



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN  
QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA  
CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN  
SANTO DOMINGO”**

Realizado por:

**KATHERINE VANESSA VILLAFUERTE MORALES**

Director del proyecto:

**MSc. KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Quito, 01 de julio de 2020



**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**DECLARACION JURAMENTADA**

Yo, KATHERINE VANESSA VILLAFUERTE MORALES, con cédula de identidad #172170139-7, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a 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.



CI: 172170139-7

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO”**

Realizado por:

**KATHERINE VANESSA VILLAFUERTE MORALES**

como Requisito para la Obtención del Título de:

**MAGISTER EN AMBIENTAL**

ha sido dirigido por la profesora

**MSc. KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO**

A quien considera que constituye un trabajo original de su autor

**MSc. KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO**



**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

Dr. Mestre Miguel Martínez-Fresneda

Dr. Alberto Alejandro Aguirre Bravo

Después de revisar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apto para su defensa oral ante  
el tribunal examinador



Dr. Mestre Miguel Martínez Fresneda



Dr. Alberto Alejandro Aguirre Bravo

Quito, 01 de julio de 2020

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**DEDICATORIA**

A mi hijo, Thiago Matías Bustamante Villafuerte por todo el tiempo que no pude estar contigo durante los días de viaje y por entender lo importante que ha sido esto para mí, por ser mi razón de vida, por ser mi fortaleza.

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**AGRADECIMIENTO**

A mi familia, en especial a mi madre Gladys Morales Andrade por su amor, ayuda y apoyo incondicional, porque a pesar de la distancia siempre ha estado conmigo y a mi esposo Dennis Bustamante Rivera.

A mi Directora de tesis, MSc. Katty Coral y a mi co-Director, el Dr. Javier Caisaguano por su tiempo, apoyo y dedicación a este trabajo de investigación.

# TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

## Resumen

El Relleno Sanitario de Santo Domingo “Complejo Ambiental”, se encuentra localizado en la Parroquia rural Luz de América en el km. 32 de la vía Santo Domingo – Quevedo, donde se realiza la disposición final de los residuos sólidos urbanos. Tiene un sistema de tratamiento de lixiviados: biológico, físico-químico y de ósmosis inversa. La composición del lixiviado se ve influenciada por la presencia de varios factores del sitio, como la humedad, precipitación constante, temperatura y por la composición de los residuos sólidos, entre otros. El presente trabajo de investigación analizó el tratamiento de lixiviados mediante oxidación química controlada, con la aplicación de peróxido de calcio para estimular la degradación microbiana aerobia. La concentración de peróxido de calcio utilizada fue de 115 g y 230 g, en lixiviado crudo y lixiviado pretratado, para determinar su eficiencia mediante el cálculo del porcentaje de remoción y la disminución de la carga contaminante. Los resultados de Nitrógeno amoniacal, Nitratos y Nitritos disminuyeron considerablemente, durante el proceso de oxidación, el porcentaje de remoción fue mayor al 90%. La Demanda Bioquímica de Oxígeno disminuyó con todas las concentraciones de  $\text{CaO}_2$ , en los dos tipos de lixiviados, crudo y pretratado; es decir, es un lixiviado altamente oxidable. Respecto a la Demanda Química de Oxígeno, en el lixiviado pretratado con la menor y mayor concentración se obtuvo una disminución mayor al 50%. En el resultado de sulfuros, se observó una disminución, obteniéndose un porcentaje de remoción de más de 90%; el color disminuyó con todas las concentraciones de oxidante, obteniéndose un porcentaje de remoción del 97% en el lixiviado pretratado con la concentración mayor. Además, se determinó que Nitritos, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sulfuros y Color real, disminuyó en un 70%, con relación a los valores iniciales con el lixiviado crudo y pretratado. Los parámetros que se vieron incrementados luego del tratamiento fueron pH, Oxígeno disuelto y Conductividad eléctrica.

# TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

**Palabras claves:** residuos sólidos, lixiviado, oxidante químico, peróxido de calcio, remoción, carga contaminante.

## Abstract

The Santo Domingo Sanitary Landfill "Complejo Ambiental" is located in the rural Parish of Luz de America at Km. 32 of the Santo Domingo – Quevedo, where the final disposal of solid waste is carried out, has a leachate treatment system: biological, physical-chemical, and reverse osmosis. The composition of the leachate is influenced by the presence of various site factors, such as humidity, constant precipitation, temperature and by the composition of the solid waste, among others. The present research work analyzed the leachate treatment by controlled chemical oxidation, with the application of calcium peroxide to stimulate aerobic microbial degradation. The calcium peroxide concentration used was 115 g and 230 g, in crude leachate and pretreated leachate, to determine its efficiency by calculating the removal percentage and reducing the contaminating load. The results of Ammoniacal Nitrogen, Nitrates and Nitrites decreased considerably, during the oxidation process, the removal percentage was greater than 90%. The Biochemical Oxygen Demand decreased with all  $\text{CaO}_2$  concentrations, in the two types of leachate, crude and pretreated; that is, it is a highly oxidizable leachate. Regarding the Chemical Oxygen Demand, in the leached pretreated with the lowest and highest concentration, a decrease greater than 50% was obtained. In the result of sulfides, a decrease was observed, obtaining a removal percentage of more than 90%; the color decreased with all the oxidant concentrations, obtaining a removal percentage of 97% in the leachate pretreated with the highest concentration. Also, it was determined that Nitrites, Nitrates, Ammoniacal Nitrogen, Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Sulfides and real Color, decreased by 70%, in relation to the initial values with the raw and pretreated leachate. The

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

parameters that were increased after the treatment were pH, dissolved oxygen and electrical conductivity.

**Key words:** solid waste, leachate, chemical oxidant, calcium peroxide, removal, contaminating load.

# TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

## Introducción

El manejo de los residuos sólidos constituye, a nivel mundial, un problema para las grandes ciudades, factores como el crecimiento demográfico, la concentración de población en las zonas urbanas, el desarrollo ineficaz del sector industrial y/o empresarial, los cambios en patrones de consumo y las mejoras del nivel de vida, entre otros, han incrementado la generación de residuos sólidos en los pueblos y ciudades (Ojeda, Lozano, & Quintero, 2008). Además, para Salvato, Nemerow, & Agardy (2003) “otro factor es la utilización de bienes materiales de rápido envejecimiento, y el uso, cada vez más frecuente, de envases sin retorno fabricados con materiales poco o nada degradables”.

Contreras (2008) señala que la incidencia de la eliminación inadecuada de residuos sólidos en el desarrollo de una región o país, se presenta al desmejorar la calidad de vida de sus pobladores, reduciendo su productividad y por ende su contribución al desarrollo económico de la región; adicionalmente la creación de problemas ambientales conlleva a pagar elevados costos económicos y sociales. Para Mosquera Quintero, Canchingre Bone, & Morales Pérez (2014) “una alternativa para minimizar los efectos negativos provocados por la gestión inadecuada de los residuos sólidos es realizar una evaluación de estos impactos ambientales y así contribuir a que el desarrollo urbano sea ambientalmente sostenible”.

En América Latina y el Caribe, una práctica común es la de disponer los desechos sobre terrenos a cielo abierto sin las medidas adecuadas para su interacción con el ambiente, ocasionando graves problemas de contaminación. La disposición científicamente aceptada para los desechos sólidos son los rellenos sanitarios, instalaciones que utilizan principios de ingeniería para la disposición en el suelo, confinamiento y cobertura de los residuos sólidos, minimizando los riesgos a la salud y al ambiente, teniendo cuidado con los líquidos y gases generados como producto de la descomposición de la materia orgánica (Jaramillo, 1999).

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Dentro de un relleno sanitario, los lixiviados son producto de la transferencia de agua a través de los residuos sólidos y de la lixiviación de componentes desde el sólido al líquido. Son considerados como un residuo líquido con un gran impacto ambiental, por su significativa concentración de amonio, materia orgánica y sales minerales (Astorga del Canto, 2018). Giraldo (1997) afirma que “lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, alto contenido de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos”.

La generación de lixiviados en los rellenos sanitarios es diferente, ya que este depende del clima del lugar (precipitación, temperatura, humedad), volumen y tipo de residuos sólidos que recibe el relleno sanitario. Para Giraldo (1997) “la cantidad de los lixiviados es función de tres variables principales: el área rellenada, la cantidad de infiltración que se permita, y el sistema de drenaje, impermeabilización”.

En Ecuador, la responsabilidad de la Gestión Integral de los residuos sólidos es competencia de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, esto se establece en la Constitución del Ecuador en el artículo 264 y el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización, artículo 55 donde señala que deben “Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley”.

En Ecuador “la producción per cápita de residuos sólidos (PPC) a nivel urbano, en promedio es de 0,58 kg al día” (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016). En el 2017, a nivel nacional, según la información declarada por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales GADM, un habitante de la zona urbana produce en promedio 0,86 kg al día; del total de residuos sólidos producidos caracterizado, el 57% corresponde a

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

residuos orgánicos y el 43% a inorgánicos. Además, según la información declarada por los GADM, el 45,7% disponen los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios, el 28,8% en Celdas Emergentes y el 25,6% en Botaderos (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2017).

En el cantón Santo Domingo – Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, se implementó el proyecto “Complejo Ambiental para la disposición final de los residuos sólidos de Cantón Santo Domingo”, ubicado en el kilómetro 32 de la vía Santo Domingo-Quevedo, el cual obtuvo la Licencia Ambiental mediante Resolución Ministerial No. 038 del 12 de enero del 2012. El Relleno Sanitario comprende un área administrativa, comedor, báscula, planta de clasificación de residuos sólidos, celdas de disposición final, área de compostaje, tamizaje y ensacado; tratamiento primario de lixiviados con separación de gruesos, tratamiento secundario biológico de aireación extendida y un tratamiento terciario de micro-filtración y ósmosis inversa de tecnología patentada Vibratory Shear Enhanced Process del Fabricante New Logic Research y celdas de disposición final de desechos sanitarios. En el año 2019, la empresa ECOAMBIENTAL recolectó y transportó al relleno sanitario 121.570,46 toneladas de residuos sólidos, el promedio día es de 333 ton/día y el costo por tonelada dispuesta es de \$34,15.

Según EarthGreen S.A. (2016) la cantidad de lixiviado que se genera, en realidad, está en función de la precipitación, escorrentía, evapotranspiración, contenido de humedad y grado de compactación de los residuos, tipo y número de materiales de cobertura y otros factores. La proyección de la demanda de la generación de lixiviados en el Complejo Ambiental se realizó mediante la aplicación del método suizo, con referencia de una precipitación media anual de 2725 mm y un área total de los Módulos 1 y 2 que cubre 41.363 m<sup>2</sup> (14.000 m<sup>2</sup> y 27.363 m<sup>2</sup>), es aproximadamente 93 m<sup>3</sup>/día.

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

En el Complejo Ambiental existen ocho piscinas para el almacenamiento de lixiviados en sus diferentes estados de tratamiento y una piscina para recuperación de lodo, todas están impermeabilizadas con geomembrana de 1,5 mm. El lixiviado crudo recibe tratamiento biológico, este ingresa al tanque de captación que tiene mallas para la retención de sólidos de mayor tamaño, luego es almacenado en la piscina de sedimentación primaria – homogenización, posteriormente pasa a la segunda piscina que actúa como medio facultativo para la degradación de la materia orgánica, mediante la recirculación de lodos activos o la aplicación de microorganismos liofilizados o activos (microorganismos heterotróficos bacterias y levaduras). El lixiviado es dirigido a la piscina de aireación donde se produce la oxigenación de la materia orgánica mediante el uso de difusores de burbuja fina, con tiempos de retención de 18 a 24 horas; el lixiviado oxidado pasa por gravedad a la piscina de sedimentación secundaria para la decantación de los lodos sedimentables oxidados (lodos activados), todo este proceso continuo de tratamiento obedece a control de caudales y alturas máximas de llenado con tiempos de residencia cortos, por lo que su volumen es variable en función de la época del año y del tratamiento aplicado. Mediante bombeo el lodo es recirculado a la piscina anaerobia y el lixiviado es dirigido a la Planta de tratamiento primario, llega al tanque ecualizador de capacidad de 23m<sup>3</sup>, por medio de bombas dosificadores reguladas a 25 L/h, se agrega coagulante y floculante, en el tanque pulmón se logra la mezcla del lixiviado con el cloruro de aluminio y poliacrilamida aniónica o catiónica al 0,1%, esto es enviado al tanque floculador-sedimentador, los flocs se eliminan mediante purgas periódicas. El lixiviado posteriormente pasa al tanque de filtro de grava-arena, un filtro de carbón activado de 1m<sup>3</sup>, cada uno; luego es almacenado en el tanque de reserva (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santo Domingo, 2016).

