

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“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.”**

Realizado por:

DANIELA ALEJANDRA GALLARDO JIMÉNEZ

Director del proyecto:

MSc. Katty Coral Carrillo

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Quito, 16 de agosto de 2019

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, **DANIELA ALEJANDRA GALLARDO JIMÉNEZ**, con cédula de identidad 1724553530, 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.

Daniela Alejandra Gallardo Jiménez

172455353-0

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“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”

Realizado por:

DANIELA ALEJANDRA GALLARDO JIMÉNEZ

como requisito para la obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Katty Verónica Coral Carrillo

170905405-8

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

WALBERTO EFRAÍN GALLEGOS ERAS

RODOLFO JEFFERSON RUBIO AGUIAR

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador



Walberto Efraín Gallegos



Rodolfo Jefferson Rubio

Quito, 08 de agosto de 2019

El presente Trabajo de Fin de Carrera ha sido realizado dentro del Programa de Investigación de la Universidad Internacional SEK denominado:

**BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES APLICADOS A LA GESTIÓN
AMBIENTAL Y LA BIOTECNOLOGÍA**

Perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

DEDICATORIA

A mi familia.

Para someter a:

To be submitted:

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

Daniela Gallardo Jiménez¹, Katty Coral^{1*}

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales,
Quito, Ecuador.

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: MSc Katty Coral, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.

Teléfono:0983084617; email: katty.coral@uisek.edu.ec

Título corto o Runningtitle: **Reducción de la carga contaminante de lixiviados en el relleno sanitario de El Inga.**

Resumen

La disposición final de los residuos sólidos urbanos en vertederos, genera gran cantidad de lixiviados con alta carga contaminante, provocando severos impactos ambientales como la afectación a la calidad de aguas superficiales y subterráneas, por lo que es de gran importancia que sean tratados de manera adecuada. Actualmente en el Relleno Sanitario de El Inga, los lixiviados son tratados a través de procesos físicos de floculación, coagulación, sedimentación, filtración, así como de un proceso paralelo de ósmosis inversa; estos procesos son altamente costosos y presentan dificultad en el cumplimiento de los estándares establecidos por la normativa ambiental vigente. En la presente investigación se propone un tratamiento químico de los lixiviados de la piscina 13 del relleno, utilizando el proceso de oxidación química con peróxido de calcio como posible solución para disminuir la carga contaminante de DQO, DBO, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, sulfuro, y permitir que se acerquen al valor de la legislación ambiental. Se obtuvieron datos iniciales de DQO de 5112,9 ppm y de DBO de 718,3 ppm, posteriormente al tratamiento efectuado se obtuvo una eficiencia de 33,47% de reducción con la primera concentración de peróxido y un 57,45 % con la segunda concentración para DQO. Mientras que para DBO se obtuvo una eficiencia de 0,15% y 93,53% respectivamente. Los porcentajes de eficiencia revelan que el tratamiento oxidativo disminuye la carga contaminante pudiendo ser utilizado como un pretratamiento para lixiviados.

Palabras clave: Agua, contaminación, legislación, química, residuo.

Abstract

The final disposal of urban solid waste in landfills, generates a large number of leachates with a high pollutant load, causing severe environmental impacts such as the affectation to the quality of surface and underground water, so it is of great importance that they are adequately treated. Currently, in the Sanitary Landfill of El Inga, leachates are treated through physical processes of flocculation, coagulation, sedimentation, filtration, as well as a parallel process of reverse osmosis. These processes are highly expensive and present difficulty in complying with the standards established by current environmental regulations. In the present investigation, a chemical treatment of leachate from pool 13 of the landfill is proposed, using the process of chemical oxidation with calcium peroxide as a possible solution to reduce the contaminant load of COD, BOD, nitrates, nitrites, ammoniacal nitrogen parameters, sulfur, and allow them to approach the value of environmental legislation. Initial data of COD of 5112.9 ppm and BOD of 718.3 ppm were obtained after the treatment. An efficiency of 33.47% reduction was obtained with the first peroxide concentration and 57.45% with the second COD concentration. While for BOD, an efficiency of 0.15% and 93.53% respectively was obtained. The efficiency percentages reveal that the oxidative treatment decreases the pollutant load and can be used as a pretreatment for leachate.

Keywords: Water, pollution, law, chemical, waste.

Introducción

Los residuos sólidos urbanos representan un problema continuo de contaminación ambiental que enfrentan las ciudades, no solo en Ecuador sino a nivel global. A medida que la sociedad ha evolucionado, la generación de residuos sólidos urbanos ha aumentado considerablemente (Larrea, 2018). Se estima que cada habitante de América Latina y El Caribe produce entre medio y un kilogramo de basura por día, es decir que una familia de cinco personas genera en un mes de 100 a 160 kg de desperdicios (Rodríguez, 2014).

Una práctica común que aún existe, especialmente en América Latina y El Caribe, es la disposición de residuos sólidos sobre terrenos a cielo abierto sin medidas adecuadas para su interacción con el ambiente. Esta forma de disponer los residuos se conoce como botadero a cielo abierto y ocasiona graves problemas de contaminación. Sin embargo existe una mejor opción de disposición científicamente aceptada para los desechos sólidos, que cuenta con las características técnicas adecuadas que impiden la afectación al aire, suelo y agua, esta opción es conocida como relleno sanitario (Zulia, Urdaneta, Joheni, & Zulia, 2014).

Un relleno sanitario es aquel que confina los residuos sólidos urbanos de manera segura y controlada, es primordial contar con un apropiado sistema de impermeabilización de base y taludes, sistemas de captación, conducción y tratamiento de lixiviados como también de gases, control del ingreso de agua lluvia por escurrimiento, programas de monitoreo ambiental y planes de contingencias en caso de haber fugas o un mal funcionamiento (Noguera & Olivero, 2010).

El impacto ambiental que producen los rellenos sanitarios no solo está asociado a la emisión de gases de efecto invernadero, sino, también, a la contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, por la generación de lixiviados producto de la descomposición de la materia orgánica (Anrango, 2018).

Se puede definir al lixiviado como el líquido generado por la percolación de agua procedente de la lluvia o escorrentía superficial y la que es producida por los materiales susceptibles de descomposición, los residuos de putrefacción rápida (residuos de

comida), de descomposición tardía (papel, madera, cartón, textiles, hojas) y los materiales inertes (tierra, plásticos, caucho) (Castillo, 2018).

En términos generales, los lixiviados se forman por la descomposición de los residuos sólidos urbanos y la acción de líquidos presentes en los rellenos sanitarios, provenientes de fuentes externas como drenaje superficial, filtración de agua de lluvia y agua subterránea (N. Rivadeneira, 2017). Los lixiviados son altamente contaminantes, por lo que son un grave problema para el ambiente.

Las características físico-químicas de un lixiviado dependen de una serie de factores tales como la naturaleza y la cantidad de los residuos almacenados, la antigüedad y forma de explotación del vertedero y la climatología del lugar o la época del año considerado. Su composición depende de muchos factores, entre los que se encuentran la naturaleza y el grado de compactación de los desechos, el grado de humedad inicial de la basura, la precipitación pluvial, la humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración, edad del lixiviado y la capacidad de campo del relleno (Méndez et al., 2009).

La falta de conocimiento con respecto a la contaminación del suelo, aguas subterráneas y superficiales por infiltración de lixiviados en el Ecuador y la escasa planificación al momento de implementar el ordenamiento territorial generan impactos ambientales en zonas sensibles aumentando el grado de contaminación del recurso hídrico y de la capa del suelo (Larrea, 2018).

Es por ello que contar con una gestión efectiva de los lixiviados debe contemplar las opciones de tratamiento que sean económicamente viables y que, al mismo tiempo, signifiquen el menor deterioro de los recursos naturales, es decir, se debe lograr la optimización de recursos y la preservación del medio ambiente y la salud de la población.

En el Ecuador existen rellenos sanitarios que disponen Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en ciudades como: Cuenca, Azogues, Loja, Guayaquil, Ibarra, Esmeraldas y Quito (RSQ). En el Distrito Metropolitano de Quito el manejo de residuos sólidos urbanos se lo realiza a través del Relleno Sanitario de El Inga, el mismo que empezó a

funcionar desde el año 2003 bajo la administración de Fundación Natura y en la actualidad es manejado por la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (EMGIRS, 2017).

En el año 2017 el relleno sanitario El Inga del DMQ, recibió diariamente 2068,09 toneladas de residuos sólidos urbanos (EMGIRS, 2017). Día a día se realizan actividades en las que se desechan residuos, la meta es bajar hasta el 2019 en un 5% la producción de residuos en el Distrito. De esta manera se podrá extender el uso del relleno sanitario y evitar impactos ambientales (Municipio de Quito, 2016).

El Relleno Sanitario de Quito en el año 2017 contaba con 11 piscinas de almacenamiento, con una capacidad total de aproximadamente 120000 m³ (EMGIRS, 2017), sin embargo en la actualidad se cuentan con aproximadamente 20 piscinas con capacidades de almacenamiento de entre 5000 y 10000 m³ por piscina (EMGIRS, 2017).

En el caso particular del Relleno Sanitario ubicado al margen del río Inga, existe un riesgo alto de contaminación de acuíferos y cursos de agua cercanos de descargas directas del lixiviado. En el caso que un relleno no cuente con las medidas adecuadas de seguridad, las implicaciones e impactos económicos, sociales y ambientales de las poblaciones que viven a los alrededores del relleno serían dramáticas (A. Rivadeneira, 2015).

En este relleno sanitario, los lixiviados son direccionados hacia piscinas (cuyos fondos están revestidos con geomembrana para evitar infiltraciones) que poseen dos funciones almacenamiento y tratamiento; este tratamiento a su vez, puede ser de tipo anaeróbico, aeróbico o de aspersion. Dichas piscinas son conocidas como lagunas de estabilización, en las cuales se promueve el tratamiento de contaminantes a través de microorganismos (Jaramillo, Cepeda, & Organización Panamericana De La Salud (OPS), 1991).

El lixiviado producido en el relleno sanitario El Inga presenta dificultad para acercarse al cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente, por esta razón es primordial buscar otras alternativas de

tratamiento que ayuden a la disminución de su carga contaminante para proteger los recursos hídricos superficiales y subterráneos que puedan verse afectados.

El tratamiento de lixiviados correcto sirve como medida de prevención de la contaminación de fuentes hídricas, por otro lado, conocer nuevos mecanismos de tratamiento más económicos permiten a las autoridades establecer nuevos lineamientos de procedimiento para tratar los lixiviados generados en el relleno sanitario El Inga.

Debido a la complejidad de la matriz de lixiviado es muy difícil que un solo tipo de tratamiento consiga un efluente apto para ser vertido al medio natural, por lo que en muchas ocasiones los tratamientos completos consisten en la suma de diferentes procesos en serie, lo que confiere una complejidad importante al tratamiento y en este sentido el desarrollo de programas I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) se hacen casi imprescindibles para desarrollar nuevas tecnologías de tratamiento que se adapten a la naturaleza de los lixiviados (N. Rivadeneira, 2017).

La depuración de lixiviados a través de los distintos sistemas de tratamiento convencionales involucra un alto costo tanto en construcción como en operación (procesos aeróbicos 20 \$/m³, osmosis inversa 10 \$/m³, procesos biológicos 45 \$/m³). A pesar de esto, en muchos casos los porcentajes de remoción de contaminantes son deficientes, por este motivo se han diseñado métodos alternativos de depuración, de bajo costo y alta eficiencia como son los humedales artificiales, la electrocoagulación, entre otros (Giraldo, 2015).

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)¹⁻, esta especie posee propiedades adecuadas para atacar virtualmente a todos los compuestos orgánicos y reaccionar más rápido que oxidantes alternativos como el O₃ (Córdova, 2018).

Los procesos de oxidación avanzada son técnicas convencionales utilizadas en el tratamiento de aguas residuales para eliminar contaminantes bio-refractarios de manera efectiva. Como un oxidante innovador, el peróxido de calcio (CaO_2) se ha aplicado en los procesos de oxidación avanzada para tratamientos de aguas residuales orgánicas y de metales pesados (Lu, Zhang, & Xue, 2017).

