

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL**

**Trabajo de fin de Carrera Titulado:**

**Tratamiento fisicoquímico del lixiviado del relleno sanitario Romerillos de la ciudad de Machachi, mediante procesos de Óxido Reducción con peróxido de calcio.**

**Realizado por:**

**ALEJANDRO LEONCIO CÓRDOVA JÁCOME**

**Director del proyecto:**

**Ing. Emma Ivonne Carrillo. Msc.**

**Como requisitos para la obtención del título de:**

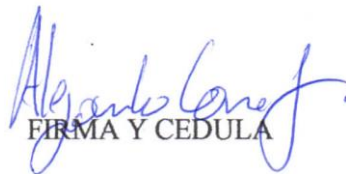
**INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL**

**Quito, 26 de julio de 2018**

## **DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, ALEJANDRO LEONCIO CÓRDOVA JÁCOME, con cédula de identidad #0802835322, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

  
FIRMA Y CEDULA

0802835322

## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**Tratamiento fisicoquímico del lixiviado del relleno sanitario Romerillos de la ciudad de Machachi, mediante procesos de Óxido Reducción con peróxido de calcio.**

Realizado por:

**ALEJANDRO LEONCIO CÓRDOVA JÁCOME**

Como Requisito para la Obtención del Título de:

**INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL**

Ha sido dirigido por el profesor

**EMMA IVONNE CARRILLO PAREDES**

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



1707281745

FIRMA Y CEDULA

**PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO**

**WALBERTO EFRAÍN GALLEGOS ERAS**

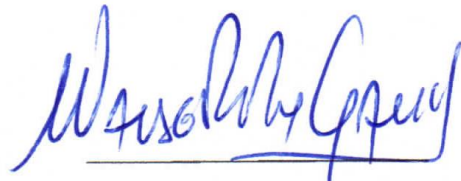
Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante

El tribunal examinador



Katty Verónica Coral Carrillo



Walberto Efraín Gallegos Eras

Quito, 26 de julio de 2017

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por ellos soy la persona que soy.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia, por su apoyo incondicional y consejos brindados, durante toda mi preparación profesional, por ser el soporte en todos los momentos

A mi Tutora Ivonne, por impartir sus conocimientos durante la realización de mi trabajo de titulación y brindarme su tiempo para supervisar mi avance.

A Katty, por abrirme las puertas a tan bonita y prestigiosa facultad, brindando su tiempo y facilidades para mi desarrollo personal y profesional.

A todas las demás personas que creyeron en mi potencial y me ayudaron a superarme y cumplir mis metas.

## **RESUMEN**

El lixiviado es el resultado de la percolación de líquidos a través de una mezcla de desperdicios sólidos. Este líquido es altamente contaminante porque dentro de su composición posee concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente trabajo desarrolló un método de tratamiento para disminuir la carga contaminante de los lixiviados del relleno sanitario “Los Romerillos”, ubicado en la ciudad de Machachi, provincia de Pichincha, mediante un proceso de oxidación, utilizando peróxido de calcio como proveedor de oxígeno.

La investigación a nivel de laboratorio inició con la formulación del peróxido de calcio, para ésto, se realizaron diez pruebas de mezcla de reacción entre el peróxido de hidrógeno al 50% p/p y el carbonato de calcio grado técnico, la optimización de este proceso de reacción, se basa en la evaluación de indicadores fisicoquímicos mediante los cuales se obtiene la muestra adecuada que reflejó 75g H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 40g de Ca(OH)<sub>2</sub> siendo esta mezcla la utilizada en el siguiente proceso con el lixiviado.

Como segundo proceso de laboratorio se procedió a tratar los lixiviados con el peróxido de calcio obtenido, analizando los parámetros fisicoquímicos antes y después de ser sometidos a oxidación.

Los resultados que se obtuvieron demuestran que el proceso de oxidación de los lixiviados con peróxido de calcio, como tratamiento primario es el adecuado, pero no absoluto.

Esta metodología abre la opción de un tratamiento aplicable para la oxidación no solo de los lixiviados, sino también para el tratamiento de cualquier tipo de afluente que tenga altos valores de DBO, es decir, alta cantidad de materia orgánica.

***Palabras claves:*** *Parámetros Fisicoquímicos / Oxidación / Peróxido De Calcio / Lixiviado/ Análisis / Reducción/*

## **ABSTRACT**

Leaching is the result of the percolation of liquids through a mixture of solid waste. This liquid is highly polluting because within its composition it has high concentrations of organic and inorganic pollutants. The present work developed a method of treatment to reduce the pollutant load of the leachates of the landfill "Los Romerillos", located in the city of Machachi, province of Pichincha, through an oxidation process, using peroxide of Calcium as a supplier of oxygen.

Laboratory-level research began with the formulation of calcium peroxide, for this, ten tests were performed mixing reaction between hydrogen peroxide at 50% and calcium carbonate technical grade, the optimization of this reaction process, Based on the evaluation of physicochemical indicators through which the ideal sample was obtained that reflected 75g  $H_2O_2$  y 40g de  $Ca(OH)_2$  being this mixture used in the next process with leaching.

As a second laboratory process we proceeded to treat the leachates with the calcium peroxide obtained, analyzing the physicochemical parameters before and after being subjected to oxidation.

The results obtained show that the oxidation process of the leaches with calcium peroxide, as primary treatment is effective, but not absolute.

This methodology opens the option of a treatment applicable for the oxidation not only of the leachates, but also for the treatment of any type of tributary that has high values of BOD, high quantity of organic matter.

**Keywords:** *physicochemical / parameters / oxidation / calcium peroxide / leaching / analysis / reduction /*



## **INTRODUCCIÓN**

En nuestro país, los residuos de todo tipo contenidos en los rellenos sanitarios que tienen vertederos, presentan en general elevado porcentaje de materia orgánica y bajo porcentaje de material combustible. Debido al alto contenido de este tipo de materia putrescible de tipo orgánica, en el proceso de fermentación se producen gases con olores nocivos, ocasionan una peligrosa contaminación al entorno de los ecosistema aledaños.(Piñeiro 1994)

Los lixiviados que se originan por el lavado de los diferentes tipos de residuos, contienen una gran cantidad de sustancias de tipo inorgánicas y orgánicas, lo que conlleva a que exista un contenido elevado de sólidos en suspensión y sólidos mezclados en solución y abre la posibilidad, de que en su forma original, puedan haber tenido un cambio físico o una reacción química.(Torres-Lozada et al. 2014)

Los lixiviados varían ampliamente en su composición química, según la localidad de donde provienen los desechos urbanos. Ello se debe a la cantidad de residuos, a las condiciones del sustrato y a las condiciones ambientales en las que se encuentra ubicado el relleno sanitario. Dentro del mismo relleno sanitario, la calidad del lixiviado varía gradualmente a causa de que algunos de sus sólidos se descomponen rápidamente mientras que otros lo hacen lentamente.(Piñeiro 1994)

Según Piñeiro (1994), los vertederos localizados cerca de los cursos de agua tienen una mayor probabilidad de librar sus contaminantes químicos en ellos y esto puede influenciar en la vida acuática constituyendo así un riesgo potencial a un plazo más largo.

### ***Tratamientos Bioquímico***

En todos los rellenos sanitarios con fondo compacto se producen lixiviados, los cuales antes de regresar al ciclo natural del agua, deben ser tratados mediante algún procedimiento.

