

Evaluación de costos en la etapa de lixiviación en un proceso de blanqueamiento de arcilla caolinítica

A. D. Toache ^{a,*}, L. E. Hernández^a, A. M. Bolarín^a, Félix Sánchez^a

^a Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, UAEH, Carr. Pachuca-Tulancingo Km 4.5, C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hgo., México.

Resumen

En este trabajo se hizo una evaluación de costos en la etapa de lixiviación en un proceso de blanqueamiento de arcillas caoliníticas, para lo cual se analizaron dos diferentes métodos de saturación de los licores de lixiviación. En ambos métodos se requiere de agitación constante y temperatura de 90°C y se utilizan como reactivos ácido cítrico y tiosulfato de sodio diluidos en agua desionizada para remover las impurezas presentes en la arcilla caolinítica. La diferencia es que en uno de los procedimientos se lixiviaron 5 kg de ésta, por períodos mayores a 240 minutos, lo que implica emplear mayor cantidad de energía en el reactor y en un segundo procedimiento se recircularon los licores de lixiviación para blanquear 10 kg de arcilla caolinítica, sin necesidad de añadir mayor cantidad de reactivos. Se investigaron los costos de los reactivos, del consumo de energía eléctrica del reactor, del consumo de agua en servicios industriales y el costo de la arcilla caolinítica extraída a pie de mina y de alta pureza. Comparando costos y analizando el posible precio de venta, se concluyó que el método más factible, para el blanqueamiento de dicha arcilla, es en el que se hace la recirculación de los licores de lixiviación para tratar nuevos lotes de arcilla.

Palabras Clave: Análisis, Costos, Caolín, Lixiviación, Planta industrial.

1. Introducción

En México existen importantes yacimientos de caolín ubicados en los estados de Chihuahua, Guanajuato, Michoacán, Veracruz e Hidalgo (Departamento de Estadística Minera, 2010); sin embargo, el mineral extraído de estos yacimientos contiene diferentes contaminantes e impurezas que minimizan su aplicación en diversas industrias.

Los métodos de remoción de dichos contaminantes son diversos e incluyen procesos tales como separación magnética, flotación por espuma, floculación selectiva y lixiviación, siendo esta última una de las más empleadas. Esta última, se basa en la remoción o reducción de los óxidos de hierro, debido a que este elemento es el principal contaminante de las arcillas caoliníticas, causante de su coloración café-amarillo (beige) (Cameselle, Nuñez, Lema & Pais, 1995). Los óxidos de hierro se encuentra presente en pequeñas cantidades en forma de óxidos e hidróxidos, como la hematita, magnetita, goethita, lepidocrocita y ferrihidrita (Ambikandebi & Lalithambika, 2000).

En este sentido, por la vía hidrometalúrgica (lixiviando) se han reportado diferentes métodos de remoción de hierro de la arcilla caolinítica, con distintos agentes y condiciones de trabajo, todos ellos con excelentes resultados que permiten lograr la calidad del caolín que las empresas requieren (Subsecretaría de Minería, 2017) (Medinaceli & Trujillo 2016). Por ejemplo, una de estas investigaciones propone la utilización de ácido fosfórico [3.0 M], a temperatura de 100°C

durante un período de 120 minutos, logrando obtener hasta un 98.65% de disolución de hierro de la arcilla caolinítica (Hernández et al., 2015). En otro trabajo publicado por Legorreta et al. (2015), se utiliza una concentración de 0.5 M ácido oxálico como agente lixivante a temperatura de 100°C y pH de 1.5 durante 60 minutos, logrando extracciones de hierro de 96%. A pesar de los buenos resultados reportados en los trabajos antes mencionados, Olvera et al. (2012 y 2014) realizaron, mediante lixiviación, la limpieza de este tipo de arcillas caoliníticas, pero utilizando ácido cítrico y tiosulfato de sodio a temperatura de 90°C y pH 3, eliminando hasta un 99% de Fe (principal contaminante) de la arcilla caolinítica. El utilizar este tipo de reactivos orgánicos permitió reducir 10°C la temperatura de trabajo, a diferencia de los trabajos reportados por Hernández et al. (2015), lo cual representa un gran ahorro si se quisiera implementar esto a un nivel mayor que el de laboratorio.