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).

Se cuenta con varios estudios sobre tratamientos alternativos de lixiviados del relleno sanitario El Inga, pero ninguna de las referencias mencionadas en esta investigación detalla la utilización del peróxido de calcio como agente de tratamiento. Sin embargo, se encuentra la tesis de pregrado titulada “Tratamiento fisicoquímico del lixiviado del relleno sanitario Romerillos de la ciudad de Machachi, mediante procesos de Óxido Reducción con peróxido de calcio” elaborada por Leoncio Córdova en el 2018, donde, como parte de los resultados presentados, se incluye información relacionada con las características y la eficiencia del proceso de oxidación química en el tratamiento de lixiviados procedentes de rellenos sanitarios.

El peróxido de calcio se ha aplicado progresivamente en términos de protección ambiental debido a sus propiedades físicas y químicas. La estabilidad de este compuesto lo convierte en una fase sólida efectiva para suministrar H_2O_2 y O_2 para la biodegradación aeróbica y la degradación química de contaminantes en el agua y el suelo, por tanto, nuestra hipótesis de trabajo se base en el proceso de oxidación con peróxido de calcio, con lo cual se espera que al ponerlo en contacto con los lixiviados

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.

del relleno sanitario El Inga, generará la oxidación de nitritos, sulfuros y amoníaco, lo cual provocará la disminución de DQO y DBO, acercando estos parámetros al cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Se utilizó la Tabla 12 del Anexo 1 del Libro VI del TULSMA como normativa para la evaluación de los datos obtenidos del lixiviado tratado con peróxido de calcio.

Como consecuencia, el objetivo de este trabajo fue reducir la carga contaminante de lixiviados producidos en el relleno sanitario de El Inga mediante el proceso de oxidación química con peróxido de calcio con fines de acercar su carga contaminante a los valores máximos permisibles de emisión.

Métodos

Área de estudio

La zona de estudio corresponde al relleno sanitario de El Inga ubicado a 45 km de la ciudad de Quito, dentro de una zona industrial de alto impacto, en el sector de El Inga bajo, entre Pifo y Sangolquí, sobre la vía E35 (EMGIRS, 2017).

A partir del 2012, la empresa EMGIRS-EP es responsable de la operación tecnificada del relleno sanitario, donde se desarrollan procesos de depósito de residuos sólidos urbanos generados en las dos estaciones de transferencia ubicadas en el sector sur y norte del Distrito Metropolitano de Quito, en los cubetos desde los cuales se generan lixiviados que pasan por varios tratamientos que cumplen con los parámetros que exige la norma ambiental vigente, además de la captación y aprovechamiento energético del biogás (Municipio de Quito, 2016).



Ilustración 1. Punto de muestreo relleno Sanitario el Inga
Realizado por: Daniela Gallardo.

1. Fase de Campo

Se recolectaron diez galones de lixiviados en abril y junio de 2019 de la piscina trece (13) del relleno sanitario El Inga, con ayuda del muestreador Van Dorn. Se realizó

el muestreo en esta piscina debido a que los lixiviados depositados provienen de la mezcla de piscinas con lixiviados jóvenes y maduros y del rechazo del tratamiento de osmosis inversa que se realiza en la planta de tratamiento (Vargas, 2016) por lo que cuenta con mayor carga contaminante. Posteriormente se determinaron los parámetros *in situ* pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto de la muestra, con la ayuda del multiparámetro HACH Modelo HQ40d previamente calibrado.

2. Fase de laboratorio

Se realizó el análisis fisicoquímico del lixiviado antes y después del tratamiento con peróxido de calcio, se determinaron los parámetros de pH, Oxígeno disuelto, sulfuros, conductividad eléctrica, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, DQO y DBO, por cuadruplicado en dos ensayos diferentes, obteniendo el promedio de cada uno de los parámetros analizados, con el propósito de comparar los límites máximos permisibles de descarga del Anexo 1 Libro VI TULSMA- Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. En la Tabla 1 se presentan los métodos utilizados en el laboratorio de la Universidad Internacional SEK para el análisis de los diferentes parámetros propuestos, mientras que en el Anexo A se describe el procedimiento de cada uno de los métodos.

Tabla 1. Métodos de análisis de laboratorio
Realizado por: Daniela Gallardo

Parámetro	Método	Referencia
Nitratos	APHA/AWWA Standard MethodsNo.4500E	(APHA, 2017)
Nitritos	APHA/AWWA Standard MethodsNo.4500E	(APHA, 2017)
DQO	APHA/AWWA Standard Methods No. 5220. D	(APHA, 2017)
DBO	APHA/AWWA/WEF Standard Methods No. 5210.	(APHA, 2017)

Parámetro	Método	Referencia
Solidos suspendidos	APHA/AWWA Standard Methods No. 2540D	(APHA, 2017)
Sulfuros	Método Hach 8131	(HACH, 2007)
Nitrógeno Amoniacal	Espectrofotometría Hach 380	(HACH, 2007)

2.1 Preparación del peróxido de calcio

Se preparó el peróxido de calcio con base a la dosis óptima para el tratamiento de lixiviados encontrada en el estudio de Córdova (2018), 75 g de H_2O_2 y 40g de $Ca(OH)_2$.

La dosis de peróxido de calcio ya preparada se procedió a analizar con 1000 mL de lixiviado para realizar la oxidación, reposó por cinco días y finalmente se determinó por segunda ocasión los parámetros analizados inicialmente utilizando los mismos métodos descritos. Las concentraciones de peróxido de calcio utilizadas fueron de 115g y 230g.

2.2 Evaluación de la eficiencia obtenida

Para el cálculo de eficiencia se volvieron analizar los parámetros de pH, Oxígeno disuelto, sulfuros, conductividad eléctrica, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, DQO y DBO con las concentraciones de 115 g y 230 g de CaO_2 elaborado con la dosis óptima detallada previamente, y se calculó los porcentajes de reducción de las concentraciones finales de cada uno de los parámetros analizados.

3. Fase de análisis de datos

Para el análisis estadístico de los datos se calculó la desviación estándar y la varianza, para determinar el coeficiente de variación y observar que tan alejados se encuentran los datos de la media. Para este cálculo se utilizaron las fórmulas de la Tabla 2:

Tabla 2. Fórmulas para cálculo estadístico

Realizado por: Daniela Gallardo tomado de (Salazar & Castillo, 2018).

Cálculos estadísticos	
Media	$\mu = \frac{\sum x}{N}$
Varianza	$\sigma^2 = \frac{\sum (x - \mu)^2}{N}$
Desviación estándar	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

Dónde:

x = datos experimentales

N = número de muestras

El coeficiente de variación es una medida estadística que informa acerca de la dispersión relativa de un conjunto de datos. Su cálculo se obtiene de dividir la desviación estándar entre el valor absoluto de la media aritmética del conjunto y por lo general se expresa en porcentaje para su mejor comprensión (Arvelo, 2006).

Coeficiente de Variación	$CV = \frac{\sigma}{\mu} * 100\%$
---------------------------------	-----------------------------------

Los rangos de dispersión junto con su interpretación se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Grado de Variabilidad

Realizado por: Daniela Gallardo tomado de (Arvelo, 2006)

Grado de variabilidad de los datos	Coeficiente de variación
Muy Homogéneos	C.V $\leq 10\%$
Regularmente Homogéneas	10% < C.V $\leq 15\%$
Ligeramente Variables	15% < C.V $\leq 25\%$
Variables	25% < C.V $\leq 50\%$
Muy Heterogéneos	50% < C.V $\leq 100\%$
Extremadamente Heterogéneos	100% < C. V

Adicionalmente se utilizó el algoritmo de Hassen, que permite determinar valores persistentes, valores notables de contaminantes, predecir el comportamiento y

pronosticar la probabilidad de ocurrencia de dichos contaminantes (Zaldumbide, 2012). Para empezar con este método se organizaron los datos experimentales en orden descendente para permitir que el valor mayor tenga la menor probabilidad de ocurrencia. Una vez ordenados los datos se procedió a calcular la frecuencia (F), y con este valor se calculó la probabilidad de ocurrencia ($P = F * 100$). Los datos experimentales se ordenaron de forma ascendente.

Una vez revisados todos los datos, se realizó la regresión lineal que permitió generar una ecuación predictiva de la probabilidad de ocurrencia. Se tomó en cuenta las siguientes variables al momento de graficar la regresión lineal: en el eje X se utilizaron los datos ascendentes de la probabilidad de ocurrencia, mientras que en el eje Y los datos experimentales determinados en el laboratorio. Posteriormente se ajustó a una recta que permitió determinar una ecuación lineal con su respectivo coeficiente de correlación lineal (Zaldumbide, 2012).

3.1 Análisis de costos

El análisis de costos para el tratamiento completo de la piscina 13 del relleno sanitario de El Inga se realizó calculando el costo por pastilla de peróxido de calcio mediante la relación del precio del hidróxido de calcio y del peróxido de hidrógeno con la dosis óptima mencionada anteriormente. Como base para el cálculo a escala de laboratorio se utilizaron 1000 mL de muestra de lixiviado y se extrapoló al volumen real de 5378 m³ de capacidad de la piscina en la cual se realizó el muestreo. Adicionalmente se calculó la cantidad de pastillas a utilizarse en el volumen de la piscina 13 y con esa información se obtuvo el costo final de tratamiento completo para los lixiviados.

Resultados

Se obtuvieron ocho datos para los parámetros de: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos, sulfuros y nitrógeno amoniacal. Por otro lado, se obtuvieron 12 datos de DQO y 16 de DBO. Los cálculos correspondientes a los análisis se presentan en el Anexo B. La Tabla 4 muestra los valores promedio de los análisis iniciales del lixiviado crudo y los valores con el lixiviado tratado. La Ilustración 2 presenta los gráficos de valores iniciales y finales de los parámetros con diferentes concentraciones de CaO₂ comparados con la normativa ambiental (presente en el Anexo E) y cuatro parámetros simplemente con valores iniciales y finales ya que no están normados en el Anexo 1 Libro VI TULSMA. Adicionalmente en la Tabla 5 se presentan los porcentajes de remoción por cada parámetro a la par de en la Ilustración 3. Se realizaron los respectivos gráficos con el porcentaje de remoción de los parámetros analizados.

Tabla 4. Análisis inicial y final del lixiviado
Realizado por: Daniela Gallardo

Parámetro	Unidades	Valor Normativa	Inicial	Final	
				1 Pastilla	2 Pastillas
			0	115 gramos	230 gramos
pH	Unidad de pH	5-9	9,00	10,64	13,53
Conductividad	mS/cm		22,50	14,17	19,91
Oxígeno disuelto	ppm		0,31	6,12	6,01
Nitritos	ppm		200,00	350,00	325,00
Nitratos	ppm		320,00	95,00	25,00
Sulfuros	ppm	0,5	2400,00	1200,00	787,50
Nitrógeno amoniacal	ppm	15	1160,00	226,25	53,38
DQO	ppm	250	5112,90	3401,43	2175,63
DBO	ppm	100	718,30	214,43	46,50

Ilustración 2. Valores iniciales y finales con diferentes concentraciones CaO_2 comparados con la normativa.

