

BLANQUEO DE CAOLÍN POR MEDIO DE LIXIVIACIÓN EN PILAS CON ÁCIDO OXÁLICO

Manuel Julián Barros Daza
mjbarrosd@unal.edu.co
Estudiante Ingeniería de Minas y Metalurgia

Pablo Bustamante Baena
pabustamanteba@unal.edu.co
Estudiante Ingeniería de Minas y Metalurgia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

BLANQUEO DE CAOLÍN POR MEDIO DE LIXIVIACIÓN EN PILAS CON ÁCIDO OXÁLICO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingenieros de Minas y
Metalurgia.

Tutor:

Moisés Oswaldo Bustamante Rúa

IMM, MSc, PhD.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional De Colombia, especialmente al Instituto de Minerales CIMEX, en cabeza de su director y nuestro tutor Moisés Oswaldo Bustamante Rúa, por su gran apoyo en el desarrollo de esta investigación. Además agradezco a mi familia, principalmente a mi Abuelo y Abuela Manuel Daza y Paulina, a mis padres Rodrigo Barros y María Paulina y a mi hermana María Mercedes, por el apoyo brindado durante toda mi formación Profesional. Finalmente agradecer todos a mis amigos y a mi compañero de tesis Pablo Bustamante por esta gran labor.

Manuel Julián Barros Daza.

Muchas gracias a mi familia por darme la oportunidad de hacer parte de una hermosa universidad como lo es la Universidad Nacional de Colombia; cuna de investigación y de personas con corazón; mi padre Moisés Oswaldo Bustamante Rúa por darme sabiduría y las bases de todos los conocimientos, mi madre Margarita María Baena por ayudar en todo mi crecimiento como persona y como ser humano y a mi hermano Daniel Bustamante por estar conmigo toda una vida.

Agradecer al Instituto de Minerales CIMEX, principalmente a Moisés Oswaldo Bustamante, su director por apoyarnos en cada instante con dudas y necesidades que tuviésemos en cada momento, a Rosa Elena Jurado por ayudarnos con las lecturas de Hierro día a día por más de 6 meses; gracias por su paciencia, a Cristian Saldarriaga por ayudarnos en todos los aspectos técnicos del montaje, a Ana María Gómez que por su apoyo en Chile, nos enseñó todo lo referente a la lixiviación en pilas y un sin número de personas (Prof. Néstor Ricardo, Sindy González, Raúl Meneses, Karen Ocampo, Arnaldo Ferreira, etc.) que con su apoyo y comentarios ayudaron a construir ciencia y tecnología para crecer en lo personal y como “investigador”

Pablo Bustamante Baena

Contenido

Contenido	4
1. Resumen	7
2. Introducción.....	8
3. Justificación.....	10
4. Planteamiento del problema.....	11
5. Objetivos	12
5.1. Objetivo general.....	12
5.2. Objetivo específicos.....	12
6. Marco teórico.....	13
6.1. Generalidades del caolín	13
6.2. Usos del caolín	14
6.3. Lixiviación con ácido Oxálico	17
6.4. Lixiviación en pilas.....	18
6.5. Aglomeración.....	24
7. Materiales y método	26
7.1. Materia prima - Caolín de La Unión- Antioquia.....	26
7.2. Aglomeración.....	29
7.3. Equipos utilizados.....	29
7.4. Reactivos utilizados	32
7.5. Pila de lixiviación	32
8. Resultados	35
8.1. Caracterización Mineralógica.....	35
8.2. Blanqueo de Caolín	36
8.2.1. Lixiviación de Hierro.....	36
8.2.2. Modelación del comportamiento de remoción de hierro.....	40
8.2.3. Gasto de ácido con respecto a la extracción de hierro.....	46
8.2.4. Colorimetría.....	47
8.2.5. Diagrama de flujo alternativo para el blanqueo de caolín.....	50

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

9. Conclusiones.....	54
11. Bibliografía	55
1. ANEXO A. Hoja de control P1	56
2. ANEXO B. Hoja de control P2.....	56
3. ANEXO C. Hoja de control P3.....	56

Figuras

Figura 1. Usos del caolín a nivel industrial en el mundo.	15
Figura 2. Relación entre la profundidad de excavación y el tenor promedio de un depósito mineral.....	20
Figura 3. Tecnología aplicable para el beneficio de minerales según su tenor, tanto en óxidos como en sulfuros.	20
Figura 4. Trituradora primera en minería de Cobre.....	22
Figura 5. Formación de pilas de lixiviación en minería de Cobre.....	23
Figura 6. Sistema de riego de minería de Cobre.	23
Figura 7. Elaboración de los glómeros de caolín en laboratorio.	24
Figura 8. Segregación de grandes y partículas finas de una mala construcción de una pila de lixiviación	25
Figura 9, Mina Monteblanco ubicada en el municipio de La Unión- Antioquia.	26
Figura 10. Explotación a cielo abierto de caolín en La Unión.	27
Figura 11. Arranque del mineral por una retroexcavadora.....	27
Figura 12. Arcilla roja en zona de explotación.	28
Figura 13. Glómeros de caolín, después del proceso de aglomeración en el tambor rotatorio.....	29
Figura 14. Tubo de lixiviación en vista superior.	30
Figura 15. Tubo de lixiviación en vista frontal.	30
Figura 16. Tambor aglomerador cerámico, en vista superior.....	31
Figura 17. Tambor aglomerador cerámico, en vista frontal.....	31
Figura 18. Equipo completo de aglomeración.....	32
Figura 19. Glómeros de caolín al inicio de la lixiviación, dentro del tubo de lixiviación.	33
Figura 20. Granulometría de entrada a la pila de lixiviación.	33
Figura 21. Diferencia de permeabilidad entre un material aglomerado y no aglomerado.....	34
Figura 22. Deposición de estructuras cristalinas como lo son el cuarzo y la arcilla.	36

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Figura 23. P2 después de 20 días de Lixiviación, se puede ver que el blanqueo se estaba dando a medida que el tiempo pasaba por la remoción de hierro en el caolín.38

Graficas

Grafica 1. DRX de Caolín.	35
Grafica 2. Fe removido Vs Tiempo.	39
Grafica 3. Fe removido Vs Tiempo de P1, datos de entrada para la simulación....	40
Grafica 4. Fe removido Vs Tiempo de P1, Simulación.....	41
Grafica 5. Derivada Vs Tiempo de P1.....	41
Grafica 6. Fe removido Vs Tiempo de P2, datos de entrada para la simulación....	42
Grafica 7. Fe removido Vs Tiempo de P2, Simulación.....	43
Grafica 8. Derivada Vs Tiempo de P2.....	43
Grafica 9. Fe removido Vs Tiempo de P3, datos de entrada para la simulación....	44
Grafica 10. Fe removido Vs Tiempo de P3, Simulación.....	45
Grafica 11. Derivada Vs Tiempo de P3.....	45
Grafica 12. Consumo de ácido Vs Tiempo.	47
Grafica 13. Índices de blancuras Vs Tiempo, para P1, P2 y P3.	50
Grafica 14. Diagrama de flujo alternativo para el blanqueo de caolines por medio de lixiviación en pilas.	51

Tablas

Tabla 1. Elementos que se encuentran en el caolín con sus óxidos más estables.	13
Tabla 2. Fases cristalinas del Caolín estudiado.....	35
Tabla 3. Variables de operación de las pilas de lixiviación.	36
Tabla 4. Resultados de la simulación para P1.....	42
Tabla 5. Resultados de la simulación para P2.....	44
Tabla 6. Resultados de la simulación para P3.....	45
Tabla 7. Resultados de la simulación para P3.....	46
Tabla 8. Resultados de la simulación para P1, P2 y P3	46
Tabla 9. Ensayos de Índice de blancura para el material de alimento, y el producto final de P1, P2 y P3.	48
Tabla 10. Especificaciones de cada uno de los equipos del diagrama de flujo.	52
Tabla 11. Especificaciones de cada uno de los flujos del diagrama.	52

1. Resumen

Esta investigación muestra resultados experimentales basados en un desarrollo teórico, pudiéndose llevar al laboratorio para su posterior modelación en el blanqueo de caolín a través de pilas de lixiviación usando ácido oxálico. El objetivo fue evaluar el proceso de lixiviación en pilas, con respecto a la remoción de óxidos de hierro en la superficie del caolín, con el uso de tres diferentes concentraciones de ácido oxálico por 48 días en cada pila. El índice de blancura del caolín de alimento fue del 52.1%, con porcentajes de hierro del 0.19%. Los resultados mostraron que para las concentraciones de 0.15M, 0.015M y 0.95M, la remoción de hierro fueron alrededor del 72.2%, 26.7%, 90.8% y los índice de blancura obtenidos fueron de 90.2%, 83.8% y 97% respectivamente.

Palabras claves: Pilas de lixiviación, Caolín, Blanqueo de Caolín, ácido oxálico, disolución de hierro.

Abstract

This investigation shows experimental results regarding a theory development, carrying it to laboratory scale for the modulation of the Kaolin heap bleaching using oxalic acids. The objective of this work was to evaluate heap bleaching process to remove the iron oxides on the 6Kaolin surface, by the use of three different concentration of oxalic acid drip for 48 days in each heap. The whiteness index of feed Kaolin was 52.1%, with an iron content of 0.19%. The results showed that for acidic concentrations 0.15M, 0.015M y 0.95M, the iron removed was around 72.2%, 26.7%, 90.8% and the whiteness index got was 90.23%, 83.8%, and 97% respectively.

Key words: heap leaching, Kaolin, bleaching kaolin, oxalic acid, dissolution of iron.

2. Introducción

La coloración roja hasta amarillosa evidenciada en muchos depósitos de minerales arcillosos como el caolín, se debe a la asociación con óxidos, hidróxidos y óxidos hidratados de hierro férrico, como son la Hematita (color rojo), goethita (rojo pardo), lepidocrocita (naranja), entre otros (Bustamante rua & Muñoz García, 2010). Cantidades menores del 0.4% de hierro férrico en el mineral son suficientes para darle color al depósito (Ambikadevi & Lalithambika, 2000). Dichos minerales aportantes de color se encuentran adsorbidos sobre la superficie del mineral caolinita y en fases cristalinas independientes de tamaño coloidal y manométrico (Muñoz García & Bustamante rua, 2010).

En el proceso de blanqueo de caolín, lo que ocurre es una disolución selectiva de minerales de hierro adheridos a la superficie del mineral, caolinita, a través del acondicionamiento del pH del sistema, en un ambiente ácido ($\text{pH} < 3$), logrando que el hierro una vez disuelto, forme un complejo estable en fase líquida y pueda ser extraído de fase mineral usando un proceso convencional de metalurgia extractiva en minería (Gómez Jiménez & Bustamante Rúa, 2011a).

El blanqueo de caolín, a través de la disposición de pilas de mineral las cuales son irrigadas por soluciones lixiviantes que mantiene en solución acuosa a complejos metálicos (conocido en literatura minera como “Heap Leaching”), es un método alternativo que puede usarse en Colombia y consiste en la disolución selectiva de minerales de hierro (conocido en la literatura como *Fe-bearing*) controlando tanto el pH como el Eh (o potencial redox) del sistema. En este sentido, el uso de un ácido fuerte como lo es el ácido sulfúrico H_2SO_4 , para posteriormente la formación de complejos de hierro asistidos con ácido oxálico se ha estudiado a escala de laboratorio (Martínez-Luévanos, Rodríguez-Delgado, Uribe-Salas, Carrillo-Pedroza, & Osuna-Alarcón, 2011), pero no se presenta esta alternativa de proceso lo cual configura este estudio como una innovación en el campo de la metalurgia extractiva.

La morfología de la pila permite que dicha solución lixiviante vaya-acomplejando el ion disuelto formando complejos en fase acuosa y se promueva un posterior escurrimiento en lecho poroso a través de la pila de mineral, que por acción de la gravedad, dicha solución descienda a través de la pila.

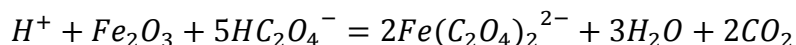
Por otro lado, se tiene evidencia de la capacidad del ácido oxálico para formar complejos de hierro y “atrapar” el hierro presente en el caolín (Ambikadevi &

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Lalithambika, 2000) en ambientes electroquímicamente controlados en sus variables pH y Eh. En este sentido, el rol de ion oxalato, consiste en formar un complejo de hierro relativamente estable como Oxalato de Hierro.

Según (Panias, Taxiarchou, Douni, Paspaliaris, & Kontopoulos, 1996) el mecanismo de disolución del óxido de hierro comprende dos diferentes caminos químicos: (a) una no disolución reductiva y (b) una disolución reductiva. En soluciones poco acidas (pH menores que 3) los únicos complejos iónicos bivalentes y trivalentes de hierro estables termodinámicamente son: $[Fe^{2+}(C_2O_4)_2]^{2-}$ y $[Fe^{3+}(C_2O_4)_2]^{3-}$. El ion Fe^{2+} puede ser identificado solo en soluciones acidas, mientras que el ion Fe^{3+} no es muy probable que se forme en solución. En pH de 1-2 los complejos iónicos $[Fe^{3+}(C_2O_4)_2]^{-}$ y $[Fe^{3+}C_2O_4]^{+}$ son estables, mientras que a pH menores que 1, el $[Fe^{3+}H(C_2O_4)_2]^{2+}$ es el único que se forma.

(Lee, Tran, Park, Kim, & Kim, 2006) Reportó que la disolución de Hematita con ácido oxálico ocurre a través de la oxidación de oxalato y la reducción de Hematita, que puede ser expresada como se muestra a continuación:



La eficiencia del proceso de lixiviación en pilas es susceptible a las características del mineral, como lo es el tamaño y forma de las partículas, las impurezas del mineral, así también como las características del fluido (Hu & Liu, 2003)

Para evaluar la eficacia del proceso, se emplea la medición de los índices de blancura (Muñoz García & Bustamante rua, 2010), el cual es un indicador de remoción de mineral aportante de color que en este caso son los “Fe-bearing” y se comprueba con balances de masa de Fe en el mineral de cabeza, en solución lixivante en la descarga de la pila y en mineral de arcilla finalmente blanqueado.

Este estudio pudo concluir que los porcentajes de blancuras alcanzados con el ácido oxálico, son muy importantes para el éxito de esta innovadora metodología y promueve estudios posteriores de factibilidad a nivel de planta piloto lo cual es un generados de valor agregado de minerales caoliníticos colombianos, y a su vez incrementará las reservas de este tipo de mineral industrial, dado que por problemas en la coloración, bastantes minas en el país rechazan grandes cantidades de arcillas que son dispuestas en botaderos.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

3. Justificación

Los minerales arcillosos, como lo es el grupo del caolín, constituyen una tercera parte de las rocas más comunes en la corteza terrestre, las rocas sedimentarias. Claramente un mineral tan común y con propiedades tan extraordinarias, tiene una gran importancia geológica e industrial (Gómez Jiménez & Bustamante Rua, 2011a).

Del caolín se derivan productos que son importantes para el uso y consumo humano, como es la pintura (pigmentos de extensión), las cerámicas (sanitarios, tejas de alto grado, vajillas, objetos de baños etc.), el papel, refractarios y en la construcción para los concretos (Ospina, 1994); pero este producto se ve limitado por un factor fundamental, el índice de blancura, ya que la industria exigen porcentajes de blancura muy estrictos, que sólo son logrados por procesos tales como la separación magnética, separación electrostática, flotación espumante convencional, blanqueo químico y flotación en columna (Ambikadevi & Lalithambika, 2000). Esto genera la necesidad de investigar un método alternativo para el blanqueo de caolines; como propuesta está la lixiviación en pilas, ya que es un método, si bien aún no se ha aplicado industrialmente específicamente para este tipo de mineral (aunque si para minerales de cobre, y menas auríferas principalmente), presenta las siguientes ventajas: bajos costos de inversión y de operación; proceso eficiente, lo que permitiría alcanzar buenos rendimientos de recuperación del elemento de interés (Beckel, 2000).

Se ha detectado que el procesos convencionales de blanqueo de caolín en Colombia como los estudiados por (Muñoz García & Bustamante rua, 2010) y (Gómez Jiménez & Bustamante Rua, 2011b), tiene altas pérdidas a causa de que el mineral no alcanza los índices de blancura requeridos. Por esto, una gran cantidad de materia prima es llevada a botaderos, siendo un mineral que puede ser aprovechado económicamente. Por lo anterior, se estudia la lixiviación en pilas por la evidente aplicación de este método en botaderos o en minerales que en algún tiempo fueron explotados y beneficiados.