Al revisar la bibliografía, también pudo observarse que en ninguna de las investigaciones reportadas se ha efectuado un análisis económico, de cadena de valor o de costos, razón por la cual en el presente trabajo se realiza un análisis económico, partiendo de las condiciones propuesta por Olvera et al. (2014) de dos diferentes métodos utilizados durante el proceso de lixiviación, con la finalidad de establecer tanto los beneficios y ventajas económicas, como los costos para determinar el método más factible a seguir.

Autor en correspondencia.

Correo electrónico: astrid.toache@gmail.com (A.D. Toache)

2. Metodología

2.1. Procesos de lixiviación utilizados en el blanqueo de la arcilla caolinítica considerados para la evaluación económica

Dentro del proceso de blanqueo de la arcilla caolinítica por la vía hidrometalúrgica, se obtienen licores de lixiviación con diversos contaminantes, como el hierro (Fe) y el titanio (Ti) (Toache, 2015), cuyas concentraciones están por encima de los límites máximos permisibles establecidos en 2017 por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) y en México en la NOM-001-SEMARNAT y en la NOM-004-SEMARNAT, lo que impide que estos efluentes puedan ser vertidos al medio ambiente, razón por la cual es importante tratarlos antes de desecharlos. Por tal motivo se experimentó con dos métodos de tratamiento los cuales consistieron en su saturación mediante dos variantes.

Un primer experimento se basó en tratar (alimentar) una doble cantidad de arcilla caolinítica a la utilizada normalmente en el método establecido previamente por Olvera et al. (2014), con la finalidad de determinar la posibilidad de saturar el licor de lixiviación en un período de tiempo igual (proceso 1). El siguiente experimento se basó en recircular (reutilizar) los licores de lixiviación, una y otra vez hasta que éstos se saturaran y ya no dieran los resultados esperados en el blanqueo de la arcilla caolinítica (proceso 2).

2.2. Análisis de costos

El estudio o análisis de costos permite determinar la rentabilidad futura de un producto o servicio que será introducido al mercado; además en la actualidad es importante orientarse estratégicamente a producir con el menor costo y la mayor calidad posible, permitiendo lograr una posición competitiva (Arredondo, 2015). Para alcanzar este objetivo es importante definir los tipos de costos asociados al proceso o procesos que se analizarán.

Un costo puede definirse como un sacrificio o utilización de recursos para un propósito en particular y, de acuerdo a lo que se quiere medir, éstos tienen diferentes clasificaciones (Jiménez & Espinoza, 2007); para este estudio se utilizarán los costos directos e indirectos y los costos variables y fijos.

Los costos directos son aquellos que se derivan de la existencia de lo que se trata de determinar, por ejemplo, los materiales directos destinados a la fabricación de un producto. Los costos indirectos son aquellos con los que la identificación con un objeto de costos específicos es muy difícil, por ejemplo, costos de supervisión, de mantenimiento, entre otros. Un costo variable cambia en total en proporción a los cambios en el nivel relacionado del volumen o actividad total; por el contrario, un costo fijo permanece sin cambios en total por un período dado, pese a grandes cambios en el nivel relacionado con la actividad o volumen totales (Horngren, Data & Foster, 2007).

2.3. Cadena de Valor

La cadena de valor es una técnica original de Michel Porter (1986) que tuvo como finalidad obtener una ventaja competitiva sobre los competidores clave. Este análisis permite identificar los distintos costos en que incurre una

organización a través de las distintas actividades que conforman su proceso productivo, por lo que constituye un elemento indispensable para determinar la estructura de costos de una compañía (Quintero & Sánchez, 2006), en este caso de la puesta en marcha de una planta piloto de purificación de arcillas caoliníticas.

Frances (2001) menciona que la cadena de valor está conformada por una serie de etapas de agregación de valía y de aplicación general en los procesos productivos, proporcionando un esquema coherente para diagnosticar la posición de una empresa y un procedimiento para definir acciones tendientes a desarrollar una ventaja competitiva sostenible.

2.4. Procedimiento

Para el análisis de costos se analizaron los recursos y materiales utilizados en los procesos de lixiviación de la arcilla caolinítica descritos de manera general en la sección 2.1. El estudio se realizó considerando que dichos procesos se efectúan en 240 minutos.