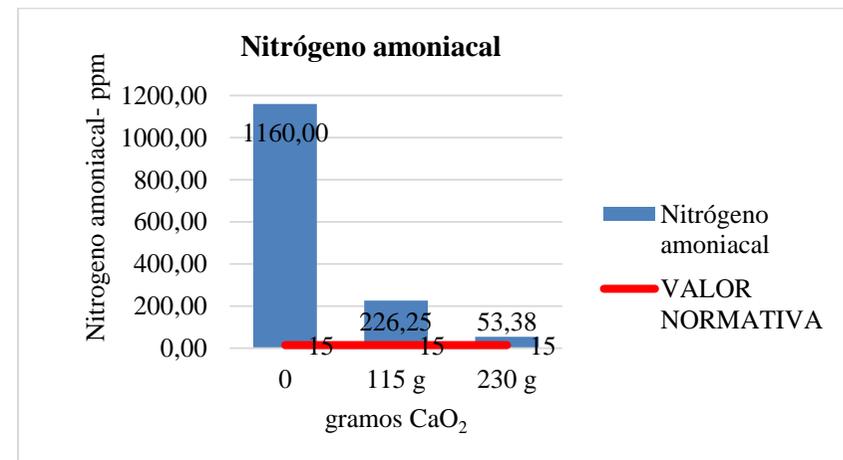
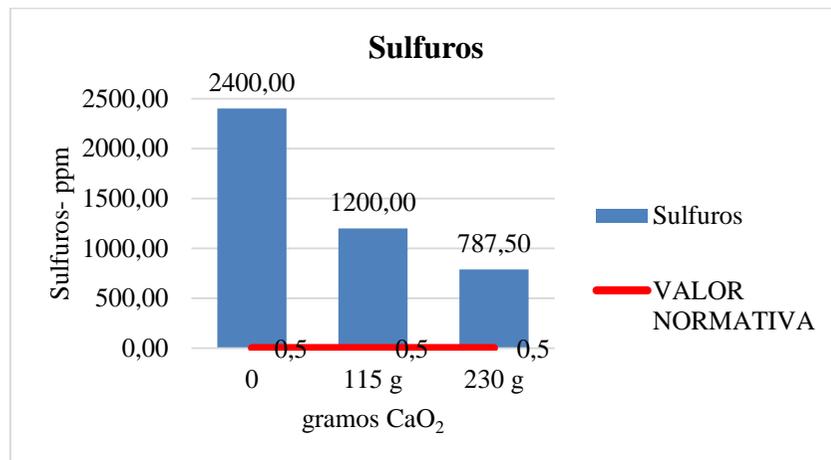
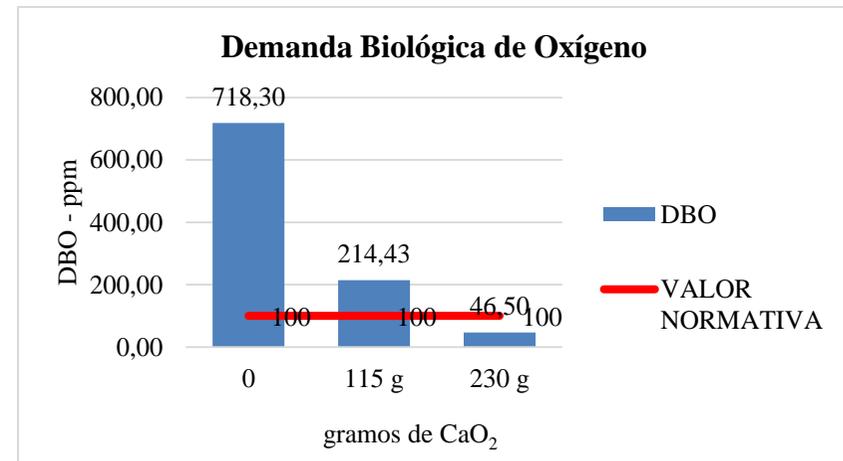
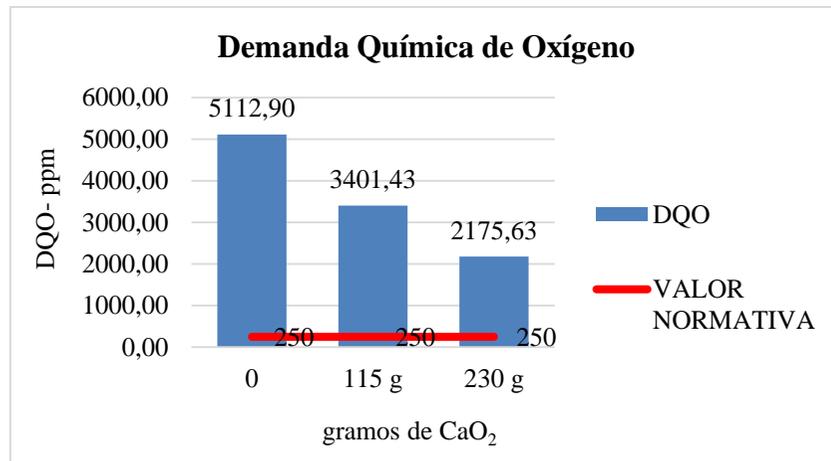


Ilustración 2. Valores iniciales y finales con diferentes concentraciones CaO_2 comparados con la normativa.

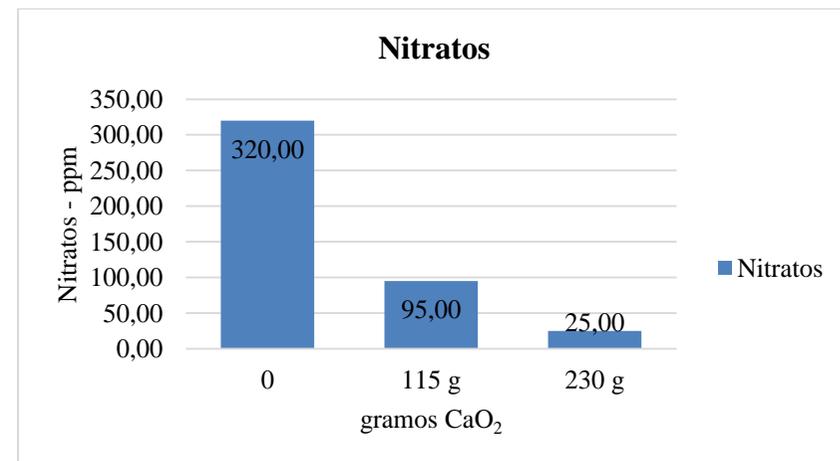
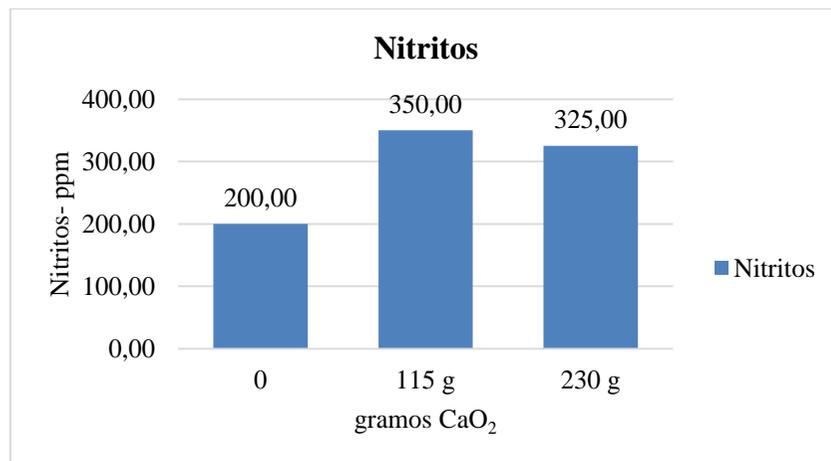
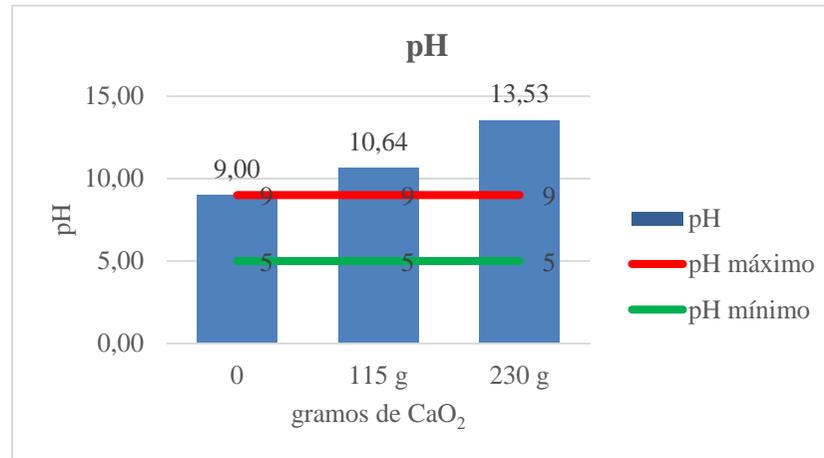


Ilustración 2. Valores iniciales y finales con diferentes concentraciones CaO_2 comparados con la normativa.

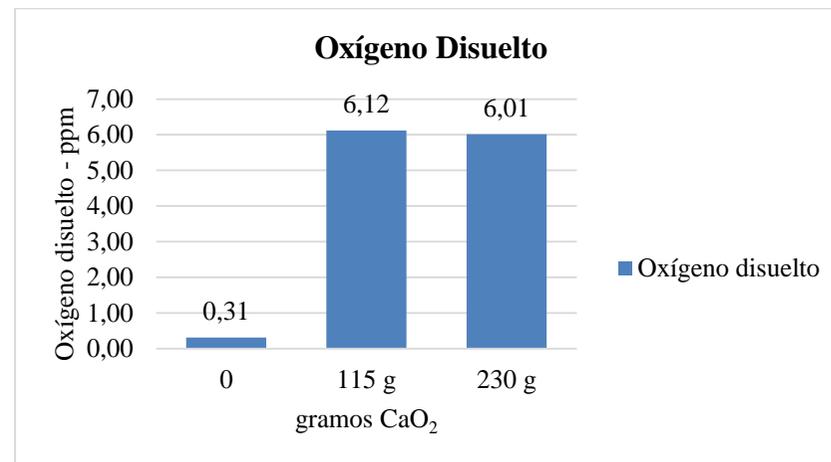
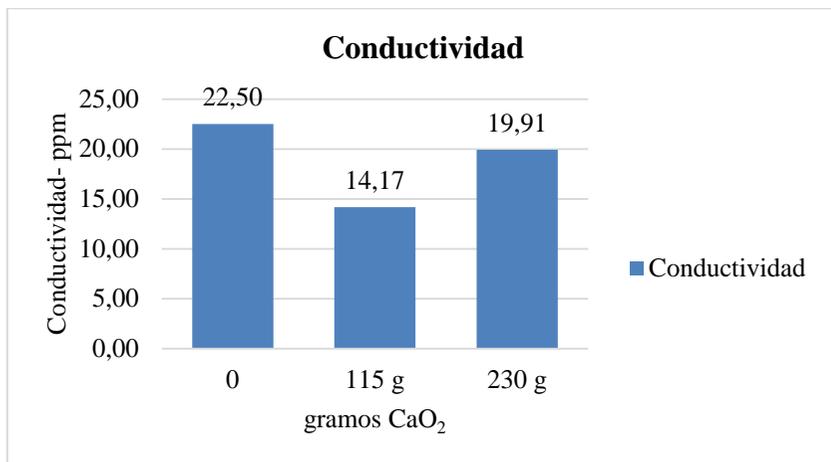


Ilustración 3. Promedios de remoción de los parámetros analizados con diferentes concentraciones de CaO₂.

