, D., Barros, L., Facanha, A., & Pasqualoto, L., Humic substances isolated from residues of sugar cane industry as root growth promoter., *Science Agricola*, Vol. 67, No. 2, 2010, pp. 206-212.
- Guo, X., Junhao, H., Yanyu, L., Guangchun, S., & Qunliang, L., The influence of flue gas desulfurization gypsum additive on characteristics and evolution of humic substance during co-composting of dairy manure and sugarcane pressmud., *Bioresource Technology*, Vol. 219, 2016, pp. 169–174.
- Kandil, A., Sharief, A., & Fathalla, H., Onion yield as affected by foliar application with amino and humic acids under nitrogen fertilizer levels., *ESci Journal of Crop Production*, Vol. 2, No. 2, 2013, pp. 62-72.
- Kulikowska, D., Mariusz, Z., Bułkowska, K., & Kierklo, K., Humic substances from sewage sludge compost as washing agent effectively remove Cu and Cd from soil., *Chemosphere*, Vol. 136, 2015, pp. 42–49.
- Martínez, F., Valdez, M., Bahamonde, A., Mena, M., & Peña, E., Manual de técnicas de análisis químico para el humus de lombriz., Instituto de Suelo, MINAG, 2004, pp. 1-22.
- Raposo, J., Villanueva, U., Olivares, M., & Madariaga, J., Determination of humic substances in sediments by focused ultrasound extraction and ultraviolet visible spectroscopy., *Microchemical Journal*, Vol. 128, 2016, pp. 26–33.
- Saito, B., & Seckler, M.M., Alkaline extraction of humic substances from peat applied to organic-mineral fertilizer production., *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 3, No. 3, 2014, pp. 675-682.
- Santiago, E., Optimización de la etapa de extracción de sustancias húmicas a partir del estiércol de ganado vacuno., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad de Matanzas, Cuba, 2017.

- Scaglia, B., Rachide, R., Oliveira, M., Tambone, F., & Adani, F., Investigating organic molecules responsible of auxin-like activity of humic acid fraction extracted from vermicompost., *Science of the Total Environment*, Vol. 562, 2016, pp. 289-295.
- Siong, S., Seng, L., Chong, W.N., Asing, J., Faizal, M., & Satirawaty, A., Characterization of the coal derived humic acids from Mukah, Sarawak as soil conditioner., *Journal of the Brazilian Chemical Society*, Vol. 17, No. 3, 2006, pp. 582-587.
- Xu, J., Zhao, B., Chu, W., Mao, J., & Zhang, J., Chemical nature of humic substances in two typical Chinese soils (upland vs paddy soil): A comparative advanced solid state NMR study., *Science of the Total Environment*, Vol. 576, 2017, pp. 442-52.
- Yang, Z., Mengchan, D., & Jie, J., Reducing capacities and redox potentials of humic substances extracted from sewage sludge., *Chemosphere*, Vol. 144, 2016, pp. 902-908.
- Zanetti, M., Tratamiento de una Infección VIH con ácido húmico., *United States Patent* 4, 448, 560., 1994, pp. 1-14.
- Zhang, S., Yuan, L., Li, W., Lin, Z., Li, Y., Hu, S., & Zhao, B., Characterization of pH-fractionated humic acids derived from Chinese weathered coal. *Chemosphere*, Vol. 166, 2017, pp. 334-342.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Irina Pedroso Rodríguez. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- Dra.C. Lourdes Yamén González Sáez. Trabajó en la etapa experimental y colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- Dr.C. Jesús Luis Orozco. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.