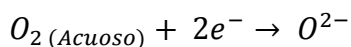
Así entonces, se tiene la lixiviación en pilas como método alternativo y novedoso para aprovechar esta gran cantidad de caolín desechado y no aprovechado que no pueden ser blanqueados, lo que genera un fuerte incremento de las reservas de caolines en Colombia.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

4. Planteamiento del problema

Actualmente el proceso de blanqueo de caolín se realiza mediante el proceso de lixiviación química, encontrándose que algunos caolines alcanzan excelentes niveles de blancura, pero el manejo de las soluciones cargadas con los complejos del Fe^{2+} , deterioran la calidad, lo que favorece fuertemente la reversibilidad de la reacción Fe^{3+}/Fe^{2+} , presentándose ineficiencias en el blanqueo (Muñoz García & Bustamante rua, 2010).

Se ha evidenciado que además de la reversibilidad de la reacción Fe^{3+}/Fe^{2+} , en este proceso llevado actualmente, surge una reacción de competencia producto del oxígeno disuelto en el agua y el Hidrosulfito, en el blanqueo tradicional la que fue reportada por (Gómez Jiménez & Bustamante Rua, 2011b), como muestra la siguiente ecuación:



La constante de reversibilidad se incrementa, al aumentar la concentración de iones disueltos de Fe^{2+} y alcanzar los equilibrios en el escenario en la que está ocurriendo la reacción de reducción, lo que según (Muñoz García & Bustamante rua, 2010) aumenta la probabilidad de que los iones de hierro disueltos se precipiten en forma de sulfatos hidratados de Fe y jarositas (Muñoz García & Bustamante rua, 2010) y vuelvan a dar coloración a los minerales de arcilla

Dichos problemas se ven directamente relacionados el aumento de las ineficiencias y la baja competitividad de ciertos caolines, donde se deben usar excesos de Hidrosulfito y escenarios de pH muy bajo a escala industrial (Muñoz García & Bustamante rua, 2010) y en algunos otros casos obligan a prácticas mineras selectivas en los frentes de explotación y disminuyen sustancialmente las reservas de arcilla en los depósitos de estos minerales industriales,

Debido a este problema, se propone un nuevo método, para el blanqueo de caolín, a través de lixiviación en pilas del material en presencia de ácido oxálico, partiendo que es un formador de complejos de hierro y una vez lixiviados dichos iones, por la disposición de la pila son evacuados fácilmente, impidiendo la precipitación y que a su vez sea absorbidos por la superficie del caolín.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

- Estudiar un método alternativo para el blanqueo de caolín, usando la técnica de lixiviación en pilas para disolver principalmente Hematita (Fe_2O_3) usando ácido oxálico en diferentes concentraciones, reportando los índices de blancuras finales.

5.2. Objetivo específicos

- Definir las condiciones óptimas del mineral para que se lleve a cabo la lixiviación en pila del caolín.
- Determinar los porcentajes de remoción de hierro, mediante la lixiviación en pila, con la utilización de ácido oxálico como agente reductor del hierro.
- Evaluar la capacidad reductora del ácido oxálico en solución cuando está en contacto con Hematita.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

6. Marco teórico

6.1. Generalidades del caolín

El caolín es una roca, compuesta por muchos minerales, en la que en mayor proporción se encuentra la caolinita, que es un mineral de silicato de aluminio hidratado, producto de la descomposición de rocas feldespáticas y micas presentes en pegmatitas y esquistos micáceos. Además de la caolinita, el caolín suele estar acompañado de otros minerales como: cuarzo, sulfuros, feldespatos, micas óxidos de hierro y de titanio, así como de otros minerales de arcilla como la Montmorillonita, Illita, Esmectita (Cornelius, 1978).

Durante la meteorización o la alteración hidrotermal, significantes cantidades de óxidos de hierro pudieron ser depositados, teniendo como resultado concentraciones en la caolinita, indeseadas para la aplicación industrial (Martínez-Luévanos et al., 2011).

La Tabla 1 muestra los elementos que se encuentran en el caolín en función de los óxidos más estables:

Tabla 1. Elementos que se encuentran en el caolín con sus óxidos más estables.

Elemento	Forma de Presentación
Silicio	Sílice-SiO ₂
Aluminio	Alúmina-Al ₂ O ₃
Hierro	Óxido de Hierro-Fe ₂ O ₃
Titanio	Dióxido de Titanio-TiO ₂
Calcio	Cal-CaO
Magnesio	Magnesia-MgO
Potasio	Óxido de Potasio-K ₂ O
Sodio	Óxido de Sodio-Na ₂ O
Manganeso	Óxido de Manganeso-MnO
Cobre	Óxido de Cobre-CuO
Hidrógeno-Oxígeno	Agua-H ₂ O
Sulfuro	Trióxido de Azufre-SO ₃
Carbón	Dióxido de Carbono-CO ₂

Fuente: (Gómez Jiménez & Bustamante Rúa, 2011a)

En términos generales el caolín es una arcilla blanca constituida bien sea por Caolinita, Halloysita o Diquita (filosilicatos laminares del subgrupo del Caolín),

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

tiene un peso específico de 2.6 g/cm^3 y punto de fusión de $1785 \text{ }^\circ\text{C}$, se forma por el metamorfismo de feldespatos que puede ser de tipo hidrotermal o meteorizado (Ospina, 1994).

La caolinita, mineral o especie química constituyente fundamentalmente de la mayor parte de las arcillas, empleadas en la fabricación de cerámica y refractarios, con formula química $Al_2(Si_2O_5)(OH)$, tiene una estructura basada en una hoja que contiene tetraedros de SiO_4 , formando una capa de composición $(Si_2O_5)^{2-}$ y unida a través de oxígenos comunes a iones Al^{3+} , con estructura de gibbsita, que completan su índice de coordinación hasta seis con grupos OH^- (Amoros & Ichikawa, 2011).

6.2. Usos del caolín

Los usos del caolín son múltiples, debido a sus propiedades tales como blancura, inercia frente a los agentes químicos, ausencia de toxicidad, fino tamaño de partícula, gran superficie específica, elevado poder cubriente, alta refractariedad, capacidades absorbentes y adherentes, etc. Esto, unido a su abundancia y amplia distribución mundial, hacen del caolín una de las materias primas no metálicas, de mayor consumo e importancia industrial (Bartolomè, 1997).

A comienzos del siglo XIX el caolín se introduce en las industrias textiles y papeleras, después en la fabricación de refractarios y en el siglo actual en una gran variedad de campos (Bartolomè, 1997).

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

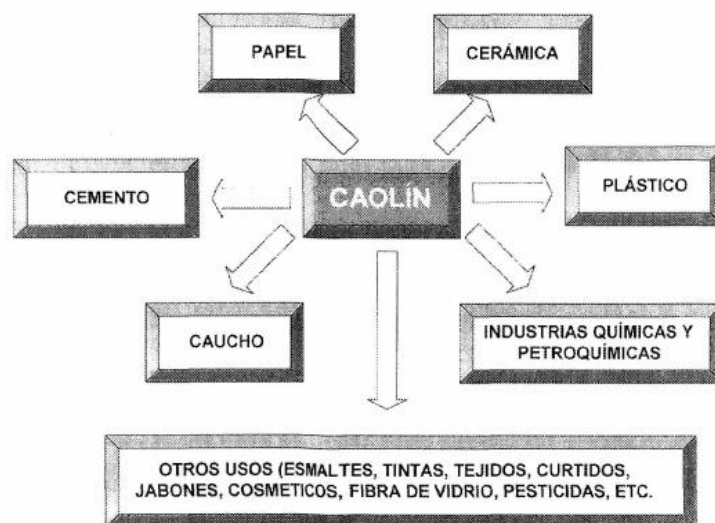


Figura 1. Usos del caolín a nivel industrial en el mundo.

Fuente: (Bartolomè, 1997)

- **Industria del papel**

En la actualidad, el más importante uso del caolín cuantitativamente hablando, es la industria del papel. Proporciona el estucado, facilita la impresión, produce la textura suave de los papeles fibrosos y sustituye a la pulpa como carga o relleno entre las fibras de celulosa.

Los caolines necesitan tener una consistencia reológica, unas propiedades ópticas y unas propiedades que den consistencia al papel recubierto. Para conseguir estos fines se elaboran dos tipos de caolín con especificaciones muy estrictas, elaboradas por la Technical Ass of Pulp and Paper Ind. (Tappi). El que se destina a carga (filler grade) tiene que contener un 90% de caolinita, al menos un 60% de partículas inferiores a 2 μm y blancura superior al 82%. El que se emplea para estucar (coating grade) no puede tener una riqueza menor del 93% en caolinita, en torno al 90% de partículas inferiores a 2 μm , blancura superior al 80%, nula abrasividad y viscosidad máxima de 300 cps Brookfield a 20 r.p.m., compatible con las modernas máquinas de estucado de alta velocidad.

- **Cerámicas**

La industria cerámica abarca varios sectores: cerámica de mesa, sanitarios, azulejos, gres y pavimentos, porcelana eléctrica e industrial, etc. Son empleadas un gran rango de composiciones, utilizando también una gran variedad de

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

métodos de procesado y conformado, como pueden ser: el conformado plástico, el colado y el prensado de polvos.

Como en el caso de los caolines utilizados para papel, los parámetros físicos de los minerales para las arcillas utilizadas en cerámica son críticos antes y después del calcinado. El criterio que se utiliza depende de las características finales deseadas, siendo más importantes unas que otras según su aplicación final. Una de las principales características de la cerámica de mesa y de la porcelana es la blancura después del calcinado, que requiere un estricto control de los contaminantes, especialmente del contenido en hierro. También se requiere una buena plasticidad y una aceptable resistencia mecánica. Estos últimos parámetros están controlados por el tamaño de partícula. Cuanto menor es éste, mejores propiedades mecánicas obtenemos. Este pequeño tamaño de partícula también produce ciertas desventajas, como un menor grado de colado y mayor contracción después de la calcinación.

- **Fibra de vidrio**

Los contenidos en contaminantes como el óxido de hierro y el carbón son los principales parámetros de control para esta industria.

- **Industrias de pintura**

En el caolín, este tipo de industrias encuentran un material competitivo con otros productos en cuanto a blancura y capacidad hidrofílica. Sin embargo, no llega a conseguir por sí solo el poder cubriente de otros pigmentos blancos.

- **Industria de plásticos, adhesivos y caucho**

La utilidad del caolín en estos sectores reside en sustituir a las resinas como carga más económica, pudiendo disponer de un fino y uniforme tamaño de partícula, baja absorción de aceite y de humedad y buena facilidad de dispersión. Los caolines finos y los ball clays actúan como reforzamiento en los cauchos. Los rellenos también son utilizados para modificar funciones específicas en polímeros. Algunos rellenos funcionales son tratados superficialmente en el sentido de mejorar la dispersión y la unión entre el polímero y el relleno.

También se utilizan para la fabricación de cables y en discos fonográficos.

- **Otros usos**

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

La industria química consume cantidades importantes de caolín en la fabricación de sulfato, fosfato y cloruro de aluminio. En menor medida las industrias agrarias lo emplean como carga de abonos, pesticidas y alimentos animales, y en la industria farmacéutica es elemento inerte en cosméticos y otros, y elemento activo en absorbentes estomacales.

- **Nuevos usos**

Los nuevos materiales cerámicos utilizan componentes químicamente puros. Para abaratar estos productos sería bueno utilizar minerales naturales. Así, se investiga la producción de sialones a partir de arcillas, lo que podría ser una nueva aplicación para el caolín.

También Corning utiliza un grado especial de caolín, en la fabricación de los catalizadores de cordierita para coches.

Otra interesante utilización desde el punto de vista ecológico, sería la utilización de una forma de zeolita formada a partir de caolinita que resolvería el problema de exceso de fosfatos en los sistemas de drenaje naturales debidos a los vertidos incontrolados de detergentes.

Por último se ha propuesto recientemente el uso de la caolinita en el desarrollo de substratos cerámicos para aplicaciones electrónicas. Estos substratos tienen un bajo coste, están reforzados con whiskers de mullita, poseen una porosidad cerrada controlada, un bajo valor de permitividad ($\epsilon = 4$ a 1 MHz) y un coeficiente de expansión térmica cercano a la de la sílice ($3.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

6.3. Lixiviación con ácido Oxálico

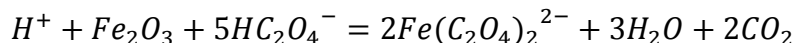
El ácido oxálico es un ácido débil, que es llamado así, por su baja capacidad de disociarse completamente en solución acuosa, ocurriendo una disolución parcial, formándose un equilibrio entre el ácido y sus iones. Entre los ácidos débiles encontramos los ácidos orgánicos, que han estado muy presentes en numerosos estudios de disolución de hierro (Veglio, 1993). Entre los ácidos orgánicos débiles encontramos el ácido oxálico, con una alta efectividad para la lixiviación y reducción del hierro en el proceso de blanqueo de caolines (Panias et al., 1996).

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Según estudios realizados por (Ambikadevi & Lalithambika, 2000) y (Veglio, 1993) el ácido oxálico es el ácido orgánico con mayor capacidad de lixiviación, reducción y formador de complejos de hierro, logrando así mejores tasas de extracción de hierro e índices de blancura en los caolines.

Según (Panias et al., 1996) el mecanismo de disolución del óxido de hierro comprende dos diferentes caminos químicos: (a) una no disolución reductiva y (b) una disolución reductiva. En soluciones poco acidas ($\text{pH} < 3$) los únicos complejos iónicos bivalentes y trivalentes de hierro estables termodinámicamente son: $[\text{Fe}^{2+}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$ y $[\text{Fe}^{3+}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{3-}$. El ion Fe^{2+} puede ser identificado solo en soluciones acidas, mientras que el ion Fe^{3+} no es muy probable que se forme en solución. En pH de 1-2 los complejos iónicos $[\text{Fe}^{3+}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{-}$ y $[\text{Fe}^{3+}\text{C}_2\text{O}_4]^{+}$ son estables, mientras que a pH menores que 1, el $[\text{Fe}^{3+}\text{H}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2+}$ es el único que se forma.

(Lee et al., 2006) reportó que la disolución de Hematita con ácido oxálico ocurre a través de la oxidación de oxalato y la reducción de Hematita, que puede ser expresada como se muestra a continuación:



6.4. Lixiviación en pilas

El objetivo principal de la minería es el suministro de materia prima, dicha materia prima es extraída de la corteza terrestre mediante excavaciones tanto subterráneas como superficiales. En una operación de extracción de mineral principalmente de tipo metálico, los minerales son excavados selectivamente a cielo abierto o subterráneo, posteriormente se trituran y muelen para el tratamiento en unidades de beneficio de mineral, para el enriquecimiento y producción de metales.

Hay varios métodos de preparación de minerales disponibles en la práctica con base en los procesos físicos, químicos y de fundición.

Concentración:

- La concentración gravimétrica
- Separación electrostática

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

- La separación magnética
- La flotación

Hidrometalurgia

- La lixiviación
- La electrólisis
- Precipitación

Pirometalurgia

- La calcinación
- Fundición
- Refinación

La mayoría de estos procesos requieren trituración y molienda, con el fin de liberar o exponer al máximo posible las partículas de mineral de interés, esto implica altos costos de producción. La selección de una tecnología para el beneficio, se basa en la viabilidad económica que directamente depende de (Zanbak & Ores, 2012):

- Tipo de mineral, composición mineral, características del mineral, el tipo de reserva y la ley de corte.

Hay que tener en cuenta que la reducción de la ley de corte de minerales:

- Aumenta asintóticamente el mineral a ser excavado y tratado (Figura 1),
- Aumenta la energía y química el uso de las tecnologías de lixiviación.
- Disminuye la rentabilidad.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

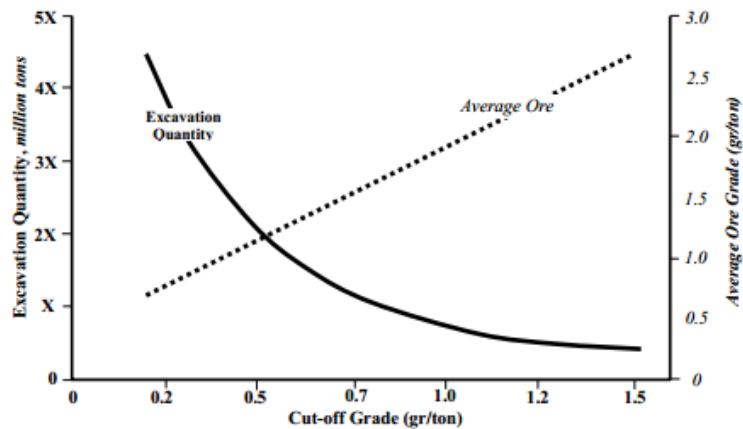


Figura 2. Relación entre la profundidad de excavación y el tenor promedio de un depósito mineral.
Fuente: (Zanbak & Ores, 2012)

En respuesta a los aumentos de los precios internacionales de la producción de metales básicos, el bajo grado de metales comunes y minerales metálicos preciosos (<1% de cobre, <1g/ton oro, <0,5% de níquel) que antes se consideraban poco rentable, se hizo posible con la introducción de las tecnologías como la lixiviación en pilas (Marsden, 2009).

