

Evaluar la factibilidad económica de una planta multipropósito para la producción de sulfatos

Evaluate the economic feasibility of a multipurpose plant for the
production of sulfates

Rocío Fernández- Leiva¹<https://orcid.org/0000-0003-4381-6678>

Jenny Serrano- Castillo²<https://orcid.org/0000-0002-7555-2315>

Néstor Ley- Chong¹<https://orcid.org/0000-0001-5575-246X>

Erenio González -Suárez¹<https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

Lisandra Guevara- Orozco^{1*}<https://orcid.org/0000-0002-9940-9425>

¹Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia.

Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas; Santa Clara, Villa Clara. Cuba.

² Empresa Química de Cienfuegos; Cienfuegos. Cuba.

*Autor para la correspondencia: correo: lgorozco@uclv.cu

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar las alternativas de plantas de producción de sulfato de manganeso, sulfato de magnesio heptahidratado y de una planta multipropósito que incluye estas dos alternativas ya mencionadas; con el fin de realizar comparaciones entre ellas de manera que se pueda seleccionar la más factible. Se usó el índice de costo para calcular el costo de los equipos, las metodologías para determinar los Costos Totales de Inversión y de Producción y

las hojas de cálculo Excel. El análisis económico demostró la factibilidad del diseño de una Planta Multipropósito para la producción de sulfatos con un período de recuperación de 3,67 años.

Palabras clave: sulfatos; planta multipropósito; costo; factibilidad.

ABSTRACT

The objective of this work is to study the alternatives of production plants for ananese Sulfate, Magnesium Sulfate Heptahydrate and a Multipurpose Plant that includes these two alternatives already mentioned; in order to make comparisons between them so that the most feasible can be selected. The cost index was used to calculate the cost of the equipment, the methodologies to determine the Total Costs of Investment and Production and the Excel spreadsheets. The economic analysis demonstrated the feasibility of designing a Multipurpose Plant for the production of sulphates with a recovery period of 3,67 years.

Keywords: sulfates; Multipurpose Plant; cost; feasibility.

Recibido: 10/04/2022

Aceptado: 18/07/2022

Introducción

Los fertilizantes son sustancias ricas en nutrientes que se utilizan para mejorar las características del suelo para un mayor desarrollo de los cultivos agrícolas. Entre ellos se encuentran los orgánicos, los químicos y los inorgánicos.⁽¹⁾ Los fertilizantes inorgánicos o sintéticos son fabricados artificialmente, vienen con una dosis de macronutrientes exactos y están diseñados para atender necesidades específicas de los cultivos. Las características de los abonos inorgánicos se encuentran precisadas en su empaque exterior.⁽²⁾ El sulfato de magnesio heptahidratado es una sustancia de gran importancia que se emplea

fundamentalmente en la jardinería y la agricultura por su capacidad de fertilizar y corregir la deficiencia de magnesio de los suelos. Este fertilizante 100% soluble es usado en la fertirriegaación de los cultivos y es la principal fuente de fertilización de magnesio disponible y asimilable por plantas bajo la forma de Óxido de Magnesio y un aporte importante de Azufre el cual es muy importante en la determinación de cantidad y calidad de la biomasa de un cultivo.⁽³⁾ Por su parte, el sulfato de manganeso es un compuesto inorgánico sólido color rosa pálido y de fórmula química $MnSO_4$,⁽⁴⁾ que se utiliza para prevenir diferencias de manganeso en la agricultura, debido a su alto contenido de manganeso, gran solubilidad, máxima biodisponibilidad y bajo costo por unidad de Mn bioaprovechable. Su papel es imprescindible en la constitución de enzimas de oxidación que regulan los procesos vitales del metabolismo en las plantas. Ayuda a la persistencia de la clorofila, por lo que se le encuentra en mayor proporción en los tejidos jóvenes. Convierte los nitratos que toman las raíces a formas que la planta las pueda utilizar.⁽⁵⁾

Estos productos pueden ser elaborados individualmente o mediante la implementación de una planta multipropósito, que es aquella la cual están presentes diversos equipos para cumplir con objetivos específicos y, que con sus conexiones flexibles facilitan la realización de la diversas funciones y procesos dentro de la misma, de ahí el nombre de dicha planta.⁽⁶⁾ En ellas los productos no necesariamente siguen la misma secuencia o requieren de todas las etapas a través del proceso de producción, además se obtienen productos distintos al mismo tiempo y un mismo producto puede seguir caminos diferentes a través de la planta.⁽⁷⁾

En nuestro país, en la actualidad, no existe ninguna industria productora de sulfatos por lo que la mayoría de los fertilizantes son importados. Por tal motivo, al igual que la demanda existente de este producto, hace que sea necesario el diseño de una planta multipropósito productora de sulfatos en la región central. El objetivo general de este trabajo es evaluar la factibilidad económica de obtener a escala industrial de una instalación productora de sulfatos a partir de minerales de

Villa Clara que satisfaga las demandas del mercado macrolocalizado en condiciones óptimas y su ubicación en condiciones seguras de transportación de materias primas y productos.