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Mediante bombeo el lixiviado almacenado en el tanque de reserva, es dirigido a la piscina 1 del Módulo 1 a una distancia de 100 m, que opera como estación de regulación y bombeo intermedio para alimentar a la planta de micro-filtración y ósmosis inversa VSEP, donde recibe el tratamiento final, antes de la descarga al cuerpo de agua dulce (estero s/n). Para Giraldo (1997) este sistema reporta excelentes rendimientos de la tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes. Igualmente se observa que las aplicaciones han sido para lixiviados con concentraciones de DBO relativamente bajas, menores a 1000 mg/L, es decir, lixiviados viejos, o lixiviados a los cuales se les ha realizado un pretratamiento previo.

El flujo de alimentación de lixiviado pretratado es enviado al sistema de membrana VSEP, que en el proceso fracciona el lixiviado en dos corrientes: permeado y concentrado. El permeado es el "agua limpia" y el concentrado es el rechazo, el agua que no ha sido tratada. En un contexto de recuperación o concentración del producto, el concentrado es el material deseable. Mientras que, como es el caso de Santo Domingo, en una aplicación de clarificación de aguas residuales (lixiviado), el concentrado representa una suspensión concentrada de contaminantes indeseables (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santo Domingo, 2020).

El volumen de lixiviado en el Complejo Ambiental en el tratamiento primario corresponde a 10.261 m<sup>3</sup> (piscina de Homogenización 3.500 m<sup>3</sup>, piscina Anaeróbica 4.736 m<sup>3</sup>, piscina de aireación 810 m<sup>3</sup>, piscina de sedimentación secundaria 1.215 m<sup>3</sup>). El volumen del lixiviado pretratado es de 5,271 m<sup>3</sup> y los lodos recuperados de 693 m<sup>3</sup>, es decir en total 16.225 m<sup>3</sup>. La capacidad total de las piscinas corresponde a 25.648 m<sup>3</sup>, y el volumen diario tratado por la Planta VSEP es de 40 m<sup>3</sup>/día (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santo Domingo, 2020).

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Es importante definir que el área de estudio, que corresponde al relleno sanitario del cantón Santo Domingo se encuentra a 568 msnm, temperatura promedio de 22,8°C, 2.658 mm anual (el mes más seco es agosto con 51 mm y en marzo tiene un promedio de 479 mm) y el 85% de humedad (Climate-Data, 2020). La precipitación constante provoca el incremento del volumen de lixiviado, esto genera dificultad y encarece el tratamiento por volumen (metro cúbico), esto afecta aún más, cuando desde los hogares y establecimientos no minimizan, reutilizan ni clasifican los residuos, incrementando la cantidad de residuos sólidos, que son recolectados y transportados al relleno sanitario, por ende la vida útil de la celda, donde son depositados los residuos sólidos para la disposición final, disminuye. A la vez, el volumen de lixiviados aumenta, debido a la alta precipitación de la zona, esto dificulta el almacenamiento y tratamiento de los lixiviados.

El sistema de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón Santo Domingo tiene dificultades operativas. El sistema biológico tiene deficiencias, ya que la aplicación de bacterias no siempre cumple con la frecuencia de aplicación establecida, el sistema de distribución mediante difusores de burbuja fina, suelen taponarse o no trabajan por fallas de energía eléctrica; también debido a la terminación de la vida útil de las bombas o por desperfectos, estas son cambiadas y deja de ser continuo el sistema de bombeo. La Planta de tratamiento primario suele tener desperfectos en el tablero, lo ideal es operar con dos bombas dosificadoras, pero solo se está operando con una, lo que hace que el sistema no sea óptimo, los mantenimientos y purgas no se realizan conforme a lo establecido por el fabricante, esto debido a la falta de personal.

Además, la Planta de tratamiento VSEP actualmente tiene constantes paralizaciones por falla de sensores de presión y flujo que ya cumplieron su vida útil, en el mes de noviembre 2019 por asesoría y recomendación de la Fabricante New Logic Research, se realizó la modificación

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

de ubicación de un sensor principal de nivel de tanque, que bloqueaba el arranque de la planta, por lo que una vez modificada su posición y calibrado en su nueva ubicación, permitió el reinicio de funcionamiento del módulo automático VSEP. Sin embargo el problema de falla de sensores continúa, convirtiendo algunos procesos de bombeo que eran automáticos controlado por sensores, en operaciones manuales, especialmente las operaciones de lavado y limpieza de filtros, por lo que la adquisición de estos repuestos sigue siendo un requerimiento principal. Todo lo anteriormente descrito, hace que no se logró un óptimo tratamiento de los lixiviados.

El presente trabajo tuvo por objetivo tratar los lixiviados del relleno Sanitario del cantón Santo Domingo, mediante el proceso de oxidación química con peróxido de calcio para la reducción de la carga contaminante oxidativa, esto se aplicó a varias muestras de lixiviado crudo y de lixiviado pretratado. Los objetivos específicos fueron: evaluar los parámetros físico-químicos en muestras de lixiviado antes y después de la aplicación de peróxido de calcio; determinar la eficiencia de la aplicación del reducción de la carga contaminante oxidativa en el lixiviado producto de la aplicación de peróxido de calcio y; calcular la carga contaminante de las muestras de lixiviado antes y después del tratamiento químico utilizando la normativa ambiental vigente, para establecer la necesidad de otros tratamientos.

La Oxidación química es el método de tratamiento más utilizado en procesos de remediación, como un método alternativo a las técnicas tradicionales. En la actualidad se está recurriendo, con mayor frecuencia, al uso de las tecnologías de procesos de oxidación avanzada. Estos procesos 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 más rápido que oxidantes alternativos como el  $O_3$  (Córdova Jácome, 2018).

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

El peróxido de calcio tiene como principal uso el pretratamiento o 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. El peróxido de calcio es un producto químico sólido, de color amarillo pálido, oxidante sólido granular o en polvo, utilizado como fuente de oxígeno, al igual que el peróxido de hidrógeno. Cuando es 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. El peróxido de calcio no es persistente en el ambiente y se descompone lentamente para formar hidróxido de calcio y oxígeno (Solvay Chemicals, 2010).

Debido a las propiedades del Peróxido de calcio en beneficio y protección del medio ambiente, la hipótesis de trabajo estableció que la oxidación de los lixiviados del relleno sanitario del cantón Santo Domingo utilizando peróxido de calcio disminuye la carga contaminante medida a través de parámetros físicos y químicos.

Durante la investigación se evaluaron los parámetros físico-químicos en muestras de lixiviado antes y después de la aplicación de peróxido de calcio por cuatro días muestreados de forma aleatoria (pH, Oxígeno disuelto, Sulfuros, Conductividad eléctrica, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica Oxígeno, Color real); mediante variables estadísticas se determinó la eficiencia de la reducción de la carga contaminante oxidativa en el lixiviado producto de la aplicación de peróxido de calcio en las muestras de lixiviado antes y después del tratamiento químico, utilizando la normativa ambiental vigente – Acuerdo Ministerial 097-A, Registro Oficial Edición Especial 387 del 04 de noviembre del 2015, Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes al Recurso Agua, para establecer la necesidad de otros tratamientos y/o usos.

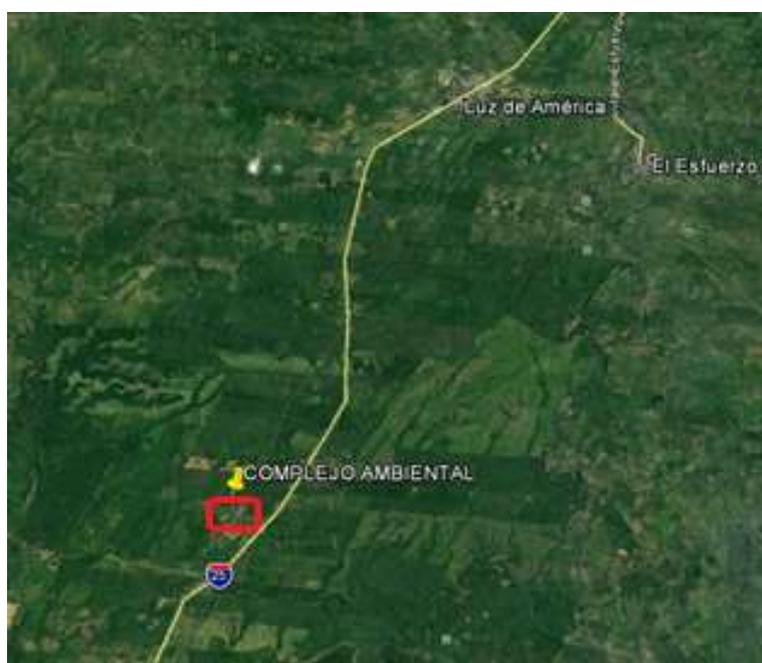
El resultado de la investigación es de utilidad para el GAD Municipal Santo Domingo, para su gestión y aplicación, en caso de considerarlo oportuno.

# TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

## Métodos

### a) Descripción del área de estudio

El Complejo Ambiental para la disposición final de los residuos sólidos del cantón Santo Domingo, se encuentra localizado en la Parroquia rural Luz de América en el Km. 32 de la vía Santo Domingo – Quevedo. Para la gestión de los residuos sólidos el GAD Municipal cuenta con recursos materiales y humanos.



**Ilustración 1** Ubicación geográfica – Complejo Ambiental  
Fuente: GOOGLE EARTH, 2020

### b) Trabajo de campo

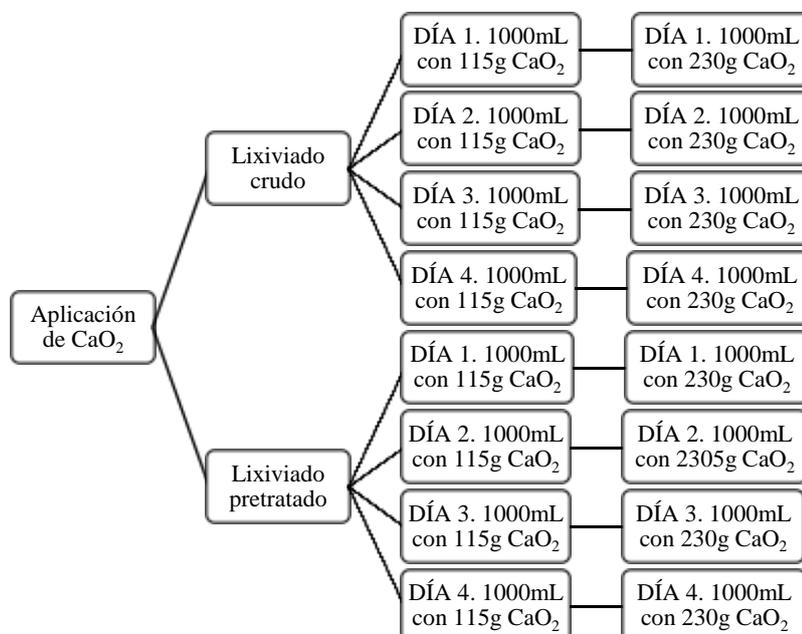
El 05, 11, 18 y 22 de mayo de 2020, se recolectaron ocho muestras de lixiviado crudo (piscina 1) y ocho muestras de lixiviado pretratado (piscina planta VSEP) un total 16 muestras, durante el mes mayo 2020. Se determinaron los parámetros in situ pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto de las muestras.

# TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

## c) Trabajo de laboratorio

### Preparación y aplicación del peróxido de calcio

Para la preparación del peróxido de Calcio se aplicó la dosis determinada por Córdova Jácome (2018), que corresponde a 75 g de  $H_2O_2$  al 50% v/v y 40 g de  $Ca(OH)_2$  (92,38% p/p). La concentración de peróxido de calcio utilizada fue de 115 g y 230 g. La dosis de peróxido de calcio se aplicó en 1000 mL de lixiviado para realizar la oxidación, dejándolo en reposo por cinco días.



**Ilustración 2** Aplicación del peróxido de calcio

Elaborado por: Katherine Villafuerte

### Análisis físico-químicos

En el laboratorio se realizó el análisis fisicoquímico del lixiviado antes y después (al quinto día) del tratamiento con peróxido de calcio. Los parámetros analizados fueron: pH, Temperatura, Oxígeno disuelto y Conductividad eléctrica (in situ); Sulfuros, Nitritos, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica Oxígeno y Color

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

real. En la Tabla 1 se presenta el método y fundamento empleado para el análisis de cada parámetro.