Un primer proceso (Figura 1) consistió en lixiviar 5 kg de arcilla caolinítica. Se eleva la temperatura del agua (50 L) hasta 90°C, agitando y agregando ácido cítrico [0.9M], tiosulfato de sodio [0.5M]. Posteriormente, se ajusta el pH a 3 con hidróxido de sodio y, por último, se adicionan 5 kg de arcilla caolinítica. La agitación y la temperatura de 90°C se mantienen constantes durante un período de 240 minutos. Posteriormente se filtra la mezcla, separando el licor de lixiviación (que se trata antes de ser vertido al medio ambiente) y el caolín blanqueado.

En la Figura 2 se muestra el segundo proceso en el que se recircularon los licores provenientes de la lixiviación de la arcilla caolinítica de la forma siguiente: en el reactor se agrega agua (50L) y se eleva la temperatura a 90°C, se inicia la agitación para añadir ácido cítrico [0.9M], tiosulfato de sodio [0.5M] y se ajusta el pH a 3 con hidróxido de sodio. A diferencia del proceso anterior, solo se agregan 2.5 kg de arcilla caolinítica, manteniéndose así por un tiempo de 240 minutos, seguido de esto, se filtra la mezcla, separando la arcilla tratada y el licor de lixiviación, el cual, se regresa al reactor para nuevamente aumentar la temperatura a 90°C, comenzar la agitación y agregar nuevamente 2.5 kg de arcilla caolinítica, este procedimiento se realiza tres ocasiones más, lixiviando en total de 10kg de arcilla caolinítica con la misma solución.

Con el objetivo de simplificar el cálculo de los costos, sólo se analizaron aquellos que están directamente relacionados con la lixiviación, sin considerar procesos anteriores (disminución de tamaño de partícula, cribado, etc.) y posteriores (secado del caolín, empaquetado, etc.).

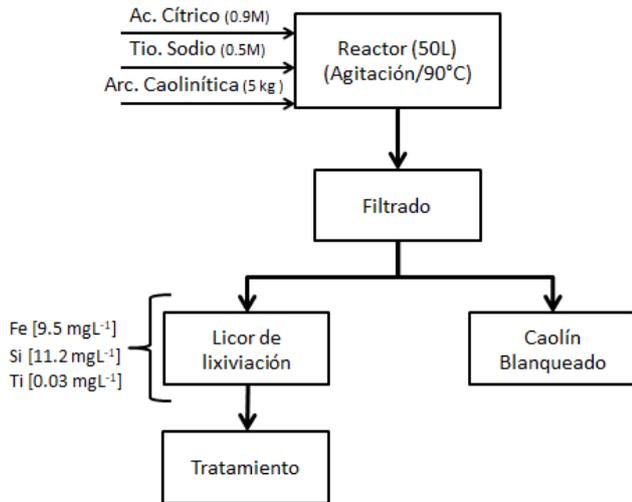


Figura 1: Diagrama del proceso 1 de la lixiviación de 5 kg de arcilla caolínica.

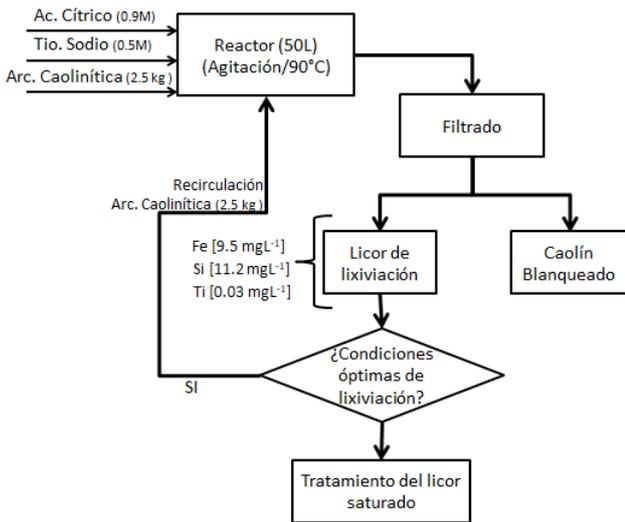


Figura 2: Diagrama del proceso 2 de la recirculación de los licores de lixiviación.