Materiales y métodos

Para realizar este trabajo se analizaron tres alternativas de plantas; la primera, de producción de sulfato de manganeso, la segunda de sulfato de magnesio heptahidratado y una planta multipropósito, con los dos procesos de sulfatos, como tercera alternativa. Con el fin de comparar las variantes analizadas, se usó el índice de costo para calcular el costo del equipamiento, disponiendo de un índice de 356 para 1990 y de 650 para el año 2022, ⁽⁸⁾ se trabajó con la metodología del Peters & Timmerhaus (1991) ⁽⁹⁾ para determinar el costo total de inversión (CTI) y el costo total de producción (CTP) y con lo que se plantea en la temática de Economía de Empresas, se fija el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa interna de retorno (TIR) y el Plazo de Recuperación al Descuento (PRD). Se emplearon las hojas de Excel para la aplicación de los cálculos mencionados. A continuación, se muestran las ecuaciones utilizadas:

Costo de adquisición del equipamiento

$$Costo_{actual} = Costo_{original} * \frac{Índice_{actual}}{Índice_{original}} \quad (1)$$

Costo de Total de Inversión

$$CTI = Costo Fijo de Inversión (CFI) + Inversión de Trabajo (IT) \quad (2)$$

$$IT = 15\% CTI \quad (3)$$

$$CFI = Costos Directos + Costos Indirectos + Contingencia + Derecho de Contrato \quad (4)$$

Costo de Total de Producción

$$CTP = Costo de Fabricación (CF) + Gastos Generales (GG) \quad (5)$$

$$CF = \text{Costos Directos (CD)} + \text{Cargos fijos (Cf)} + \text{Costos Indirectos (CI)} \quad (6)$$

$$GG = \text{Distribución y venta (DV)} + \text{Administración (A)} + \text{Investigación y Desarrollo (ID)} \quad (7)$$

$$\text{Depreciación} = (CFI - VR)/VD \quad (8)$$

VR: valor residual, asumimos VR = 0

VD: vida útil igual a 15 años.

Ganancia

$$\text{Ganancia} = \text{Valor de la Producción} - \text{CTP} \quad (9)$$

Indicadores Dinámicos Económicos

Para evaluar los indicadores dinámicos se determina el VAN (Valor Actual Neto), el TIR (Taza Interna de Retorno) y el PRD (Plazo de Recuperación al Descuento). Para ello se utilizaron las ecuaciones 10,11 y 12 respectivamente.

$$VAN = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujo de Caja Actualizado}}{(1+i)^k} - \text{Inversión Total} \quad (10)$$

$$TIR = \text{Costo Total de Inversión/Ganancia} \quad (11)$$

$$PRD = \text{Año Anterior a la Recuperac} + \frac{\text{Cant.no recuperada en el próximo año}}{\text{Flujo en ese año}} \quad (12)$$

Resultados y discusión

Costo del Equipamiento

El costo de adquisición del equipamiento se realizó según las etapas de cada uno de los procesos, los equipos necesarios para estas y las capacidades con que trabajan. En la tabla 1 se muestran los costos de adquisición del equipamiento necesario para cada uno de los procesos estudiados.

Tabla 1- Costo de adquisición del equipamiento del proceso de sulfato de manganeso y sulfato de magnesio heptahidratado