Al hablar de tratamientos bioquímicos, los procesos más utilizados y a la vez más eficientes son los estanques con aireación artificial y los procesos con lodos activados, el primero es de un mantenimiento sencillo pero son sistemas de gran capacidad mientras que el segundo solo necesita la tercera parte de la capacidad del primero. (Knoch and Stegmann 1993)

### ***Tratamiento Fisicoquímico.***

Para aplicar el tratamiento de lixiviados los procesos más adecuados son la oxidación, la absorción, la floculación y la precipitación. (Knoch and Stegmann 1993).

El presente estudio, analiza un método fisicoquímico de oxidación por medio de peróxido de calcio como proveedor de oxígeno, para producir la oxidación del lixiviado mediante una reacción de óxido reducción.

### ***Peróxidos***

Son compuestos formados por la unión de un metal con el ion peróxido  $O_2^{-2}$ . Se formulan nombrando como los óxidos básicos sustituyendo el ion  $O^{-2}$  de los óxidos metálicos por el ion  $O_2^{-2}$  y la palabra oxido por peróxido. El subíndice 2 del ion peróxido no puede simplificarse, solamente se conocen peróxido de los metales de los grupos 1, 2, 11 y 12 del sistema periódico. (García Pérez 1996)

### ***Métodos de oxidación***

La oxidación química es el método más utilizado en procesos de remediación, como un método alternativo a las técnicas tradicionales. (Northup and Cassidy 2008). En estos casos cada vez, en forma más creciente, se está recurriendo en los países en vías de desarrollo, al uso de las llamadas tecnologías de procesos de oxidación avanzada (AOX), muy poco

aplicados y peor aún, menos difundidos en los países de economías emergentes como los de América del Sur.(Chasquibol-Silva and C. 2012)

Los procesos involucrados poseen una mayor factibilidad termodinámica y una velocidad de oxidación muy incrementada por la participación de radicales principalmente el radical hidrilo,  $(OH)^{\cdot}$ , esta especie posee propiedades adecuadas para atacar virtualmente a todos los compuestos orgánicos y reaccionar de  $10^6$  a  $10^{12}$  veces más rápido que oxidantes alternativos como el  $O_3$ .(Chasquibol-Silva and C. 2012)

### ***Peróxido de Calcio***

El peróxido de calcio tiene como principal uso el pretratamiento o en el acondicionamiento en remediación del agua (descontaminación) por la liberación de oxígeno útil para los procesos oxidativos. Cuando se usa en la remediación, el peróxido de calcio se descompone, estimulando la degradación microbiana aerobia en agua y suelos contaminados. Bajas dosis de peróxido de calcio se usan en pastas de dientes como blanqueador, los consumidores estarían expuestos solo a cantidades muy pequeñas de peróxido de calcio en aplicaciones de productos de consumo tales como pastas dentales.

El peróxido de calcio es un producto químico sólido utilizado como fuente de oxígeno al igual que el peróxido de hidrógeno. Cuando colocado en agua, el peróxido de calcio comienza a descomponerse y liberar oxígeno. Cuando se utiliza disuelto en ácidos, el peróxido de calcio forma peróxido de hidrógeno, es amarillo pálido, oxidante sólido granular o en polvo.

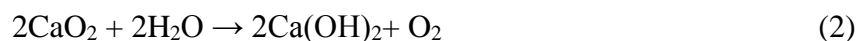
El peróxido de calcio no es persistente en el ambiente y se descompone lentamente para formar hidróxido de calcio y oxígeno.(Solvay Chemicals 2013)

### ***Fabricación de producto.***

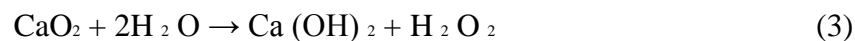
Según (Solvay Chemicals 2013) el peróxido de calcio se produce mediante la adición de peróxido de hidrógeno a la cal apagada (hidróxido de calcio), luego se deja secar para formar un polvo.



Dependiendo del entorno, la descomposición procede según las reacciones:



o



### ***Descripción del producto.***

El peróxido de calcio ( $\text{CaO}_2$ ) se fabrica y se vende como un polvo o gránulos inodoros de color amarillo pálido.

Las propiedades físicas típicas se proporcionan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Propiedades físicas típicas para el peróxido de calcio.

<b>Temperatura de descomposición</b>	> 275°C
<b>Densidad aparente</b>	450-550 kg/m <sup>3</sup>
<b>Punto de inflamabilidad</b>	No es inflamable
<b>Solubilidad en agua</b>	1.65g/L a 20°C
<b>pH</b>	11.7

**Fuente:** (Solvay Chemicals 2013)

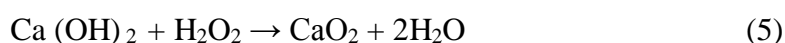
### ***Oxidación con Peróxido de Calcio***

En el presente trabajo se realiza una investigación de los valores óptimos para los diferentes parámetros que afectan el proceso de oxidación, pH, temperatura, naturaleza de la concentración del contaminante, que puedan mejorar la reacción.(Jorge Enrique Forero, Olga Patricia Ortiz 2005)

Según esta investigación, el peróxido de calcio es una opción adecuada para la biodegradabilidad de contaminantes en el suelo y en el agua contaminada, a velocidad lenta.(Khodaveisi et al. 2011)

La oxidación química in situ (ISCO) está basada en la entrega de oxidantes químicos a los medios contaminados con el fin de destruir los contaminantes convirtiéndolos en compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, inocuos comúnmente encontrados en la naturaleza. Se ha demostrado que la oxidación química puede ser eficaz en la destrucción de la fase no disuelta de líquidos en fase acuosa, que son difíciles de remediar a través de otras técnicas. Por lo tanto, si se administra correctamente, el peróxido de calcio tiene el potencial de ser rápido, efectivo y relativamente fácil en la tecnología de remediación, a más de su bajo costo.(Khodaveisi et al. 2011)

Estudios recientes sugieren que el peróxido de calcio es una fuente más efectiva de  $H_2O_2$  para la remediación, aunque existen otros compuestos que pueden liberar (Ej.,  $Na_2CO_3$ ,  $MgO_2$ ), se eligió el peróxido de calcio para este estudio porque es relativamente barato y tiene una larga historia de aplicación a la remediación, principalmente como una fuente de oxígeno compuesto. El  $CaO_2$  se disuelve para formar  $H_2O_2$  y  $Ca(OH)_2$  a través de la reacción (5)



Liberando un máximo de 0.47 g H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> /gCaO<sub>2</sub> y desprende calor ( $\Delta G^\circ = -20.7$  kJ/mol) la ventaja es que el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a lo que se libera es auto-regulado por el gado de CaO<sub>2</sub> en disolución, lo que reduce desproporcionadamente de modo que no todo el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> está disponible en una sola vez como con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> líquido. El polvo de CaO<sub>2</sub> de grado técnico (50% CaO<sub>2</sub> /50% Ca(OH)<sub>2</sub>) p/p es la forma menos costosa de obtenerlo, este se inyecta como una mezcla en agua. La evaluación de la utilidad del CaO<sub>2</sub> en la química es difícil porque la literatura carece de estudios controlados sobre la tasa de disolución de CaO<sub>2</sub> en agua y su rendimiento en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. (Northup and Cassidy 2008)