En consideración de los tipos de mineral, un diagrama generalizado que muestra las tecnologías para el beneficio aplicables para minerales de óxidos y sulfuros en comparación con la ley del mineral se presenta en la figura 4, se puede extrapolar a que el porcentaje de hierro (Hematita) presente en el caolín entraría a formar como un mineral de baja ley, y por esto la lixiviación en pila como método de extracción de este.

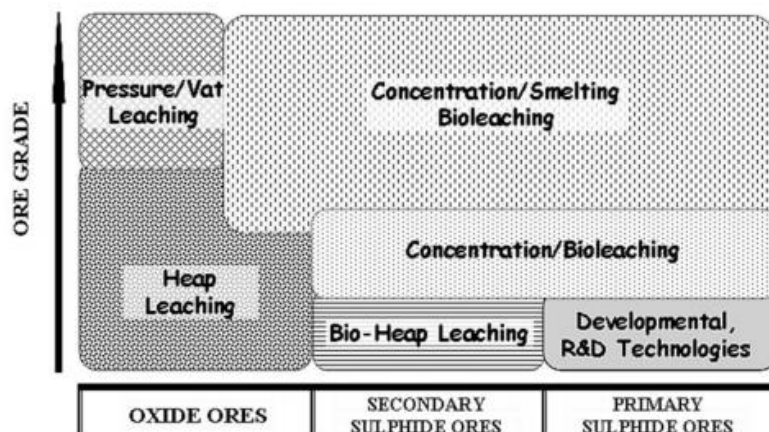


Figura 3. Tecnología aplicable para el beneficio de minerales según su tenor, tanto en óxidos como en sulfuros.

Fuente: (Zanbak & Ores, 2012)

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

El concepto de lixiviación en minerales y producir concentrados no es nuevo. Ya desde 1700 se lixivaban en España minerales de cobre utilizando ácido y en Inglaterra, a finales del siglo XIX se descubrió el uso del cianuro para la lixiviación de oro y plata. Sin embargo no fue hasta 1970 que el ahora extinto Consejo de Minería de los Estados Unidos desarrolló este método para recuperar metales preciosos en montones de mineral de baja ley. Recuperando los metales a través de un proceso de carbón activado y electro depositación, haciendo su aplicación en la industria desde los años 70`s. A partir de entonces, se han desarrollado diversos estudios y tecnologías que permiten que este concepto se aplique a muchos tipos de minerales, climas y operaciones de cualquier tamaño, por lo que se aplica en la extracción tanto de metales preciosos como el oro, metales básicos como cobre, y hasta metales radiactivos uranio. El proceso de lixiviación requiere de preparación adecuada y responsable del área donde se va a realizar la acción de lixiviar para evitar, mitigar o reducir los posibles impactos negativos de la actividad de aprovechamiento. Los impactos generales causados por el proceso de lixiviación en pila son mucho menores que las técnicas tradicionales de aprovechamiento metalúrgico pues prácticamente no requieren la aplicación de calor, con costos menores en el proceso, y requiriendo menor energía que los otros métodos. La lixiviación en pila es un proceso no muy complejo con 3 componentes principales:

- **Trituración:** El material extraído de la mina (generalmente a cielo abierto), que contiene minerales importantes para la lixiviación, es fragmentado mediante trituración primaria y secundaria (eventualmente terciario), con el objeto de obtener un material mineralizado de un tamaño máximo de 1,5 a $\frac{3}{4}$ pulgadas. Este tamaño es suficiente para dejar expuestos los minerales para la infiltración de la solución ácida o básica.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Figura 4. Trituradora primera en minería de Cobre.
Fuente: Elaboración propia.

- **Formación de la pila:** El material triturado es llevado mediante correas transportadoras hacia el lugar donde se formará la pila. En este trayecto el material es sometido a una primera irrigación con una solución de agua y ácido; eventualmente. En su destino, el mineral es descargado mediante un equipo esparcidor gigantesco, que lo va depositando ordenadamente formando un terraplén continuo de 6 a 8 m de altura: la pila de lixiviación. Sobre esta pila se instala un sistema de riego por goteo y aspersores que van cubriendo toda el área expuesta. Bajo las pilas de material a lixiviar se instala previamente una membrana impermeable sobre la cual se dispone un sistema de drenes (tuberías ranuradas) que permiten recoger las soluciones que se infiltra a través del material.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Figura 5. Formación de pilas de lixiviación en minería de Cobre.
Fuente: Elaboración propia.

- **Lixiviación de la pila:** A través del sistema de riego por goteo y de los aspersores, se vierte lentamente una solución ácida o básica de agua en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila hasta su base, actuando rápidamente. La solución disuelve el mineral de interés, formando una solución que es recogida por el sistema de drenaje, y llevada fuera del sector de las pilas en canaletas impermeabilizadas. El riego de las pilas, es decir, la lixiviación se mantiene por 45 a 60 días, después de lo cual se supone que se ha agotado casi completamente la cantidad de mineral lixiviable. El material restante o ripio es transportado mediante correas a botaderos.



Figura 6. Sistema de riego de minería de Cobre.
Fuente: Elaboración propia.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

6.5. Aglomeración

La mayoría de problemas en pilas de lixiviación están asociados a la baja recuperación del mineral objetivo (para nuestro caso es una lixiviación inversa, porque estamos lixiviando el mineral a eliminar), debido a la presencia de zonas impermeables dentro de la pila o también llamadas zonas muertas, principalmente por el contenido de arcilla, que afecta directamente la permeabilidad de la pila. (Dhawan, Safarzadeh, Miller, Moats, & Rajamani, 2013)

Cuando se evidencia alta presencia de finos y partículas de arcillas se hace necesario aglomerar (Ver Figura 7) las partículas, mediante fuerzas de adhesión producidas por la adición de un líquido (para nuestro caso el ácido sulfúrico) para la conformación de glómeros que mejoran la permeabilidad de la pila y permiten el recorrido de la solución lixivante y a su vez el contacto con todas las partículas.



Figura 7. Elaboración de los glómeros de caolín en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

La aglomeración lo que principalmente hace es ayudar a mitigar la segregación del material (debido a una distribución de tamaño de partículas muy amplio) mediante la conformación de partículas de igual tamaño, que por lo general en la conformación de la pila, el material grueso tiende a permanecer en la parte

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

exterior de la pila y el material fino en la parte interior, como muestra la Figura 8, ocurriendo una pobre percolación y una baja permeabilidad (Chamberlin, 1986a)

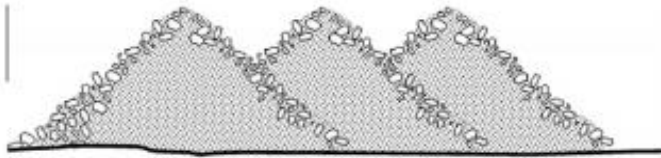


Figura 8. Segregación de grandes y partículas finas de una mala construcción de una pila de lixiviación
Fuente: Elaboración propia

En resumen la aglomeración con la misma solución lixivante tiene dos objetivos, el primero es mejorar la velocidad de lixiviación ya que contribuye a la uniformidad en la distribución de la solución y el segundo es generar fuerzas de adhesión para la unión de esas partículas finas por coalescencia para la conformación de glómeros y así mejorar la permeabilidad de la pila (Chamberlin, 1986b).

Es importante mencionar que durante la irrigación de la solución lixivante una considerable fracción de mineral es disuelto lo cual conduce a la degradación de los glómeros, decreciendo la permeabilidad.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

7. Materiales y método

7.1. Materia prima - Caolín de La Unión- Antioquia.



Figura 9, Mina Monteblanco ubicada en el municipio de La Unión- Antioquia.
Fuente. (Google, 2014)

La mina Monteblanco, con coordenadas latitud: 5°59'9.78"N longitud: 75°22'27.31"O, está ubicada en el municipio de La Unión- Antioquia (Ver Figura 9) esta mina corresponde al grupo cementero Argos, la cual provee de materia prima para la fabricación de cemento, (cemento negro y cemento blanco). La producción de la mina es de 1500 Toneladas mensuales, el mineral es explotado a cielo abierto (Ver Figura 10), el proceso comienza con el descapote de la materia vegetal con la ayuda de un Bull-Dozer, este materia es depositado en lugares donde se almacena y se conserva para su final depositación, cuando se terminan el descapote empieza la extracción del mineral, siendo la extracción muy selectiva por factores que controlan la demanda (en el caso de Grupo Argos el contenido de hierro). El arranque y el cargue del materia se hace con la ayuda de una sola retroexcavadora (Ver Figura 11) que arranca y carga en las volquetas llevándolas a la planta.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Figura 10. Explotación a cielo abierto de caolín en La Unión.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Arranque del mineral por una retroexcavadora.
Fuente: Elaboración propia.

El caolín que no cumple con los contenidos de hierro es llevado a botaderos y desechado por la empresa, a este caolín se le denomina coloquialmente como “arcilla roja” (ver Figura 12), por este es de suma importancia atacar este tipos de materiales con métodos alternativos y ver si viabilidad y factibilidad a la hora de usarlos, aumentando así las reservas de la mina.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Figura 12. Arcilla roja en zona de explotación.
Fuente: Elaboración propia.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

7.2. Aglomeración

La aglomeración se llevó a cabo en el tambor aglomerador (Ver Figura 13), a 18 rpm en el cual a medida que se le agregaba el mineral de alimento, se le adicionaba cierta cantidad de ácido sulfúrico por medio de un atomizador, que permite la coalescencia de las partículas y cierta cantidad de agente lixivante dentro del glomero que permita la uniformidad en la distribución de la solución.



Figura 13. Glómeros de caolín, después del proceso de aglomeración en el tambor rotatorio.

Fuente: Elaboración propia

7.3. Equipos utilizados

Para el estudio de la lixiviación se utilizaron equipos fundamentales en el desarrollo de los ensayos, dichos equipos se describen a continuación:

- **Tubo de lixiviación:**

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Se usó un tubo de poliestireno de 12,7 cm de diámetro (5 pulgadas) y 100 cm de longitud (39,4 pulgadas) (Ver Figura 14 y 15). Se escogieron estas dimensiones para evitar el efecto de capilaridad producido por las paredes del tubo en donde baja el ácido y no causar posibles errores en el ensayo. La Relación L/D de 8.

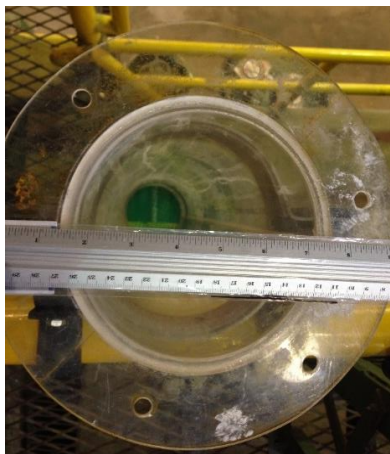


Figura 14. Tubo de lixiviación en vista superior.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 15. Tubo de lixiviación en vista frontal.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Fuente: Elaboración propia.

- **Tambor aglomerante:**

Se usó un tambor aglomerante cerámico, para evitar el contacto del mineral con algún elemento que contenga hierro. El tambor de aglomeración es rodado por un agitador eléctrico dotado por el centro de minerales CIMEX, este agitador permite la formación de glómeros, simulando un tambor aglomerador de minería (Cobre, Oro y otros metales), pero a escala de laboratorio. Este tambor tiene 17 cm de diámetro (6.6 pulgadas) y de 25.4 cm de largo (10 pulgadas). Relación L/D de 1.5 (Ver Figura 16, 17 y 18).



Figura 16. Tambor aglomerador cerámico, en vista superior.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 17. Tambor aglomerador cerámico, en vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Figura 18. Equipo completo de aglomeración.
Fuente: Elaboración propia.

7.4. Reactivos utilizados

Los reactivos utilizados para el blanqueo del caolín fueron el ácido sulfúrico concentrado para formación de glómeros y ácido oxálico en solución como agente acomplejante, en concentraciones de 0.15M, 0.015M y 0.95M

7.5. Pila de lixiviación

La formación de la pila de lixiviación se basa en la acomodación de los glómeros de caolín aleatoriamente sobre el tubo dispuesto para el ensayo (Ver Figura 19) Se debe asegurar una granulometría casi homogénea en la formación de los glómeros para mejorar permeabilidad de la pila (Dhawan et al., 2013). Esta pila de lixiviación debe de llevar su respectivo sistema de riego o en este caso sistema de goteo, por la dimensión de la pila que es de laboratorio, teniendo un goteo constante.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Figura 19. Glómeros de caolín al inicio de la lixiviación, dentro del tubo de lixiviación.

Fuente: Elaboración propia.

La granulometría de entrada a la pila se muestra a continuación (Ver Figura 20):

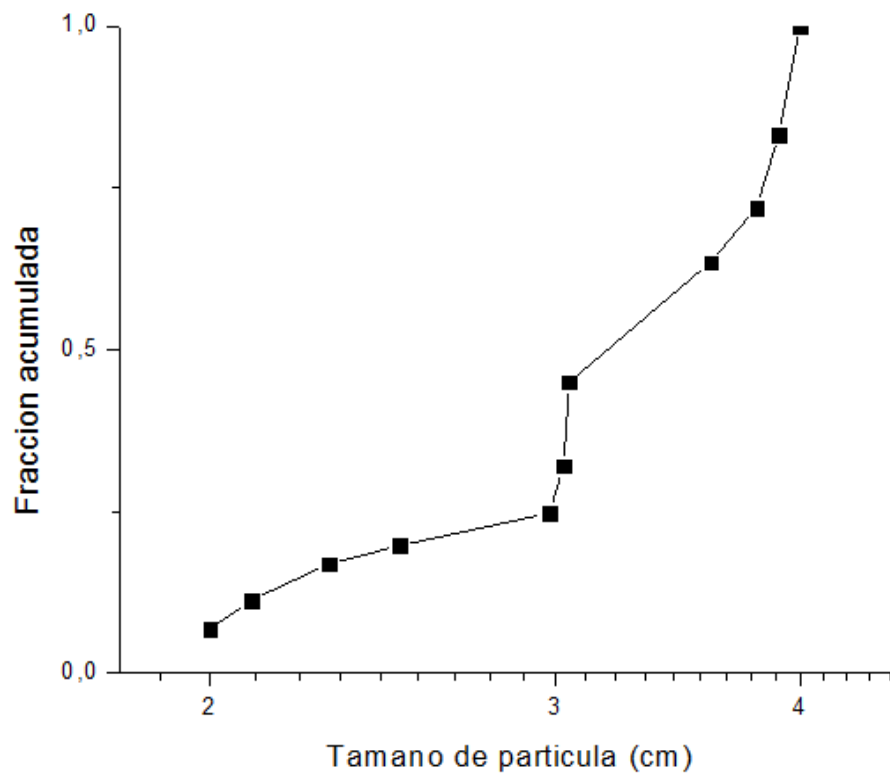


Figura 20. Granulometría de entrada a la pila de lixiviación.

Fuente: Elaboración propia.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Los glómeros con tamaños entre los 2 cm y 4 cm controlan la granulometría de entrada a la pila (Ver Figura 20), se diseñó de esta forma debido a que la pila debe estar fuertemente contrala por tamaños de glómeros homogéneos para que la permeabilidad mejores considerablemente a diferencia de la colocación del mineral de forma directa de cómo sale de mina (Dhawan et al., 2013) . Esto se da gracias a las vacancias que quedan entre las partículas al estar en contacto unas con otras, y son rellenadas por fluido para que lleve a cabo la lixiviación, esta diferencia se puede apreciar en la Figura 21 donde se muestra comparativamente dos minerales que son regados con una solución, uno con aglomeración y otro sin aglomerar y se puede mirar que tan importante es que las particulares estén aglomerados como el tamaño de partículas sea homogéneo, para permitir el mayor paso de ácido posible sobre el mineral.