Equipos	MnSO ₄		MgSO ₄ .7H ₂ O	
	Nº de equipos	Costo actual (\$)	Nº de equipos	Costo actual (\$)
Reactor 1era etapa	3	65 730,34	3	76 685,39
Filtro 1era etapa	3	43 820,22	3	43 820,22
Intercambiador de calor	1	1 908,01	1	2 008,43
Evaporador	1	209 971,91	1	268 398,88
Reactor 2da etapa	3	547 775,28	-	-
Filtro 2da etapa	3	43 820,22	-	-
Reactor 3ra etapa	3	52 584,27	-	-
Filtro 3ra etapa	3	43 820,22	-	-
Tanque de H ₂ SO ₄	1	30 126,40	1	33 230,34
Tanque de HNO ₃	1	6 846,91	-	-
Tanque de NaOH	1	16 432,58	-	-
Tanque de Dolomita	-	-	1	21 727,53
Tanque de Pirolusita	1	16 067,42	-	-
Tanque de agua	1	8 216,29	1	26 931,18
Tanque de O ₂	1	301 264,04	-	-
Bomba de acero inoxidable	2	3 779,49	1	1 889,75
Bomba hierro fundido	2	2 519,66	1	1 259,83
Elevador de cangilones	1	8 928,37	1	8 764,04
Bandeja de distribución	1	9 129,21	1	8672,75
Cristalizador	-	-	2	89 466,29
Inyector	1	4 929,78	-	-
Torre de Enfriamiento	1	365 168,54	1	209 971,91
Caldera	1	31 952,25	1	36 516,85
Total	35	1 321 791,44	19	829 343,40

Cada línea de producción elabora 10 000 t/año de producto final, por lo que se diseñó una planta multipropósito de los dos procesos de capacidad igual a 20 000 t/año, 10 000 t de sulfato de manganeso en 152 días y 10 000 t de sulfato de magnesio heptahidratado en 148 días trabajando 300 días al año. La tabla 2 muestra el costo de adquisición del equipamiento necesario para la planta multipropósito.

Tabla 2- Costo de adquisición del equipamiento de la Planta Multipropósito

Equipos	Nº de equipos	Costo actual (\$)
Reactor 1era etapa	3	96 404,49
Filtro 1era etapa	3	76 685,39
Intercambiador de calor	1	2 282,30
Evaporador	1	383 426,97
Reactor 2da etapa	3	54 775,28
Filtro 2da etapa	3	43 820,22
Reactor 3ra etapa	3	52 584,27
Filtro 3ra etapa	3	43820,22
Tanque de H ₂ SO ₄	1	49 297,75
Tanque de HNO ₃	1	6 846,91
Tanque de NaOH	1	16 432,58
Tanque de Dolomita	1	21 727,53
Tanque de Pirolusita	1	16 067,42
Tanque de agua	1	36 516,85
Tanque de O ₂	1	301 264,04
Bomba de acero inoxidable	2	3 779,49
Bomba hierro fundido	2	1 259,83
Elevador de cangilones	1	10 042,13
Bandeja de distribución	1	9 585,67
Cristalizador	2	89 466,29
Inyector	1	4 929,78
Torre de Enfriamiento	1	499 367,98
Caldera	1	70 294,94
Total	38	1 890 678,37

Como se observa, el diseño de la planta multipropósito resulta más económico, con un costo de equipamiento de 1 890 678,37 dólares, que el de los dos procesos separados, con un costo de 2 151 134,83 dólares.

Costo Total de Inversión

Para cada una de las tecnologías propuestas se determinó el costo total de la inversión necesaria. Estos resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3- Estimación del costo total de inversión de los procesos de sulfato de manganeso y sulfato de magnesio heptahidratado y de la planta multipropósito

		MnSO ₄	MgSO ₄ .7H ₂ O	Planta Multipropósito
Costos Directos				
Componentes	%	Costo (\$)	Costo (\$)	Costo (\$)
Costo de Equipamiento (E)	23%	1 166 594,80	984 540,03	1 890 678,37
Instalación del Equipamiento	6% E	336 479,79	206 824,32	474 882,63
Instrumentación y Controles	2% E	98 664,57	82 436,7978	158 294,21
Tuberías	3% E	147 996,86	123 655,197	237 441,32
Electricidad	2% E	98 664,57	82 436,7978	158 294,21
Edificios	3% E	147 996,86	123 655,197	237 441,32
Mejoras de patio	2% E	98 664,57	82 436,7978	158 294,21
Facilidades de servicio	8% E	147 996,86	329 747,19	633 176,84
Tierra	1% E	49 332,29	41 218,399	79 147,11
Costos Indirectos				
Ingeniería y Supervisión	4% E	197 329,14	164 873,60	316 588,42
Gastos de Construcción	4% E	197 329,14	164 873,60	316 588,42
Derecho de Contrato	2% E	98 664,57	82 436,80	158 294,21
Contingencia	5% E	246 661,43	206 091,99	395 735,53
Costo Fijo de Inversión (CFI)	CD + CI	3 206 598,5	2 679 195,90	5 144 561,86
Costo de Trabajo (CT)	15% CIT	565 870,33	472 799,28	907 863,86
Costo Total de Inversión (CTI)	CFI + CT	3 772 468,86	3 151 995,21	6 052 425,72
Total		6 924 464,07		6 052 425,72

Se pudo concluir del análisis de los costos totales de inversión que, para las tres variantes de diseño de plantas, la más económica es la planta multipropósito con un total de 6 052 425,72 dólares.