**Tabla 1** Métodos de análisis  
Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo

N°	PARÁMETRO	MÉTODO
1	pH	HACH HQ430D flexi
2	Oxígeno disuelto	
3	Conductividad eléctrica	
4	Temperatura	Multi-Thermometer
5	Nitritos	HACH-8507
6	Nitratos	HACH-10020
7	Nitrógeno Amoniacal	HACH-8038
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno	STM-23-Edition/ METODO APHA 5210 METODO RESPIROMÉTRICO
9	Demanda Química de Oxígeno	HACH-8000
10	Sulfuros	STM-4500-S2-F
11	Color	STM-2120 C

Elaborado por: Autor

El resultado de cada uno de los parámetros fue evaluado con el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua Tabla 9. “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”.

**Análisis de datos**

Para el análisis estadístico de los datos se calculó la media, varianza, desviación estándar, % de remoción y carga contaminante de cada uno de los parámetros (Arvelo Lujan, 2015)

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**Tabla 2** Fórmulas estadísticas

<b>FÓRMULAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>media</i> $\mu = \frac{\sum x}{N}$	Donde: x=datos
<i>Varianza</i> $\sigma^2 = \frac{\sum(x - \mu)^2}{N}$	N= número de muestras
<i>Desviación estándar</i> $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	
<i>Porcentaje de remoción</i> $= \frac{(Co - Cf)}{Co} * 100$	Donde: Co= Concentración inicial Cf = Concentración final
<i>Carga contaminante</i> $\omega = Q * C$	Donde: Q= caudal C= concentración

Elaborado por: Katherine Villafuerte

**Análisis de costo**

El análisis de costo para el tratamiento de lixiviados del Complejo Ambiental, se realizó calculando el valor por pastilla de peróxido de calcio, tomando de referencia el precio del hidróxido de calcio y del peróxido de hidrógeno, adicionalmente se determinó la cantidad de peróxido de calcio que debe ser aplicado al volumen real de las piscinas de almacenamiento de lixiviados.

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**Resultados**

Durante cuatro días, en total, se recolectaron 16 muestras de lixiviado de las piscinas de lixiviado crudo y lixiviado pretratado del Complejo Ambiental de Santo Domingo, es decir, cuatro muestras por día para la aplicación del peróxido de calcio. Se realizó el análisis físico-químico de los parámetros: pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Sulfuros, Conductividad eléctrica, Nitritos, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica Oxígeno y Color real. En la Tabla 3, se presentan los resultados promedio de los parámetros analizados, y en la Ilustración 5, los resultados comparados con la normativa ambiental vigente; en el Anexo A están los cálculos estadísticos con los resultados por día respecto a cada parámetro. En la Tabla 4 está el cálculo del porcentaje de remoción y en la Tabla 5 el resultado de la carga contaminante, correspondiente a los valores obtenidos con las dos concentraciones de peróxido de calcio, 115 g y 230 g.

**Tabla 3** Resultado promedio de lixiviado crudo y pretratado

PARÁMTERO	UNIDAD	LMP Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Tabla 9	Lixiviado crudo sin tratar	Lixiviado crudo tratado con 115g CaO <sub>2</sub>	Lixiviado crudo tratado con 230g CaO <sub>2</sub>	Lixiviado pretratado sin oxidación	Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO <sub>2</sub>	Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO <sub>2</sub>
pH		6 9	7,97	12,33	12,35	8,94	12,26	12,24
Oxígeno disuelto	mg/L	N/A	0,67	16,09	12,34	0,85	14,58	13,94
Conductividad eléctrica	mS/cm	N/A	9,99	10,36	10,14	6,31	10,08	11,24
Temperatura	°C	Condiciones normales	29	26,6	26,8	28,9	26,7	26,5
Nitritos	mg/L	N/A	81,1	0,71	0,81	43,63	0,64	0,83
Nitratos	mg/L	N/A	90,98	13,5	3,98	94,98	8,35	1,34

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

PARÁMTERO	UNIDAD	LMP Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Tabla 9	Lixiviado crudo sin tratar	Lixiviado crudo tratado con 115g CaO <sub>2</sub>	Lixiviado crudo tratado con 230g CaO <sub>2</sub>	Lixiviado pretratado sin oxidación	Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO <sub>2</sub>	Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO <sub>2</sub>
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	30	641,93	27,28	7	246,25	0,95	0,52
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	809,5	113,25	24,25	365	87,5	18,75
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	3515	3794,5	3796,75	1162,25	543,5	503,5
Sulfuros	mg/L	0,5	41,8	< 0,5	< 0,5	14,75	< 0,5	< 0,5
Color Real (D:1/20)	UC-Pt/Co	Inapreciable en disolución 1/20	637	54	20	134	18	6

Elaborado por: Katherine Villafuerte

**Tabla 4** Cálculo de Porcentaje de remoción

Dosis	%REMOCIÓN						
	Nitritos	Nitratos	Nitrógeno Amoniacal	DBO5	DQO	Sulfuros	Color real
115g CaO <sub>2</sub> Lixiviado crudo	99,12	85,14	95,75	86,01	-	98,8	91,52
230g CaO <sub>2</sub> Lixiviado crudo	99,01	95,62	98,91	97	-	98,8	96,82
115g CaO <sub>2</sub> Lixiviado pretratado	98,53	91,21	99,61	76,03	53,24	96,61	86,75
230g CaO <sub>2</sub> Lixiviado pretratado	98,13	98,54	99,79	94,86	56,68	96,61	97,71

Elaborado por: Katherine Villafuerte

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

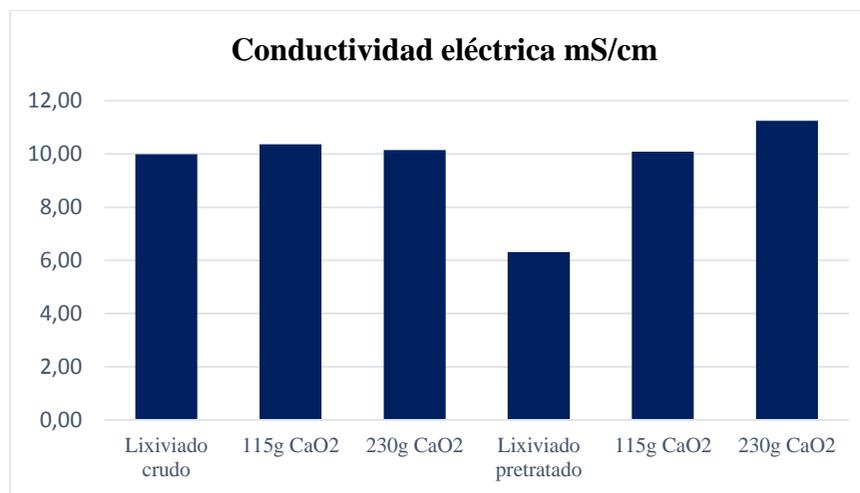
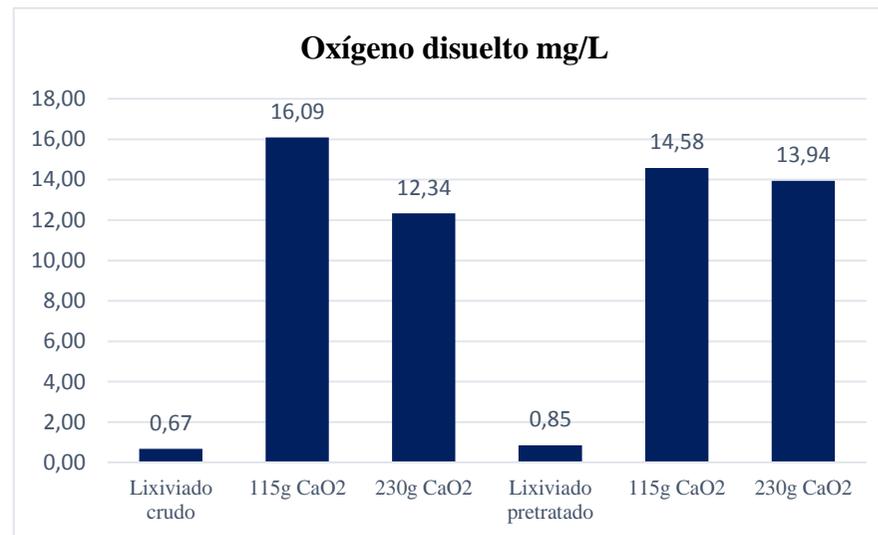
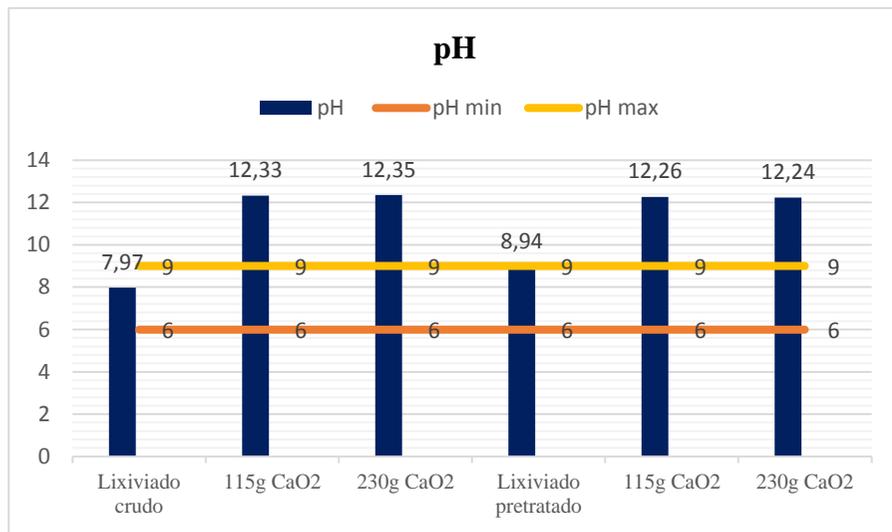
**Tabla 5** Cálculo de la Carga contaminante

Dosis	Carga contaminante masa del contaminante/tiempo					
	Nitritos	Nitratos	Nitrógeno Amoniacal	DBO5	DQO	Sulfuros
Lixiviado crudo sin tratar	3,76	4,225	29,84	37,64	163,44	1,94
115g CaO <sub>2</sub> Lixiviado crudo	0,3301	0,627	1,27	5,26	176,44	0,023
230g CaO <sub>2</sub> Lixiviado crudo	0,0376	0,185	0,33	1,127	176,54	0,023
Lixiviado pretratado	1,1649	2,535	6,57	9,74	31,03	0,39
115g CaO <sub>2</sub> Lixiviado pretratado	0,0171	0,222	0,025	2,33	14,51	0,013
230g CaO <sub>2</sub> Lixiviado pretratado	0,0218	0,036	0,013	0,5	13,44	0,013