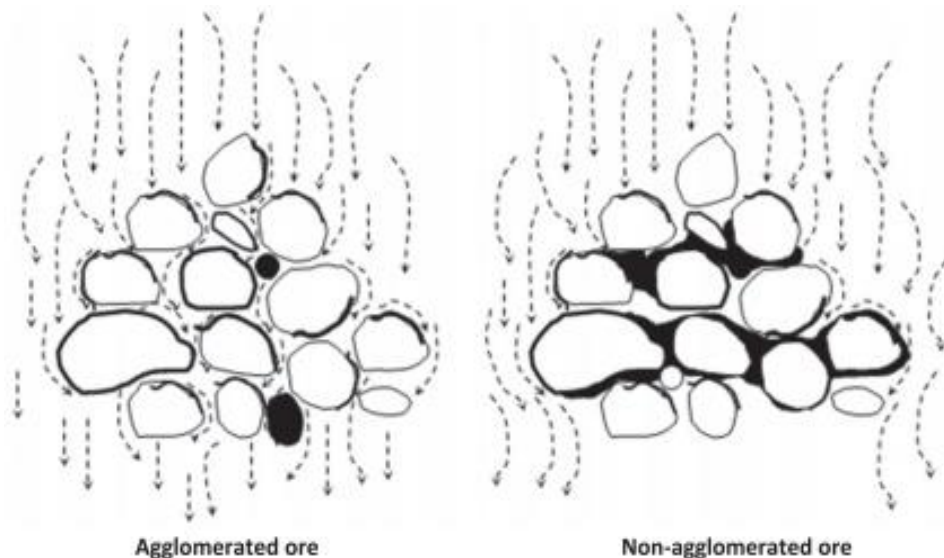
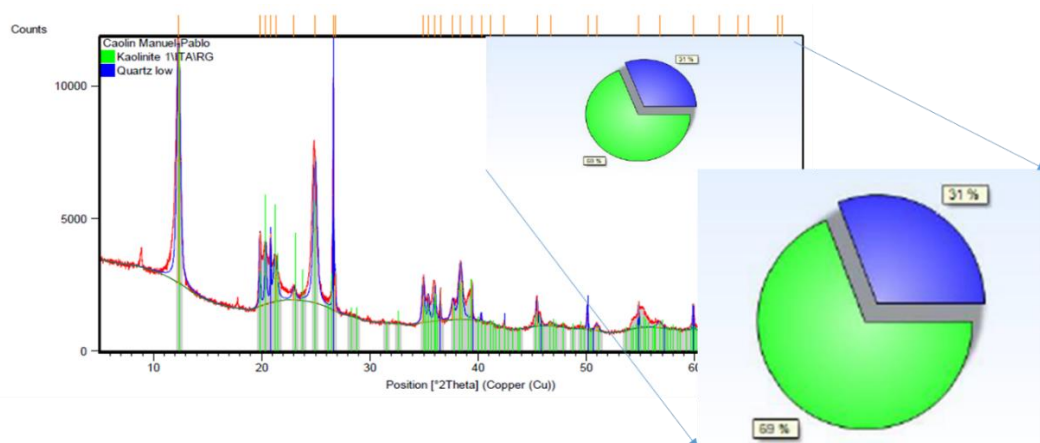


Figura 21. Diferencia de permeabilidad entre un material aglomerado y no aglomerado.
Fuente: (Dhawan et al., 2013)

8. Resultados

8.1. Caracterización Mineralógica

Los resultados de la Difracción de Rayos X (Ver Grafica 1) muestran en el mineral un 69% de Caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ y un 31% de cuarzo (SiO_2). En la muestra no se reportan los contaminantes del caolín que generan el cambio de la coloración como lo es la Hematita y la Goethita, esto se debe a la baja concentración que tiene en el caolín, por eso se realizó una espectrofotometría de absorción atómica, determinando un porcentaje inicial de hierro de 0,198% en peso.



Grafica 1. DRX de Caolín.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2. Fases cristalinas del Caolín estudiado.

Pattern List:

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
01-086-1560	Silicon Oxide	SiO_2
01-083-0971	Aluminum Silicate Hydroxide	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$

Fuente: Elaboración Propia.

La permeabilidad mejora gracias a que las partículas de alta densidad como el cuarzo tienden a depositar en la parte más exterior y las de baja densidad como lo

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

son las arcillas se depositan en la parte más interior (Ver Figura 22) (Nosrati, Skinner, Robinson, & Addai-Mensah, 2012).

El mayor espaciamiento en el glomero es producido por los contactos entre estas dos minerales de alta y baja densidad, mejorando el paso de ácido por la estructura (Nosrati et al., 2012).

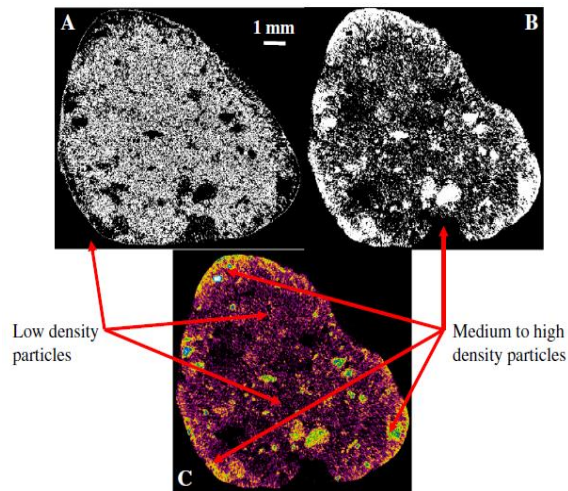


Figura 22. Deposición de estructuras cristalinas como lo son el cuarzo y la arcilla.
Fuente: (Nosrati et al., 2012)

8.2. Blanqueo de Caolín

8.2.1. Lixiviación de Hierro

La lixiviación de hierro se efectuó en tres pilas, sus principales parámetros se muestran a continuación en la Tabla 3. Por nomenclatura en el presente trabajo se van a denominar P1 para la Pila 1, P2 para la Pila 2 y P3 para la pila 3.

Tabla 3. Variables de operación de las pilas de lixiviación.

PILA 1		
Variables	Unidades	Valor
Altura	Centímetros	30
Concentración de ácido Oxálico	Molaridad	0.15
Peso de mineral	Gramos	3325
Tiempo de lixiviación	Días	48.5

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Hierro Alimento	%	0.19
Hierro después del proceso	%	0.09

PILA 2		
VARIABLES	UNIDADES	VALOR
Altura	Centímetros	30
Concentración de ácido Oxálico	Molaridad	0.015
Peso de mineral	Gramos	3359
Tiempo de lixiviación	Días	48
Hierro Alimento	%	0.19
Hierro después del proceso	%	0.14

PILA 3		
VARIABLES	UNIDADES	VALOR
Altura	Centímetros	30
Concentración de ácido Oxálico	Molaridad	0.95
Peso de mineral	Gramos	3265
Tiempo de lixiviación	Días	48
Hierro Alimento	%	0.19
Hierro después del proceso	%	0.07

Fuente: elaboración Propia.

P1, P2 Y P3 lograron una buena remoción de hierro gracias a la aglomeración del material de entrada y apropiada granulometría (entre 2 y 4 centímetros), debido a que en el transcurso del proceso se reportó que efectivamente la disolución del hierro se generaba y se podía apreciar que el color del caolín cambiaba con el tiempo (Ver Figura 23).

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

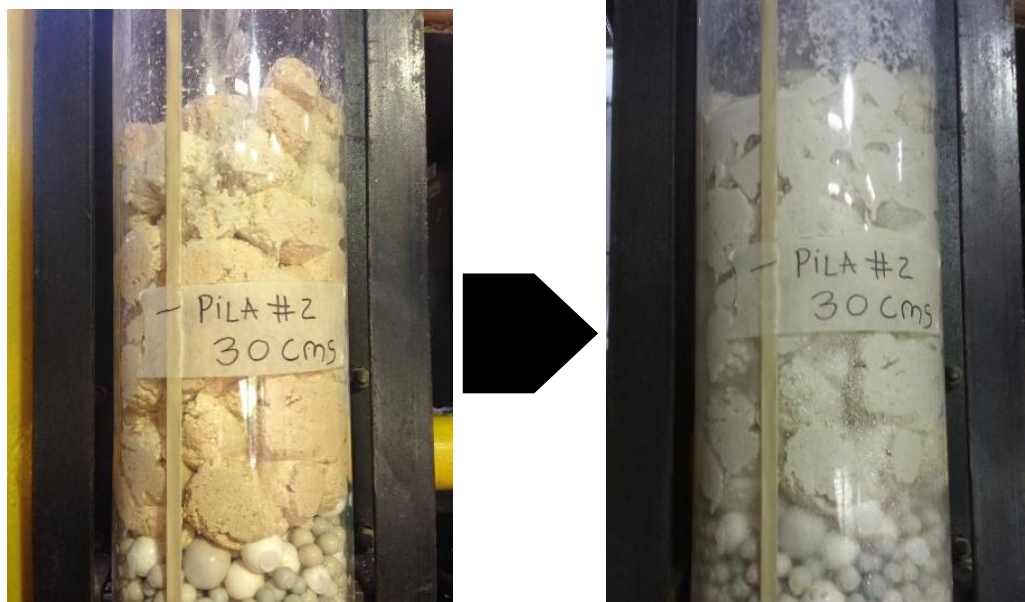


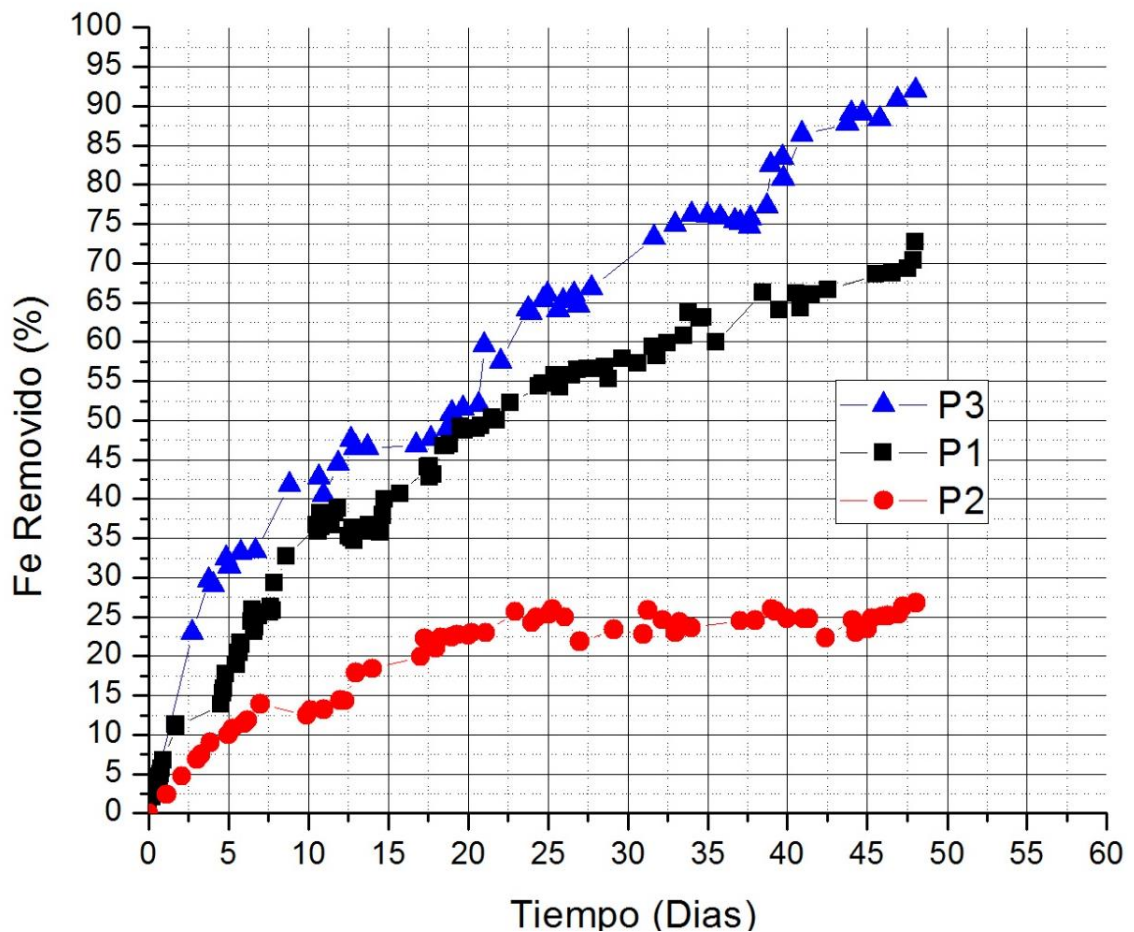
Figura 23. P2 después de 20 días de Lixiviación, se puede ver que el blanqueo se estaba dando a medida que el tiempo pasaba por la remoción de hierro en el caolín.
Fuente: elaboración propia.

Durante las pruebas de lixiviación se tomaron muestras de las soluciones en los tanques de almacenamiento de aproximadamente 5 ml, y mandados a análisis de espectrofotometría de absorción atómica; este ensayo de laboratorio reporta partes por millón (ppm) de hierro disuelto en la solución generada después del proceso (oxalato de hierro y agua)

El Grafica 2 presentan los resultados de la cinética de la lixiviación de hierro en P1, P2 Y P3 de caolín con las diferentes concentraciones de ácidos (0,15M, 0.015M Y 0.95M).

Los resultados de cada uno de los puntos de la Grafica 2 se pueden ver en los ANEXOS A, B y C, para P1, P2 y P3, respectivamente.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Grafica 2. Fe removido Vs Tiempo.

Fuente: elaboración propia.

La cinética de la lixiviación de hierro, observando la Gráfica 2, puede decirse que como tendencia general a medida que aumenta la concentración de ácido oxálico en solución aumenta la remoción de hierro, siendo para P1 Y P3 muy pareja hasta casi los 20 días y para P2 muy notable su baja recuperación por su baja concentración.

Para P1 la recuperación máxima alcanzada fue del 72.2%, para P2 del 26.7% y para P3 del 90.8%. A medida que el tiempo transcurre se nota una tendencia exponencial de las 3 pilas, lo que indica que en algún momento la remoción de hierro va hacer nula, por tal motivo se hace importante modelar según los médelos que mejor se ajuste a cada uno y ver en qué momento la derivada de la remoción de hierro con respecto al tiempo se hace cero y predecir qué cantidad de porcentaje de hierro se va a remover y a que tiempo.

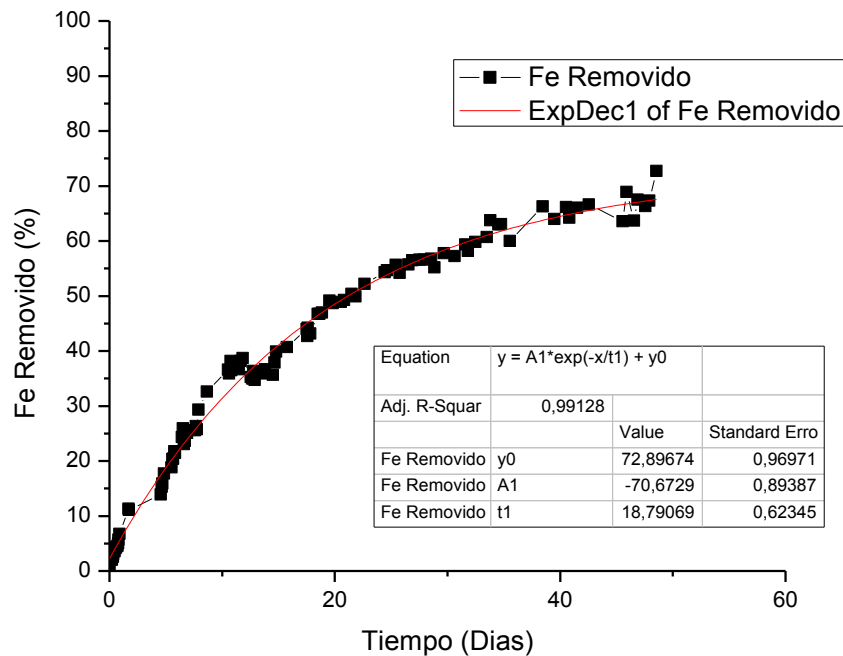
Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Los primeros 20 días de P1 y P3 tienen una cinética de reacción muy parecida, yéndose casi a la par, dando recuperaciones de casi el 50% de hierro total, luego P3 se aumenta y deja a P1, esto debido a la gran cantidad de ácido en la solución que tienen para reaccionar, demostrando que la P1 ya estaba próximo a llegar al equilibrio.

8.2.2. Modelación del comportamiento de remoción de hierro.

Para cada una de las pilas de caolín se modelo sus comportamientos de remoción de hierro con respecto al tiempo, por esta razón se usó el software Origin, para así determinar el modelo que mejor se ajuste mirando su R².