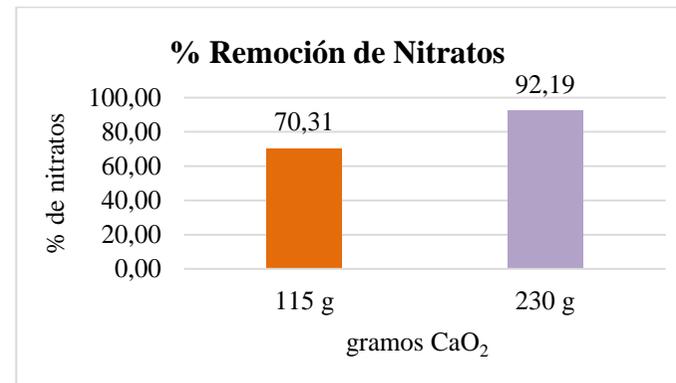
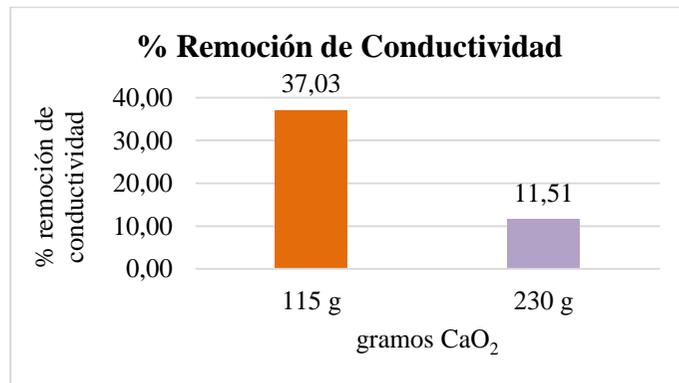
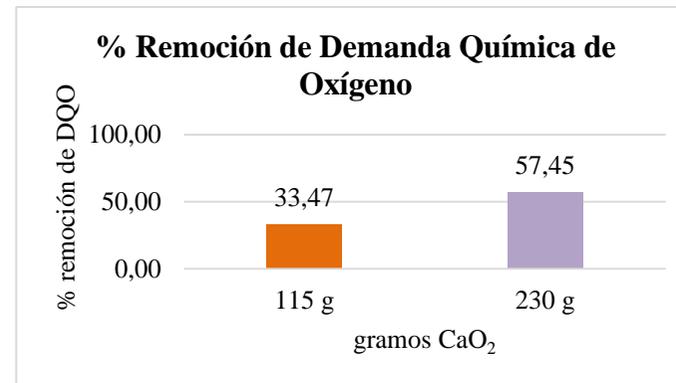
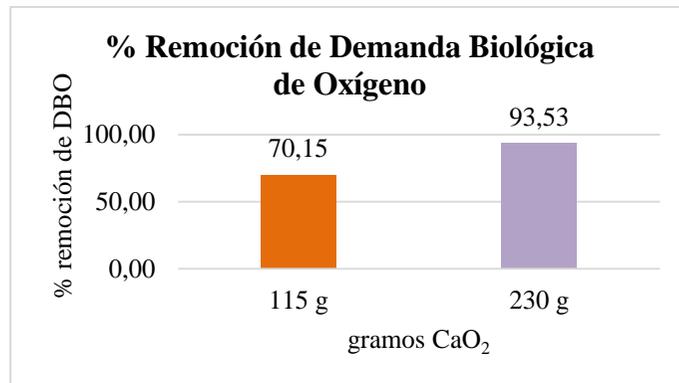


Ilustración 3. Promedios de remoción de los parámetros analizados con diferentes concentraciones de CaO₂.

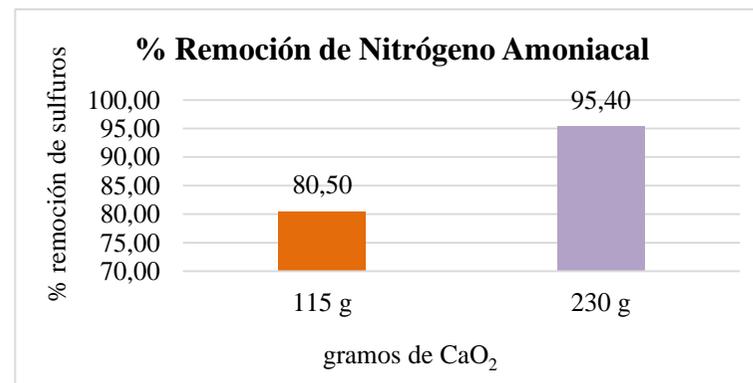
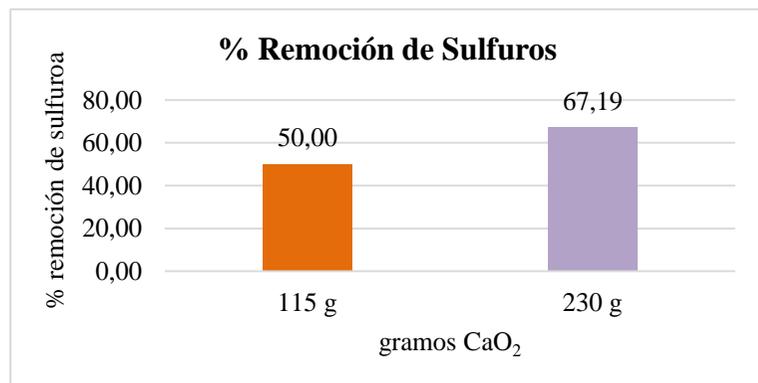


Tabla 5. Porcentajes de remoción
Realizado por: Daniela Gallardo

Parámetro	Unidades	% Remoción	
		% remoción 1 pastilla 115 g	% remoción 2 pastillas 230 g
pH	Unidad de pH	-	-
Conductividad	mS/cm	36,58	10,89
Oxígeno disuelto	ppm	-	-
Nitritos	ppm	-	-
Nitratos	ppm	70,31	92,19
Sulfuros	ppm	50,00	67,19
Nitrógeno amoniacal	ppm	80,50	95,40
DQO	ppm	33,47	57,45
DBO	ppm	69,09	67,83

Para el análisis de probabilidad de ocurrencia se utilizó el método Hassen, aplicando a cada parámetro presente dentro de la normativa ambiental vigente, los resultados se evidencian en la Tabla 6. Debido a su contenido extenso, los cálculos realizados y sus respectivos gráficos se pueden encontrar en el Anexo C.

Tabla 6. Evaluación Método Hassen
Realizado por: Daniela Gallardo

EVALUACIÓN METODO HASSEN			
Parámetro	Valor Normativa	Probabilidad de cumplan con normativa	
		1 pastilla 115 g	2 pastillas 230 g
DQO	250	0%	0%
DBO	100	90%	100%
Sulfuros	0,5	0%	0%
Nitrógeno amoniacal	15	0%	0%
pH	5 - 9	0%	0%

Los resultados del análisis de la desviación estándar se presentan en la Tabla 7. Los respectivos cálculos se pueden encontrar en el Anexo D.

Tabla 7. Cálculo Desviación Estándar

Realizado por: Daniela Gallardo

CALCULO DESVIACIÓN ESTÁNDAR (115 g)		
Parámetro	σ	Coef. Variación (%)
pH	0,22	2,06
Conductividad	0,31	2,17
Oxígeno disuelto	0,07	1,21
Nitritos	53,45	15,27
Nitratos	36,65	38,57
Sulfuros	256,35	21,36
Nitrógeno amoniacal	15,07	6,66
DQO	336,78	9,64
DBO	123,15	59,07

CALCULO DESVIACIÓN ESTÁNDAR (230 g)		
Parámetro	σ	Coef. Variación (%)
pH	0,22	1,59
Conductividad	0,30	1,48
Oxígeno disuelto	0,55	9,13
Nitritos	116,50	35,85
Nitratos	15,12	60,47
Sulfuros	188,51	23,94
Nitrógeno amoniacal	27,66	51,81
DQO	203,57	9,36
DBO	19,74	43,43

El análisis del costo económico del tratamiento con peróxido de calcio al lixiviado generado en el relleno sanitario El Inga se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis costo tratamiento

Realizado por: Daniela Gallardo

COSTO MATERIA PRIMA		
Reactivo	H₂O₂	Ca (OH)₂
Cantidad (kg)	2	30
Precio (\$)	1,50	15

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.

COSTO POR PASTILLA		
Reactivo	H ₂ O ₂	Ca (OH) ₂
Cantidad (g)	75	40
Precio (\$)	0,06	0,02
Total, por pastilla (\$)	0,08	

COSTO TRATAMIENTO PISCINA LIXIVIADO	
Volumen prueba laboratorio (m³)	0,0010
Volumen piscina lixiviado (m³)	5378
Costo tratamiento final piscina (\$)	410073
Costo por m³ lixiviado (\$/m³)	80

Discusión

Durante los análisis de laboratorio se realizaron diluciones para cada parámetro analizado, este procedimiento es importante debido a que los parámetros presentaron altas concentraciones, además es necesario para disminuir interferencias y obtener de datos precisos, por lo que se recomienda, para futuros estudios, realizar el proceso de diluciones adecuadamente.

Posterior al tratamiento oxidativo del lixiviado de la piscina 13, se obtuvo una remoción de color después de un periodo de cinco días, por lo tanto, se estableció como el tiempo de contacto óptimo entre la muestra del lixiviado y el peróxido de calcio. Se observó que mientras mayor sea la concentración de CaO_2 el color del lixiviado será menos concentrado.

Al analizar el lixiviado sin tratamiento, se puede determinar que el pH fue de nueve, sin embargo, después del tratamiento con peróxido de calcio sus valores varían entre 10,77 con la concentración menor y 13,46 con la concentración mayor, debido a un incremento de los iones OH^{1-} que están presentes en el peróxido de calcio. El peróxido de calcio en combinación con un líquido forma hidróxido de calcio, con lo que habrá una modificación de pH ya que los hidróxidos aumentan su concentración.

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 CaO_2 . El porcentaje de reducción para la primera concentración fue de 36,84% y para la segunda de 11,60%. Con lo cual, las sales oxidadas formadas no son solubles en agua, pasando a formar sólidos suspendidos.

La concentración de Nitratos se reduce bruscamente con un valor inicial de 320 mg/L a valores bajos de 25 mg/L con la concentración menor y 95 mg/L con la concentración mayor. El porcentaje de reducción fue de 70,31% y 92,19% con la concentración menor y mayor. Se analizó una posible afectación de nitratos y la transformación en otras moléculas debido al tratamiento oxidativo que se aplicó, también se puede observar que los nitritos de un valor inicial de 200 mg/L a valores

entre 350 mg/L con la concentración menor y 325 mg/L con la concentración mayor, más altos que los iniciales, lo que se puede deducir a una ausencia en la transformación química a nitratos y una posible emisión de nitrógeno gaseoso.

Los datos de nitrógeno amoniacal arrojaron una disminución de valores de 1160 mg/L a valores de 226 mg/L con la menor concentración y 53 mg/L con la concentración mayor, lo que refleja que el nitrógeno amoniacal está presente como nitrógeno reducido, es decir como amoniaco dentro del proceso de oxidación, por lo cual esta molécula de amoniaco se transformara en nitritos y nitratos. Se obtuvo 80,50% de reducción con la menor concentración y 95,40% para la mayor concentración.

Los valores que se muestran de concentración de oxígeno disuelto aumentan drásticamente después del tratamiento, ya que el peróxido de calcio en contacto acuoso libera oxígeno, aumentando el contenido de oxígeno disuelto en el agua.

Los datos de sulfuros presentaron una disminución de valores de 2400 mg/L a 1200 mg/L a una concentración baja y 787,50 mg/L a una concentración mayor, al ser una reacción de oxido reducción los sulfuros serán disminuidos. Se obtuvo 50% de reducción con la menor concentración y 67,19% para la mayor concentración.

La DBO mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para poder degradar materia orgánica biodegradable en forma biológica (Valles, 2013). El valor inicial de la DBO en el lixiviado fue de 718,30 mg/L, el mismo que disminuyó a valores de 214,43 mg/L y una reducción del 70,15% para la primera concentración de peróxido y 46,50 mg/L con 93,53% de remoción para la segunda, después de realizar el tratamiento oxidativo hubo gran presencia de materia orgánica biodegradable, a pesar de contar con un lixiviado mixto (joven, maduro y rechazo) la biodegradabilidad fue favorable puesto que la materia orgánica si se oxida presentando menor grado de concentración.

La DQO por su parte, mide la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el lixiviado, susceptible a ser oxidada químicamente (Salguero, 2018). La concentración inicial en el lixiviado es de 5112,90 mg/L, luego del tratamiento se llegaron a valores de 3401,43 mg/L para la primera concentración y de 2175,63 mg/L para la segunda, observando que los valores obtenidos presentaron una disminución del

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.

33,47% para la concentración menor y del 57,45% con la concentración mayor, en relación a la muestra original. La materia inorgánica presente en el lixiviado se encuentra en su mayor grado de oxidación, por esa razón ya no se oxida y su carga contaminante se mantuvo elevada.