Elaborado por: Katherine Villafuerte

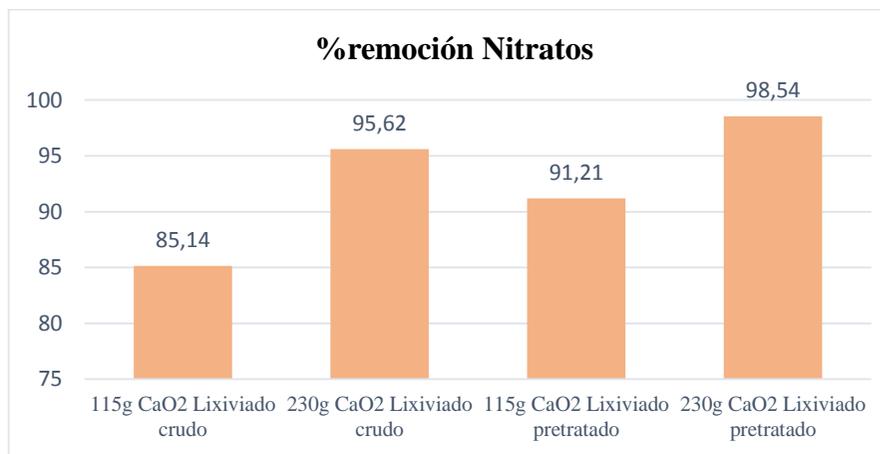
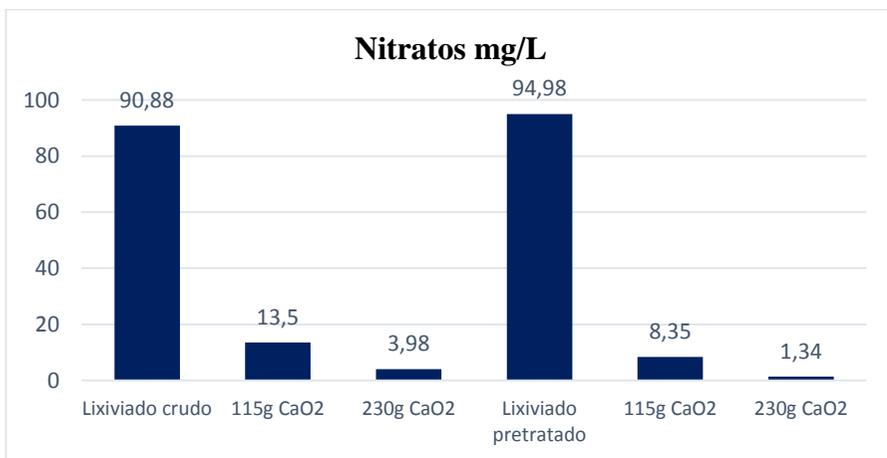
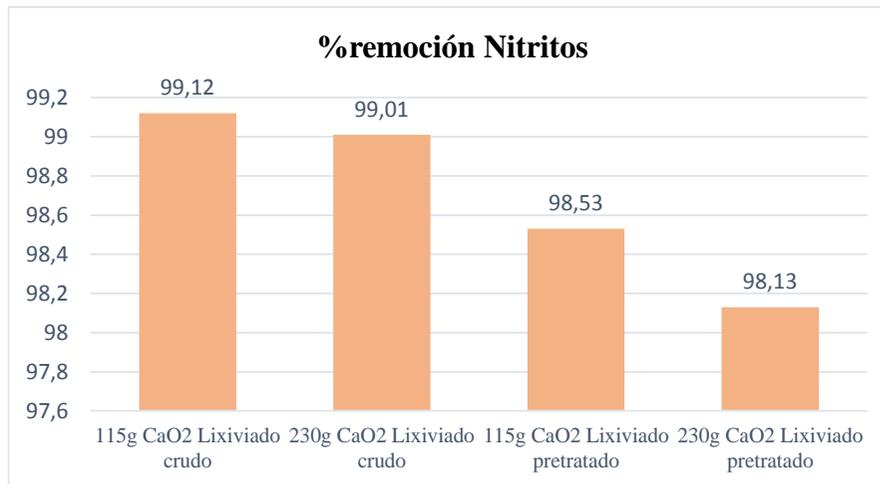
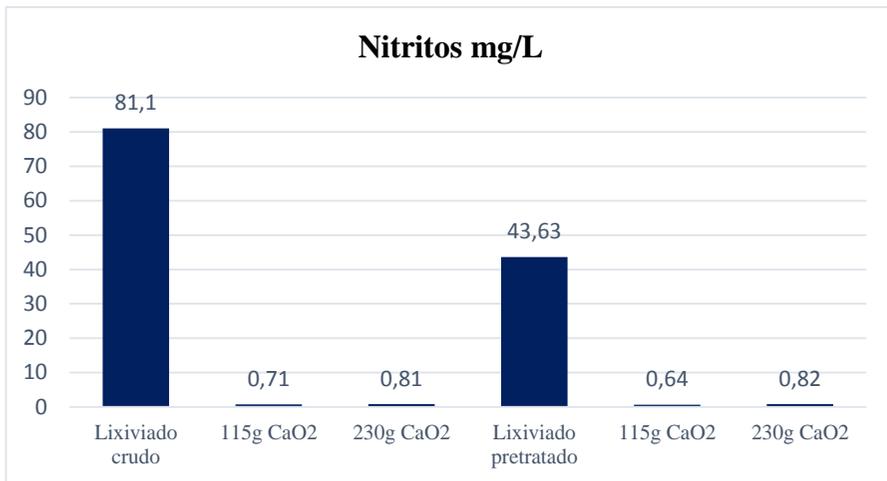
Para el cálculo de la carga contaminante se empleó el caudal promedio de entrada 46,5 m<sup>3</sup>/d y el caudal promedio salida 26,7 m<sup>3</sup>/d.

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



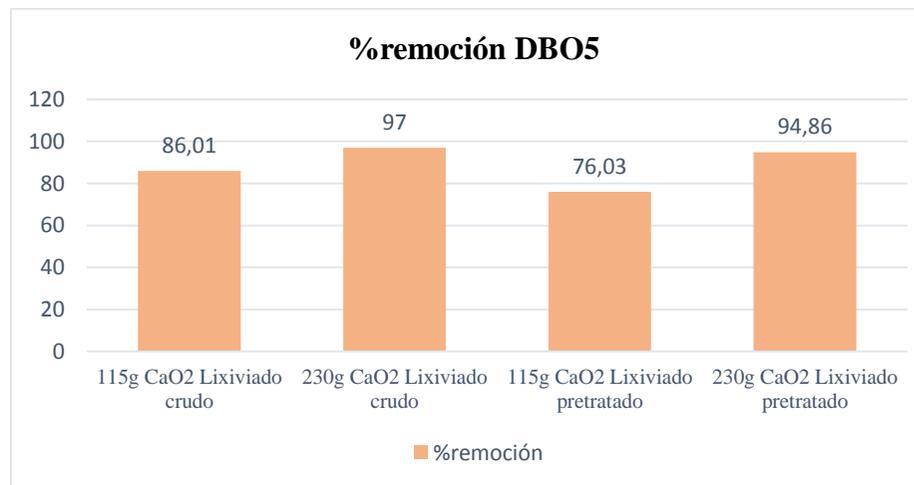
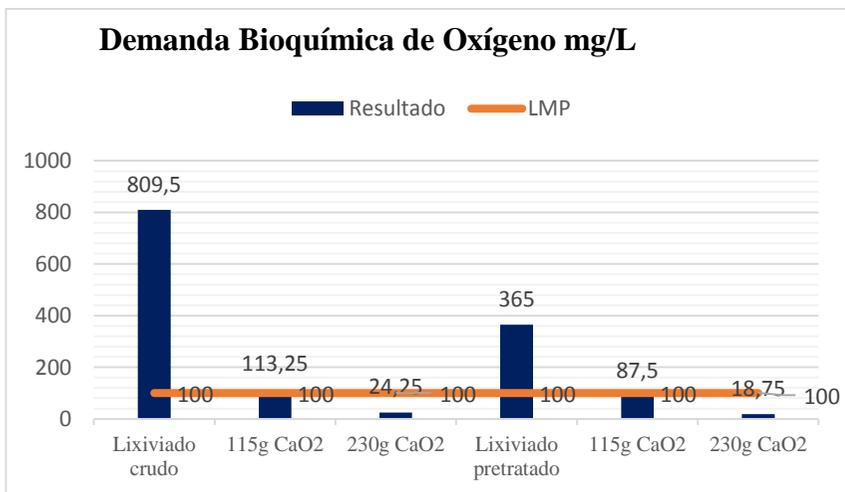
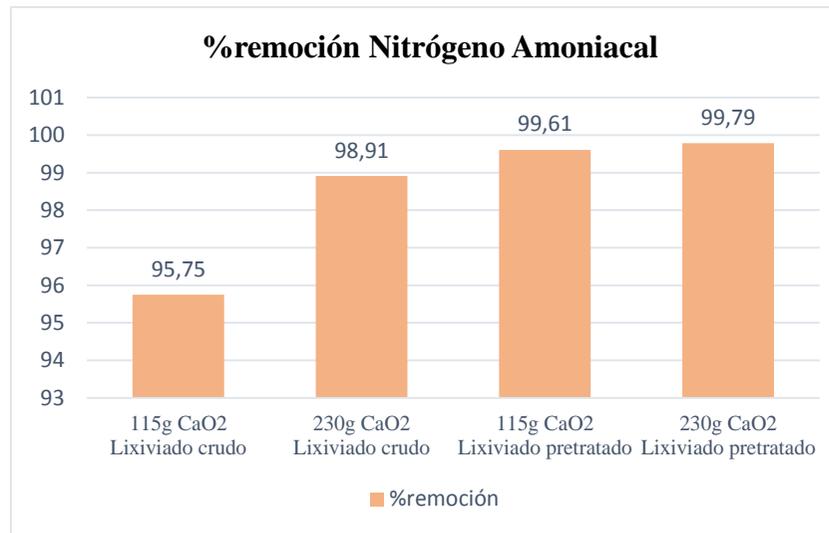
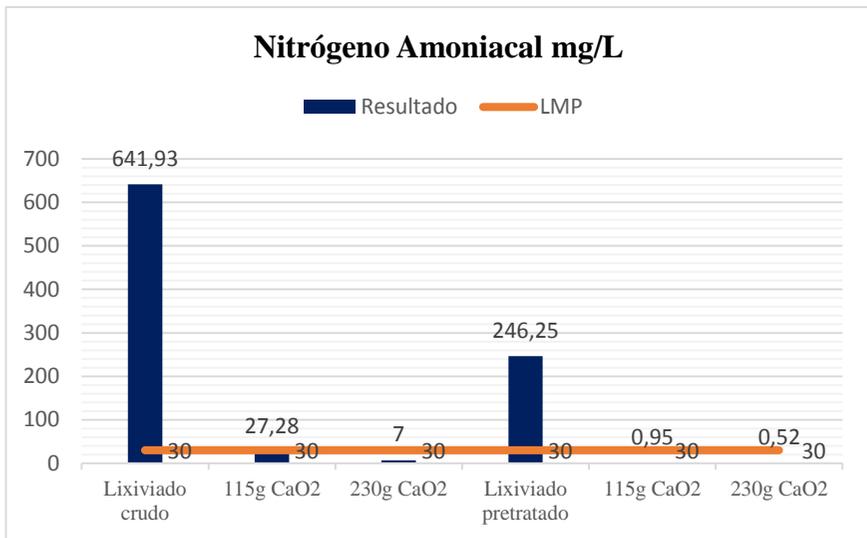
**Ilustración 3** Resultados con diferentes concentraciones comparadas con la normativa ambiental vigente y porcentajes de remoción  
Elaborado por: Katherine Villafuerte