Modelación Pila 1:



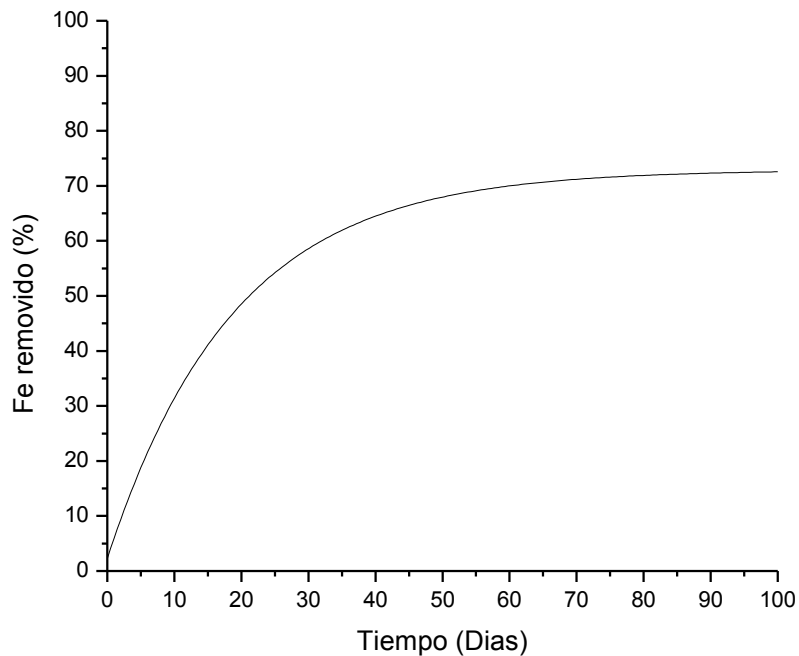
Grafica 3. Fe removido Vs Tiempo de P1, datos de entrada para la simulación.

Fuente: elaboración propia.

Se ajusta a un modelo exponencial con ecuación (4) y Grafica 3:

$$Fe\ Removido\ (\%) = 70,6729e^{\left(-\frac{Dias}{18,7906}\right)} + 72,8967 \quad (4)$$

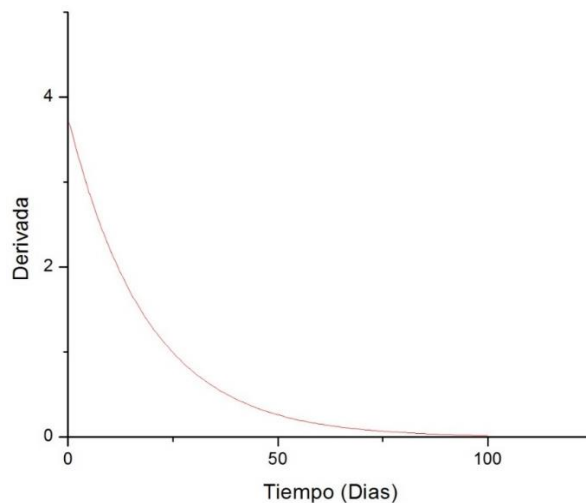
Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Gráfica 4. Fe removido Vs Tiempo de P1, Simulación.

Fuente: elaboración propia.

La grafica de la derivada (Ver Grafica 5), determina qué la remoción máxima, esta será de 72.55%, en un tiempo de 100 días (ver Grafica 4 y Tabla 4):



Gráfica 5. Derivada Vs Tiempo de P1.

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo como resultado para Pila 1 en la modelación lo siguiente (Ver tabla 4)

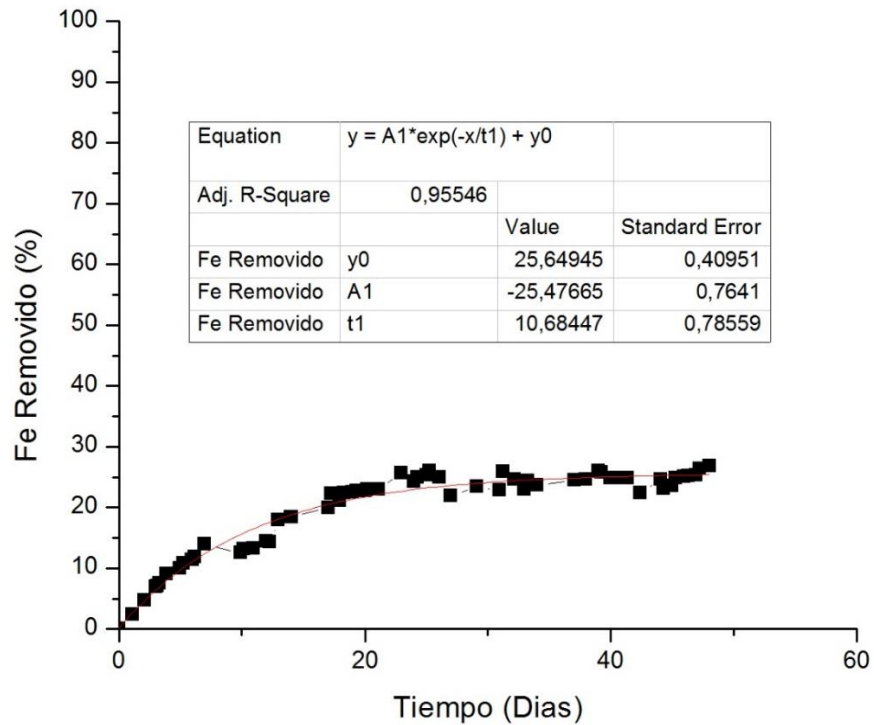
Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Tabla 4. Resultados de la simulación para P1.

Fe removido (%)	Tiempo (Días)	Derivada
73	100	0,018

Fuente: Elaboración propia

Modelación pila 2:

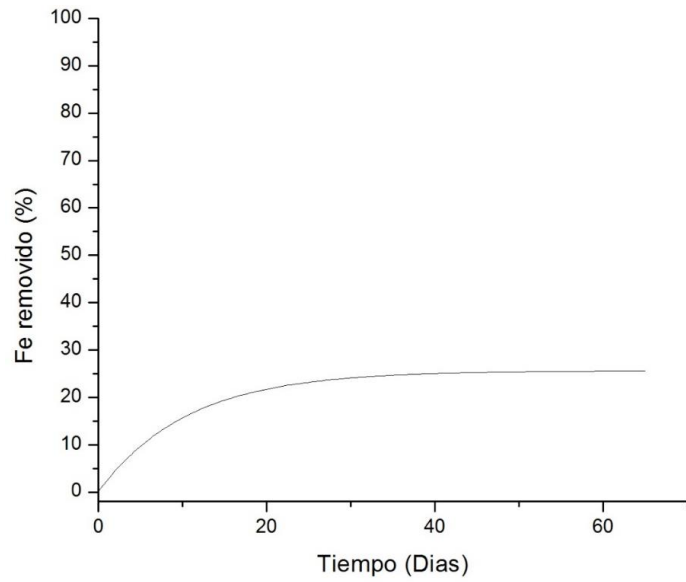


Grafica 6. Fe removido Vs Tiempo de P2, datos de entrada para la simulación.
Fuente: elaboración propia.

Se ajusta a un modelo exponencial con ecuación (5) y Grafica 6:

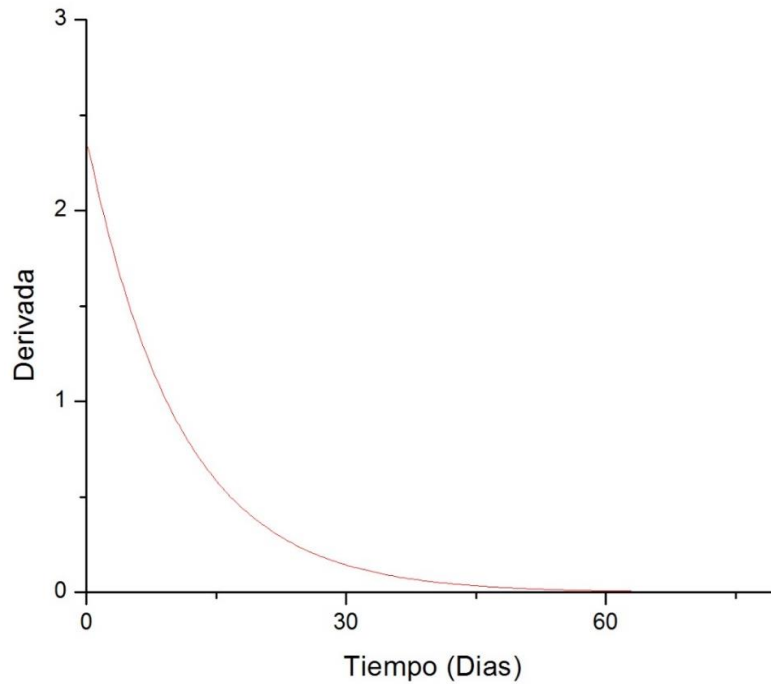
$$Fe\ Removido\ (\%) = 25,4766e^{\left(-\frac{Dias}{10,6844}\right)} + 25,6494 \quad (5)$$

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Grafica 7. Fe removido Vs Tiempo de P2, Simulación.
Fuente: Elaboración propia.

La grafica de la derivada, determina que la remoción máxima de hierro será de 26%, en un tiempo de 65 días (Ver Grafica 7 y Tabla 5)



Grafica 8. Derivada Vs Tiempo de P2.
Fuente: Elaboración propia.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

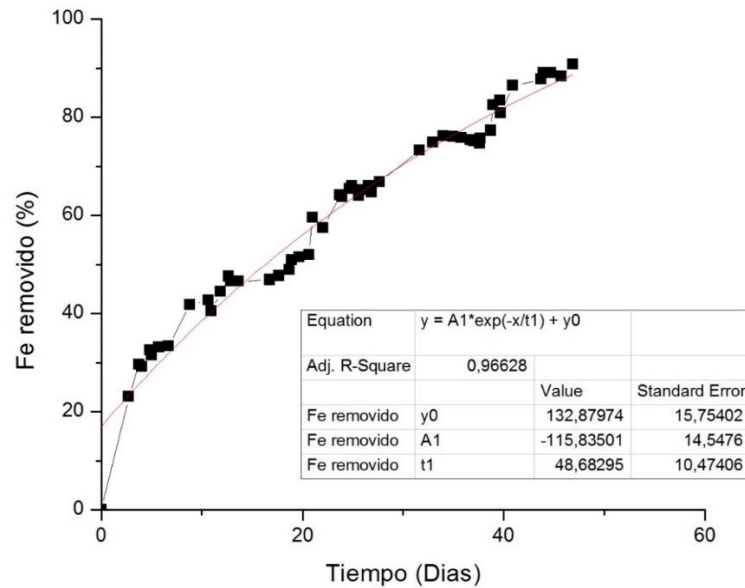
Obteniendo como resultado para Pila 2 en la modelación lo siguiente (Ver tabla 5)

Tabla 5. Resultados de la simulación para P2.

Fe removido (%)	Tiempo (Días)	Derivada
26	65	0,005

Fuente: Elaboración propia

Modelación pila 3:



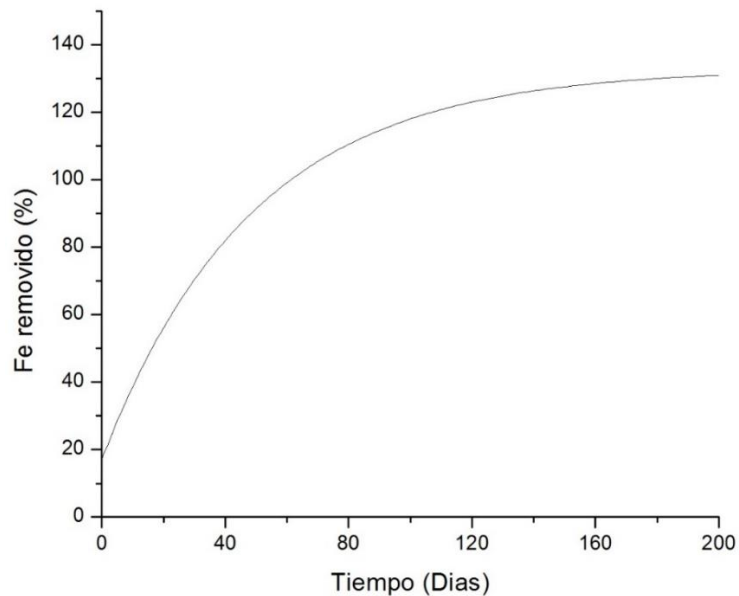
Grafica 9. Fe removido Vs Tiempo de P3, datos de entrada para la simulación.

Fuente: Elaboración propia.

Se ajusta a un modelo exponencial con ecuación (6) y Grafica 9:

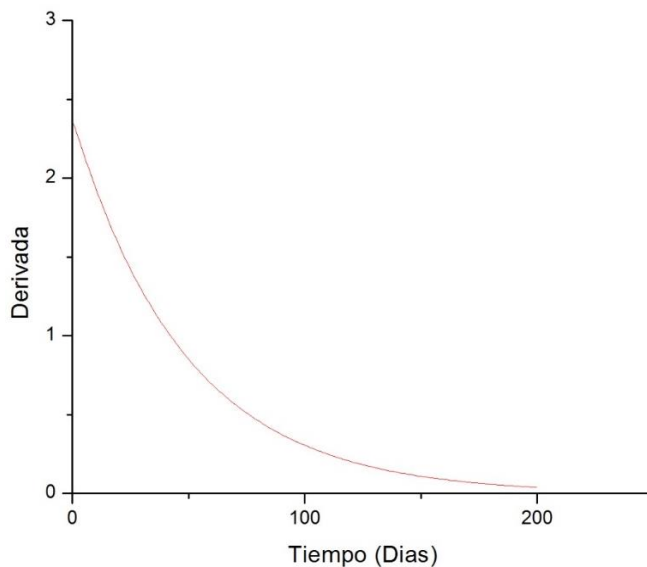
$$Fe\ Removido\ (\%) = 115.8e^{\left(\frac{-Dias}{48,6}\right)} + 132.8 \quad (6)$$

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Gráfica 10. Fe removido Vs Tiempo de P3, Simulación.
Fuente: Elaboración propia.

La grafica de la derivada, determina que la remoción máxima de hierro será del 100%, en un tiempo de 200 días (Ver Grafica 10 y tabla 6)



Gráfica 11. Derivada Vs Tiempo de P3.
Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo como resultado para Pila 3 en la modelación lo siguiente (Ver tabla 6)

Tabla 6. Resultados de la simulación para P3.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

Fe removido (%)	Tiempo (Días)	Derivada
131	200	0,03

Fuente: Elaboración propia

Pero como el porcentaje de remoción de hierro no puede superar el 100%, entonces se corrige resultando lo siguiente (Ver Tabla 7):

Tabla 7. Resultados de la simulación para P3.

Fe removido (%)	Tiempo (Días)
100	62

Fuente: Elaboración propia

Para los ensayos, los porcentajes de hierro removido máximo determinados a tiempos diferentes para P1, P2 y P3 se muestran a continuación en modo de resumen para ver la relación entre ellas, concluyendo énfasis que el para P3 se tiene la mayor extracción de hierro en menor días, que P1 y P2.(Ver Tabla 8)

Tabla 8. Resultados de la simulación para P1, P2 y P3

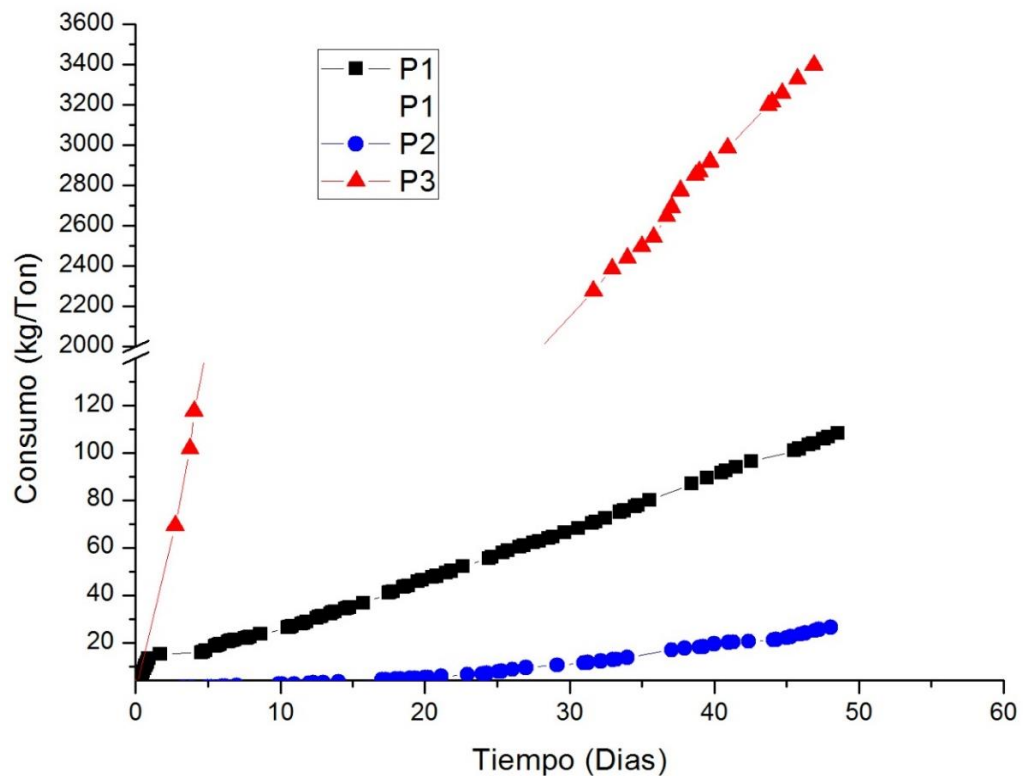
	Fe removido (%)	Tiempo (Días)
P1	73	100
P2	26	65
P3	100	63

Fuente: Elaboración propia

8.2.3. Gasto de ácido con respecto a la extracción de hierro.

El consumo de ácido es muy importante por el hecho de que es el determinante económico para ver si se lleva a cabo la implementación del blanqueo de caolín por medio de ácido oxálico en solución, en la Grafica 12 se puede observar la tendencia lineal de Kg de ácido oxálico por Tonelada de mineral (caolín), lo que quiere decir es la cantidad de ácido oxálico necesito para blanquear una tonelada, como en el día 48 se pararon todos los ensayos, hasta este punto se midió el consumo.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



Gráfica 12. Consumo de ácido Vs Tiempo.