En la lixiviación se utilizó ácido cítrico de la marca sigmaaldrich, con 99% de pureza, el cual 100 g tienen un costo aproximado de \$107.10, el tiosulfato de sodio de la misma marca, con pureza de 99%, 100 g tienen un costo de \$161.00 (precios revisados en febrero de 2018), la arcilla caolínica (caolín con impurezas) a pie de mina tiene un precio entre los \$200 y \$300 por tonelada (Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Hidalgo, 2012) y cuando esta arcilla es de alta pureza, su precio asciende a \$2,750,000 la tonelada (Sigma-Aldrich, 2018). Es necesario mencionar que los costos de ácido cítrico y tiosulfato de sodio pueden disminuir al adquirir mayores cantidades de reactivos para el proceso de blanqueo a nivel industrial. De igual manera, es importante resaltar que la idea es automatizar la planta piloto de blanqueo de arcilla caolínica (Sánchez, 2017), por lo que no se considerará el costo de la mano de obra para esta etapa en específico. Para el costo del agua se revisaron las cuotas del servicio industrial

establecido por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), específicamente en el estado de Hidalgo, que menciona un costo de \$1051.04 como cuota mínima de consumo de agua (de 0 a 20 m³). El costo de consumo de energía eléctrica (kWh) se obtuvo de las tarifas establecidas por la Comisión Federal de Electricidad, para el tipo de tarifa “Gran demanda en media tensión horaria” (GDMTH) (CFE, 2018) y por la potencia eléctrica de 1.1 kW que utiliza un reactor de capacidad nominal de 50 L con revestimiento de vidrio, agitación y calentamiento (Quintaramon, 2018).

La cadena de valor de Porter visualizada en la Figura 3, solo se aplicará a la etapa de lixiviación de arcillas caolínicas mediante una clasificación de aquellos factores que definen cada método, con el objetivo de determinar cuál de los dos propuestos aporta mayor beneficio o valor al producto o productos finales que se obtengan.

	REACTIVOS	PROCESO DE LIXIVIACIÓN	PRODUCTO FINAL
Proceso 1	<ul style="list-style-type: none"> Ac. Cítrico [0.9M] Tio. Sodio [0.5M] Agua (50 L por proceso) Arcilla caolínica 	<ul style="list-style-type: none"> Agitación Temperatura 90°C Tiempo > 90 min. 	<ul style="list-style-type: none"> Caolín blanqueado 5Kg Remoción de contaminantes < 90%
Proceso 2	<ul style="list-style-type: none"> Ac. Cítrico [0.9M] Tio. Sodio [0.5M] Agua (50 L en 4 procesos) Arcilla caolínica 	<ul style="list-style-type: none"> Agitación Temperatura 90°C Tiempo = 90 min. 3 Recirculaciones del licor de lixiviación 	<ul style="list-style-type: none"> Caolín blanqueado 10Kg Remoción de contaminantes ≥ 99%

Figura 3: Diagrama de la cadena de valor de los procesos de lixiviación.

3. Resultados

De acuerdo a la cadena de valor (Figura 3), es posible determinar que el proceso 2 basado en la recirculación de los licores de lixiviación, es el que agrega mayor valor al caolín blanqueado, pues se logra eliminar 99% de contaminantes en un total de 10 kg de caolín. Además se utiliza una menor cantidad de agua en las lixiviaciones y la cantidad de reactivos a utilizar es mucho menor que al lixiviar 5 kg de arcilla caolínica en un solo proceso.

Al hacer los cálculos tomando en consideración los precios y condiciones indicadas en la sección anterior, la evaluación se presenta de manera tabulada para cada uno de los procesos propuestos (Tabla 1 y Tabla 2); se desglosan los costos respectivos, considerando el precio de los reactivos, del agua, de la energía eléctrica y de la cantidad de arcilla caolínica a lixiviar.

Al comparar las Tablas 1 y 2, se muestra que el costo del proceso 2 (recirculación y lixiviación de 10kg de arcilla caolínica) es mayor, con un total de \$15,714.21 (MXN) en comparación a \$15,648.67 (MXN) que es el costo del proceso 1 (lixiviar 5kg de arcilla caolínica). La diferencia entre los costos, radica en el precio de la arcilla caolínica a blanquear y por el consumo de energía eléctrica necesaria para cada lixiviación; es importante mencionar que la cantidad de ácido cítrico, tiosulfato de sodio y agua es la misma para ambos métodos.

Tabla 1: Costos del proceso 1 para la lixiviación de las arcillas caoliníticas (el costo de cada insumo corresponde al utilizado en el experimento).