Costo Total de Producción

Los costos de la materia prima se calcularon a partir del precio en \$/t y la cantidad de toneladas usadas anualmente, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4- Características de la materia prima de la planta multipropósito

Materia Prima	Precio (\$/t)	Cantidad anual (t/año)	Valor del Producto (\$/año)
H ₂ SO ₄	96,5	16 233	1 566 484,5
HNO ₃	100	222	22 200
NaOH	351	2 647,5	929 272,5
Dolomita	80	4 936,5	394 920
Pirolusita	100	5 512,5	551 250
Agua	0,02	10 230	2 046,6
O ₂	0,7163	132	94,55
Total	3 466 268,15		

También se determinaron los costos totales de producción para cada una de las líneas de producción propuestas. Estos resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5- Estimación del costo total de producción de los procesos de sulfato de manganeso y sulfato de magnesio heptahidratado y de la planta multipropósito

		MnSO ₄	MgSO ₄ .7H ₂ O	Planta Multipropósito
Costos Directos				
Componentes	%	Costo (\$)	Costo (\$)	Costo (\$)
Costo de Equipamiento (E)	23%	1 166 594,80	984 540,03	1 890 678,37
Instalación del Equipamiento	6% E	336 479,79	206 824,32	474 882,63
Instrumentación y Controles	2% E	98 664,57	82 436,7978	158 294,21
Tuberías	3% E	147 996,86	123 655,197	237 441,32
Electricidad	2% E	98 664,57	82 436,7978	158 294,21
Edificios	3% E	147 996,86	123 655,197	237 441,32
Mejoras de patio	2% E	98 664,57	82 436,7978	158 294,21
Facilidades de servicio	8% E	147 996,86	329 747,19	633 176,84
Tierra	1% E	49 332,29	41 218,399	79 147,11
Costos Indirectos				
Ingeniería y Supervisión	4% E	197 329,14	164 873,60	316 588,42
Gastos de Construcción	4% E	197 329,14	164 873,60	316 588,42
Derecho de Contrato	2% E	98 664,57	82 436,80	158 294,21
Contingencia	5% E	246 661,43	206 091,99	395 735,53
Costo Fijo de Inversión (CFI)	CD + CI	3 206 598,5	2 679 195,90	5 144 561,86
Costo de Trabajo (CT)	15% CIT	565 870,33	472 799,28	907 863,86
Costo Total de Inversión (CTI)	CFI + CT	3 772 468,86	3 151 995,21	6 052 425,72
Total		6 924 464,07		6 052 425,72

Cálculo de la Ganancia

Para el cálculo de la ganancia que se obtiene con cada uno de los productos, se hace necesario conocer el valor de la producción de cada uno de ellos. Es por estos que en la tabla 6 se muestran el precio, la cantidad de producto obtenido y el valor del mismo.

Tabla 6- Características de los productos finales

Producto	Precio (\$/t)	Cantidad anual (t/año)	Valor del Producto (\$/año)
MgSO ₄ .7H ₂ O	300	10 000	3 000 000
MnSO ₄	550	10 000	5 500 000

La planta multipropósito obtiene una ganancia de 2 159 614,02 \$/año con un valor del producto de 8 500 000 \$/año, mientras que las dos líneas de producción separadas suman 1 538 553,99 \$/año de ganancia.

Indicadores Dinámicos Económicos

El análisis de los indicadores económicos se realizó para 10 años según la metodología propuesta por Ley y González (2021) ⁽¹⁰⁾, una tasa de interés del 12% y según los resultados de los puntos anteriores.

El Valor Actual Neto (VAN) es uno de los más importantes indicadores económicos que se tuvo en cuenta, ya que es la forma de comprobar si la inversión que se propone es rentable.

Este es de \$1 332 664,9 para la planta multipropósito, resultando mayor que el de las producciones de sulfato de manganeso con \$692 448,69; y sulfato de magnesio heptahidratado con \$519 816,5.

Otro criterio que se utiliza en la evaluación de proyectos de inversión es la Tasa de Rendimiento Interno, también denominada (TIR), con un 17% para la planta multipropósito, mientras que el sulfato de manganeso es de 3% y el sulfato de magnesio heptahidratado es de 4%.