Fuente: Elaboración Propia.

El consumo de P2 fue el más bajo de todos, con un total de 26 kg/Ton de mineral, después P1 con un consumo máximo de 102 kg/Ton de mineral y por último el consumo más excesivo fue el de P3 con 3400 kg/Ton de mineral esto debido a la alta concentración que tiene este ácido en solución.

Se debe tener cuidado con el consumo de ácido, si es muy alto se pueden llegar a altos índices de blancura pero a costa de mucho dinero, que al quererse implementar como una nueva alternativa sería una desventaja, por tal motivo se hace fundamental analizar los costos de producción de una tonelada de mineral con el proceso convencional y el de blanqueo por lixiviación en pilas.

8.2.4. Colorimetría.

Se midieron los índices de blancura del mineral antes y después de proceso de lixiviación. Se entiende por blanqueo a todo proceso en el cual se incrementa la

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

blancura de los minerales (Gómez Jiménez & Bustamante Rúa, 2011); Se realizaron tres ensayos de índice de blancura por pila, al material de entrada y salida, a una granulometría de mineral pasante malla 325, debido a que estos tamaños inferiores de 45 micras, el caolín tiene sus aplicaciones a nivel industrial.

Tabla 9. Ensayos de Índice de blancura para el material de alimento, y el producto final de P1, P2 y P3.

Color Alimento				
-	Lab*	a*	b*	% W
Ensayo 1	102.80	-6.17	10.11	53.97
Ensayo 2	103.99	-8.23	8.96	52.43
Ensayo 3	104.22	-8.89	9.13	50.14
			Blancura definitiva	52.18
Color Blanco				
P1	Lab*	a*	b*	% W
Ensayo 1	102.31	-5.46	-1.41	90.16
Ensayo 2	101.61	-3.68	-0.774	92.90
Ensayo 3	100.51	-2.17	2.13	87.63
			Blancura definitiva	90.23
Color Blanco				
P2	Lab*	a*	b*	% W
Ensayo 1	103.32	-4.67	2.04	83.19
Ensayo 2	102.35	-3.12	1.92	87.23
Ensayo 3	104.69	-6.87	1.01	81.06
			Blancura	83.82

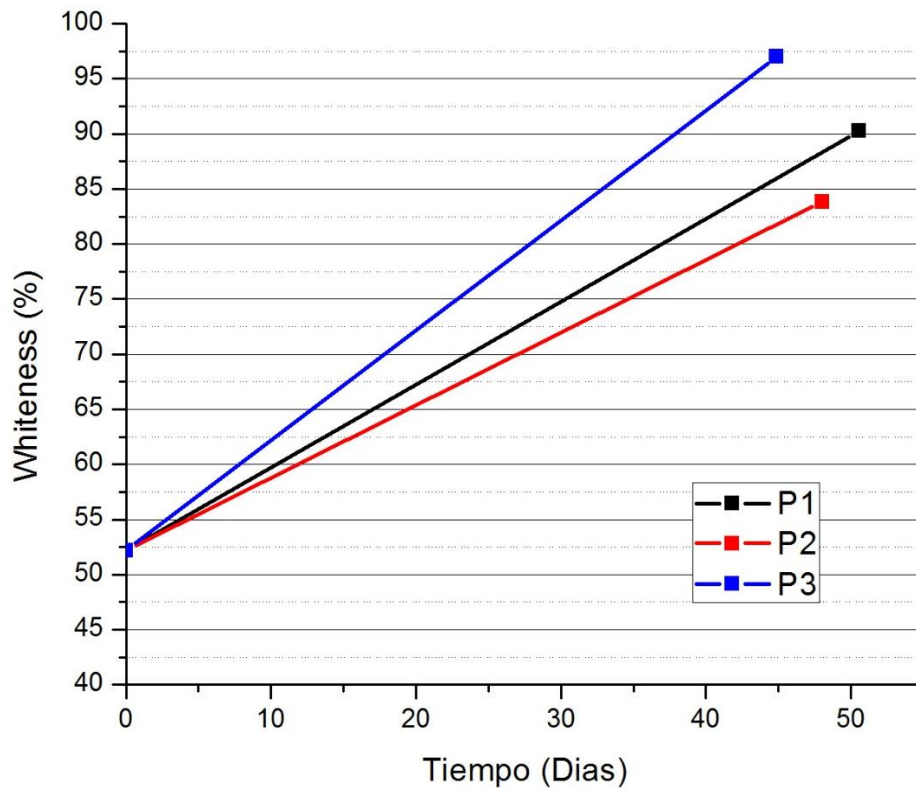
Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

			definitiva	
Color Blanco				
P3	Lab*	a*	b*	% W
Ensayo 1	107.55	-10.30	-5.91	94.37
Ensayo 2	109.46	-13.22	-9.98	99.73
Ensayo 3	109.22	-13.13	-9.02	96.90
			Blancura definitiva	97,00

Fuente: Elaboración propia.

En el Grafica 13 y Tabla 9 se muestran los índices de blancura alcanzados, , donde se evidencia que P3 alcanzo el mayor índice de blancura, debido a su alta concentración y como se demostró con anterioridad a mayor concentración en solución de ácido oxálico, mayor es la remoción de hierro en el caolín y que a mayor remoción de hierro en el Caolín mayor es el índice de blancura haciendo al hierro un gran controlador del color y removiéndolo se alcanza blancuras mayores del 90% como lo demostró P1 y P3 siendo interesante para la elaboración de diversos materiales que exigen Índices de blancura altos.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.



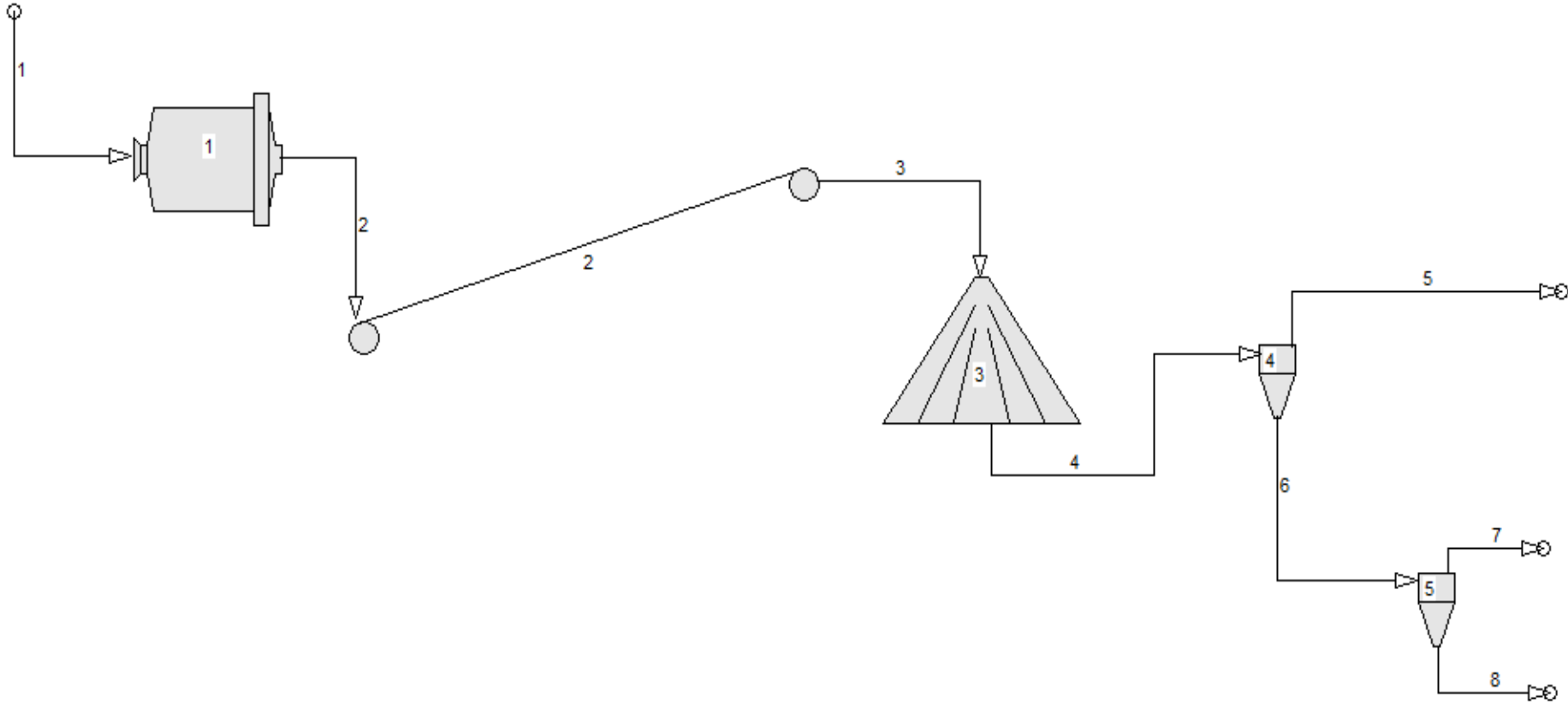
Grafica 13. Índices de blancuras Vs Tiempo, para P1, P2 y P3.

Fuente: Elaboración propia.

8.2.5. Diagrama de flujo alternativo para el blanqueo de caolín.

Para el blanqueo de caolín se propone un flujo compuesto por equipos muy similares a minería metálica a gran escala, ya que es la mejor manera de llevar acabo toda la recuperación, se debe aclarar que la lixiviación en pila de caolín es muy diferente al convencional ya que en la mayoría de casos el producto de interés económico es la solución enriquecido, en cambio en el blanqueo tradicional por lixiviación en pilas el producto de interés es la pila, por ser un producto sin contaminantes de hierro que puede tener alto valor económico debido a su blancura (Ver Grafica 14) .

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL BLANQUEO DE CAOLÍN POR MEDIO DE LIXIVIACIÓN EN PILAS CON ÁCIDO OXÁLICO.



Grafica 14. Diagrama de flujo alternativo para el blanqueo de caolines por medio de lixiviación en pilas.
Fuente: Elaboración propia

Los equipos y flujos serán explicados a continuación (Ver tabla 10 y 11):

- Equipos

Tabla 10. Especificaciones de cada uno de los equipos del diagrama de flujo.

Equipo	Nombre	Características
1	Tambor aglomerador	Equipo encargado de la aglomeración del caolín, para mejorar la permeabilidad. En este punto adiciona ácido sulfúrico y ácido oxálico, ambos en solución para hacer el respectivo curado.
2	Banda depositadora	Encargada de transportar el caolín desde la salida del Tambor aglomerador hasta las pilas de lixiviación.
3	Pila de Caolín	Lugar donde se realiza la disolución de hierro presente en el caolín y dejarlo en solución para su posterior desecho, ya que el valor económico es la pila que quede con bajo porcentaje de hierro. Se le va adicionar el ácido oxálico en solución según la concentración determinada por el encargado del proceso.
4	Hidrociclón 1	Encargado de la clasificación del material
5	Hidrociclón 2	Encargado de la clasificación del material

Fuente: Elaboración propia

- Flujos

Tabla 11. Especificaciones de cada uno de los flujos del diagrama.

Flujos	Nombre	Características
1	Alimento tambor aglomerador	Material proveniente de Mina.
2	Salida tambor aglomerador- Entrada Banda depositadora	Material aglomerado con un d80 aproximadamente de 2 a 4 centímetros. Este material debe estar curado para mejorar la permeabilidad de la pila
3	Salida Banda depositadora-	El material aglomerado se deposita en la

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

	Entrada pila de lixiviación	pila de materia sistemática para generar pilas de aproximadamente 2 metros de alto con área de 8 a 10 m ² .
4	Salida de pila de lixiviación- entrada Hidrociclón 1	El material cuando cumpla con su tiempo de lixiviación se deposita a una corriente del vado de agua que lo dirija a un Hidrociclón para empezar el proceso de clasificación.
5	Salida de Hidrociclón gruesos	Materiales más gruesos como el cuarzo salen en esta corriente, serán desechados del proceso ya que no son de valor económico para materiales que utilicen caolín blanqueado.
6	Salida de Hidrociclón 1 finos- entrada Hidrociclón 2	El caolín blanqueado entra a otro Hidrociclón para así generar el tamaño de corte de la malla 325.
7	Salida Hidrociclón 2 gruesos	Material mayor a la malla 325 es desechado junto a la corriente desecha como primera instancia.
8	Salida Hidrociclón 2 Finos- Producto final	El caolín con un tamaño menor a la malla 325 blanqueado es el producto final y el de alto valor económico.

Fuente: Elaboración propia.

9. Conclusiones

- A mayor es la concentración de ácido oxálico de goteo, mayor es la remoción de hierro sobre la superficie de caolín, evidenciada por remociones de 72.2%, 26.7% y 90.8%, para concentraciones de ácido 0.15M, 0.015M Y 0.95M, respectivamente. Es posible hacer lixiviación en pilas con ácido oxálico para el blanqueo de caolín, a pesar de que tiene un contenido muy alto de arcillas, se evidencia que al aglomerar de buena manera no tiene problemas con la conductividad de la solución de ácido oxálico sobre el mineral. La concentración de la solución es una limitante económica, en la Tabla 9 se observa que P3 solo se necesitaba 63 días para remover el 100% del hierro soluble, a diferencia de P1 que es de 100 días siendo casi 10 veces mayor la concentración de P3 que la de P1.
- La presencia de cuarzo y de macro caolines no altera el proceso, por el hecho de que no interfiere con la reacción de reducción del hierro y porque le da estabilidad al glomero teniendo partículas más gruesas que la de la caolinita y de la Hematita.
- El índice de blancura está directamente relacionado, con el porcentaje de hierro removido sobre la superficie, algo reflejado por los índices de blancuras alcanzados de 90.23%, 83.82%, y 97%, para remociones de hierro de 72.2%, 26.7% y 90.8%, respectivamente. Tan solo en 48 días de lixiviación en pila, por tal motivo según lo modelado puede llegar a blancuras superiores a las reportadas.
- La velocidad de remoción de hierro es proporcional a la concentración de ácido oxálico goteado. Ya que más iones están dispuestos a reaccionar con la superficie de la Hematita presentes en el caolín.
- Es muy factible y de bajo costo la implementación de este nuevo método de blanqueo de caolín a nivel industrial, por la facilidad del método. Llegando a manejar concentraciones de ácido de 0.15M en periodos de 50 días.

11. Bibliografía

- Ambikadevi, V. ., & Lalithambika, M. (2000). Effect of organic acids on ferric iron removal from iron-stained kaolinite. *Applied Clay Science*, 16(3-4), 133–145. doi:10.1016/S0169-1317(99)00038-1
- Amoros, J., & Ichikawa, Y. (2011). Estructuras cristalinas de los silicatos y oxidos de las materias primas ceramicas, 76, 311–320.
- Bartolomè, J. F. (1997a). El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones, 19, 20.
- Bartolomè, J. F. (1997b). El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. *Boletín de La Sociaedad Española de Cerámica Y Vidrio*.
- Beckel, J. (2000). *El proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas y el desarrollo de la minería cuprífera e Chile*. (CEPAL, Ed.) (p. 61). Santiago de Chile.
- Bustamante rua, M. O., & Muñoz García, A. M. (2010). *Blanqueo de caolines de la unión Antioquia usando métodos hidro -electrometalúrgicos*. Universidad Nacional De Colombia.
- Chamberlin, P. . (1986a). Agglomeration: cheap insurance for good recovery when heap leaching gold and silver ores. *Minerals Engineering*, 38, 1105–1109.
- Chamberlin, P. . (1986b). Agglomeration: cheap insurance for good recovery when heap leaching gold and silver ores. *Minerals Engineering*.
- Cornelius, H. (1978). *Manual de mineralogia de DANA*. (R. S.A, Ed.) (pp. 491–492).
- Dhawan, N., Safarzadeh, M. S., Miller, J. D., Moats, M. S., & Rajamani, R. K. (2013, February). Crushed ore agglomeration and its control for heap leach operations. *Minerals Engineering*.
- Gómez Jiménez, A. M., & Bustamante Rúa, M. O. (2011a). *Estudio del efecto de la fracción de ultrafinos, sobre blanqueo de caolines*. Universidad Nacional De Colombia.
- Gómez Jiménez, A. M., & Bustamante Rúa, M. O. (2011b). Estudio del efecto de la fracción de ultrafinos, sobre blanqueo de caolines. Medellín.
- Google. (2014). Google Earth.