Insumos	Precio (MXN)
Ácido Cítrico [0.9M]	\$9,259.42
Tiosulfato de Sodio [0.5M]	6,363.93
Agua (50L)	2.65
Energía Eléctrica	21.43
Arcilla Caolinítica (5 kg)	1.25
Total (5kg)=	\$15,648.67
Total (1kg)=	\$3,129.73

Tabla 2: Costos del proceso 2 para la lixiviación de las arcillas caoliníticas (el costo de cada insumo corresponde al utilizado en el experimento).

Insumos	Precio (MXN)
Ácido Cítrico [0.9M]	\$9,259.42
Tiosulfato de Sodio [0.5M]	6,363.93
Agua (50L)	2.65
Energía Eléctrica	85.71
Arcilla Caolinítica (10 kg)	2.50
Total (10kg)=	\$15,714.21
Total (1kg)=	\$1,571.42

Por último, cuando al precio de venta del caolín de alta pureza se le resta el valor del costo de cada proceso, se observa que es más beneficioso recircular los licores de lixiviación para saturar los mismo antes de darles un tratamiento adecuado y verterlos al medio ambiente. De este cálculo se obtiene una diferencia aproximada de \$1,222.58 (MXN) por kilogramo de arcilla caolinítica (Tabla 3).

Tabla 3. Cálculo de la diferencia del costo parcial y posible precio de venta por kilogramo al purificar la arcilla caolinítica, comparando el proceso 1 y el proceso 2.

Concepto	Proceso 1 (Recirculación)	Proceso 2 (5 kg arcilla caolinítica)
Costo parcial	\$1,571.42	\$3,129.73
Precio de venta	\$2,794.00	\$1,397.00
Diferencia =	\$1,222.58	-\$1,732.73

4. Conclusiones

En este trabajo se efectuó la evaluación de costos en la etapa de lixiviación en un proceso de blanqueamiento de arcilla caolinítica con dos variantes, para lo cual se utilizaron los costos actualizados de los reactivos y recursos. Al comparar el costo total de cada proceso se observó que el proceso 2 representa un mayor costo por kilogramo de arcilla a tratar (\$15,714.21 MXN), pero se logra el blanqueo de 10 kg de caolín en comparación con lixiviar 5 kg en una sola etapa (\$15,648.67 MXN) (Proceso 1). Por último, de acuerdo al cálculo de la diferencia entre el posible precio de venta y los

costos, se concluye que recircular los licores de lixiviación es un proceso que disminuye las afectaciones ambientales ya que se utiliza hasta 4 veces el licor para eliminar en cada proceso un 99% de contaminantes de la arcilla caolinítica, lo que genera un aumento al valor del producto final. Lo anterior da como resultado un mayor rango de ganancias que es el factor decisivo para determinar que el proceso 2 es el más rentable para escalar el proceso de blanqueamiento.

English Summary

Cost evaluation in the leaching stage in a kaolinitic clay bleaching process.

Abstract

In this work, a cost evaluation was carried out on the leaching stage of a kaolinitic clay bleaching process, for which two different methods of saturation of lixiviation liquors were analyzed. Both methods require constant stirring and a temperature of 90° C and dilute aqueous solutions of citric acid and sodium thiosulfate are used to remove the impurities present in the kaolinitic clay. In one of the procedures, 5 kg of kaolinitic clay were leached for periods greater than 240 minutes, which implies using more energy in the reactor; in a second procedure, the leach liquors were recirculated to bleach 10 kg of kaolinitic clay, without the need to add more reagents. Reagent costs, electric power consumption in the reactor, water consumption in industrial services and the cost of kaolinitic clay extracted at the mine pithead and of high purity were investigated. Comparing costs and analyzing the possible sale price, it was concluded that the most feasible method to bleach this clay is the recirculation of leach liquors to treat additional batches of clay.

Keywords:

Analysis, Costs, Kaolin, Leaching, Industrial plant

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría. Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) por la apertura de programas enfocados en la investigación.