Posterior a la evaluación de los resultados se determinó que, con la concentración menor de peróxido de calcio, ninguno de los parámetros analizados logró cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la legislación ambiental vigente; mientras que, para la concentración mayor, únicamente el parámetro de DBO obtuvo una concentración por debajo de la normativa, llegando al cumplimiento legal.

Se realizó la estimación de costos del tratamiento oxidativo, considerando los costos correspondientes de los reactivos de peróxido de hidrógeno e hidróxido de calcio. Después de analizar los cálculos para un volumen de 1 m³ de lixiviado se necesitará un aproximado de \$ 80 dólares para bajar la carga contaminante, concluyendo que el tratamiento oxidativo es más costoso que los tratamientos realizados actualmente en el relleno sanitario El Inga.

Una muestra se considera homogénea si el coeficiente de variación se encuentra entre 0% y 15%, variable si está entre el 15% y 50%, mientras que para una muestra heterogénea el 50% y 100% (Arvelo, 2006). De acuerdo a esto los parámetros que presentan una distribución homogénea son: pH, oxígeno disuelto, conductividad, nitrógeno amoniacal y DQO. Nitritos, sulfuros y DBO muestran una distribución variable, mientras que los nitratos y nitrógeno amoniacal presentan una distribución heterogénea.

De acuerdo al análisis de probabilidad de ocurrencia para la demanda química de oxígeno con la menor concentración existe un 90% de probabilidad de reducir la concentración de un valor inicial de 5112,90 mg/L a un valor máximo de 2924,41 mg/L, mientras que para una concentración mayor existe un 90% de probabilidad de reducir la concentración a 1865,67 mg/L. Por lo tanto, los datos indicados serán los valores máximos de reducción de carga contaminante que podrán alcanzar con el tratamiento oxidativo. El análisis de probabilidad para la demanda biológica de oxígeno, para un 90% de probabilidad,

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.

La probabilidad de ocurrencia del 90% para la demanda biológica de oxígeno demostró valores máximos más cercanos a los límites permisibles indicados en la normativa ambiental. Para la concentración menor se obtuvo un valor máximo de reducción de 45,25 mg/L con un valor inicial de 718,30 mg/L. Sin embargo, se obtuvieron mejores valores con la concentración mayor de CaO_2 , alcanzando todos sus porcentajes de probabilidad al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Para los parámetros de sulfuros, nitrógeno amoniacal y pH, la probabilidad de ocurrencia del 90% con la concentración menor y mayor arrojó valores máximos de reducción de carga contaminante de 831,43 ppm y 110,76 ppm para sulfuros; 204,91 ppm y 16,30 ppm para nitrógeno amoniacal; y 10,32 y 13,26 para pH. Todos los valores de los parámetros por encima de los límites máximos permisibles de la normativa ambiental.

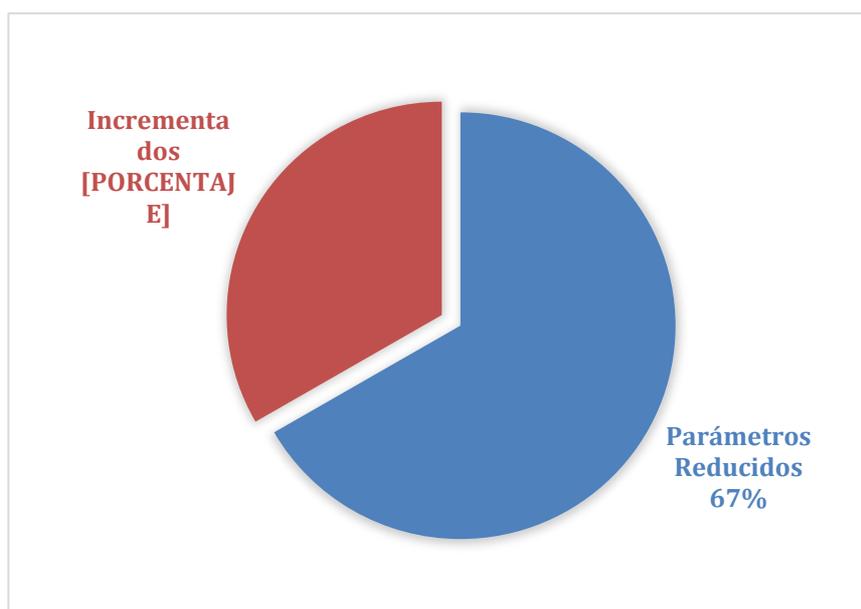
Conclusiones y Recomendaciones

Pese a que todos los parámetros no lograron entrar en norma, se obtuvo un acercamiento a los límites máximos permisibles de la legislación ambiental, concluyendo que el proceso oxidativo con CaO_2 sirve como pretratamiento ayudando a disminuir la carga contaminante y brindando mayores facilidades a tratamientos posteriores.

Después de la realización del análisis fisicoquímico del lixiviado sometido al proceso de oxidación química con el peróxido de calcio, el 67% de los parámetros analizados presentaron reducción en sus concentraciones, mientras que el 33% restante aumentó. Es decir, seis de los nueve parámetros analizados lograron bajar sus concentraciones después del tratamiento oxidativo. En la Tabla 9. Se observa los parámetros incrementados y reducidos.

Tabla 9. Reducción de parámetros analizados
Realizado por: Daniela Gallardo

Reducidos	Incrementados
DQO	pH
DBO	Oxígeno Disuelto
Sulfuros	Nitritos
Nitratos	
Conductividad	
Nitrógeno amoniacal	



Con los datos obtenidos de demanda biológica de oxígeno se concluye que es un lixiviado biodegradable, el oxígeno que ingresa al lixiviado después del tratamiento produce una ruptura de moléculas orgánicas de altos pesos moleculares, formando moléculas fáciles de oxidar. Por otro lado, la demanda química de oxígeno tuvo dificultad en el proceso de oxidación de sustancias inorgánicas, debido a que el lixiviado se encuentra en su mayor grado de oxidación. Por lo tanto, se recomienda realizar un tratamiento posterior para reducir su carga contaminante.

El valor de pH aumenta después de realizar el tratamiento con peróxido de calcio, en comparación con la muestra original, debido a las características oxidativas del compuesto, por lo que se recomienda realizar un tratamiento posterior de neutralización con la ayuda de un ácido débil.

Por otro lado, los nitritos no redujeron su concentración probablemente por una escasez de peróxido de calcio. Aparentemente los nitritos presentes en el lixiviado son orgánicos dificultando su reducción. Se puede analizar esta afirmación en estudios futuros donde se prueben concentraciones superiores de peróxido de calcio, debido a que, con dosis bajas el oxígeno producido no es suficiente para oxidar todos los compuestos presentes en el lixiviado.

La dosis óptima utilizada en esta investigación de 75g de H_2O_2 y 40g $Ca(OH)_2$ fue adecuada para la reducción de la carga contaminante del lixiviado de la piscina 13 del relleno sanitario El Inga, a pesar de haber utilizado la dosis calculada para un lixiviado joven. Se utilizó dos concentraciones de CaO_2 (115g y 230g) obteniendo una mejor eficiencia de reducción con la concentración mayor en todos los parámetros analizados, por esta razón es recomendable realizar estudios posteriores para encontrar la dosis optima en lixiviados mixtos (joven, maduro y rechazo), como es el caso del lixiviado analizado en esta investigación.

El tratamiento con peróxido de calcio fue realizado en un periodo de cinco días mostrando altos porcentajes de reducción de carga contaminante, en comparación con otros procesos que poseen largos periodos de acción. Adicionalmente, el costo del tratamiento permite concluir que el proceso no es económicamente viable en comparación con los procesos de tratamientos utilizados actualmente en el relleno.

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.

De acuerdo a los resultados obtenidos del coeficiente de variación se puede concluir que las muestras heterogéneas y variables pueden ser resultado de interferencias al momento de la realización del análisis o debido a la alta concentración del lixiviado, Adicionalmente se debe mencionar que las condiciones del lixiviado varían en función del tiempo. Por lo tanto, para eliminar estas interferencias se recomienda realizar diluciones altas y contar con mayor número de muestras. Se debe tomar en cuenta que las interferencias también pueden ser ocasionadas por una mala aplicación de los métodos analíticos o impericia del analista. Se recomienda realizar los análisis en un tiempo máximo de 48 horas después de haber recolectado la muestra.

El análisis de probabilidad de ocurrencia arrojó valores favorables para el parámetro de DBO con la utilización de la concentración mayor de CaO_2 , alcanzando el 100% de probabilidad de cumplimiento a los límites máximos permisibles. Sin embargo, para la concentración menor existe un 90% de probabilidad de cumplimiento.

Literatura citada

- Anrango, M. J. (2018). Métodos alternativos para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador. *Revista de Ingeniería*.
- APHA. (2017). APHA Method 4500-NO₃: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association*, 552.
- Arvelo, Á. (2006). *Medidas de dispersión*. 2003.
- Castillo, D. (2018). Evaluación de la contaminación por lixiviados en zonas aledañas al botadero de Zámbriza mediante métodos geofísicos. *Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas*.
- Córdova, A. (2018). Tratamiento fisicoquímico del lixiviado del relleno sanitario Romerillos de la ciudad de Machachi, mediante procesos de Óxido Reducción con peróxido de calcio. *Universidad Internacional SEK*, 15(2), 2017–2019.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
- EMGIRS. (2017). *Informe de gestión 2017. Rendición de cuentas correspondiente al 2017 implementa “ realidad aumentada ” para brindarte información multimedia sobre nuestra gestión*.
- Giraldo, E. (2015). Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. *Revista de Ingeniería*. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>
- HACH. (2003). *Method sulfite colorimetric DR/4000 Procedure*. 1–4.
- Jaramillo, J., Cepeda, F., & Organización Panamericana De La Salud (OPS). (1991). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. 10. Retrieved from <http://cdam.minam.gob.pe:8080/handle/123456789/294>
- Larrea, F. (2018). PROPUESTA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA QUEBRADA DEL RÍO MONJAS DE LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE PICHINCHA, ECUADOR. *Director*, 15(2), 2017–2019.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
- Lu, S., Zhang, X., & Xue, Y. (2017). Application of calcium peroxide in water and soil treatment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 337, 163–177.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.04.064>

- Méndez, R. I. N., Castillo, E. R. B., Suri, M. R. R., Quintal, C. A. F., Giácoman, G. V., & Jiménez, B. C. (2009). COMPARACIÓN DE CUATRO TRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LIXIVIADOS Autónoma de Yucatán . Facultad de Ingeniería . Av . Industrias No Contaminantes por Periférico Norte , s / n . Tablaje Catastral 12685 . Mérida , Yucatán , México . Correo electrónico : mnove. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 25(3), 133–145.
- Municipio de Quito. (2016). *Atlas Ambiental Quito Sostenible* (p. 312). p. 312. Tecnoprint.
- Noguera, K. M., & Olivero, J. T. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 34(September 2010), 347–356. Retrieved from http://www.acefyn.org.co/revista/Vol_34/132/347-356.pdf
- Rivadeneira, A. (2015). *Impacto del fondo de compensación en el desarrollo de las cuatro comunidades aledañas al relleno sanitario del MDMQ: Santa Ana, Itulcachi, El Inga y El Belén*. 1–122. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39079>
- Rivadeneira, N. (2017). PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. *Universidad Central Del Ecuador*, 1–29.
- Rodríguez, S. (2014). *Mejoramiento de los procesos de gestión de las operaciones de la disposición final de los desechos sólidos en el DMQ*.
- Salazar, C., & Castillo, S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística*. Ecuador- Quito.
- Salguero, E. (2018). ANÁLISIS DE PIEDRA PÓMEZ COMO FILTRO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA FLORÍCOLA LA HERRADURA FLOHERRERA S.A, UBICADA EN EL CANTÓN SALCEDO.
- Solvay Chemicals. (2010). *IXPER 60C Calcium Peroxide IXPER 60C Calcium Peroxide*. 1–7.
- Valles, A. (2013). *Tratamiento Físicoquímico y Biológico de lixiviado del Relleno Sanitario de la ciudad de Director de Tesis : Luis Armando Lozoya Márquez*.
- Vargas, A. (2016). *OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PRIMARIO DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO EL INGA*

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.