En este contexto, el objetivo del trabajo es obtener a escala del laboratorio el peróxido de calcio e identificar su eficiencia en el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario del Cantón Mejía, con el fin de oxidar la materia orgánica para que los parámetros que se encuentran comprometidos, cumplan la normativa legal ambiental y posteriormente ser descargados a un cuerpo hídrico y evitar la acumulación del lixivido en las piscinas del relleno o su recirculación dentro de ellas, representando una fuente adicional de contaminación. Dentro de los pasos para cumplir el objetivo, el primero consiste en la determinación de la dosis optima de aplicación del peróxido de calcio, mediante ensayos de mezclado a diferentes concentraciones tanto del peróxido de hidrogeno como el hidróxido de calcio, según los resultados obtenidos se aplica al lixiviado, experimentando con varias dosis de los compuestos preparados, hasta determinar la que mejor resulta para evaluar la eficiencia de cada compuesto, con parámetros de pH, DQO y turbidez. Y así obtener diferencias significativas entre cada uno de los mejores compuestos de CaO<sub>2</sub>, cuyos resultados sirvieron para elaborar una propuesta alternativa, económica y fácil para el tratamiento de esta problemática en la gestión de los lixiviados en los rellenos sanitarios que existen en el país.

La hipótesis establece que al utilizar un compuesto tipo peróxido, éste ayuda a disminuir la capacidad contaminante de los lixiviados, hasta los valores máximos permisibles para que pueda ser eliminado en cuerpos de agua, al cumplir la legislación ecuatoriana y así brindar una opción al tratamiento.

---

*Esta investigación, demuestra que el  $\text{CaO}_2$  puede promover la oxidación de contaminantes, por el alto rendimiento de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , en la liberación paulatina de  $\text{O}_2$ .*

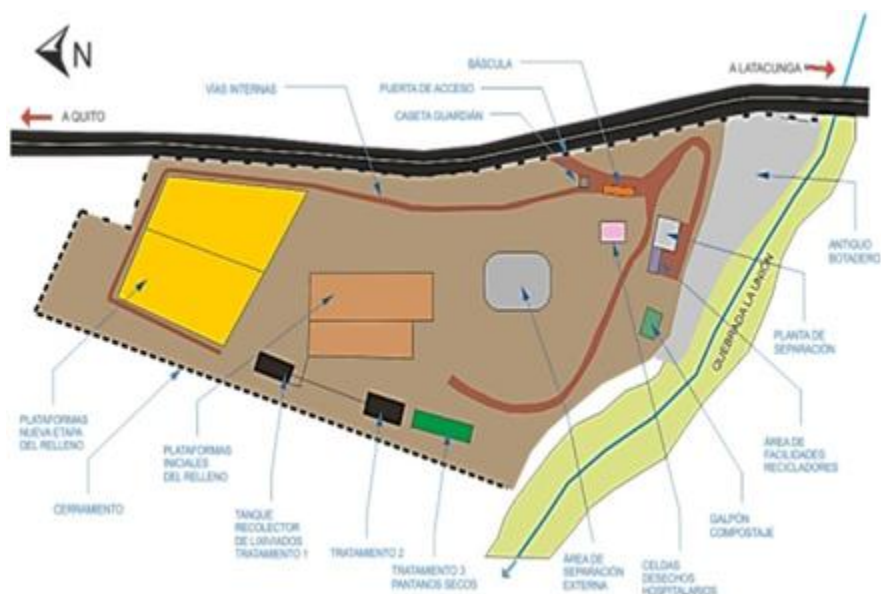
---

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Área De Estudio.*

Las muestras de lixiviado se tomaron del relleno sanitario “Los Romerillos” ubicado en el Cantón Mejía, en el límite entre la provincia de Pichincha y Cotopaxi (Figura 1).

**Figura 1.** Relleno sanitario Romerillos, cantón Mejía



**Fuente:** (GAD. Municipal del canton Mejia 2016)

### *Recolección de la muestra.*

Se colectaron muestras de lixiviado en las que se determinó *in situ* los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto (APHA 2012) la norma utilizando un multiparámetro HACH Modelo HQ40d. En los laboratorios de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la UISEK, se realizaron los ensayos fisicoquímicos de la muestra de lixiviado.



### ***Caracterización del lixiviado***

Los parámetros fisicoquímicos para caracterizar al lixiviado se determinarán de acuerdo a lo establecido en el acuerdo ministerial 097-A, que reforma al libro 6, Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA). Cada ensayo será llevado a cabo por triplicado, siguiendo los procedimientos del Standard Methods (2013), Manual de Procedimientos HACH, y otros protocolos estandarizados.

### ***Formulación óptima del Peróxido de Calcio.***

Se aplicó la metodología experimental para la obtención del peróxido de calcio para lo cual se prepararon 20 diferentes muestras de peróxido de hidrogeno al 50% v/v constante, variando el peso del hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , para luego reaccionarlos de manera controlada, obteniendo un producto dejándolo secar al ambiente. Ver Anexo (Figura 2).

Una vez secas las muestras se encuentran secas, se las mezcló con el lixiviado para realizar la oxidación, para eso se dejó las muestras de mezcla de lixiviado con peróxido de calcio, por cinco días obteniendo resultados visibles en el cambio de color de las muestras. Ver Anexo (Figura 3)

### ***Oxidación Avanzada***

Se aplicó el tratamiento por reacción de oxidación propuesta como tratamiento principal al lixiviado. Los reactivos utilizados son, peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 50% y el hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ . La dosificación de los reactivos se calculó según la relación estequiometría en función de la relación establecida en bibliografía en la que se especifica que 0,47 g  $\text{H}_2\text{O}_2$  se utilizan por gramo de  $\text{CaO}_2$ . (Northup and Cassidy 2008)

Con los resultados obtenidos en esta investigación, se estableció una propuesta de tratamiento al lixiviado que permita cumplir con la norma ambiental de calidad de agua de acuerdo al uso del cuerpo receptor.

*Análisis Gravimétricos:* En el laboratorio de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales se determinaron parámetros como sólidos totales, pH, temperatura, oxígeno disuelto. Se realizaron diluciones a la muestra original tratada de la mezcla de lixiviado con peróxido de calcio, para medir la turbidez, método EPA 800, utilizando el turbidímetro Termo Scientific.

La demanda química de oxígeno, se analizó por el método 5520C y D Standard Methods y la demanda bioquímica de oxígeno se determinó por el método Winkler realizando diluciones de la muestra original al 0.3% y 1% v/v.

Los nitritos; nitratos; sulfatos y el nitrógeno amoniacal se analizaron, realizando diluciones de la muestra original tratada utilizando protocolos establecidos en el Standard Methods, 2013 (APHA 2012)

## **RESULTADOS**

### *Caracterización del lixiviado.*

Los resultados de la caracterización del lixiviado del relleno sanitario del cantón Mejía, se reflejan en la Tabla 2, en la cual se establecen parámetros analizados y su comparación con algunos parámetros de la Tabla 9. Límites de descarga en un cuerpo dulce.