Por último, se analizó el Plazo de Recuperación al Descuento (PRD) que será de aproximadamente 3,67 años para la planta multipropósito y de 6,86 y 7,03 años para el sulfato de manganeso y sulfato de magnesio heptahidratado respectivamente.

Conclusiones

El costo de equipamiento de la planta multipropósito es de 1 890 678,37 dólares, resultando más factible que los procesos de sulfato de manganeso y sulfato de magnesio heptahidratado por separado con un costo de 2 151 134,83 dólares.

El Costo Total de Inversión (CTI) y el Costo Total de Producción (CTP) son de \$6 052 425,72 y \$6 340 385,98 respectivamente para la planta multipropósito, mientras que para las dos líneas de producción son de \$6 924 464,07 y \$6 961 446,01 los que son desde el punto de vista inversionista muy favorable.

La ganancia de la planta multipropósito es de 2 159 614,02 \$/año, contando con un valor del producto de 8 500 000 \$/año.

La mejor variante de análisis económico fue la planta multipropósito con un VAN de \$1 332 664,9, una TIR de 17% y un PRD de 3,67 años, lo que justifica profundizar en el empleo de plantas multipropósitos para las inversiones en este sector.

Referencias bibliográficas

1. NAVARRO GARCÍA, G. y NAVARRO GARCÍA, S. *Fertilizantes. Química y acción*. Madrid: Ediciones Mundi Empresa, 2014. ISBN 978-84-8476-678-0.
2. FINCK, Arnold. *Fertilizantes y fertilización*. Barcelona: Editorial Reverté, 1984. ISBN 978-84-2911-010-4.
3. DUEÑAS PARRA, Jeisy. *Desarrollo de una propuesta de mejora para el proceso de producción de sulfato de magnesio (MgSO₄) usado como fertilizante*

- en HEBESTA S.A.S. Trabajo de diploma para graduarse de Ingeniero Químico. Universidad de América. Bogotá, 2018
4. GÓMEZ, Manuel. El manganeso como factor positivo en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.) en suelos del altiplano Cundiboyacense. *Revista Agronomía Colombiana* [en línea]. 2006, julio-diciembre, **24** (2). 340-347. [Consultado 21 febrero 2022]. ISSN 0120-9665. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652006000200018
 5. ROMERO MANZANARES, A.. *Lixiviación de manganeso del concentrado plomo-plata para la producción de sulfato de manganeso*. Trabajo de diploma para graduarse de Ingeniero Metalúrgico. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, 2014
 6. FERNÁNDEZ LEIVA, R. *Diseño de una Planta Multipropósito de sulfatos en la provincia de Villa Clara*. Trabajo de diploma para graduarse de Ingeniero Químico. Universidad central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, 2020
 7. ALBERNAS, Y. Procedimiento para la síntesis y el diseño óptimo de plantas discontinuas. *Revista Tecnología Química* [en línea]. 2012, septiembre-diciembre, **32**(3). 204-212. [Consultado 31 marzo 2022]. ISSN 2224-6185. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000100002
 8. CASTRO GALIANO, E. y GONZÁLEZ SUÁREZ, E. *Aspectos técnico económicos de los estudios previos inversionistas para la producción de etanol de caña de azúcar en el concepto de biorrefinería*. Jaén: Editorial de la Universidad de Jaén, 2012. ISBN 978-84-8439-635-2
 9. PETERS, M. y TIMMERHAUS, K. *Plant Design and Economics*. Fourth Editions. Singapore: McGraw Hill Chemical Engineering Series, 1991. ISBN 978-00-7049-613-2
 10. LEY CHONG, N. y GONZÁLEZ SUÁREZ, E. *Contribución del diseño de instalaciones de la industria química a minimizar la incertidumbre a través de estudios previos inversionistas*. Santa Clara: Editorial Feijoo, 2021. ISBN 978-959-312-485-0.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses

Contribución de los autores

Rocío Fernández Leiva realizó el trabajo de recopilación experimental de datos, su procesamiento. Escribió la versión inicial del informe de investigación que sirvió de base al artículo científico.

Jenny Serrano Castillo. Contribuyó en la recopilación de datos para la realización de la investigación y asesoró el trabajo en la industria.

Néstor Ley Chong. Contribuyó en el análisis de los resultados y en la estructura del artículo.

Erenio González Suarez. Contribuyó en la metodología de investigación y asesoró la realización de la investigación.

Lisandra Guevara Orozco. Contribuyó en el análisis de resultados y la estructura del artículo.