MEDIANTE MEZCLAS DE FLOCULANTES. Universidad Central del Ecuador.

Zaldumbide, L. (2012). Caracterización física de Residuos Sólidos Urbanos, Caracterización Química de Lixiviados y Propuesta de Tratamiento para Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Mejía. *Universidad Internacional SEK*.

Zulia, U., Urdaneta, G., Joheni, A., & Zulia, U. (2014). *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*.

ANEXOS

ANEXO A

Metodología para análisis de laboratorio

Se realizaron dos ensayos por cuadruplicado, siguiendo los procedimientos del Standard Methods (APHA, 2017) y manual HACH. Se debe tomar en cuenta que para los análisis posteriores al tratamiento del lixiviado se utilizó la parte sobrenadante de la muestra, evitando así el proceso de filtración o sedimentación.

1. **Determinación de nitratos y nitritos - APHA/AWWA Standard Methods No. 4500E**

La determinación de nitratos se realizó a través del método HACH utilizando el programa 361 a 500 nm.

- Se colocó en el espectrofotómetro HACH una celda de 10 mL de la muestra del lixiviado diluida con agua destilada a 1:100, sin agregar ningún reactivo, la cual sirvió de muestra blanco, posteriormente se dejó correr el programa.
- Se realizó una dilución con agua destilada y lixiviado 1:100 y se colocó en otra celda de 10 mL, posteriormente se agregó el reactivo Nitra Ver 5, y se agitó por un minuto, se dejó reposar 5 minutos, finalmente se dejó correr el programa.

La determinación de nitritos se realizó a través del método HACH utilizando el programa 2600 a 585 nm.

- Se colocó en el espectrofotómetro HACH una celda de 10 mL de la muestra del lixiviado diluida con agua destilada a 1:100, sin agregar ningún reactivo, la cual sirvió de muestra blanco, posteriormente se dejó correr el programa.
- Se realizó una dilución con agua destilada y lixiviado 1:100 y se colocó en otra celda de 10 mL, posteriormente se agregó el reactivo Nitri Ver 2, y se agitó hasta disolver posteriormente se dejó reposar 10 minutos, finalmente se dejó correr el programa.

2. **Determinación de Demanda Biológica de Oxígeno - APHA/AWWA/WEF Standard Methods No. 5210.**

Se colocó 200 mL de lixiviado en un vaso de precipitación, se aireó la muestra durante 20 minutos y se determinó el oxígeno disuelto inicial con la ayuda del multiparámetro. Posteriormente se realizó diluciones en dos balones aforados en donde se colocó 3 mL de muestra de lixiviado previamente aireado y aforar hasta completar los 1000 mL con agua destilada en el primer balón. Luego, se colocó 6 mL de muestra de lixiviado previamente aireado y aforar hasta completar los 1000 mL con agua destilada en el segundo balón. A continuación, se colocó en los frascos Winkler de 300 mL las muestras de cada dilución realizada y se añadió la solución buffer (nutrientes) en cada frasco, se llevó a la incubadora durante 5 días. Finalmente se determinó el oxígeno disuelto final de cada uno de los frascos.

3. Determinación de Demanda Química de Oxígeno, APHA/AWWA Standard Methods No. 5220. D

Se colocó 10 mL de muestra de lixiviado con la dilución adecuada en el balón de destilación. Se añadió 0.1 gramos de sulfato de mercurio, se añadió 5 mL de solución de dicromato de potasio 0.25 N, se colocó 15 mL de la mezcla de ácido sulfúrico- sulfato de plata, con cuidado y se realizó un baño frío en la parte inferior del balón. Se dejó la muestra en el equipo previamente armado, durante dos horas. Una vez terminado el tiempo de reflujo, se enfrió, se lavó el refrigerante con agua destilada y se diluyó la mezcla hasta aproximadamente el doble de su volumen con agua destilada. Se enfrió a temperatura ambiente y se determinó el exceso de dicromato de potasio con la solución de sulfato ferroso amoniacal de igual manera se usó como indicador el ferroín, colocando diez gotas de ferroín a la muestra. Se tituló la muestra hasta que el primer cambio de color de azul verdoso a marrón rojizo y se anotó los mL de SAF (sulfato ferroso amoniacal). Se tituló una muestra blanco, utilizar para la digestión 10 mL de agua destilada.

Por último, se colocó en un vaso de precipitación 5 mL de solución de dicromato de potasio 0.25N, se añadió 5 mL de solución de ácido sulfúrico- sulfato de plata. Se diluyó 50 mL con agua destilada, se añadió 3 gotas de indicador ferroín. Se tituló la mezcla con SAF al 0.0625N de sodio 0.0109 N hasta que del primer cambio de color de azul verdoso a marrón rojizo y se anotó los mL de SAF.

4. Determinación de sulfuros

La determinación de sulfuros se realizó a través del método HACH utilizando el programa 690 a 665 nm.

- Se colocó en el espectrofotómetro HACH una celda de 10 mL de la muestra del lixiviado se diluyó con agua destilada a 1:100, sin agregar ningún reactivo, la cual servirá de blanco, posteriormente se dejó correr el programa.
- Se realizó una dilución con agua destilada y lixiviado 1:100 y se colocó en otra celda de 10 mL, se agregó 0.5 mL de reactivo de sulfito A (HPT 430 A). Se giró para mezclar. Agregue 0.5 mL de Sulfito Reactivo B (HPT 430 B). Se giró para mezclar. Se dejó reposar por 5 minutos en una superficie plana, finalmente se colocó en el espectrofotómetro y se dejó correr el programa (HACH, 2003).

5. Determinación de nitrógeno amoniacal

La determinación de nitrógeno amoniacal se realizó a través del método HACH utilizando el programa 380 a 675 nm.

Se armó el equipo de destilación, con la ayuda de un balón de fondo plano de destilación de 500 mL, dos soportes universales, dos pinzas, un refrigerante, dos mangueras, dos corchos, un mechero y un matraz Erlenmeyer. Se realizó una dilución de la muestra de lixiviado con agua destilada a 1:100 y se colocó en el balón de fondo plano de destilación durante una hora a una temperatura de 100°C, posteriormente se dejó enfriar y se utilizó la muestra destilada. Se colocó en el espectrofotómetro HACH una celda de 25 mL de agua destilada, sin agregar ningún reactivo, la cual servirá de blanco, posteriormente se dejó correr el programa. Se colocó en otra celda 25 mL de la muestra destilada y se agregó 3 gotas del reactivo A, 3 gotas del reactivo B y 1 mL del reactivo C, dejar reposar por 1 minuto y finalmente se dejó correr el programa.

6. Preparación del peróxido de calcio

Se preparó el peróxido de calcio con la dosis óptima encontrada con base en estudios anteriores (Córdova, 2018). Se colocó en una caja Petri 75g H₂O₂ y 40g de Ca

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.

(OH)₂, mezclar y dejar secar al ambiente por 3 días. Posteriormente se colocó el peróxido de calcio (pastillas) en una muestra de 1000 mL de lixiviado para realizar la oxidación, se dejó reposar por cinco días. Finalmente se determinó los parámetros, nitratos, nitritos, DBO, DQO, sulfuros, amoníaco, para comparar con los valores iniciales. Se debe tomar en cuenta que se colocaron diferentes concentraciones (115g y 230g) de peróxido de calcio en muestras de 1000 mL.

ANEXO B

Cálculo análisis por cuadruplicado

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.

Cálculos análisis por cuadruplicado, concentración de 115g

1 PASTILLA - 115 gramos								
N° de mediciones	Dilución	Parámetro	Unidades	Inicial	Final	Promedio	% Remoción	Promedio de remoción
1	Valor directo	pH	Unidad de pH	9	10,85	10,64	-	-
2					10,68			
3					10,35			
4					10,87			
5					10,65			
6					10,48			
7					10,85			
8					10,35			
1	Valor directo	Conductividad	mS/cm	22,5	14,43	14,17	35,87	37,03
2					14,11		37,29	
3					14,13		37,20	
4					14,54		35,38	
5					13,67		39,24	
6					14,52		35,47	
7					13,95		38,00	
8					13,99		37,82	
1	Valor directo	Oxígeno disuelto	ppm	0,31	6,22	6,12	-	-
2					6,18			
3					6,17			
4					6,10			
5					6,08			
6					6,10			
7					5,98			
8					6,10			
1	100/1	Nitritos	ppm	200	400,00	350,00	-	-
2					300,00			
3					300,00			
4					300,00			
5					400,00			
6					400,00			
7					400,00			
8					300,00			
1	100/1	Nitratos	ppm	320	100,00	95,00	68,75	70,31
2					120,00		62,50	
3					170,00		46,88	
4					100,00		68,75	
5					70,00		78,13	
6					70,00		78,13	
7					60,00		81,25	

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.

1 PASTILLA - 115 gramos								
N° de mediciones	Dilución	Parámetro	Unidades	Inicial	Final	Promedio	% Remoción	Promedio de remoción
8					70,00		78,13	
1	100/1	Sulfuros	ppm	2400	1500,00	1200,00	37,50	50,00
2					1200,00		50,00	
3					1300,00		45,83	
4					1100,00		54,17	
5					900,00		62,50	
6					800,00		66,67	
7					1500,00		37,50	
8					1300,00		45,83	
1	100/1	Nitrógeno amoniacal	ppm	1160	210,00	226,25	81,90	80,50
2					222,00		80,86	
3					224,00		80,69	
4					212,00		81,72	
5					247,00		78,71	
6					242,00		79,14	
7					212,00		81,72	
8					241,00		79,22	
1	100/5	DQO	ppm	5112,9	4000,00	3401,43	21,77	33,47
2	100/10				3483,87		31,86	
3	100/15				3010,75		41,11	
4	100/5				3612,90		29,34	
5	100/10				3419,35		33,12	
6	100/15				3053,76		40,27	
7	100/5				3741,94		26,81	
8	100/10				3612,90		29,34	
9	100/15				3096,77		39,43	
10	100/5				3612,90		29,34	
11	100/10				2903,23		43,22	
12	100/15				3268,82		36,07	
1	1000/50	DBO	ppm	718,3	315,20	214,43	56,12	70,15
2	1000/50				306,40		57,34	
3	1000/100				143,60		80,01	
4	1000/100				139,20		80,62	
5	1000/50				313,60		56,34	
6	1000/50				301,60		58,01	
7	1000/100				25,60		96,44	
8	1000/100				122,80		82,90	
9	1000/50				344,00		52,11	
10	1000/50				358,40		50,10	
11	1000/100				24,80		96,55	
12	1000/100				28,80		95,99	

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.

1 PASTILLA - 115 gramos								
N° de mediciones	Dilución	Parámetro	Unidades	Inicial	Final	Promedio	% Remoción	Promedio de remoción
13	1000/50				310,40		56,79	
14	1000/50				341,60		52,44	
15	1000/100				195,60		72,77	
16	1000/100				159,20		77,84	

Cálculos análisis por cuadruplicado, concentración de 230g

2 PASTILLAS - 230 gramos								
N° de mediciones	Dilución	Parámetro	Unidades	Inicial	Final	Promedio	% Remoción	Promedio de remoción
1	Valor directo	pH	Unidad de pH	9	13,58	13,53	-	-
2					13,34			
3					13,47			
4					13,35			
5					13,24			
6					13,84			
7					13,76			
8					13,66			
1	Valor directo	Conductividad	mS/cm	22,5	20,12	19,91	-	11,51
2					19,98			
3					20,35			
4					19,88			
5					19,47			
6					19,68			
7					20,15			
8					19,66			
1	Valor directo	Oxígeno disuelto	ppm	0,31	6,54	6,01	-	-
2					6,69			
3					6,33			
4					6,11			
5					5,12			
6					6,01			
7					5,98			
8					5,33			
1	100/1	Nitritos	ppm	200	100,00	325,00	-	-
2					300,00			
3					300,00			
4					400,00			
5					400,00			
6					500,00			

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.