Referencias

- Ambikandebi, V.R., Lalithambika, M., 2000. "Effect of organic acids on ferric iron removal from iron-stained kaolinite", *Applied Clay Science*, 16, 3-4, 133-145.
- Arredondo, M. M. (2015). *Contabilidad y Análisis de Costos* (Ed. rev.). Cd. de México, México: Grupo Editorial Patria.
- Cameselle, C., Nuñez, M. J., Lema, J. M., & Pais, J. (1994). "Leaching of iron from kaolins by a spent fermentation liquor: influence of temperature, pH, agitation and citric acid concentration". *Journal of Industrial Microbiology*, 14, 288-292.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). 2018. "Tarifas industriales". Recuperado 2 marzo, 2018, de

- http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_industria.asp
- Departamento de Estadística Minera. (2010). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2009. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31734/anuario_2009.pdf, 208-209.
- Frances, A. 2001. “Estrategias para la Empresa en América Latina”. Caracas, Venezuela: Ediciones IESA. ISBN: 978-980-21-7244-3.
- Gobierno del Estado de Hidalgo., 2017. “Periódico oficial, Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales”. Recuperado 2 marzo, 2018, de <http://201.116.60.81/Tarifas/Documentos/Mineral%20de%20la%20Reforma%20Hgo%202017.pdf>
- González J. A., Perino E., Ruiz M. del C., 2003. “Blanqueado de arcillas mediante la eliminación de hierro en la etapa de quemado”, jornadas SAM, 09(10), 768-771.
- Hernández, R. A., Legorreta, F., Hernández, L. E., Bedolla, A., 2015. “Kaolin Bleaching by Leaching Using Phosphoric Acid Solutions”, Sociedad Química de México, 59(3), pp. 198-202.
- Horngrén, C. T., Datar, S. M., Foster, G., 2007. “Contabilidad de Costos. Un Enfoque Gerencial”. 12ª Edición, México: Pearson- Prentice Hall. ISBN: 978-970-26-0761-8.
- Jiménez, F. J., Espinoza C. L., 2007. “Costos Industriales”. 1ª Edición, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. ISBN: 9977-66-183-9.
- Legorreta, F., Salinas, E., Hernández L.E., Hernández R.A., Cerecedo E., 2015. “kinetics study of iron leaching from kaolinitic clay using oxalic acid”, European Scientific Journal, 11(12), 12-23.
- Medinaceli, R., Trujillo, E., 2016. “Estudio técnico y económico de la explotación del yacimiento de Caolín perteneciente a la Carrera de Ingeniería de minas, petróleo y geotécnica de la U.T.O.”, Revista de Medio Ambiente Minero y Minería, Vol. 1, 46-55. ISSN: 2519-5352.
- Olvera, P. N., Hernández, L. E., Lapidus, G. T., 2014. “Estudio del blanqueo de arcillas caolínicas por medio de lixiviación”. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Hidalgo, México
- Olvera P. N., Hernández L. E., Lapidus G. T., 2012. “Estudio de la Remoción de Hierro de una Arcilla Caolínica por medio de Lixiviación Reductiva”. XXI Congreso Internacional de Metalurgia Extractiva, 2-8.
- Organización Mundial de la Salud. (2017, febrero). Chemical hazards in drinking-water. Recuperado 15 febrero, 2018, de http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/en/#H
- Porter, M., 1986. “Ventaja Competitiva”. 2ª Edición. México: Grupo Editorial Patria. ISBN: 0-02-925090-0
- Quintaramon. (2018, 16 marzo). Cotizaciones. Recuperado 16 marzo, 2018, de <http://www.quintaramon.com.mx/>
- Quintero, J., Sánchez J., 2006. “La cadena de valor: Una herramienta del pensamiento estratégico”. TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales. Vol. 8 (3), 77-389. ISSN: 1317-0570.
- Sigma-Aldrich, 2018. “Citric Acid”. Recuperado 26 febrero, 2018, de <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/c0759?lang=es®ion=MX>
- Sigma-Aldrich, 2018. “Kaolin”. Recuperado 26 febrero, 2018, de <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/60609?lang=es®ion=MX>
- Sigma-Aldrich, 2018. “Sodium Thiosulfate”. Recuperado 26 febrero, 2018, de <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigald/217263?lang=es®ion=MX>
- Subsecretaría de Minería, 2017. “Perfil de Mercado del Caolín”, Secretaría de Economía, 13-34.
- Toache A. D., Hernández L. E., Lapidus G. T., Legorreta F., 2015. “Estudio de la posibilidad de Reutilización del Ácido Cítrico y Tiosulfato de Sodio utilizados en el Blanqueamiento de Arcillas Caolínicas”. XII Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia, 1-5. ISSN:2448-5063.