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



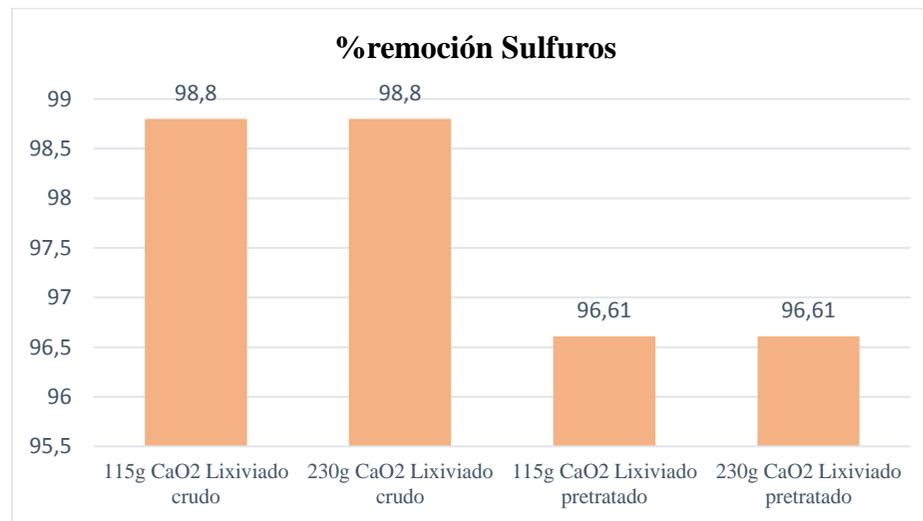
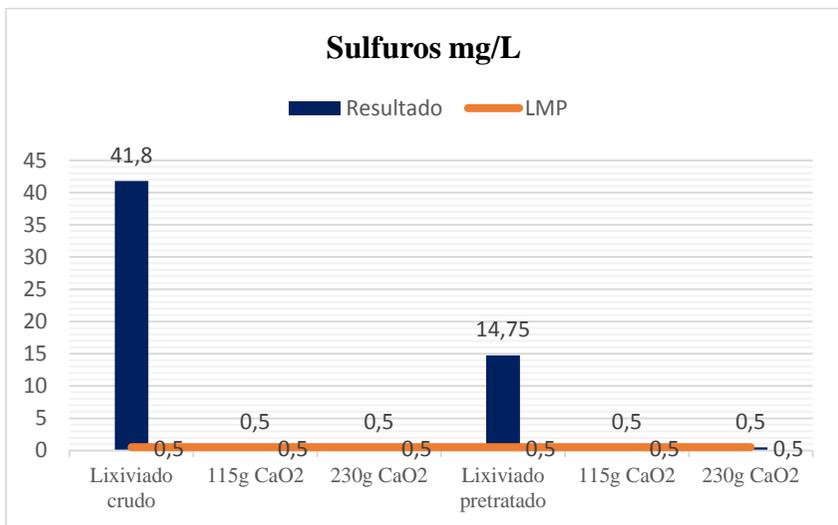
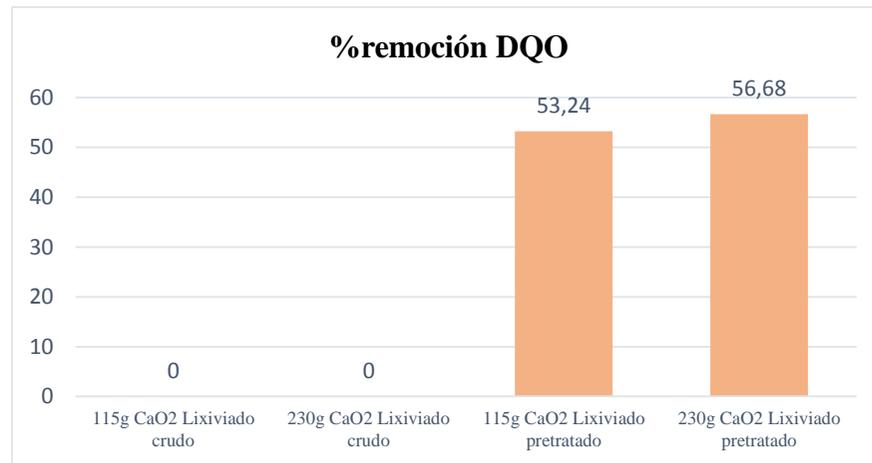
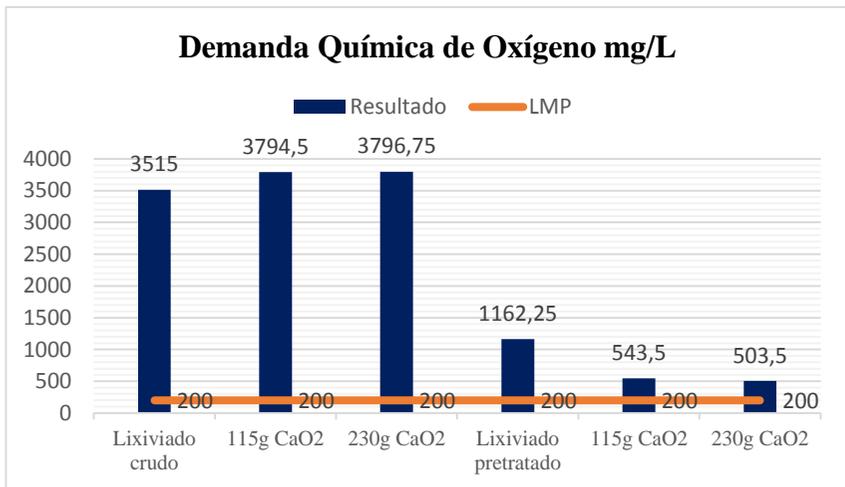
**Ilustración 3** Resultados con diferentes concentraciones comparadas con la normativa ambiental vigente y porcentajes de remoción  
Elaborado por: Katherine Villafuerte

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



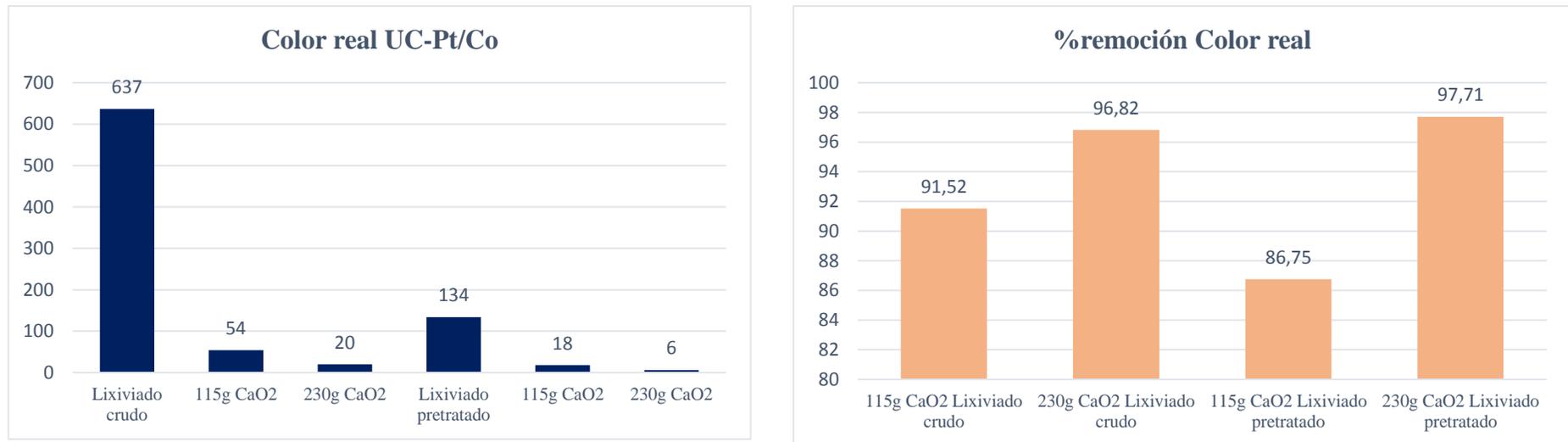
**Ilustración 3** Resultados con diferentes concentraciones comparadas con la normativa ambiental vigente y porcentajes de remoción  
Elaborado por: Katherine Villafuerte

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



**Ilustración 3** Resultados con diferentes concentraciones comparadas con la normativa ambiental vigente y porcentajes de remoción  
Elaborado por: Katherine Villafuerte

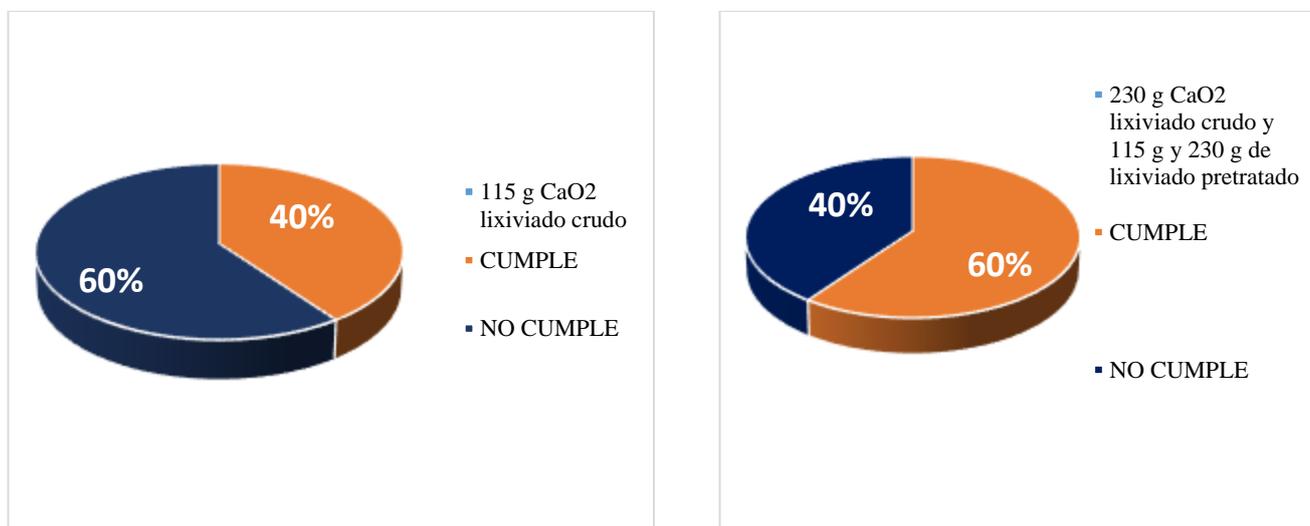
**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



**Ilustración 3** Resultados con diferentes concentraciones comparadas con la normativa ambiental vigente y porcentajes de remoción  
Elaborado por: Katherine Villafuerte

## TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

De los once parámetros analizados, cinco constan en la Tabla 9 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce” del Anexo 1 de Calidad de Agua del Acuerdo Ministerial 097-A, con su respectivo límite máximo permisible. En la Ilustración 4 se observa que con la concentración de 115 g de  $\text{CaO}_2$ , el cumplimiento con la normativa ambiental es del 40%, a diferencia de la concentración de 230 gramos de  $\text{CaO}_2$  en lixiviado crudo y con 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  en lixiviado pretratado, el cumplimiento con la normativa ambiental es del 60%.

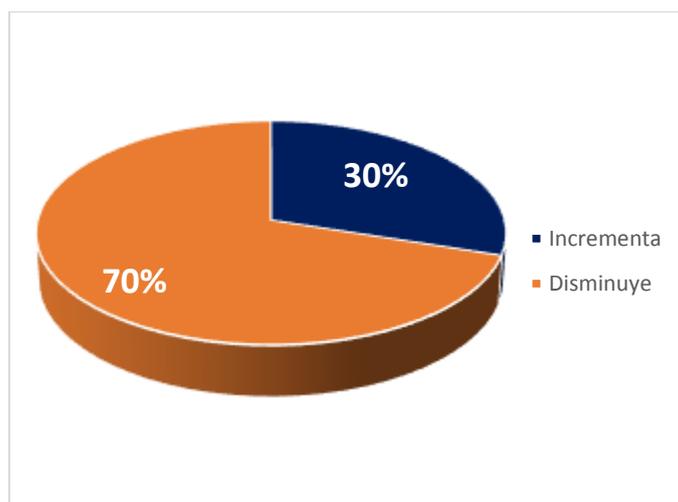


**Ilustración 4** Cumplimiento normativa ambiental vigente

Elaborado por: Katherine Villafuerte

Con los resultados promedio obtenidos del Nitritos, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sulfuros y Color Real se observa que el 70% disminuyó, en relación a los valores iniciales con el lixiviado crudo y pretratado; y el 30% aumentó, corresponde a los parámetros: pH, Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica; como se indica en la siguiente ilustración.

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



**Ilustración 5** Porcentaje de incremento y disminución de los parámetros analizados  
Elaborado por: Katherine Villafuerte

**Análisis de costos**

**Tabla 6** Reactivos, pesos y precios

Reactivo	Peso	Costo	Pastilla de CaO <sub>2</sub>
Hidróxido de calcio Ca(OH) <sub>2</sub>	25 kg	\$6,50	\$0,02
Peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	30 kg	\$33,00	\$0,04

Elaborado por: Katherine Villafuerte

Una pastilla de CaO<sub>2</sub> tiene 0,075 kg de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 0,040 kg de Ca (OH)<sub>2</sub>, ambos compuestos químicos son tipo industrial (Anexo D y Anexo E). El precio por pastilla es de \$0,06 dólares por litro de lixiviado. El volumen real de la piscina de sedimentación primaria, donde se almacena el lixiviado crudo es de 4,650 m<sup>3</sup> y el volumen real de la piscina 1-VSEP que almacena el lixiviado pretratado es de 4,725 m<sup>3</sup>.

**Tabla 7** Precio con el volumen real de las piscinas de lixiviados

Descripción	Volumen m <sup>3</sup>	Precio USD pastilla 115 g de CaO <sub>2</sub>	Precio USD pastilla 230 g de CaO <sub>2</sub>
Relación	1	\$60,00	\$120,00
Piscina de sedimentación primaria	4,650	\$279.000,00	\$558.000,00
Piscina 1-VSEP	4,725	283.500,00	567.000,00

Elaborado por: Katherine Villafuerte

## TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

### Discusión

“La temperatura puede afectar a la medida del pH porque modifica la actividad de los iones de la solución” (Quercuslab, 2018). Los valores promedio del pH en el lixiviado crudo fueron de 7,97 después de la aplicación del  $\text{CaO}_2$  los valores fueron de 12,33 y 12,35 con la dosis de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$ , respectivamente. Y en los resultados promedio del lixiviado pretratado fueron de 8,94, con la aplicación del  $\text{CaO}_2$  los valores fueron de 12,26 y 12,24 con la dosis de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$ , respectivamente. Esto se debe a que una vez liberado el oxígeno del peróxido de calcio, queda como resultante el hidróxido de calcio, por lo que el lixiviado pasa a un pH básico.