2 PASTILLAS - 230 gramos								
N° de mediciones	Dilución	Parámetro	Unidades	Inicial	Final	Promedio	% Remoción	Promedio de remoción
7					300,00			
8					300,00			
1	100/1	Nitratos	ppm	320	30,00	25,00	90,63	92,19
2					50,00		84,38	
3					10,00		96,88	
4					10,00		96,88	
5					30,00		90,63	
6					40,00		87,50	
7					20,00		93,75	
8					10,00		96,88	
1	100/1	Sulfuros	ppm	2400	400,00	787,50	83,33	67,19
2					700,00		70,83	
3					900,00		62,50	
4					800,00		66,67	
5					900,00		62,50	
6					1000,00		58,33	
7					700,00		70,83	
8					900,00		62,50	
1	100/1	Nitrógeno amoniacal	ppm	1160	105,00	53,38	90,95	95,40
2					52,00		95,52	
3					47,00		95,95	
4					86,00		92,59	
5					33,00		97,16	
6					28,00		97,59	
7					43,00		96,29	
8					33,00		97,16	
1	100/5	DQO	ppm	5112,9	2193,55	2175,63	57,10	57,45
2	100/10				2064,52		59,62	
3	100/15				1849,46		63,83	
4	100/5				2451,61		52,05	
5	100/10				2258,06		55,84	
6	100/15				2064,52		59,62	
7	100/5				2322,58		54,57	
8	100/10				2193,55		57,10	
9	100/15				2064,52		59,62	
10	100/5				2064,52		59,62	
11	100/10				2000,00		60,88	
12	100/15				2580,65		49,53	
1	1000/50	DBO	ppm	718,3	56,00	46,50	92,20	93,53

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.

2 PASTILLAS - 230 gramos								
N° de mediciones	Dilución	Parámetro	Unidades	Inicial	Final	Promedio	% Remoción	Promedio de remoción
2	1000/50				77,60		89,20	
3	1000/100				30,80		95,71	
4	1000/100				20,80		97,10	
5	1000/50				76,80		89,31	
6	1000/50				51,20		92,87	
7	1000/100				26,80		96,27	
8	1000/100				23,60		96,71	
9	1000/50				67,20		90,64	
10	1000/50				68,00		90,53	
11	1000/100				44,80		93,76	
12	1000/100				35,20		95,10	
13	1000/50				52,00		92,76	
14	1000/50				60,00		91,65	
15	1000/100				26,00		96,38	
16	1000/100				27,20		96,21	

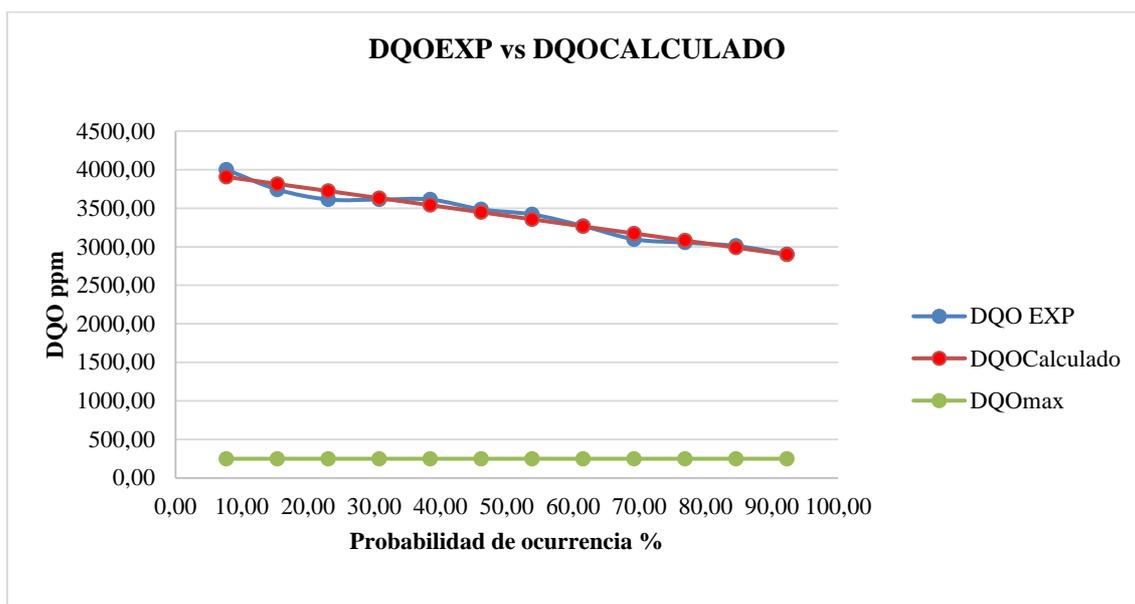
ANEXO C

Cálculo método Hassen

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.

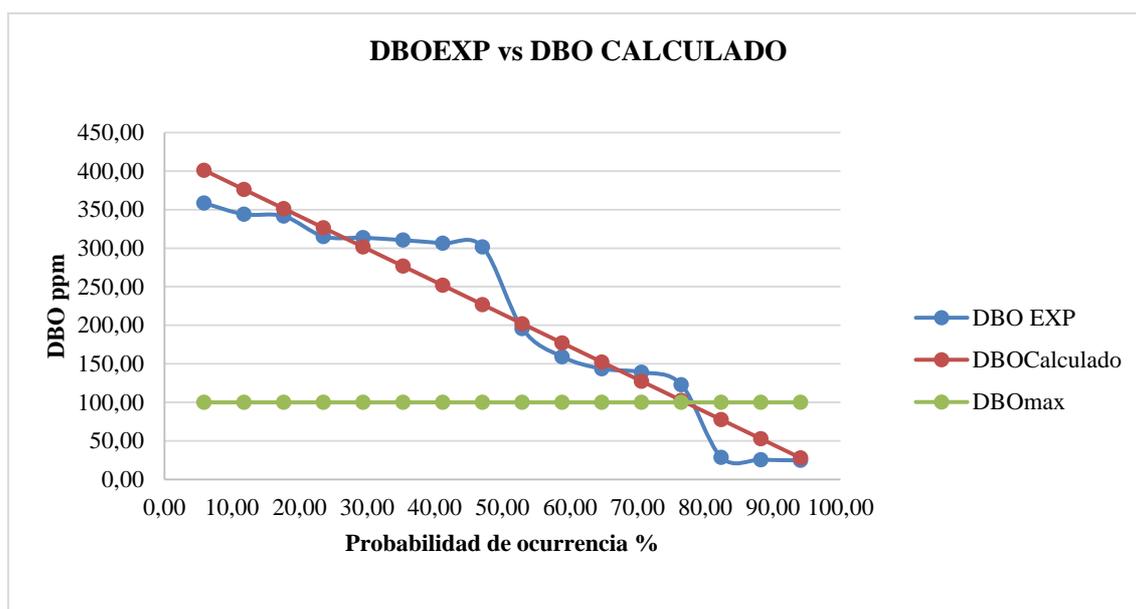
Evaluación método de Hassen para los parámetros analizados, concentración 115 gramos de CaO₂

Parámetro estimado (DQO ppm)							
N°	f	%P	DQO EXP	DQO Calculado	DQO max	Valores Notables	
1	0,08	7,69	4000,00	3905,98	250,00	%P	DQO
2	0,15	15,38	3741,94	3814,25	250,00	25,00	3699,58
3	0,23	23,08	3612,90	3722,51	250,00	50,00	3401,43
4	0,31	30,77	3612,90	3630,77	250,00	75,00	3103,29
5	0,38	38,46	3612,90	3539,04	250,00	90,00	2924,41
6	0,46	46,15	3483,87	3447,30	250,00	DQOMAX	953,00
7	0,54	53,85	3419,35	3355,57	250,00	DQOMIN	54,00
8	0,62	61,54	3268,82	3263,83	250,00	DQOPROM	3401,43
9	0,69	69,23	3096,77	3172,09	250,00		
10	0,77	76,92	3053,76	3080,36	250,00		
11	0,85	84,62	3010,75	2988,62	250,00		
12	0,92	92,31	2903,23	2896,88	250,00		
m	-11,93						
b	3997,72						



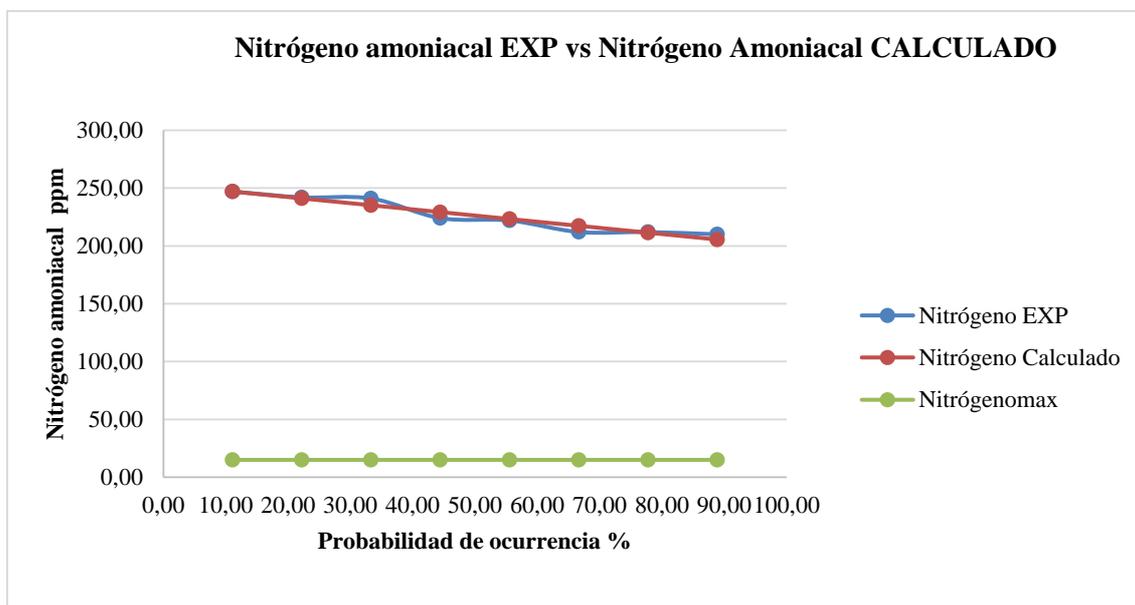
REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE EL INGA MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO.

Parámetro estimado (DBO ppm)							
N°	f	%P	DBO EXP	DBO Calculado	DBO max	Valores Notables	
1	0,06	5,88	358,40	401,02	100,00	%P	DBO
2	0,12	11,76	344,00	376,14	100,00	25,00	320,16
3	0,18	17,65	341,60	351,26	100,00	50,00	214,43
4	0,24	23,53	315,20	326,38	100,00	75,00	108,69
5	0,29	29,41	313,60	301,50	100,00	90,00	45,25
6	0,35	35,29	310,40	276,62	100,00	DBOMAX	953,00
7	0,41	41,18	306,40	251,74	100,00	DBOMIN	54,00
8	0,47	47,06	301,60	226,86	100,00	DBOPROM	269,07
9	0,53	52,94	195,60	201,99	100,00		
10	0,59	58,82	159,20	177,11	100,00		
11	0,65	64,71	143,60	152,23	100,00		
12	0,71	70,59	139,20	127,35	100,00		
13	0,76	76,47	122,80	102,47	100,00		
14	0,82	82,35	28,80	77,59	100,00		
15	0,88	88,24	25,60	52,71	100,00		
16	0,94	94,12	24,80	27,83	100,00		
m	-4,23						
b	425,90						



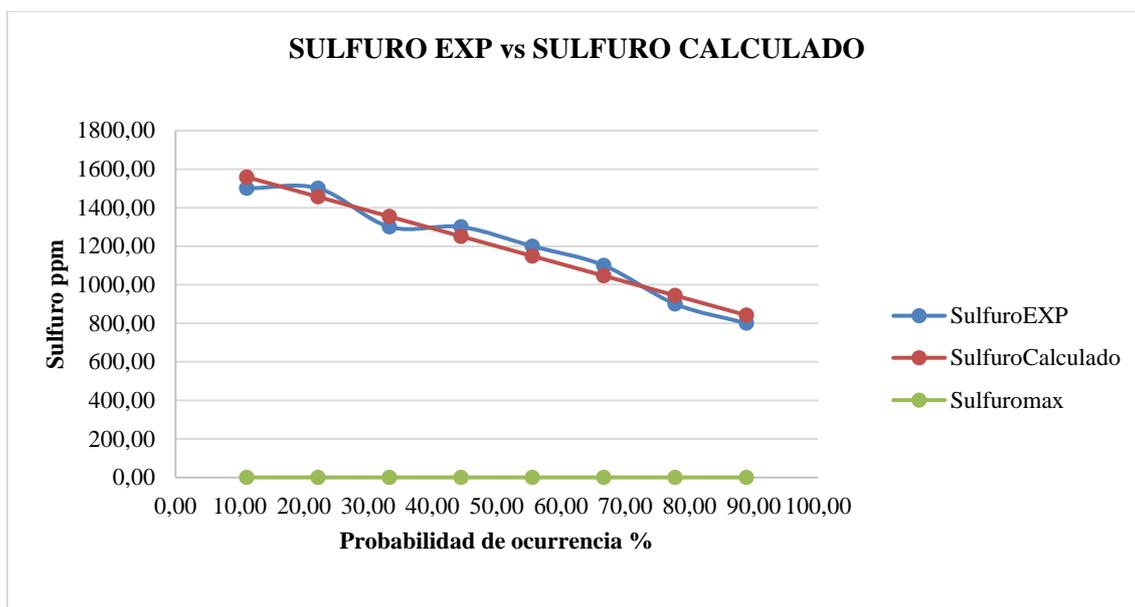
REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE EL INGA MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO.