**Tabla 2.** Características del lixiviado, relleno sanitario cantón Mejía

<i>Parámetro</i>	<b>Unidad</b>	<b>Resultados</b>
<i>Temperatura</i>	C	18,2
<i>pH</i>	Unidad de pH	8,39
<i>Conductividad Eléctrica</i>	µs/cm	943
<i>OD</i>	mg/L	6,49
<i>Nitratos</i>	mg/L	138
<i>Sulfatos</i>	mg/L	145
<i>Nitritos</i>	mg/L	2265
<i>DQO</i>	mg/L	2844
<i>Turbidez</i>	NTU	289
<i>Solidos Totales</i>	mg/L	1655
<i>DBO</i>	mg/L	847,78
<i>N-Amoniacal</i>	mg/L	1626

Fuente: Autor

***Dosis optima de peróxido de calcio.***

Se realizaron inicialmente 20 muestras del tratamiento por reacción entre el peróxido de hidrógeno al 50% y el hidróxido de calcio técnico, el peróxido de calcio obtenido se probó en 20 muestras de lixiviado diluido 1:10, por análisis visual se escogieron las 10 mejores muestras, que son las que transformaron el lixiviado, las cuales fueron las siguientes:

**Tabla 3.** Datos de concentraciones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y Ca (OH)<sub>2</sub>

<i>Muestra</i>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>
	g	g
1	75	40
2	85	50
3	95	60
4	105	70
5	115	80
6	125	90
7	135	100
8	145	110
9	155	120
10	165	130

Fuente: Autor

Estos datos fueron realizados mediante la siguiente estequiometria;



Se escogió el primer proceso de producción, de 75 g H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 40g Ca(OH)<sub>2</sub> tomando en cuenta el menor costo. Con el peróxido de calcio obtenido, se procedió a medir y caracterizar las propiedades del mismo.

Se realizaron diez pruebas adicionales de la misma composición, luego de la reacción se deja el peróxido de calcio al ambiente para producir la eliminación del agua residual, hasta obtener un polvo inodoro de color amarillento, luego se lo colocó en un molde para dar la forma de una pastilla. Ver Anexo (Figura 4)

### ***Oxidación Avanzada.***

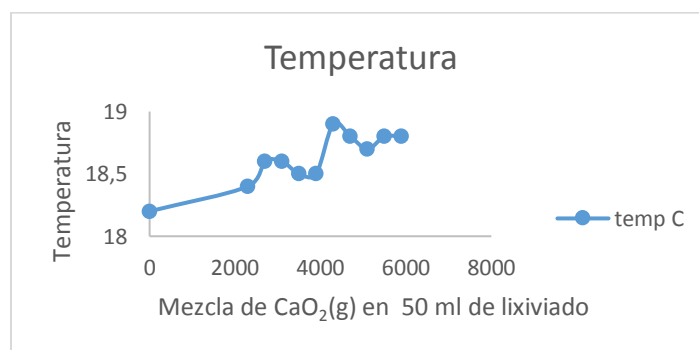
Una vez obtenido el peróxido de calcio por el procedimiento descrito anteriormente, se procedió a realizar el proceso de oxidación en el lixiviado.

En este proceso de oxidación avanzado, se consiguió la disminución de algunos parámetros fisicoquímicos, mientras otros aumentaron debido a la naturaleza del químico utilizado.

Para el proceso de oxidación, se mantuvo una muestra de lixiviado de volumen fijo de 50 mL, y se dosifican cantidades diferentes de peróxido de calcio que van desde 2300 ppm hasta 5900 ppm, lo que se indica en los análisis de los parámetros siguientes:

### ***Temperatura***

A medida que se va dosificando la cantidad de ppm del peróxido de calcio, la temperatura va aumentando debido a que se produce una reacción exotérmica, y libera una cantidad de energía elevada.

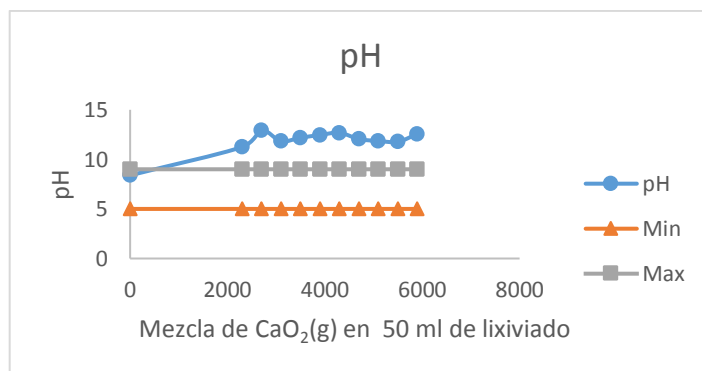


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 5.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50ml de lixiviado con la temperatura.

## *pH*

El pH, al final del proceso, tiene valores altos, comparados con la muestra original, como consecuencia de la acción oxidante del peróxido de calcio, este valor se encuentra fuera de los valores máximos y mínimos permitidos, por lo cual se debe hacer un post tratamiento como la neutralización.

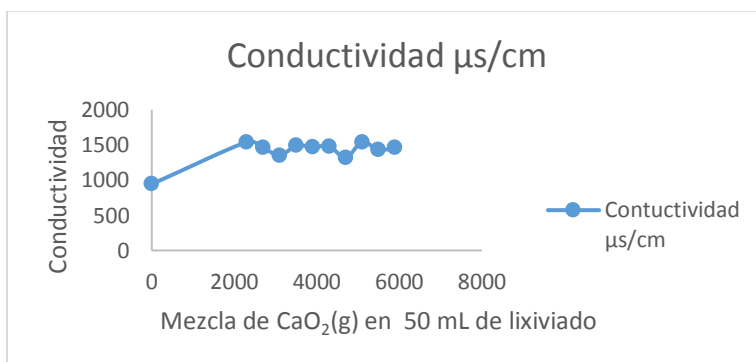


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 6.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50ml de lixiviado con el pH.

## *Conductividad*

En la conductividad eléctrica se tiene la misma tendencia que el pH, que va en aumento, esto debido al incremento del peróxido que aumenta la cantidad de iones en solución.

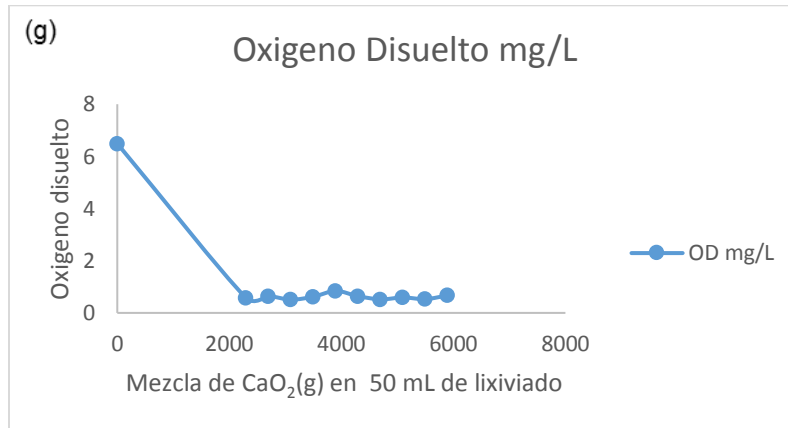


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 7.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50ml de lixiviado con la conductividad.

### *Oxígeno disuelto*

Los valores que se muestran de concentración de oxígeno disuelto descenden drásticamente después de realizado el tratamiento, como tal se debe airear u oxigenar el agua tratada para ser descargada al cuerpo de agua dulce.