La relación de la temperatura con el pH es inversamente proporcional, ya que al disminuir la temperatura aumenta el valor del pH. La temperatura en el lixiviado crudo fue de  $29^\circ\text{C}$  y en el lixiviado pretratado  $28,9^\circ\text{C}$ , con la aplicación del peróxido de calcio disminuyó a valores de  $26^\circ\text{C}$ ; para Gallardo Jiménez (2019) esto es debido a un incremento de los iones  $\text{OH}^{1-}$  que están presentes en el peróxido de calcio. En los resultados obtenidos por Córdova Jácome (2018) con la aplicación de  $\text{CaO}_2$  en lixiviado, la relación de la temperatura y el pH fue directamente proporcional, es decir, el resultado del pH y Temperatura incrementaron. En un estudio realizado por Mendoza Salgado & López Trujillo (2004), señalan que “la relación pH - temperatura es inversamente proporcional entre el lixiviado nuevo y viejo.

La conductividad eléctrica es un parámetro físico, “es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua” (Rigola Lapeña, 1990). Los resultados promedio del lixiviado crudo fueron de 9,99 mS/cm y de lixiviado pretratado fue de 6,31 mS/cm, se observa que disminuye, pero con la aplicación del  $\text{CaO}_2$ , tanto en el lixiviado crudo como en el lixiviado

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

pretratado, el resultado aumenta, entre 10 - 11 mS/cm. El resultado del estudio de Córdova Jácome (2018) “la conductividad eléctrica 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”. A diferencia de Gallardo Jiménez (2019) donde indica que “la conductividad eléctrica disminuyó de 22,50 mS/cm a 14,17 mS/cm y 19,91 mS/cm con la concentración menor y mayor respectivamente, indicando una baja concentración de sales minerales disueltas en el líquido después del tratamiento de  $\text{CaO}_2$ ”.

El oxígeno disuelto en mg/L, expresa directamente la masa de oxígeno por litro de agua. Para Goyenola (2007), los rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes representa de 0-5 mg/L condición de hipoxia, como consecuencia tiene la desaparición de especies y organismos sensibles, y cuando el valor es  $>12$  mg/L corresponde a agua sobresaturada, como consecuencia sistemas en plena producción fotosintética. El resultado promedio tanto el lixiviado crudo y lixiviado pretratado fue de 0,67 mg/L y 0,85 mg/L, respectivamente; y luego de la aplicación del peróxido de calcio los valores van desde 12 a 16 mg/L, es decir, sobresaturado. En el estudio realizado por Córdova Jácome (2018) el oxígeno disuelto disminuyó de valores de 6 a valores bajo 0; y en el estudio de Gallardo Jiménez (2019) el oxígeno disuelto aumentó “ya que el peróxido de calcio en contacto acuoso libera oxígeno, aumentando el contenido de oxígeno disuelto en el agua”.

Los resultados promedio de nitritos, disminuyeron considerablemente con el proceso de oxidación. El resultado en Nitritos fue de 81,1 mg/L en el lixiviado crudo, con la concentración de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 0,71 mg/L (99,12% de remoción) y 0,81 mg/L (99,01% de remoción), respectivamente; en el caso del lixiviado pretratado fue de 43,63 mg/L, con la concentración de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 0,64 mg/L

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

(98,53 % de remoción) y 0,83 mg/L (98,13% de remoción), respectivamente; los resultados de este parámetro cumple con el límite máximo permisible (50 mg/L) de la Tabla 5: Criterios de Calidad de Aguas para Uso Pecuario (Anexo C). Y los nitratos fue de 90,98 mg/L en el lixiviado crudo, con la concentración de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 13,5 mg/L (85,14% de remoción) y 3,98 mg/L (95,62% de remoción), respectivamente; en el caso del lixiviado pretratado fue de 94,98 mg/L, con la concentración de 115g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 8,35 mg/L (91,21% de remoción) y 1,34 mg/L (98,64% de remoción), respectivamente. Córdova Jácome (2018), deja ver que por la oxidación los Nitratos son afectados y transformados en otras moléculas, esto también se observa con los nitritos, se efectúa una oxidación brusca pasando a transformarse en nitratos. Los resultados obtenidos de Nitratos cumplen con el límite máximo permisible de la Tabla 2: “Criterios de Calidad Admisibles para la preservación de la vida acuática y Silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario” del Acuerdo Ministerial 097A (Anexo C).

En el nitrógeno amoniacal sus valores promedios disminuyeron, el resultado fue de 641,93 mg/L en el lixiviado crudo, con la concentración de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 27,28 mg/L (95,75% de remoción) y 7 mg/L (98,91% de remoción), respectivamente; en el caso del lixiviado pretratado fue de 246,25 mg/L, con la concentración de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 0,95 mg/L (99,61% de remoción) y 0,52 mg/L (99,79% de remoción), respectivamente; en todos los resultados se observó un alto porcentaje de remoción y cumplimiento con el límite máximo permisible (30 mg/L). Según Córdova Jácome (2018) y Gallardo Jiménez (2019) los resultados en sus estudios “refleja que el nitrógeno amoniacal está presente como nitrógeno reducido, es decir como amoniaco,

## TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

dentro del proceso de oxidación, esta molécula de amoníaco se transforma en nitritos y nitratos”.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno “mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua, mediante procesos biológicos aerobios” (Rigola Lapeña, 1990). Los resultados promedio fueron de 809,5 mg/L en el lixiviado crudo, con la concentración de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 113,25 mg/L (86,01% de remoción) y 24,25 mg/L (97% de remoción), respectivamente; en el caso del lixiviado pretratado fue de 365 mg/L, con la concentración de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 87,5 mg/L (76,03% de remoción) y 18,75 mg/L (94,86% de remoción), respectivamente. En los resultados se observó alta eficiencia y cumplimiento del límite máximo permisible (100 mg/L), a excepción del valor de 113 mg/L, siendo un valor cercano a la norma. En el estudio de Gallardo Jiménez (2019), el resultado tuvo 70,15% para la primera concentración de peróxido y 93,53% de remoción para la segunda, después de realizar el tratamiento oxidativo hubo gran presencia de materia orgánica biodegradable. Y en el estudio de Córdova Jácome (2018), el parámetro disminuyó hasta cumplir la norma.

La Demanda Química de Oxígeno, “mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos tanto disueltas como en suspensión” (Baires, 2020). Los resultados promedio fueron de 3515 mg/L en el lixiviado crudo, con la concentración de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 3794,5 mg/L y 3796,75 mg/L, respectivamente, se observó un incremento del parámetro, esto pudo deberse a la presencia de sólidos disueltos, en el caso del lixiviado pretratado fue de 1162,25 mg/L, con la concentración de 115 g y 230 g de  $\text{CaO}_2$  fue de 543,5 mg/L (53,24 % de remoción) y 503,5 mg/L (56,68% de remoción), respectivamente, aquí se observó una disminución del parámetro, pero no fue suficiente para cumplir con el límite máximo permisible (200

## TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

mg/L). Para Gallardo Jiménez (2019) el porcentaje de remoción fue de 33,47% para la concentración menor y del 57,45% con la concentración mayor, es decir, mantiene relación con el resultado obtenido.

La relación entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno ( $DBO_5/DQO$ ), en el lixiviado crudo fue de 0,2 y en el lixiviado pretratado de 0,3, según Martínez Soza (2010) la relación entre parámetros  $DBO_5/DQO$  es 0,2-0,4 corresponde a un agua residual Biodegradable.

En sulfuros, los resultados promedio fueron de 41,8 mg/L en el lixiviado crudo, con la concentración de 115 g y 230 g de  $CaO_2$  fue menor a 0,5 mg/L (98,8% de remoción); en el caso del lixiviado pretratado fue de 14,75 mg/L, con la concentración de 115 g y 230 g de  $CaO_2$  igual el resultado fue menor a 0,5 mg/L (96,61% de remoción). Gallardo Jiménez (2019) “obtuvo 50% de reducción con la menor concentración y 67,19% para la mayor concentración”.

El color del agua dependerá tanto de las sustancias que se encuentren disueltas, como de las partículas que se encuentren en suspensión. Se clasifica como color verdadero al que depende solamente el agua y sustancias disueltas, mientras el aparente es el que incluye las partículas en suspensión (que a su vez generan turbidez) (Goyenola, 2007b). El color en unidad UC-Pt/Co, los resultados promedio fueron de 637 en el lixiviado crudo, con la concentración de 115 g y 230 g de  $CaO_2$  fue de 54 (91,52% de remoción) y 20 (96,82% de remoción), respectivamente; en el caso del lixiviado pretratado fue de 134, con la concentración de 115 g y 230 g de  $CaO_2$  fue de 18 mg/L (86,75 % de remoción) y 6 (97,71% de remoción), respectivamente. Se observó que con mayor concentración el valor es más bajo. Para Gallardo Jiménez (2019) “mientras mayor sea la concentración de  $CaO_2$  el color del lixiviado será menos concentrado”.

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Según Mendoza Salgado & López Trujillo (2004) la descomposición bioquímica de los lixiviados se realiza en cinco fases, la cuarta es la fase de fermentación del metano donde señala que “el pH del lixiviado, ascenderá y se reducirán las concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y la demanda química de oxígeno (DQO) y el valor de conductividad del lixiviado”, esta dinámica ocurrió con los resultados del lixiviado crudo y pretratado del Complejo Ambiental, previo a la aplicación de  $CaO_2$ .

## TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

### Conclusiones

La composición del lixiviado está influenciada por la presencia de varios factores como la temperatura, humedad, precipitación, volumen de generación, caracterización de los residuos sólidos, el sitio de almacenamiento, entre otros; se realizó la evaluación del análisis físico-químico de los parámetros antes y después de la aplicación del peróxido de calcio.

El tratamiento de lixiviados mediante oxidación química posee una mayor factibilidad termodinámica y una velocidad de oxidación incrementada por la participación de radicales, principalmente el radical hidrilo,  $(OH)^{\cdot}$ , la aplicación de peróxido de calcio ( $CaO_2$ ) tiene como principal uso el pretratamiento o el acondicionamiento en remediación del agua, estimulando la degradación microbiana aerobia en agua.

La relación de la temperatura con el pH fue inversamente proporcional, ya que al disminuir la temperatura aumenta el valor del pH. El Oxígeno disuelto en las muestras iniciales indicaron una condición de hipoxia, el resultado promedio tanto el lixiviado crudo y lixiviado pretratado fue de 12 a 16 mg/L, es decir, sobresaturado. Y en la conductividad se observó un incremento luego de la aplicación del  $CaO_2$ , esto pudo ser debido a que aumenta la cantidad de iones en solución. La conductividad eléctrica está en función de la carga iónica presente y del pH de la solución, en este caso el peróxido de calcio ( $CaO_2$ ), libera oxígeno y se reduce hasta hidróxido  $Ca(OH)_2$ , y  $CaCO_3$ , que eleva el pH, y en solución alcalina y saturada los iones  $OH^-$  y  $Ca^{++}$ , se forman por redisolución, de sales incrementando el valor de la conductividad.

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Los resultados de Nitrógeno amoniacal, Nitratos y Nitritos disminuyeron considerablemente, durante el proceso de oxidación, el nitrógeno pasó a nitrito y este a nitrato, es decir, el proceso de oxidación fue efectivo para este tipo de moléculas. El porcentaje de remoción con la concentración de 115 g de  $\text{CaO}_2$  de lixiviado pretratado y con la concentración de 230 g de  $\text{CaO}_2$  en lixiviado crudo y pretratado fue mayor al 90%.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno disminuyó con todas las concentraciones en ambos lixiviados, crudo y pretratado, esto es debido a que el carbono orgánico se oxida en presencia del peróxido de calcio, transformando en sus formas inorgánicas estables  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_3$ , mediante una reacción exotérmica; se observó que con mayor concentración los porcentajes de remoción fueron aproximadamente 95%, además la relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  en los dos casos de lixiviado crudo y pretratado su coeficiente es mayor a 0,2 con lo que se concluyó que es un lixiviado oxidable. Pero en el caso de la Demanda Química de Oxígeno, en el lixiviado crudo aplicado el  $\text{CaO}_2$  con sus dos concentraciones el valor incrementó, puede ser debido a que al agregar altas concentraciones de oxidante, se incrementa los iones calcio divalente, que suma a la presencia de sales de cloruros, carbonatos, sulfatos, nitratos, nitritos, propios de un lixiviado que interfieren consumiendo más dicromato de potasio, que es el agente oxidante en la valoración de la DQO; y, en el lixiviado pretratado con la menor y mayor concentración se obtuvo una disminución mayor al 50%, siendo el más alto, el valor con la concentración mayor, que correspondió al 56%.

En el resultado de sulfuros también se observó una disminución, obteniéndose un porcentaje de remoción de más de 90%, con la menor concentración se obtuvo un valor de 98,8%. El color del lixiviado crudo y pretratado disminuyó, eso se pudo observar al finalizar los cinco días, ya que el color cambio, esto también se pudo observar de manera

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

visual; se obtuvo un porcentaje de remoción del 97% en el lixiviado pretratado con la concentración mayor, así mismo los otros resultados fueron aproximadamente por el 90% de remoción.