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

- Hu, Y., & Liu, X. (2003, November). Chemical composition and surface property of kaolins. *Minerals Engineering*.
- Lee, S. O., Tran, T., Park, Y. Y., Kim, S. J., & Kim, M. J. (2006, September). Study on the kinetics of iron oxide leaching by oxalic acid. *International Journal of Mineral Processing*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301751606000676>
- Marsden, J. O. (2009). Lessons Learned from the Copper Industry Applied to Gold Extraction. *World Gold 2009 Conference*. Johannesburg.
- Martínez-Luévanos, a., Rodríguez-Delgado, M. G., Uribe-Salas, a., Carrillo-Pedroza, F. R., & Osuna-Alarcón, J. G. (2011). Leaching kinetics of iron from low grade kaolin by oxalic acid solutions. *Applied Clay Science*, 51(4), 473–477. doi:10.1016/j.clay.2011.01.011
- Muñoz García, A. M., & Bustamante rua, M. O. (2010). Blanqueo de caolines de la union Antioquia usando metodos hidro-electrometalúrgicos.
- Nosrati, A., Skinner, W., Robinson, D. J., & Addai-Mensah, J. (2012, December). Microstructure analysis of Ni laterite agglomerates for enhanced heap leaching. *Powder Technology*. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.powtec.2012.08.016
- Ospina, A. (1994). Analisis bibliografico del blanqueo de caolin.
- Panias, D., Taxiarchou, M., Douni, I., Paspaliaris, I., & Kontopoulos, A. (1996). Iron oxides: Dissolution in oxalic acid.
- Veglio, T. L. (1993). Factorial experiments for the development of kaolin bleaching process.
- Zanbak, C., & Ores, M. (2012). Heap Leaching Technique in Mining. Turkey.

1. ANEXO A. Hoja de control

Muestra	Hora de la muestra	Fecha	Tiempo real (pila)	Volumen de ácido goteado calculo (lt)	ml/min	concentraci3n de la alicuota (ppm)	Fe Extraido (mg)	% de recuperaci3n	días	Blancura(%)	Kg ácido/ tonelada de mineral	litros /tonelada de mineral	Fe extraido (g)/tonelada	% de extracci3n de Fe/	GASTO EN ACIDO (PESOS)
P2-0	0	12-ago	0	0.00	2.48	0.00	0.00	0.00	0.0	42.0	0.00	0.00	0.00	0.00	\$0.00
P2-1	13:25	12-ago	1	0.01	2.48	573.40	5.73	0.08	0.0	42.5	0.04	3.01	1.72	0.09	\$95.41
P2-2	14:45	12-ago	263	0.65	2.48	226.50	147.43	2.03	0.2	43.1	2.65	196.42	44.34	2.30	\$6,231.36
P2-3	11:50	13-ago	338	0.84	2.48	175.90	147.01	2.03	0.2	43.6	3.41	252.43	44.21	2.30	\$8,008.37
P2-4	13:50	13-ago	458	1.14	2.48	166.60	188.62	2.60	0.3	44.1	4.62	342.05	56.73	2.95	\$10,851.58
P2-5	14:50	13-ago	518	1.29	2.48	176.50	226.06	3.12	0.4	44.6	5.22	386.86	67.99	3.53	\$12,273.18
P2-6	8:54	14-ago	668	1.66	2.48	157.90	260.67	3.60	0.5	45.2	6.73	498.89	78.40	4.07	\$15,827.19
P2-7	9:44	14-ago	772	1.92	2.48	154.90	295.50	4.08	0.5	45.7	7.78	576.56	88.87	4.62	\$18,291.30
P2-8	13:28	14-ago	883	2.19	2.48	144.90	316.07	4.36	0.6	46.2	8.90	659.46	95.06	4.94	\$20,921.27
P2-9	15:50	14-ago	1025	2.55	2.48	130.80	331.01	4.57	0.7	46.7	10.33	765.51	99.55	5.17	\$24,285.73
P2-10	9:43	15-ago	1103	2.74	2.48	133.50	363.59	5.02	0.8	47.3	11.12	823.76	109.35	5.68	\$26,133.82
P2-11	10:52	15-ago	1172	2.91	2.48	142.80	413.40	5.70	0.8	47.8	11.82	875.29	124.33	6.46	\$27,768.66
P2-12	13:00	15-ago	1300	3.23	2.48	151.80	487.60	6.73	0.9	48.3	13.11	970.89	146.65	7.62	\$30,801.42
P2-13	9:40	16-ago	2450	3.70	0.41	221.90	819.16	11.30	1.7	48.8	15.04	1114.03	246.36	12.80	\$35,342.65
P2-14	10:40	16-ago	2510	3.71	0.17	217.25	804.08	11.09	1.7	49.4	15.08	1117.02	241.83	12.56	\$35,437.43
P2-20	10:15	20-ago	8052	4.59	0.41	322.40	1475.59	20.36	5.6	52.5	18.63	1379.74	443.79	23.05	\$43,772.37
P2-21	12:00	20-ago	8157	4.63	0.41	319.97	1478.32	20.39	5.7	53.0	18.80	1392.81	444.61	23.10	\$44,187.00
P2-22	2:23	20-ago	8300	4.69	0.41	336.66	1575.49	21.74	5.8	53.6	19.04	1410.61	473.83	24.61	\$44,751.70
P2-23	4:00	20-ago	8397	4.73	0.41	329.35	1554.40	21.44	5.8	54.1	19.21	1422.69	467.49	24.29	\$45,134.74
P2-24	6:10	21-ago	9247	5.01	0.33	352.70	1763.90	24.33	6.4	54.6	20.35	1507.33	530.50	27.56	\$47,819.99
P2-25	8:22	21-ago	9379	5.06	0.33	372.15	1877.61	25.90	6.5	55.1	20.53	1520.47	564.70	29.33	\$48,236.99
P2-26	10:28	21-ago	9505	5.10	0.33	328.69	1671.58	23.06	6.6	55.7	20.70	1533.02	502.73	26.12	\$48,635.04
P2-27	12:37	21-ago	9634	5.14	0.33	334.19	1713.86	23.64	6.7	56.2	20.87	1545.87	515.45	26.78	\$49,042.57
P2-28	16:15	21-ago	9912	5.19	0.17	351.27	1817.78	25.08	6.9	56.7	21.06	1559.71	546.70	28.40	\$49,481.69
P2-29	9:00	22-ago	10917	5.35	0.17	347.13	1853.94	25.58	7.6	57.2	21.73	1609.74	557.58	28.96	\$51,069.14
P2-30	11:00	22-ago	11037	5.39	0.33	354.46	1907.23	26.31	7.7	57.8	21.89	1621.69	573.60	29.80	\$51,448.24
P2-37	15:00	25-ago	15597	6.59	0.17	401.88	2644.69	36.49	10.8	61.4	26.77	1982.91	795.40	41.32	\$62,907.95
P2-38	6:20	26-ago	16517	6.82	0.25	390.00	2655.29	36.63	11.5	61.9	27.70	2051.62	798.58	41.48	\$65,087.74
P2-39	10:40	26-ago	16777	6.93	0.41	400.00	2766.47	38.17	11.7	62.5	28.13	2083.99	832.02	43.22	\$66,114.45
P2-40	14:50	26-ago	17027	7.03	0.41	400.00	2807.78	38.74	11.8	63.0	28.55	2115.10	844.45	43.87	\$67,101.68
P2-41	8:15	27-ago	18072	7.47	0.41	342.97	2554.71	35.24	12.6	63.5	30.31	2245.18	768.33	39.91	\$71,228.28
P2-42	11:40	27-ago	18277	7.55	0.41	336.58	2535.50	34.98	12.7	64.0	30.65	2270.70	762.56	39.61	\$72,037.80
P2-43	14:00	27-ago	18417	7.61	0.41	346.97	2634.01	36.34	12.8	64.6	30.89	2288.12	792.18	41.15	\$72,590.65
P2-44	16:10	27-ago	18547	7.64	0.25	330.05	2515.91	34.71	12.9	65.1	31.02	2297.83	756.66	39.31	\$72,898.66
P2-45	6:17	28-ago	19394	7.92	0.33	329.07	2600.49	35.88	13.5	65.6	32.16	2382.17	782.10	40.63	\$75,574.44
P2-46	11:30	28-ago	19584	8.00	0.41	329.39	2628.87	36.27	13.6	66.2	32.48	2405.82	790.64	41.07	\$76,324.73
P2-47	16:30	28-ago	19884	8.10	0.33	328.95	2657.95	36.67	13.8	66.7	32.88	2435.70	799.38	41.53	\$77,272.46
P2-48	9:00	29-ago	20874	8.43	0.33	307.64	2585.96	35.68	14.5	67.2	34.21	2534.28	777.73	40.40	\$80,399.99
P2-49	12:45	29-ago	21099	8.50	0.33	323.84	2746.54	37.89	14.7	67.7	34.52	2556.68	826.03	42.91	\$81,110.79
P2-50	15:10	29-ago	21304	8.57	0.33	338.35	2892.80	39.91	14.8	68.3	34.79	2577.10	870.02	45.20	\$81,758.41
P2-51	14:00	30-ago	22674	9.02	0.33	327.57	2948.67	40.68	15.7	68.8	36.63	2713.52	886.82	46.07	\$86,086.41
P2-52	8:00	01-sep	25194	10.07	0.41	317.73	3190.49	44.02	17.5	69.3	40.87	3027.19	959.54	49.85	\$96,037.63
P2-54	10:45	01-sep	25359	10.12	0.41	317.19	3203.52	44.20	17.6	70.4	41.10	3044.74	963.46	50.05	\$96,594.43
P2-55	16:00	01-sep	25674	10.23	0.33	306.49	3127.08	43.14	17.8	70.9	41.53	3076.11	940.47	48.86	\$97,589.55
P2-56	8:00	02-sep	26634	10.63	0.41	319.53	3387.11	46.73	18.5	71.4	43.14	3195.60	1018.68	52.92	\$101,380.50
P2-57	11:12	02-sep	26826	10.70	0.41	317.37	3389.32	46.76	18.6	71.9	43.46	3219.50	1019.34	52.95	\$102,138.68
P2-58	16:40	02-sep	27154	10.84	0.41	314.72	3403.57	46.96	18.9	72.5	44.01	3260.33	1023.63	53.18	\$103,433.92
P2-59	8:45	03-sep	28119	11.24	0.41	317.73	3562.79	49.15	19.5	73.0	45.64	3380.44	1071.52	55.66	\$107,244.61
P2-60	15:30	03-sep	28524	11.41	0.41	310.02	3527.97	48.67	19.8	73.5	46.32	3430.86	1061.04	55.12	\$108,843.92
P2-61	9:00	04-sep	29574	11.67	0.25	304.5	3544.20	48.90	20.5	74.0	47.38	3509.27	1065.93	55.37	\$111,331.72
P2-84	14:00	18-sep	50034	19.19	0.50	238.89	4570.65	63.06	34.7	86.1	77.93	5772.49	1374.63	71.41	\$183,132.20
P2-85	9:00	19-sep	51174	19.67	0.41	221.81	4347.13	59.97	35.5	86.6	79.84	5914.39	1307.41	67.92	\$187,633.94
P2-86	6:50	22-sep	55364	21.40	0.41	225.23	4803.65	66.27	38.4	87.2	86.89	6435.93	1444.71	75.05	\$204,179.83
P2-87	8:05	23-sep	56879	22.03	0.41	211.3	4637.57	63.98	39.5	87.7	89.43	6624.50	1394.76	72.45	\$210,162.41
P2-88	9:00	24-sep	58374	22.52	0.33	213.6	4793.59	66.13	40.5	88.2	91.44	6773.37	1441.68	74.89	\$214,885.30
P2-89	16:00	24-sep	58794	22.73	0.50	205.62	4656.60	64.24	40.8	88.7	92.29	6836.11	1400.48	72.75	\$216,875.54
P2-90	8:15	25-sep	59769	23.13	0.41	207.74	4788.31	66.06	41.5	89.3	93.93	6957.47	1440.09	74.81	\$220,725.72
P2-91	9:30	26-sep	61284	23.76	0.41	204.04	4830.18	66.64	42.6	89.8	96.47	7146.05	1452.69	75.46	\$226,708.30
P2-92	9:30	29-sep	65604	24.83	0.25	186.36	4609.20	63.59	45.6	90.3	100.83	7468.68	1386.23	72.01	\$236,943.85
P2-93	16:20	29-sep	66074	25.03	0.41	200.36	4995.69	68.92	45.9	90.8	101.62	7527.18	1502.46	78.05	\$238,799.84
P2-94	8:40	30-sep	67054	25.43	0.41	182.32	4617.83	63.71	46.6	91.4	103.26	7649.16	1388.82	72.15	\$242,669.76