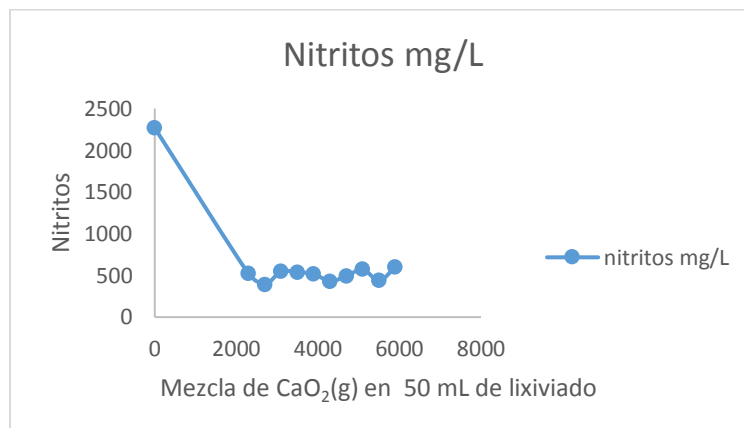


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 8.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50mL de lixiviado con el oxígeno disuelto.

### *Nitritos*

Se observa que existe disminución en los nitritos, y con la utilización de la primera concentración, es suficiente, por la tendencia asintótica de la curva.

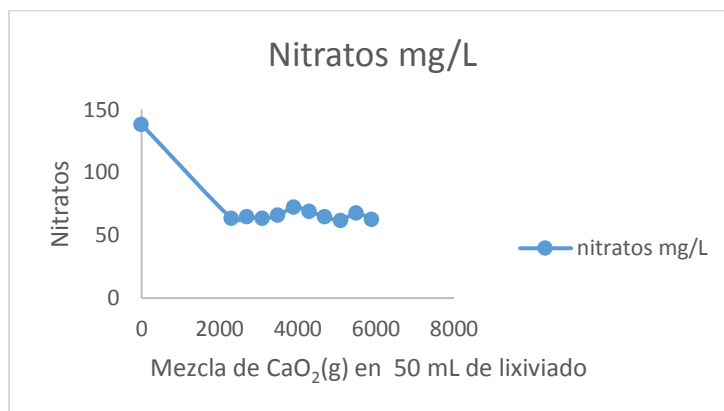


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 9.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50ml de lixiviado con los nitritos

### Nitratos

Los nitratos presentan una disminución muy grande con la utilización del peróxido de calcio, y se nota que con la primera adición de peróxido es suficiente.

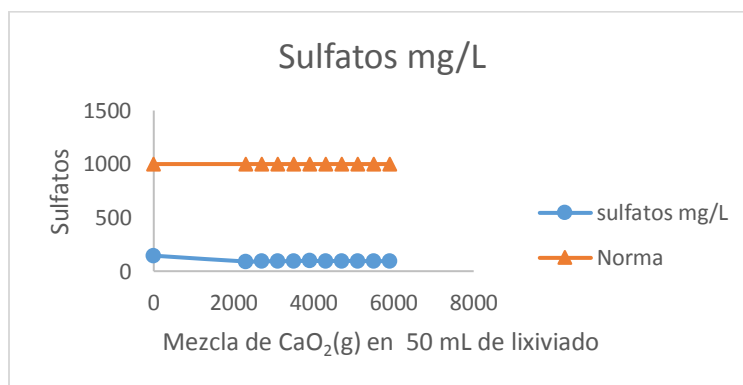


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 10.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50mL de lixiviado con los nitratos.

### Sulfatos

En los sulfatos, se aprecia una mínima disminución con la utilización del peróxido de calcio con la primera muestra, como se muestra en la figura siguiente.



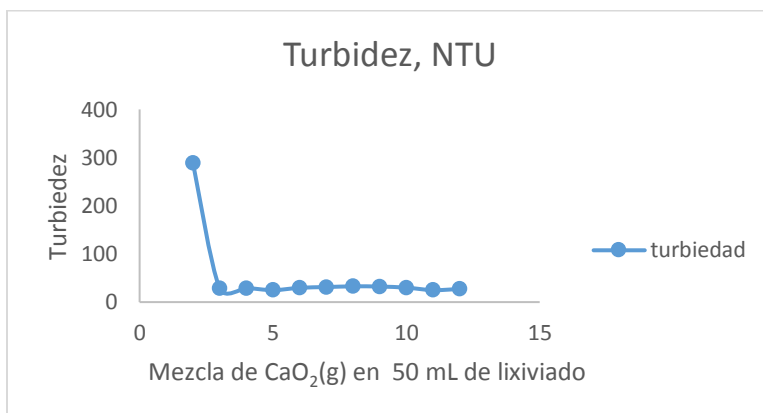
Fuente: Elaboración Autor

**Figura 11.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50mL de lixiviado con los sulfatos



### ***Turbidez***

Se muestra baja en los procesos de altas concentraciones, se observa también que la primera adición es suficiente para el tratamiento.

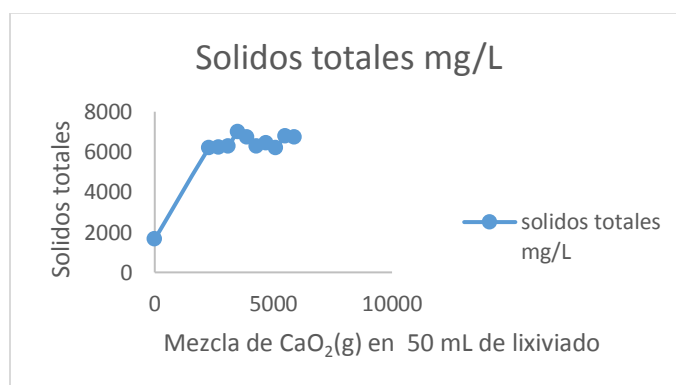


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 12.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50mL de lixiviado con la turbidez

### ***Sólidos totales***

En sólidos disueltos, la menor cantidad de peróxido de hidrógeno añadido da los valores más eficientes presentando un parámetro aceptable con un menor aporte de químicos al utilizar.

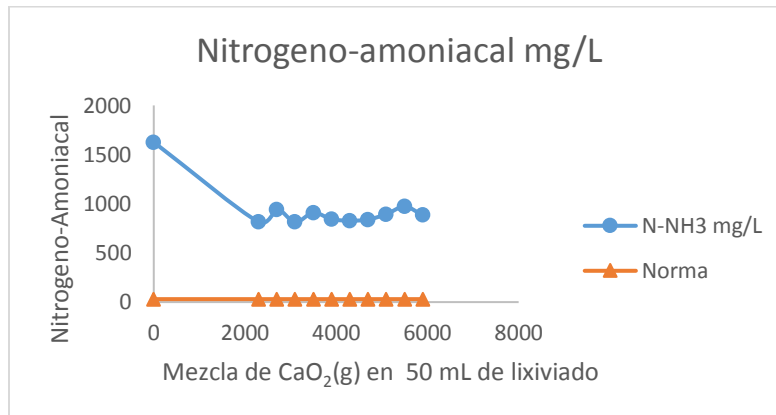


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 13.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50mL de lixiviado con los sólidos totales.

### Nitrógeno-amoniaco

Al utilizar el peróxido de calcio, existe una disminución considerable de las mediciones, pero no cumple lo que establece la norma.