Con los resultados promedio se logró que los Nitritos, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sulfuros y Color real disminuyeron el 70%, en relación a los valores iniciales con el lixiviado crudo y pretratado, es decir, la carga contaminante decreció; y el 30% aumentó, corresponde a los parámetros: pH, Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica. Los mejores resultados se obtuvieron con la concentración mayor de peróxido de calcio.

El Gobierno Municipal de Santo Domingo en el tratamiento primario de lixiviados y en la planta VSEP, el valor por metro cúbico es de \$8,00 y \$16,22 dólares, respectivamente; es decir, un total de \$24,22 dólares. Para la implementación del peróxido de calcio como tratamiento de lixiviados, el valor de una pastilla de 115 g de  $\text{CaO}_2$  es de \$0,06 dólares por litro de lixiviado, el valor por metro cúbico es de \$60,00 dólares y de \$120,00 dólares (pastilla de 230 g de  $\text{CaO}_2$ ).

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

### **Recomendaciones**

El peróxido de calcio sirve como pre-tratamiento de los lixiviados, ya que se obtuvo una disminución considerable de la carga contaminante, alcanzando un alto porcentaje de remoción - eficiencia, pero no todos los parámetros cumplen con los límites máximos permisibles, es decir, se requeriría de un tratamiento complementario como filtración, u otros que garanticen el cumplimiento de la normativa para la descarga a un cuerpo de agua dulce.

La aplicación de peróxido de calcio en las piscinas del Complejo Ambiental, es recomendable en el lixiviado pretratado, ya que se obtuvieron mejores resultados en la reducción de la carga contaminante como se señaló en la Tabla 5 y los porcentajes de remoción fueron altos, alcanzando mayor eficiencia.

De acuerdo a los gastos operativos que se llevan a cabo en el Complejo Ambiental para el tratamiento de lixiviados, las autoridades deben analizar el costo beneficio que implicaría la implementación de este tratamiento químico, mediante la aplicación de peróxido, considerando el precio establecido en el presente estudio.

La alta humedad de la zona, el diseño de los cubetos a manera de trinchera, genera condiciones anaeróbicas rápidamente en el mismo cubeto, lo que facilita la degradación del nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal, la reducción de sulfatos en sulfuros, los mismo que en concentraciones promedios actuales N-NH<sub>3</sub> (400- 800 mg/l); H<sub>2</sub>S (41.8 mg/l); generan toxicidad inhibiendo el desarrollo biológico lo que dificulta mejorar su tratamiento en las piscinas, por esta razón una oxidación controlada del lixiviado crudo con peróxido de calcio, permitirá bajar el nitrógeno amoniacal, aportar con oxígeno molecular disuelto para estimular el desarrollo microbiano.

## **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Como demuestran los resultados de las caracterizaciones, también es posible combinar los procesos biológicos con un proceso de oxidación con peróxido de calcio con el lixiviado pre-tratado, con el cuál se alcanza un mayor porcentaje de cumplimiento de la normativa ambiental.

Una vez concluido los cinco días de aplicado el peróxido de calcio en el lixiviado crudo y pretratado, se observó un sobrante, con lo que se podría decir que la oxidación del lixiviado se puede generar con una concentración menor de peróxido de calcio, para ello se debería realizar un estudio aplicando concentraciones menores; y se podría ocupar el sobrante en otro volumen de lixiviado para analizar su capacidad oxidativa, esto haría que los costos de tratamiento empleando peróxido de calcio sea menor a \$60,00 dólares por metro cúbico.

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**Referencias Bibliográficas**

- Arvelo Lujan, Á. F. (2015). *Medidas de dispersión*. Obtenido de <https://vdocuments.mx/medidas-de-dispersion-arvelo.html>
- Astorga del Canto, C. F. (2018). *TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE UN RELLENO SANITARIO: PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES*. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152920/Tratamiento-de-lixiviados-de-un-relleno-sanitario-Propuesta-y-evaluaci%C3%B3n-de-un-sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baires. (abril de 2020). *Los parámetros más importantes en la caracterización del agua*. Obtenido de <https://www.bairesanalitica.com/dbo-demanda-bioquimica-de-oxigeno-dqo-demanda-quimica-de-oxigeno---news--5-11>
- Climate-Data. (2020). Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-santo-domingo-de-los-tsachilas/santo-domingo-de-los-tsachilas-2979/>
- Contreras, M. (2008). Evaluación de experiencias locales urbanas desde el concepto de sostenibilidad: el caso de los desechos sólidos del municipio de Los Patios. Santader, Colombia.
- Córdova Jácome, A. (2018). *Tratamiento fisicoquímico del lixiviado del relleno sanitario Romerillos de la ciudad de Machachi, mediante procesos de Óxido Reducción con peróxido de calcio*. Obtenido de <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

EarthGreen S.A. (2016). ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE LAS PLANTAS PROCESADORAS PARA DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SÓLIDOS, PLANTA DE TAMIZAJE, ENSACADO DE COMPOST Y ENFARDADORA DEL COMPLEJO AMBIENTAL . Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Gallardo Jiménez, D. A. (2019). *REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE EL INGA MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO.* Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3524/1/Tesis%20Final%20Daniela%20Gallardo.pdf>

Giraldo, E. (1997). *TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS: AVANCES RECIENTES.* Obtenido de Universidad de los Andes: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/viewFile/538/718>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santo Domingo. (2016). Manual de Operación del Contrato: Implementación y Operación del Tratamiento Primario de Lixiviados para la ciudad de Santo Domingo. Santo Domingo.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santo Domingo. (13 de febrero de 2020). Informe - Lixiviados generados y funcionamiento de la Planta VSEP del Complejo Ambiental de Santo Domingo. Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Goyenola, G. (2007). *Oxígeno Disuelto*. Obtenido de [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf)

Goyenola, G. (2007b). Obtenido de [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/transparencia\\_color\\_%20turbidez.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/transparencia_color_%20turbidez.pdf)

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos*. Quito.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2017). *Gestión de Residuos Sólidos GAD Municipales*. Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_2017/Residuos\\_solidos\\_2017/PRESENTACION\\_RESIDUOS\\_2017.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2017/Residuos_solidos_2017/PRESENTACION_RESIDUOS_2017.pdf)

Jaramillo, J. (1999). *Gestión integral de residuos sólidos municipales-GIRSM. Seminario Internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI*. Medellín.

Martínez Soza, L. (2010). *Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10383/Annex.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Mendoza Salgado, P., & López Trujillo, V. (2004). *ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA Y SU RESPUESTA BAJO TRATAMIENTO EN FILTRO ANAEROBIO PILOTO DE FLUJO*

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

*ASCENDENTE*. Obtenido de ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA Y SU RESPUESTA BAJO TRATAMIENTO EN FILTRO ANAEROBIO PILOTO DE FLUJO ASCENDENTE

Mosquera Quintero, G., Canchingre Bone, M., & Morales Pérez, M. (2014). *Evaluación de los impactos ambientales generados por el vertedero de residuos sólidos del cantón Atácame, Ecuador*. Obtenido de <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=20&sid=b501b316-37f1-4f6b-9d87-e63051841b51%40pdc-v-sessmgr05>

Ojeda, Lozano, & Quintero, W. (2008). Generación de residuos sólidos domiciliarios por periodo estacional: el caso de una ciudad mexicana. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Castellón .

Quercuslab. (junio de 2018). *Efectos de la temperatura en la medida del pH*. Obtenido de <https://quercuslab.es/blog/efectos-de-la-temperatura-en-la-medida-del-ph/>

Rigola Lapeña, M. (1990). *TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES : AGUAS DE PROCESO Y RESIDUALES*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=fQcXUq9WFC8C&pg=PA29&lpg=PA29&dq=la+temperatura+es+inversamente+proporcional+al+pH&source=bl&ots=O4luV22H87&sig=ACfU3U1JVi-CKu1cppFod1K-uTRSApsh-g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjnrSxbrO7pAhVMh-AKHQ9SDLsQ6AEwBHoECAwQAQ#v=onepag>

Salvato, J., Nemerow, N., & Agardy , F. (2003). Environmental Engineering. New York.

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Solvay Chemicals. (2010). *IXPER 60C Calcium Peroxide IXPER 60C Calcium Peroxide*.

*1-7.*

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**ANEXO A  
CÁLCULO DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**Resultado de los cálculos estadísticos con cada parámetro analizado**

<b>pH</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	7,83	12,44	12,55	8,87	12,57	12,63
día 2	8,18	12,42	12,32	9,03	12,21	12,04
día 3	7,96	12,23	12,11	9,20	12,01	11,87
día 4	7,92	12,23	12,42	8,66	12,26	12,43
<b>MEDIA</b>	7,97	12,33	12,35	8,94	12,26	12,24
<b>VARIANZA</b>	0,022	0,013	0,034	0,053	0,054	0,122
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>	0,149	0,116	0,186	0,230	0,232	0,349

<b>Oxígeno Disuelto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	mg/L	0,40	16,39	12,61	0,13	16,89	13,18
día 2		0,71	16,90	12,32	1,41	12,02	14,38
día 3		0,97	15,80	12,01	1,69	12,48	14,97
día 4		0,60	15,28	12,43	0,15	16,92	13,23
<b>MEDIA</b>		0,67	16,09	12,34	0,85	14,58	13,94
<b>VARIANZA</b>		0,056	0,495	0,063	0,676	7,258	0,779
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>		0,238	0,704	0,252	0,822	2,694	0,882

<b>Conductividad eléctrica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	mS/cm	10,04	9,27	10,43	6,82	10,52	11,43
día 2		9,78	11,38	9,86	5,82	9,62	11,01
día 3		9,89	11,66	10,02	5,97	9,86	11,26
día 4		10,23	9,12	10,25	6,64	10,31	11,26
<b>MEDIA</b>		9,99	10,36	10,14	6,31	10,08	11,24
<b>VARIANZA</b>		0,038	1,819	0,063	0,242	0,169	0,030
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>		0,195	1,349	0,251	0,491	0,411	0,173

<b>Temperatura</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	°C	30,5	26,3	26,5	28,2	26,7	26,5
día 2		27,9	26,4	26,5	29,3	26,6	26,4
día 3		27,9	26,2	26,7	29,8	26,7	26,4
día 4		29,5	27,3	27,5	28,4	26,9	26,6
<b>MEDIA</b>		29,0	26,6	26,8	28,9	26,7	26,5
<b>VARIANZA</b>		1,637	0,257	0,227	0,569	0,016	0,009
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>		1,279	0,507	0,476	0,754	0,126	0,096

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**Resultado de los cálculos estadísticos con cada parámetro analizado**

<b>Nitritos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	mg/L	125,00	0,55	0,88	64,00	0,74	0,97
día 2		22,40	0,95	0,69	2,72	0,52	0,44
día 3		67,00	0,87	0,87	45,8	0,59	0,92
día 4		110,00	0,47	0,78	62,00	0,72	0,94
<b>MEDIA</b>		81,10	0,71	0,81	43,63	0,64	0,82
<b>VARIANZA</b>		2135,640	0,055	0,008	810,244	0,011	0,064
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>		46,213	0,236	0,089	28,465	0,105	0,253
<b>%REMOCIÓN</b>	<b>%</b>	-	99,12	99,01	-	98,53	98,13
<b>CARGA CONTAMINANTE</b>	<b>kg/d</b>	3,76	0,3301	0,0376	1,1649	0,0171	0,0218

<b>Nitratos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	mg/L	87,3	12,5	4,6	147,00	9,8	1,5
día 2		89,4	14,7	2,67	68,30	8,67	1,23
día 3		94,6	13,8	3,75	79,33	8,94	1,76
día 4		92,2	13	4,9	85,3	5,98	0,87
<b>MEDIA</b>		90,88	13,50	3,98	94,98	8,35	1,34
<b>VARIANZA</b>		10,196	0,927	1,00	1252,176	2,723	0,145
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		3,193	0,963	1,00	35,386	1,650	0,381
<b>%REMOCIÓN</b>	<b>%</b>	-	85,14	95,62	-	91,21	98,59
<b>CARGA CONTAMINANTE</b>	<b>kg/d</b>	4,225	0,627	0,185	2,535	0,222	0,036