3. ANEXO B. Hoja de control P2

Muestra	hora muestra	fecha	tiempo real (pila)	Volumen de acido goteado calculo (lt)	ml/min	con. de la alicuota corregida (ppm)	Fe Extraido (mg)	% de recuperacion	días	acido oxalico (gramos)	Kg acido/ tonelada de mineral	litros /tonelada de mineral	Fe extraido (g/tonelada)	% de extraccion de Fe/ tonelada	GASTO EN ACIDO (PESOS)
P3-0	9:20	12-sep	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	\$0.00
P3-1	12:30	13-sep	1630	0.67	0.41	237.24	159.61	2.41	1.1	0.91	0.27	200.28	47.51	2.47	\$635.39
P3-2	11:10	14-sep	2990	1.23	0.41	253.12	312.37	4.72	2.1	1.67	0.50	367.39	92.99	4.83	\$1,165.54
P3-3	10:00	15-sep	4360	2.03	0.58	226.37	458.56	6.92	3.0	2.73	0.81	603.06	136.51	7.09	\$1,913.20
P3-4	12:00	15-sep	4480	2.10	0.58	223.29	467.80	7.06	3.1	2.83	0.84	623.70	139.27	7.23	\$1,978.69
P3-5	16:20	15-sep	4740	2.22	0.50	223.54	497.11	7.51	3.3	3.00	0.89	662.04	147.99	7.69	\$2,100.31
P3-6	6:15	16-sep	5575	2.64	0.50	226.29	596.81	9.01	3.9	3.56	1.06	785.15	177.67	9.23	\$2,490.90
P3-7	8:40	17-sep	7160	3.16	0.33	208.67	659.55	9.96	5.0	4.27	1.27	940.96	196.35	10.20	\$2,985.18
P3-8	15:30	17-sep	7570	3.36	0.50	212.66	715.35	10.80	5.3	4.54	1.35	1001.41	212.96	11.06	\$3,176.97
P3-9	8:35	18-sep	8595	3.87	0.50	195.01	754.97	11.40	6.0	5.23	1.56	1152.54	224.76	11.68	\$3,656.44
P3-10	14:00	18-sep	8920	4.01	0.41	196.36	786.54	11.88	6.2	5.41	1.61	1192.48	234.15	12.16	\$3,783.13
P3-11	9:00	19-sep	10060	4.85	0.74	189.82	921.11	13.91	7.0	6.55	1.95	1444.61	274.22	14.24	\$4,583.03
P3-12	6:40	22-sep	14240	5.89	0.25	140.55	827.51	12.50	9.9	7.95	2.37	1752.77	246.35	12.80	\$5,560.68
P3-13	12:25	22-sep	14585	6.03	0.41	144.41	870.80	13.15	10.1	8.14	2.42	1795.17	259.24	13.47	\$5,695.16
P3-15	9:00	24-sep	17270	7.36	0.50	129.5	953.11	14.39	12.0	9.94	2.96	2191.06	283.74	14.74	\$6,951.14
P3-16	16:00	24-sep	17690	7.53	0.41	126.07	949.72	14.34	12.3	10.17	3.03	2242.67	282.73	14.69	\$7,114.86
P3-17	8:15	25-sep	18665	7.94	0.41	149.34	1185.11	17.90	13.0	10.71	3.19	2362.47	352.81	18.33	\$7,494.93
P3-18	9:30	26-sep	20180	8.44	0.33	144.49	1218.91	18.41	14.0	11.39	3.39	2511.39	362.87	18.85	\$7,967.38
P3-19	9:36	29-sep	24506	10.58	0.50	124.84	1320.62	19.94	17.0	14.28	4.25	3149.24	393.15	20.42	\$9,990.97
P3-20	16:20	29-sep	24910	10.71	0.33	137.56	1473.53	22.25	17.3	14.46	4.31	3188.96	438.67	22.79	\$10,116.96
P3-21	8:20	30-sep	25870	11.19	0.50	124.58	1393.72	21.05	18.0	15.10	4.50	3330.50	414.91	21.55	\$10,566.03
P3-22	15:55	30-sep	26325	11.60	0.91	127.68	1481.16	22.37	18.3	15.66	4.66	3453.50	440.94	22.91	\$10,956.23
P3-23	8:40	01-oct	27330	12.02	0.41	123.58	1484.85	22.42	19.0	16.22	4.83	3576.99	442.04	22.96	\$11,347.99
P3-24	17:00	01-oct	27830	12.39	0.74	121.65	1506.85	22.76	19.3	16.72	4.98	3687.57	448.59	23.30	\$11,698.82
P3-25	9:20	02-oct	28810	12.95	0.58	116.03	1502.94	22.70	20.0	17.49	5.21	3856.15	447.43	23.24	\$12,233.64
P3-26	14:15	03-oct	29115	13.13	0.58	116.03	1523.39	23.01	20.2	17.72	5.28	3908.62	453.52	23.56	\$12,400.09
P3-27	11:45	04-oct	30405	14.30	0.91	106.32	1520.45	22.96	21.1	19.31	5.75	4257.33	452.64	23.51	\$13,506.38
P3-28	7:35	06-oct	33045	16.26	0.74	104.48	1699.05	25.66	22.9	21.95	6.54	4841.22	505.81	26.28	\$15,358.77
P3-29	8:20	07-oct	34530	17.12	0.58	93.88	1607.23	24.27	24.0	23.11	6.88	5096.67	478.48	24.86	\$16,169.19
P3-30	15:00	07-oct	34930	17.42	0.74	94.75	1650.28	24.92	24.3	23.51	7.00	5185.14	491.29	25.52	\$16,449.86
P3-31	10:15	08-oct	36085	19.32	1.65	86.81	1677.52	25.33	25.1	26.09	7.77	5752.81	499.40	25.94	\$18,250.79
P3-32	15:20	08-oct	36390	19.73	1.32	87.1	1718.21	25.95	25.3	26.63	7.93	5872.73	511.52	26.57	\$18,631.25
P3-33	10:06	09-oct	37516	21.59	1.65	76.66	1654.77	24.99	26.1	29.14	8.68	6426.15	492.63	25.59	\$20,386.96
P3-34	8:40	10-oct	38870	23.49	1.40	61.58	1446.26	21.84	27.0	31.71	9.44	6991.81	430.56	22.37	\$22,181.50
P3-35	11:50	12-oct	41940	26.27	0.91	58.88	1546.99	23.36	29.1	35.47	10.56	7821.69	460.54	23.92	\$24,814.30
P3-36	8:15	14-oct	44605	28.47	0.83	53.08	1511.37	22.82	31.0	38.44	11.44	8476.60	449.94	23.37	\$26,892.00
P3-37	15:00	14-oct	45010	28.94	1.16	59.18	1712.76	25.86	31.3	39.07	11.63	8615.93	509.89	26.49	\$27,334.05
P3-38	12:50	15-oct	46320	30.24	0.99	53.88	1629.28	24.60	32.2	40.82	12.15	9002.24	485.04	25.20	\$28,559.62
P3-39	8:21	16 oct	47491	31.79	1.32	47.88	1521.90	22.98	33.0	42.91	12.77	9462.67	453.07	23.54	\$30,020.32
P3-40	14:30	16-oct	47860	32.30	1.40	49.88	1611.30	24.33	33.2	43.61	12.98	9616.83	479.69	24.92	\$30,509.38
P3-41	8:30	17-oct	48940	34.09	1.65	45.88	1563.89	23.62	34.0	46.02	13.70	10147.63	465.57	24.19	\$32,193.37
P3-42	9:50	20-oct	53340	42.08	1.82	38.55	1622.07	24.50	37.0	56.80	16.91	12526.44	482.89	25.09	\$39,740.14
P3-43	8:05	21-oct	54675	43.84	1.32	37.1	1626.48	24.56	38.0	59.18	17.62	13051.35	484.21	25.15	\$41,405.42
P3-44	9:00	22-oct	56160	45.07	0.83	38.28	1725.13	26.05	39.0	60.84	18.11	13416.29	513.58	26.68	\$42,563.16
P3-45	15:00	22-oct	56520	45.36	0.83	37.57	1704.30	25.74	39.3	61.24	18.23	13504.75	507.37	26.36	\$42,843.83
P3-46	8:30	23-oct	57570	48.48	2.97	33.87	1642.14	24.80	40.0	65.45	19.49	14433.67	488.87	25.40	\$45,790.81
P3-47	8:00	24-oct	59040	49.94	0.99	32.88	1642.02	24.80	41.0	67.42	20.07	14867.16	488.83	25.39	\$47,166.07
P3-48	15:55	24-oct	59515	50.23	0.62	32.68	1641.64	24.79	41.3	67.82	20.19	14954.71	488.72	25.39	\$47,443.81
P3-49	17:20	25-oct	61040	51.24	0.66	28.88	1479.84	22.35	42.4	69.18	20.59	15254.52	440.55	22.89	\$48,394.96
P3-50	10:00	27-oct	63480	52.65	0.58	30.98	1631.12	24.63	44.1	71.08	21.16	15674.25	485.59	25.23	\$49,726.56
P3-51	15:00	27-oct	63780	53.15	1.65	28.68	1524.23	23.02	44.3	71.75	21.36	15821.70	453.77	23.57	\$50,194.33
P3-52	8:00	28-oct	64800	54.86	1.68	28.38	1557.03	23.51	45.0	74.07	22.05	16333.04	463.53	24.08	\$51,816.57
P3-53	14:54	28-oct	65214	55.68	1.98	29.57	1646.79	24.87	45.3	75.17	22.38	16577.21	490.25	25.47	\$52,591.21
P3-54	7:25	29-oct	66205	58.55	2.89	28.37	1661.00	25.08	46.0	79.04	23.53	17429.58	494.48	25.69	\$55,295.34
P3-55	15:00	29-oct	66660	59.67	2.48	27.92	1665.99	25.16	46.3	80.56	23.98	17765.02	495.97	25.76	\$56,359.53
P3-56	6:55	30-oct	67615	62.28	2.72	26.92	1676.36	25.32	47.0	84.07	25.03	18539.49	499.06	25.92	\$58,816.52
P3-57	13:40	30 oct	68020	62.21	2.21	27.68	1743.11	26.23	47.2	85.24	25.40	18818.30	518.03	26.06	\$59,790.61

Blanqueo de caolín por medio de lixiviación en pilas con ácido oxálico.

5. ANEXO C. Hoja de control P3

Muestra	hora muestra	fecha	tiempo real (pila)	Volumen de ácido goteado	ml/min	con. de la alcuota corregida (ppm)	Fe Extraído (mg)	% de recuperación	días	ácido oxálico (gramos)	Kg ácido/tonelada de mineral	litros /tonelada de mineral	Fe extraído (g)/tonelada	% de extracción de Fe/	GASTO EN ACIDO (PESOS)
P4-0	14:15	03-oct	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	\$0.00
P4-1	7:30	06-oct	3915	2.65	0.68	682.28	1807.73	23.03	2.7	226.53	69.38	811.42	553.62	28.76	\$163,035.35
P4-2	8:20	07-oct	5405	3.88	0.83	599.84	2328.58	29.66	3.8	331.91	101.65	1188.87	713.14	37.05	\$238,873.28
P4-3	15:00	07-oct	5805	4.48	1.50	509.14	2282.77	29.08	4.0	383.34	117.40	1373.10	699.11	36.32	\$275,889.96
P4-4	10:15	08-oct	6960	7.09	2.26	359.84	2550.96	32.49	4.8	606.12	185.62	2171.05	781.24	40.58	\$436,218.47
P4-5	15:20	08-oct	7265	7.50	1.35	329.02	2468.31	31.44	5.0	641.41	196.43	2297.48	755.93	39.27	\$461,621.17
P4-6	10:05	09-oct	8270	9.39	1.88	277.11	2602.43	33.15	5.7	802.95	245.90	2876.08	797.00	41.40	\$577,876.68
P4-7	8:40	10-oct	9625	11.84	1.80	221.37	2620.31	33.38	6.7	1012.03	309.94	3624.98	802.48	41.69	\$728,349.50
P4-8	11:50	12-oct	12695	16.22	1.43	202.24	3280.95	41.79	8.8	1387.04	424.79	4968.26	1004.80	52.20	\$998,247.38
P4-9	8:05	14-oct	15350	22.21	2.26	150.94	3352.78	42.71	10.7	1899.13	581.61	6802.51	1026.80	53.34	\$1,366,794.73
P4-10	15:00	14-oct	15765	22.99	1.88	138.14	3176.24	40.46	10.9	1965.83	602.04	7041.44	972.73	50.53	\$1,414,800.74
P4-11	12:50	15-oct	17075	25.45	1.88	137.24	3493.53	44.50	11.9	2176.39	666.53	7795.63	1069.91	55.58	\$1,566,337.78
P4-12	8:17	16-oct	18242	27.39	1.65	136.34	3733.85	47.56	12.7	2341.46	717.08	8386.88	1143.50	59.40	\$1,685,133.57
P4-13	14:30	16-oct	18615	27.95	1.50	130.74	3653.83	46.54	12.9	2389.42	731.77	8558.67	1119.00	58.13	\$1,719,651.63
P4-14	8:30	17-oct	19695	30.79	2.63	118.64	3652.91	46.53	13.7	2632.44	806.19	9429.17	1118.72	58.12	\$1,894,555.45
P4-15	9:50	20-oct	24095	41.38	2.41	88.94	3680.19	46.88	16.7	3537.68	1083.43	12671.64	1127.07	58.55	\$2,546,049.06
P4-16	8:05	21-oct	25430	43.38	1.50	86.29	3743.80	47.69	17.7	3709.34	1136.00	13286.51	1146.55	59.56	\$2,669,592.24
P4-17	9:00	22-oct	26925	47.43	2.71	80.94	3839.27	48.90	18.7	4055.36	1241.97	14525.93	1175.79	61.08	\$2,918,621.97
P4-18	15:00	22-oct	27285	48.16	2.03	82.94	3994.76	50.88	18.9	4117.85	1261.11	14749.77	1223.41	63.55	\$2,963,597.24
P4-19	8:30	23-oct	28335	50.14	1.88	80.67	4044.67	51.52	19.7	4286.62	1312.79	15354.28	1238.69	64.35	\$3,085,058.23
P4-20	8:00	24-oct	29745	51.94	1.28	78.59	4082.05	52.00	20.7	4440.73	1359.99	15906.28	1250.14	64.94	\$3,195,969.46
P4-21	15:50	24-oct	30215	53.78	3.91	87.01	4679.29	59.60	21.0	4597.86	1408.11	16469.11	1433.05	74.44	\$3,309,055.43
P4-22	17:20	25-oct	31745	58.26	2.93	77.46	4513.30	57.49	22.0	4981.49	1525.60	17843.24	1382.21	71.80	\$3,585,153.61
P4-23	10:00	27-oct	34185	64.32	2.48	78.30	5036.36	64.15	23.7	5499.17	1684.14	19697.53	1542.40	80.12	\$3,957,726.52
P4-24	15:00	27-oct	34485	64.93	2.03	77.0642	5003.54	63.73	23.9	5551.25	1700.09	19884.07	1532.35	79.60	\$3,995,205.91
P4-25	8:00	28-oct	35505	66.77	1.80	76.84	5130.71	65.35	24.7	5708.64	1748.29	20447.81	1571.30	81.63	\$4,108,476.96
P4-26	14:50	28-oct	35915	67.29	1.28	77.00762714	5181.98	66.01	24.9	5753.45	1762.01	20608.33	1587.00	82.44	\$4,140,727.74
P4-27	7:25	29-oct	36910	68.94	1.65	72.88737498	5024.70	64.00	25.6	5894.19	1805.11	21112.43	1538.83	79.94	\$4,242,014.64
P4-28	15:00	29-oct	37365	69.55	1.35	73.61668921	5120.31	65.22	25.9	5946.84	1821.24	21301.04	1568.11	81.46	\$4,279,910.47
P4-29	6:55	30-oct	38320	71.06	1.58	72.92189991	5181.96	66.01	26.6	6075.78	1860.73	21762.88	1586.99	82.44	\$4,372,706.66
P4-30	1:40	30-oct	38725	71.70	1.58	70.81341963	5077.41	64.67	26.9	6130.46	1877.47	21958.74	1554.97	80.78	\$4,412,060.02
P4-31	9:00	31-oct	39885	74.06	2.03	70.8442	5246.47	66.83	27.7	6331.82	1939.14	22680.01	1606.75	83.47	\$4,556,980.34
P4-32	7:45	04-oct	45570	86.88	2.26	66.18813076	5750.49	73.25	31.6	7428.33	2274.95	26607.59	1761.11	91.49	\$5,346,129.73
P4-33	14:45	05-oct	47430	91.08	2.26	64.53722426	5877.86	74.87	32.9	7787.08	2384.82	27892.60	1800.11	93.51	\$5,604,321.09
P4-34	15:45	06-oct	48930	93.11	1.35	64.22995641	5980.28	76.17	34.0	7960.67	2437.98	28514.38	1831.48	95.14	\$5,729,252.40
P4-35	14:40	07-oct	50365	95.37	1.58	62.61760727	5972.05	76.07	35.0	8154.42	2497.31	29208.36	1828.96	95.01	\$5,868,689.61
P4-36	10:23	10-oct	51548	97.06	1.43	61.33877569	5953.75	75.84	35.8	8298.93	2541.57	29725.98	1823.36	94.72	\$5,972,692.61
P4-37	8:15	11-oct	52860	101.11	3.08	58.48646055	5913.47	75.32	36.7	8644.77	2647.49	30964.75	1811.02	94.08	\$6,221,592.78
P4-38	16:40	11-oct	53325	102.75	3.53	57.43362373	5901.41	75.17	37.0	8785.28	2690.52	31468.05	1807.32	93.89	\$6,322,717.73
P4-39	7:09	12-oct	54194	105.76	3.46	55.40885399	5859.91	74.64	37.6	9042.28	2769.23	32388.61	1794.62	93.23	\$6,507,680.84
P4-40	8:10	12-oct	54255	105.97	3.46	56.06427409	5941.06	75.67	37.7	9060.32	2774.75	32453.23	1819.47	94.52	\$6,520,664.44
P4-41	8:30	13-oct	55715	108.82	1.96	55.74462789	6066.30	77.27	38.7	9304.37	2849.49	33327.40	1857.82	96.51	\$6,696,308.60
P4-42	14:30	13-oct	56075	109.58	2.11	59.09716953	6475.93	82.49	38.9	9369.18	2869.34	33559.54	1983.27	103.03	\$6,742,949.62
P4-43	7:55	14-oct	57120	111.31	1.65	58.84895928	6550.47	83.44	39.7	9516.99	2914.61	34088.97	2006.10	104.21	\$6,849,326.31
P4-44	8:20	14-oct	57205	111.43	1.43	56.91968409	6342.63	80.79	39.7	9527.37	2917.79	34126.16	1942.45	100.91	\$6,856,799.05
P4-45	12:30	15-oct	58895	113.97	1.50	59.5286023	6784.65	86.42	40.9	9744.68	2984.34	34904.54	2077.82	107.94	\$7,013,194.54
P4-46	8:40	18-oct	62985	122.06	1.98	56.42508328	6887.33	87.73	43.7	10436.25	3196.13	37381.69	2109.27	109.57	\$7,510,916.22
P4-47	14:30	18-oct	63335	122.72	1.88	56.94084765	6987.75	89.01	44.0	10492.51	3213.36	37583.19	2140.02	111.17	\$7,551,403.22
P4-48	7:45	19-oct	64370	124.43	1.65	56.15576515	6987.55	89.00	44.7	10638.90	3258.20	38107.56	2139.96	111.17	\$7,656,761.95
P4-49	9:00	20-oct	65885	127.05	1.73	54.59204763	6936.02	88.35	45.8	10862.93	3326.81	38910.00	2124.18	110.35	\$7,871,992.74
P4-50	12:00	21-oct	67505	129.73	1.65	54.96114871	7130.21	90.82	46.9	11092.07	3396.98	39730.76	2183.65	113.44	\$7,982,902.06