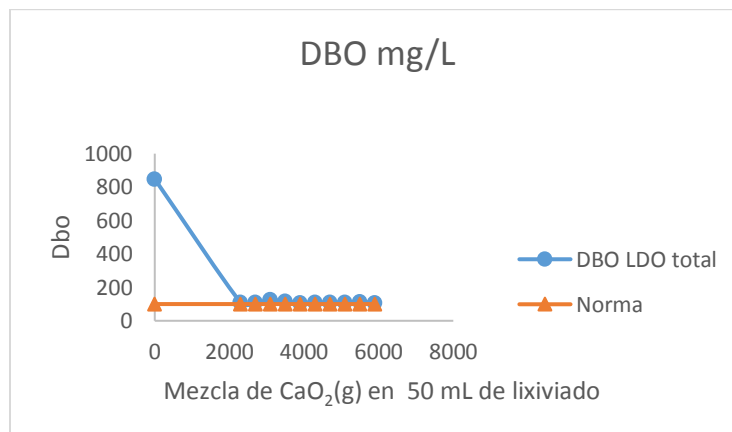


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 14.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50 mL de lixiviado con el nitrógeno amoniacal.

### DBO

Al utilizar el peróxido de calcio el DBO, entra dentro de norma con valores bajos de 250 ppm, en la oxidación se elimina el mayor aportante de DBO, que es el amoniaco y la primera adición es suficiente.

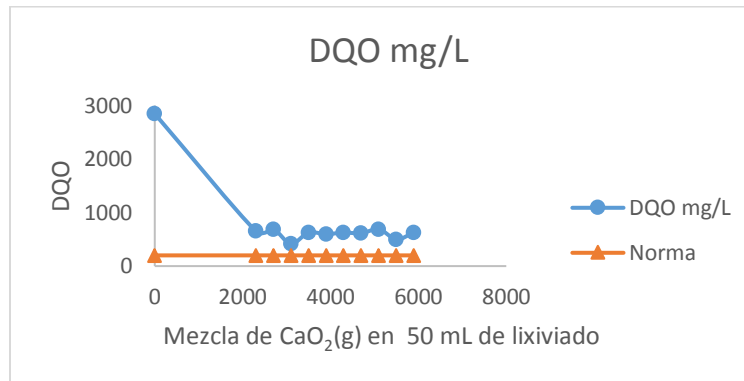


Fuente: Elaboración Autor

**Figura 15.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50mL de lixiviado con el DBO

## DQO

Las medidas obtenidas del DQO, no cumple lo que establece la norma., en el tercer proceso llega a cumplir los valores establecidos por la normativa.



Fuente: Elaboración Autor

**Figura 16.** Comportamiento de la mezcla de CaO<sub>2</sub> en 50mL de lixiviado con el DQO

### *Porcentaje de eficiencias de las muestras en cada parámetro analizado.*

Para evaluar el porcentaje de disminución de los parámetros fisicoquímicos se toma en cuenta el valor inicial y el valor después del tratamiento, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 4.** Porcentaje de remoción de parámetros fisicoquímicos, en el proceso empleado en la utilización de CaO<sub>2</sub>, para el tratamiento de lixiviado.

<i>Parámetros Analizados</i>	<b>Porcentaje de disminución (%)</b>
<i>Nitritos</i>	82,78
<i>Nitratos</i>	53,25
<i>Sulfatos</i>	36,20
<i>DQO</i>	75,84
<i>DBO</i>	87,20
<i>Nitrógeno- Amoniacal</i>	42,00

Fuente: Autor

**Costo económico de producción el CaO<sub>2</sub> a escala de laboratorio.**

En la obtención del peróxido de calcio se utilizó los siguientes reactivos;

**Tabla 5.** Precios y cantidad de los reactivos utilizados.

	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	
<i>Cantidad</i>	30	5	kg
<i>Precio</i>	17	1,6	usd

Fuente: Autor

Después de pruebas realizadas se llegó a la relación óptima de los compuestos;

**Tabla 6.** Cantidad optima de reactivos utilizados.

	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	
<i>Cantidad</i>	75	40	g

Fuente: Autor

Esta cantidad, sin considerar las pérdidas por la reacción, da un peso total resultante por pastilla de 77g.

**Tabla 7.** Costos por pastilla obtenida en el laboratorio.

	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	Unidad
<i>Cantidad</i>	75	40	kg
<i>Precio</i>	17	1,6	US\$
<i>Rendimiento por pastilla</i>	77		g
<i>Costo</i>	1,275	0,064	US\$/pastilla
<i>Costo Total por Pastilla</i>	1,339		US\$/pastilla
	17,4		US\$/ Kg

Fuente: Autor

Las pruebas de rendimiento se realizaron con una cantidad de 1000 ml (1 L) por pastilla formulada, con una duración de 5 días hasta visualizar transparencia en el tratamiento.

La piscina del lixiviado del relleno sanitario “Romerillos” tiene una capacidad de 20 m<sup>3</sup>.

$$\frac{77g \text{ CaO}_2 * 20 \text{ m}^3}{1 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 1540kg \text{ CaO}_2$$

El costo total para la remediación de la piscina del lixiviado del relleno sanitario “Romerillos” es de 2048.02 usd.

## **DISCUSIÓN**

### ***pH y Temperatura***

La relación pH y Temperatura es directamente proporcional, señala (Nájera, H. Castañón, J. Figueroa, J. y Rojas-Valencia 2009), al analizar el lixiviado sin tratamiento, se puede determinar que el pH de este varía entre 8.6 y 12.4 y temperaturas descendentes, debido a que el lixiviado con el paso del tiempo entra en un proceso de fase metanogénica, los ácidos orgánicos se incrementan y se eleva el pH producto de las reacciones biológicas que en el ocurren (Nájera, H. Castañón, J. Figueroa, J. y Rojas-Valencia 2009), es por esto que se puede ver que antes del tratamiento con el peróxido, el pH del lixiviado es de 8.39 y la temperatura inicial es de 18.2°C, al realizar el proceso de oxidación este es un proceso exotérmico, sin embargo la temperatura no pasa de 18.9°C. Al hablar del pH, como se incrementan los iones  $\text{OH}^{1-}$ , es lógico que el pH también se incremente llegando a valores de 12.94.

### ***Sólidos Totales***

Se puede apreciar en la Figura 13, que existe un incremento de los sólidos totales en relación a la primera medición, como consecuencia del uso del peróxido de calcio, la cantidad de sólidos totales aumentó, por esta razón, en relaciones de 1655 mg/L a valores de 6794 mg/L, el uso del peróxido de calcio no afecta el tratamiento en vista que se auto degrada con el paso del tiempo.(Torres-Lozada et al. 2014)

### ***Turbidez***

La turbidez se ve afectada por las partículas sólidas que se encuentran presentes debido a la reacción con el peróxido de calcio que es sólido, se justifica que el peróxido de calcio actué de manera que al cabo de cinco días se dispone de una muestra con relativa baja turbiedad.

Ver Anexo (Figura 4)

### ***Demanda bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno***

La DBO mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para poder degradar materia orgánica en forma biológica. El valor inicial de la DBO en el lixiviado es de 847.78 mg/L, el mismo que disminuye a valores entre 107.64 mg/L y 124.87 mg/L en todas las muestras analizadas, lo que indica que en relación al DBO, este parámetro disminuye hasta cumplir la norma.

La DQO por su parte, mide la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el lixiviado, susceptible a ser oxidada químicamente, la concentración inicial en el lixiviado es de 2844 mg/L, luego del tratamiento se llegaron a valores entre 501 mg/L y 687mg/L, observando que los valores obtenidos a pesar de mostrar una buena disminución en relación a la muestra original, este parámetro no entra en norma. La diferencia entre el valor inicial del DQO y el valor luego del tratamiento es del 75.84% que es un valor bueno, pero no resulta suficiente.