<b>Nitrógeno Amoniacal</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	mg/L	745	32,1	23,4	91	0,95	0,85
día 2		561,4	24	0,53	289	0,97	0,22
día 3		621,3	26	2,03	312	0,98	0,24
día 4		640	27	2,02	293	0,91	0,78
<b>MEDIA</b>		641,93	27,28	7,00	246,25	0,95	0,52
<b>VARIANZA</b>		5845,9425	11,9025	120,1074	10812,9167	0,0010	0,1150
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		76,4588	3,4500	10,9594	103,9852	0,0310	0,3391
<b>%REMOCIÓN</b>	<b>%</b>	-	95,75	98,91	-	99,61	99,79

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

<b>CARGA CONTAMINANTE</b>	kg/d	29,84	1,27	0,33	6,57	0,025	0,013
---------------------------	------	-------	------	------	------	-------	-------

**Resultado de los cálculos estadísticos con cada parámetro analizado**

<b>DBO5</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	mg/L	867	127	28	370	92	22
día 2		760	102	21	380	89	18
día 3		821	112	24	365	85	15
día 4		790	112	24	345	84	20
<b>MEDIA</b>		809,5	113,25	24,25	365	87,5	18,75
<b>VARIANZA</b>		2089,67	106,25	8,25	216,67	13,67	8,92
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		45,71	10,31	2,87	14,72	3,70	2,99
<b>%REMOCIÓN</b>	%	-	86,01	97,00	-	76,03	94,86
<b>CARGA CONTAMINANTE</b>	kg/d	37,64	5,26	1,127	9,74	2,33	0,5

<b>DQO</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	mg/L	4150	4480	4370	889	424	394
día 2		2750	3025	3120	1250	580	540
día 3		3240	3543	3602	1650	765	710
día 4		3920	4130	4095	860	405	370
<b>MEDIA</b>		3515	3794,5	3796,75	1162,25	543,5	503,5
<b>VARIANZA</b>		409366,667	412617,667	304495,583	137206,917	27952,333	24595,667
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		639,818	642,353	551,811	370,415	167,190	156,830
<b>%REMOCIÓN</b>	%	-	-7,95	-8,02	-	53,24	56,68
<b>CARGA CONTAMINANTE</b>	kg/d	163,44	176,44	176,54	31,03	14,51	13,44

<b>Sulfuros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	mg/L	48	<0,5	<0,5	28,6	<0,5	<0,5
día 2		34,8	<0,5	<0,5	2,4	<0,5	<0,5
día 3		39,4	<0,5	<0,5	4,8	<0,5	<0,5
día 4		45	<0,5	<0,5	23,2	<0,5	<0,5
<b>MEDIA</b>		41,80	0,5	0,5	14,75	0,5	0,5
<b>VARIANZA</b>		34,48	0	0	171,58	0	0
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		5,87	0	0	13,10	0	0
<b>%REMOCIÓN</b>	%	-	98,80	98,80	-	96,61	96,61

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

<b>CARGA CONTAMINANTE</b>	kg/d	1,94	0,023	0,023	0,39	0,013	0,013
---------------------------	------	------	-------	-------	------	-------	-------

**Resultado de los cálculos estadísticos con cada parámetro analizado**

<b>Color real</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lixiviado crudo sin tratar</b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado crudo tratado con 230g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado sin oxidación</b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 115g CaO<sub>2</sub></b>	<b>Lixiviado pretratado oxidado con 230g CaO<sub>2</sub></b>
día 1	UC-Pt/Co	749	67	25	120	16	5
día 2		507	43	16	150	21	7
día 3		620	51	20	136	17	6
día 4		670	55	20	130	17	5
<b>MEDIA</b>		637	54	20	134	18	6
<b>VARIANZA</b>		10273,667	100,000	13,583	157,333	4,917	0,917
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		101,359	10,000	3,686	12,543	2,217	0,957
<b>%REMOCIÓN</b>	<b>%</b>	-	91,52	96,82	-	86,75	95,71

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**ANEXO B  
REGISTRO FOTOGRÁFICO**

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



**Imagen 1** Elaboración del  $\text{CaO}_2$   
Fuente: Katherine Villafuerte



**Imagen 2** Tomo de muestras en las piscinas de lixiviado crudo y lixiviado pretratado  
Fuente: Katherine Villafuerte

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



**Imagen 3** Muestra de lixiviado pretratado y lixiviado crudo  
Fuente: Katherine Villafuerte

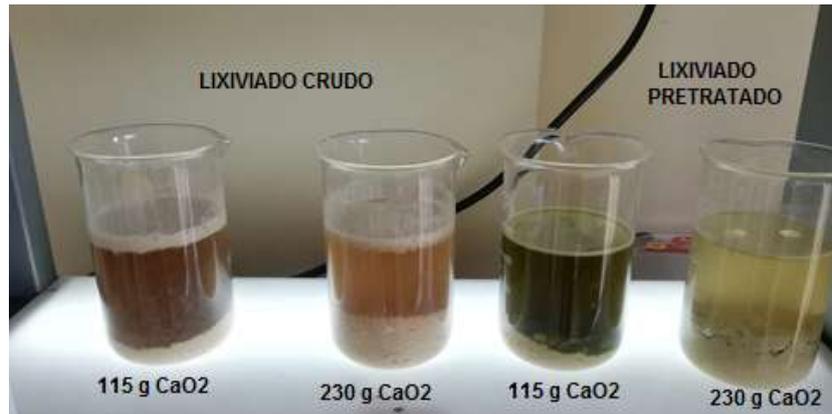


**Imagen 4** Aplicación de  $\text{CaO}_2$   
Fuente: Katherine Villafuerte

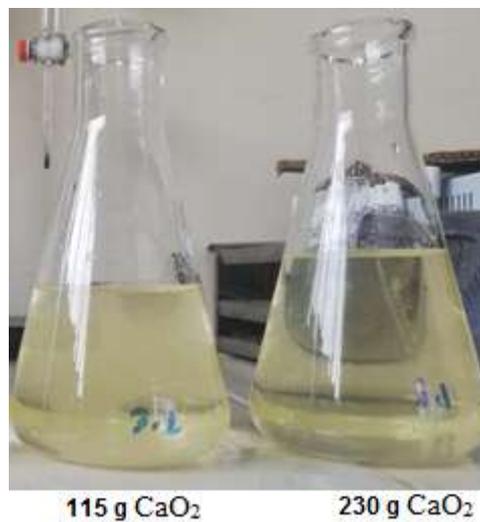


**Imagen 5** Reacción minutos después de la aplicación de peróxido de calcio  
Fuente: Katherine Villafuerte

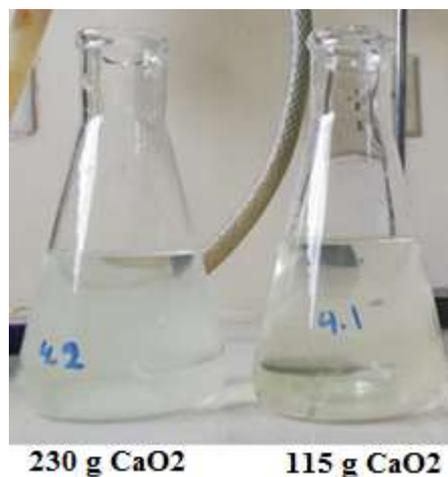
**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



**Imagen 6** Lixiviado crudo y pretratado con peróxido de calcio  
Fuente: Katherine Villafuerte



**Imagen 7** Lixiviado crudo al quinto día  
Fuente: Katherine Villafuerte



**Imagen 8** Lixiviado pretratado al quinto día  
Fuente: Katherine Villafuerte

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**ANEXO C**

**TABLAS DEL ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE  
LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA  
DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL  
RECURSO AGUA – ACUERDO MINISTERIAL 097-A**

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS**

Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5–9	6,5–9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,2	
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO5	DBO <sub>5</sub>	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condicion natural	-

**TABLA 5: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA USO PECUARIO**

Nitratos	NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	3000

**TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE**

Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**ANEXO D**

**FACTURA DE REACTIVOS PARA ELABORACIÓN DE PERÓXIDO DE CALCIO**

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**



## Factura

RUC 0601895527001  
 No. 008-003-000000380  
**Autorización**  
 0903202001060189552700120080030000003801234567815  
**Fecha y Hora Autorización**  
 2020-03-09T17:24:50-05:00  
**Ambiente** PRODUCCIÓN



## FERTICAMYCRUS

**GAVILANEZ YEPEZ GINA NARCISA**  
 Matriz KM 82 VIA A PLAYAS  
 Sucursal KM 82 VIA A PLAYAS  
 contabilidad@ferticamycrus.com  
 042814844 - 0993601407  
 Obligado a llevar Contabilidad SI

<b>Razón Social / Nombres :</b>	VILLAFUERTE MORALES KATHERINE VANESSA	<b>Fecha de Emisión:</b>	09/03/2020
<b>Identificación:</b>	1721701397	<b>Guía de Remisión:</b>	
<b>Dirección:</b>	Av. La Larena - Sto. Domingo 1721701397		
<b>Teléfono:</b>	0992555309		
<b>Correo:</b>	katty_15suvillafuertejsbg@hotmail.com		

Cod. Principal	Cant	Descripción	Precio Unitario	Descto	Subtotal
5e66c22dc5703	1.00	ALBAPAC 200 /25 Kg	\$ 6.50	\$ 0.00	\$ 6.50
5e66c22dc5aeb	1.00	PEROXIDO DE HIDROGENO CANECA 30 kg	\$ 33.00	\$ 0.00	\$ 33.00

### Información Adicional

**Orden de Compra** TELEF  
**Sucursal** Matriz

Forma de Pago	Valor	Plazo	Tiempo
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	\$ 39.50		

<b>Subtotal 12%</b>	\$ 0.00
<b>Subtotal 0%</b>	\$ 39.50
<b>Subtotal no objeto de IVA</b>	\$ 0.00
<b>Subtotal Exento de IVA</b>	\$ 0.00
<b>Subtotal Sin Impuestos</b>	\$ 39.50
<b>Descuento</b>	\$ 0.00
<b>ICE</b>	\$ 0.00
<b>IVA 12%</b>	\$ 0.00
<b>IRBPNR</b>	\$ 0.00
<b>Propina</b>	\$ 0.00
<b>Valor Total</b>	<b>\$ 39.50</b>

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA  
CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE  
OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

**ANEXO E. INFORME DE ANÁLISIS DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO**

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE OXIDATIVA EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	<b>PGT/F/09-FO01</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS</b>	<b>Rev. 5</b>
		<b>Hoja 1 de 1</b>

Informe N°: LN-F-E19-0161  
 Fecha emisión Informe: 08/04/2019

**DATOS DEL CLIENTE**

<sup>1</sup> Persona o Empresa solicitante: FERTICAMYCRUZ  
<sup>2</sup> Dirección: San Antonio -Playas  
<sup>3</sup> Provincia: Guayas  
<sup>3</sup> Teléfono: 0999550973  
<sup>3</sup> Correo Electrónico: calera.del.pacifico@gmail.com  
<sup>3</sup> Cantón: Guayaquil  
 N° Orden de Trabajo: 09-2019-1203  
 N° Factura/Memorando: 002-001-6910

**DATOS DE LA MUESTRA:**

<sup>1</sup> Tipo de muestra: Fertilizantes sólido inorgánico	Conservación de la muestra: Envase apropiado	
<sup>3</sup> Lote: ---	Tipo de envase: Bolsa plástica	
<sup>3</sup> Provincia: Guayas	<sup>3</sup> Datos de Formulador /Fabricante	Nombre: ---
<sup>3</sup> Cantón: Playas		Pais de Origen: ---
<sup>3</sup> Parroquia: San Antonio	<sup>3</sup> Responsable de toma de muestra: José Guerrero	
<sup>3</sup> Fecha de toma de muestra: 13/03/2019	Fecha de inicio de análisis: 28/03/2019	
Fecha de recepción de la muestra: 27/03/2019	Fecha de finalización de análisis: 05/04/2019	

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	<sup>3</sup> IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	<sup>3</sup> ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA)
F190157	HIDRÓXIDO DE CALCIO	<sup>2</sup> Ca(OH) <sub>2</sub>	PEE/F/11	%	92.3755	---

<sup>2</sup>: Resultado obtenido por cálculo  
 Ca(OH)<sub>2</sub>=Hidróxido de Calcio

Analizado por: Ing. Mayra Quishpe

Observaciones: Los resultados esta expresados en %p/p.

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---

  
**Ing. Melisba Rea N.**  
**Responsable Técnica**  
**Laboratorio de Calidad de Fertilizantes**

  
**AGROCALIDAD**  
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE FERTILIZANTES**  
 TUMBACO - ECUADOR

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización del laboratorio.

<sup>3</sup> Datos suministrados por el cliente: El laboratorio no se responsabiliza por esta información.

  
**AGROCALIDAD**  
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO

08 APR 2019