### ***Nitritos y Nitratos***

La concentración de Nitratos se reduce súbitamente con un valor inicial de 2265 mg/L a valores bajos de 520 mg/L, eso con el primer dato de adición del peróxido de calcio, llegando a un valor constante en los siguientes procesos, lo que deja ver que por la oxidación los

nitratos son afectados y transformados en otras moléculas, esto se observa también con los nitritos con datos de concentración inicial de 138 mg/L se efectúa una oxidación brusca en la primera medición, reduciéndose a 63.42 mg /L, lo que deja ver que, probablemente, estos pasan a transformarse en nitratos.

### ***Sulfatos***

En la medición de los sulfatos, se encuentran en norma desde la primera medición de un valor inicial de 145 mg/L. Se redujo los sulfatos en un proceso de oxidación, reflejado en el primer valor de 90.54 mg/L que generara una cantidad de energía insuficiente para romper la molécula manteniéndose como sulfatos, siendo esta una de las moléculas más estables oxidadas.

### ***Nitrógeno amoniacal***

Los datos arrojan que existe una disminución, con valores de 1624 mg/L dentro de la primera medición a unos valores de 814 mg/L, lo que refleja que el nitrógeno amoniacal está presente como nitrógeno reducido, es decir como amoniaco, dentro del proceso de oxidación, esta molécula de amoniaco se transforma en nitritos y nitratos

### ***Proceso de oxidación avanzada con $\text{CaO}_2$***

Este proceso se realizó con la siguiente proporción 75g de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 50% de concentración con 40g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  grado técnico, siendo esta mezcla la primera muestra, óptima para el tratamiento.

De acuerdo a la tabla 4, el proceso de oxidación avanzada con  $\text{CaO}_2$ , remueve un total del 62.88 % de parámetros analizados con una dosis de 2300 ppm, de los cuales se tiene que en

nitritos existe una remoción del 82.78 %, en nitratos 53.25%, en sulfatos un 36.20% de disminución. El DQO existe una disminución del 75.84 % y en el DBO un 87.20%, en cambio para el Nitrógeno amoniacal, este baja en un 42.00%, pero en otros parámetros se evidenció que existe una subida de rangos como es en el pH donde existió un aumento de 2 puntos de 8.39 a 12.94, lo que es normal en vista del químico que se está utilizando, por el mismo motivo la conductividad eléctrica se ve afectada con una subida de más del 50 % de 943 $\mu$ m/cm a 1540  $\mu$ m/cm.

Los costos obtenidos para la remediación resultan económicos, en comparación con el precio del peróxido de calcio, que se encuentra en el mercado. Este peróxido de calcio solo se lo trae por pedido para ser importado con un tiempo de espera de 90 días, a un precio de 135 USD por cada kilogramo, el fabricar en el laboratorio cuesta 17,4 US\$/Kg.

Creando así un mercado, que puede ser aprovechado dentro del tratamiento de aguas contaminadas.

## **CONCLUSIONES**

Se realizó el tratamiento fisicoquímico del lixiviado del relleno sanitario “Romerillos” con peróxido de calcio, mediante el proceso de óxido reducción, disminuyendo los parámetros planteados en el trabajo.

Se obtuvo el peróxido de calcio, experimentalmente en el laboratorio con un proporción optima de 75g de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% de concentración con 40g de Ca(OH)<sub>2</sub> grado técnico, siendo esta la concentración optima de cantidades de químicos utilizados para la disminución de la carga contaminante



Al analizar los porcentajes de disminución de los parámetros fisicoquímicos del lixiviado, luego de ser sometidos al proceso de oxidación con peróxido de calcio, se puede afirmar lo siguiente:

- Con relación a las moléculas que involucran el nitrógeno, se puede observar que, durante el proceso de oxidación, el nitrógeno como amonio pasa a nitrito y este a nitrato, ya que los valores disminuyen en la primera experimentación, es decir que el proceso de oxidación es efectivo para este tipo de moléculas.
- Al hablar de la DBO, este disminuye debido principalmente a que el oxígeno que ingresa entre las moléculas del lixiviado producen una ruptura de las moléculas orgánicas de altos pesos moleculares, principalmente ácidos orgánicos, formando moléculas fáciles de oxidar y al observar además la disminución del valor del DQO, se ratifica que este proceso oxida también a las moléculas inorgánicas, por lo que se puede afirmar, que este procedimiento es un proceso de oxidación fuerte, comparable con el método Fempton, de alta oxidación.
- En relación a la disminución del oxígeno disuelto, se hubiera esperado que este aumentara debido al proceso en sí de oxidación, pero esto no ocurre, debido a que, para que exista oxígeno disuelto, se necesita que el solvente sea apto para atrapar por fuerzas intermoleculares dichas moléculas de oxígeno (ley de Henry), y esto no ocurre ya que el lixiviado tiene tan alta concentración de componentes que impiden que el oxígeno se disuelva en este, por lo que todo el oxígeno que ingresa en la reacción es utilizado para el proceso de oxidación.
- Con relación a la temperatura, se puede afirmar que a pesar de que la reacción es fuertemente exotérmica, esta no sube más de un grado centígrado, esto se debe a que

el calor que genera la reacción es aprovechado como energía de activación en la reacción de oxidación, impidiendo que la temperatura aumente.

En general se afirma que dicho proceso es muy recomendable para disminuir la contaminación de afluentes tanto del tipo de lixiviados como aguas contaminada.

La cantidad del peróxido de calcio obtenido, se estableció en las siguientes cantidades de 75g de  $H_2O_2$  a de concentración con 40g de  $Ca(OH)_2$  determinando que esta es la que más disminuye los parámetros analizados, con un menor costo necesitado para la remediación de la piscina de lixiviado con un costo total de 2048.02 usd para un tamaño de 20 m<sup>3</sup>.

## **RECOMENDACIONES**

Este proceso de oxidación con peróxido de calcio en lixiviado, no disminuye en su totalidad parámetros como el DQO, se recomienda que este sea utilizado con procesos de pretratamiento y compaginado con otros procesos como filtración, coagulación y floculación.

El oxígeno disuelto disminuye después del tratamiento, por tal motivo se recomienda utilizar, a posterior, procesos de oxidación simple por burbujeo de aire, con lo que se garantiza que el efluente, que se descargue a los cuerpos de agua, vaya con el oxígeno necesario para cumplir con los procesos biológicos.

Se recomienda utilizar exceso de peróxido en los procesos de oxidación, ya que el no aumento de la temperatura puede afirmar que se requiere de mayor cantidad de este para equilibrar la cantidad de oxígeno necesaria.

Por la falta de disponibilidad y el alto costo del  $CaO_2$  en el mercado ecuatoriano, se recomienda utilizar  $Ca(OH)_2$  y  $H_2O_2$  de buena calidad en un alto grado de concentración, con

el fin de garantizar que el producto final sea de buena calidad y los resultados en el tratamiento del agua sean óptimos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- APHA. 2012. "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (11th Ed.)." *American Journal of Public Health and the Nations Health* 51(6): 940–940. <http://ajph.aphapublications.org/doi/10.2105/AJPH.51.6.940-a> (July 17, 2018).
- Chasquibol-Silva, Nancy, and G. Salas C. 2012. "Tratamiento Por Oxidación Avanzada (Reacción Fenton) de Aguas Residuales de La Industria Textil." *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* 13(1): 30–38. <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4551> (July 5, 2018).
- GAD. Municipal del canton Mejia. 2016. "Presentacion Mejia." <https://www.scribd.com/presentation/339553609/Presentacion-Mejia> (July 17, 2018).
- García Pérez, José Antonio. 1996. *Química : Teoría y Problemas*. Tébar Flores.
- Jorge Enrique Forero, Olga Patricia Ortiz, Fabian Rios. 2005. 3 CT&F - Ciencia, tecnología y futuro, ISSN-e 0122-5383, Vol. 3, N°. 1, 2005, págs. 97-109 *Aplicación de Procesos de Oxidación Avanzada Como Tratamiento de Fenol En Aguas Residuales Industriales de Refinería*. Instituto Colombiano del Petroleo. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5513926> (July 5, 2018).

Khodaveisi, J. et al. 2011. "Synthesis of Calcium Peroxide Nanoparticles as an Innovative Reagent for in Situ Chemical Oxidation." *Journal of Hazardous Materials* 192(3): 1437–40. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389411008351> (July 5, 2018).

Knoch, Joachim, and Rainer Stegmann. 1993. "Tratamiento de Lixiviados." <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=63371&indexSearch=ID> (July 5, 2018).

Nájera, H. Castañón, J. Figueroa, J. y Rojas-Valencia, M. 2009. "(PDF) CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO..." [https://www.researchgate.net/publication/239530632\\_CHARACTERIZACION\\_Y\\_TRATAMIENTO\\_FISICOQUIMICO\\_DE\\_LIXIVIADOS\\_MADUROS\\_PRODUCIDOS\\_EN\\_EL\\_SITIO\\_DE\\_DISPOSICION\\_FINAL\\_DE\\_TUXTLA\\_GUTIERREZ\\_CHIAPAS\\_MEXICO](https://www.researchgate.net/publication/239530632_CHARACTERIZACION_Y_TRATAMIENTO_FISICOQUIMICO_DE_LIXIVIADOS_MADUROS_PRODUCIDOS_EN_EL_SITIO_DE_DISPOSICION_FINAL_DE_TUXTLA_GUTIERREZ_CHIAPAS_MEXICO) (July 15, 2018).

Northup, Abraham, and Daniel Cassidy. 2008. "Calcium Peroxide (CaO<sub>2</sub>) for Use in Modified Fenton Chemistry." *Journal of Hazardous Materials* 152(3): 1164–70. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407011430> (July 5, 2018).

Piñero, Jesús Pastor. 1994. "Vertederos Controlados. Problemática de Los Lixiviados'." *Contribución a la educación ambiental: El problema de los residuos urbanos.*

Solvay Chemicals, Inc. 2013. *Calcium Peroxide, Solvay America, Inc.* <https://www.solvay.us/en/binaries/PSS-Calcium-Peroxide-164343> (July 10, 2018).

Torres-Lozada, Patricia et al. 2014. "INFLUENCIA DE LA EDAD DE LIXIVIADOS SOBRE SU COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y SU POTENCIAL DE TOXICIDAD." & *Div. Cient* 17(1): 245–55.

## ANEXOS

**Figura 2.** Lixiviado inicial



**Fuente:** Autor

**Figura 3.** Primeras muestras de peróxido de calcio,  $\text{CaO}_2$



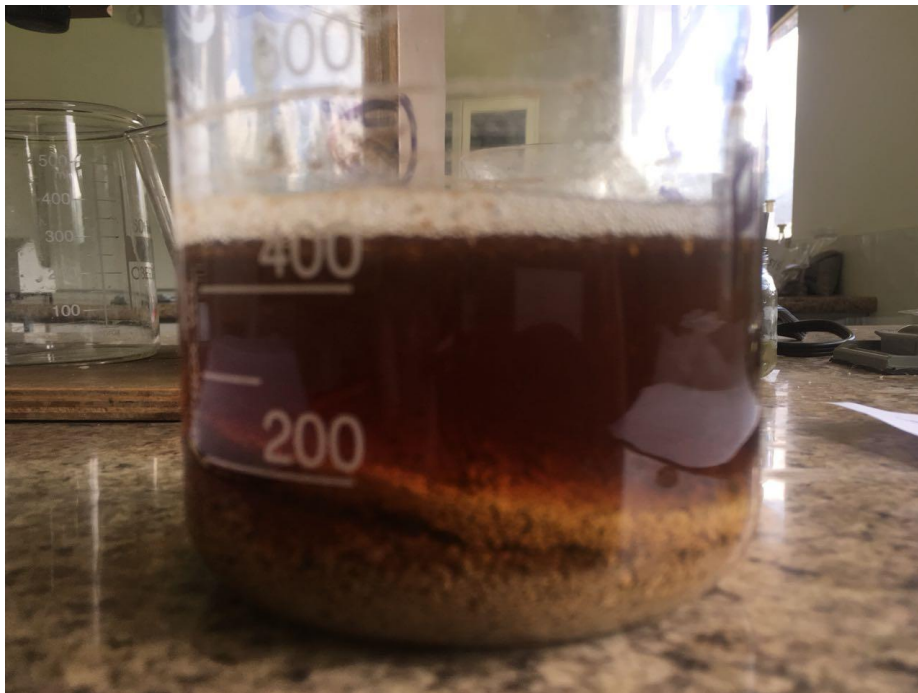
**Fuente:** Autor

**Figura 4.** Mejores 10 muestras de  $\text{CaO}_2$ , en forma de pastilla.



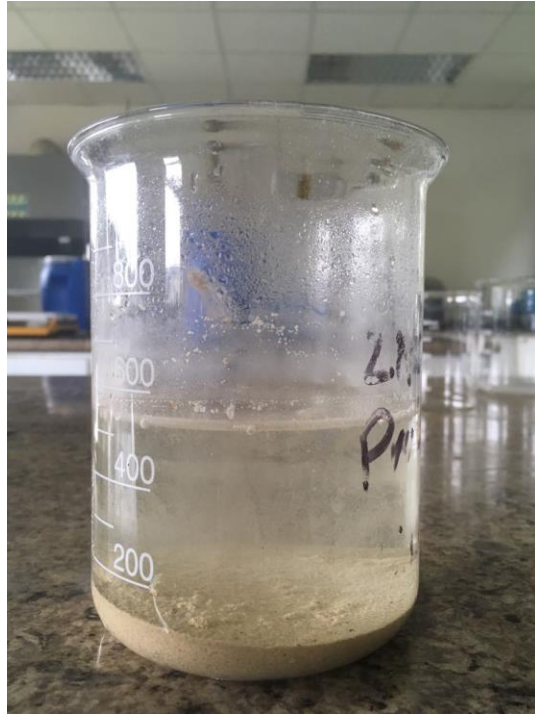
**Fuente:** Autor

**Figura 5.** Proceso de oxidación con  $\text{CaO}_2$ , con la primera muestra de  $\text{CaO}_2$



**Fuente:** Autor

**Figura 6.** Lixiviado tratado con  $\text{CaO}_2$ , con la primera muestra de  $\text{CaO}_2$  a los 5 días



**Fuente:** Autor

**Figura 7.** Lixiviado tratado con  $\text{CaO}_2$ , con la primera muestra de  $\text{CaO}_2$ , filtrado



**Fuente:** Autor