Parámetro estimado (Nitrógeno ppm)							
N°	f	%P	Nitrógeno EXP	Nitrógeno Calculado	Nitrógeno max	Valores Notables	
1	0,11	11,11	247,00	247,00	15,00	%P	Nitrógeno am
2	0,22	22,22	242,00	241,07	15,00	25,00	239,59
3	0,33	33,33	241,00	235,14	15,00	50,00	226,25
4	0,44	44,44	224,00	229,21	15,00	75,00	212,91
5	0,56	55,56	222,00	223,29	15,00	90,00	204,91
6	0,67	66,67	212,00	217,36	15,00	N2MAX	953,00
7	0,78	77,78	212,00	211,43	15,00	N2MIN	54,00
8	0,89	88,89	210,00	205,50	15,00	N2PROM	226,25
m	-0,53						
b	252,93						



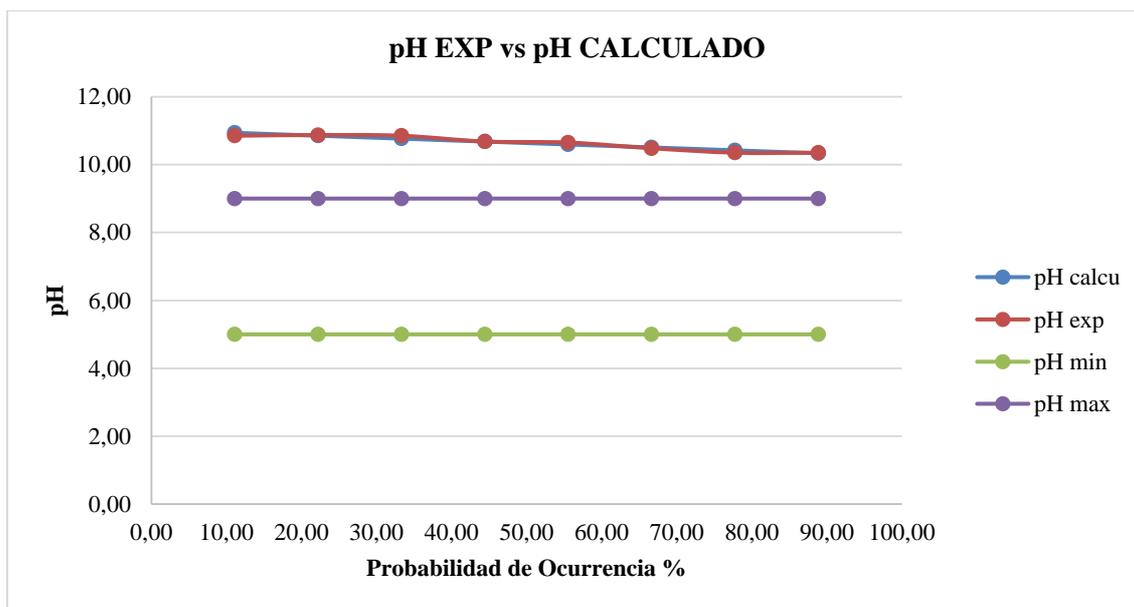
REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE EL INGA MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO.

Parámetro estimado (Sulfuros ppm)							
N°	f	%P	Sulfuro EXP	Sulfuro Calculado	Sulfuro max	Valores Notables	
1	0,11	11,11	1500,00	1558,33	0,50	%P	Sulfuro
2	0,22	22,22	1500,00	1455,95	0,50	25,00	1430,36
3	0,33	33,33	1300,00	1353,57	0,50	50,00	1200,00
4	0,44	44,44	1300,00	1251,19	0,50	75,00	969,64
5	0,56	55,56	1200,00	1148,81	0,50	90,00	831,43
6	0,67	66,67	1100,00	1046,43	0,50	S2MAX	953,00
7	0,78	77,78	900,00	944,05	0,50	S2MIN	54,00
8	0,89	88,89	800,00	841,67	0,50	S2PROM	1200,00
m	-9,21						
b	1660,71						



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.

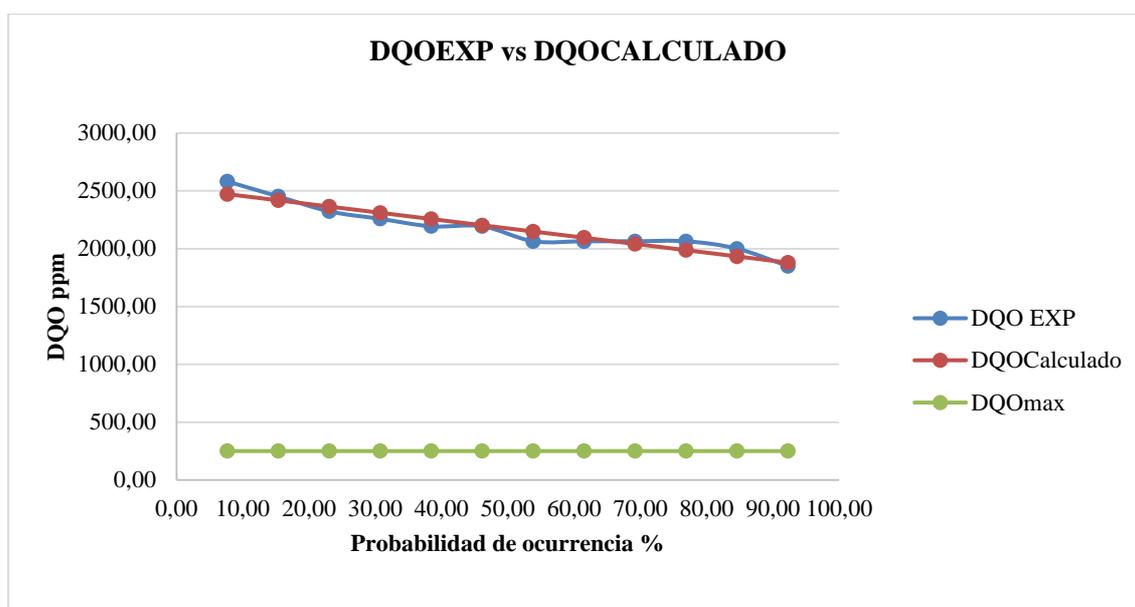
Parámetro estimado (pH)								
N°	f	%P	pH EXP	pH calculado	pH min	pH max	Valores Notables	
1	0,11	11,11	10,85	10,94	5,00	9,00	%P	pH
2	0,22	22,22	10,87	10,85	5,00	9,00	25,00	10,83
3	0,33	33,33	10,85	10,76	5,00	9,00	50,00	10,64
4	0,44	44,44	10,68	10,68	5,00	9,00	75,00	10,44
5	0,56	55,56	10,65	10,59	5,00	9,00	90,00	10,32
6	0,67	66,67	10,48	10,51	5,00	9,00	pH MAX	9,30
7	0,78	77,78	10,35	10,42	5,00	9,00	pH MIN	2,90
8	0,89	88,89	10,35	10,33	5,00	9,00	pH PROM	10,64
m	-0,01							
b	11,02							



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.

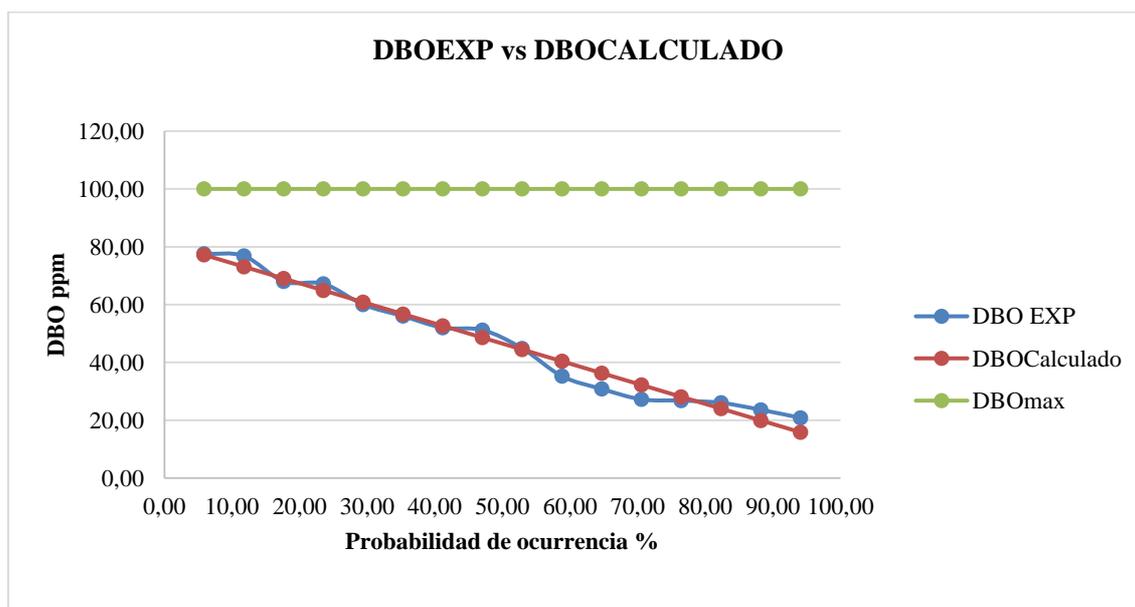
Evaluación método de Hassen para los parámetros analizados, concentración 230 gramos de CaO₂

Parámetro estimado (DQO ppm)							
N°	f	%P	DQO EXP	DQO Calculado	DQO max	Valores Notables	
1	0,08	7,69	2580,65	2471,74	250,00	%P	DQO
2	0,15	15,38	2451,61	2417,90	250,00	25,00	2350,60
3	0,23	23,08	2322,58	2364,06	250,00	50,00	2175,63
4	0,31	30,77	2258,06	2310,22	250,00	75,00	2000,65
5	0,38	38,46	2193,55	2256,39	250,00	90,00	1895,67
6	0,46	46,15	2193,55	2202,55	250,00	DQOMAX	953,00
7	0,54	53,85	2064,52	2148,71	250,00	DQOMIN	54,00
8	0,62	61,54	2064,52	2094,87	250,00	DQOPROM	2175,63
9	0,69	69,23	2064,52	2041,03	250,00		
10	0,77	76,92	2064,52	1987,19	250,00		
11	0,85	84,62	2000,00	1933,35	250,00		
12	0,92	92,31	1849,46	1879,51	250,00		
m	-7,00						
b	2525,58						



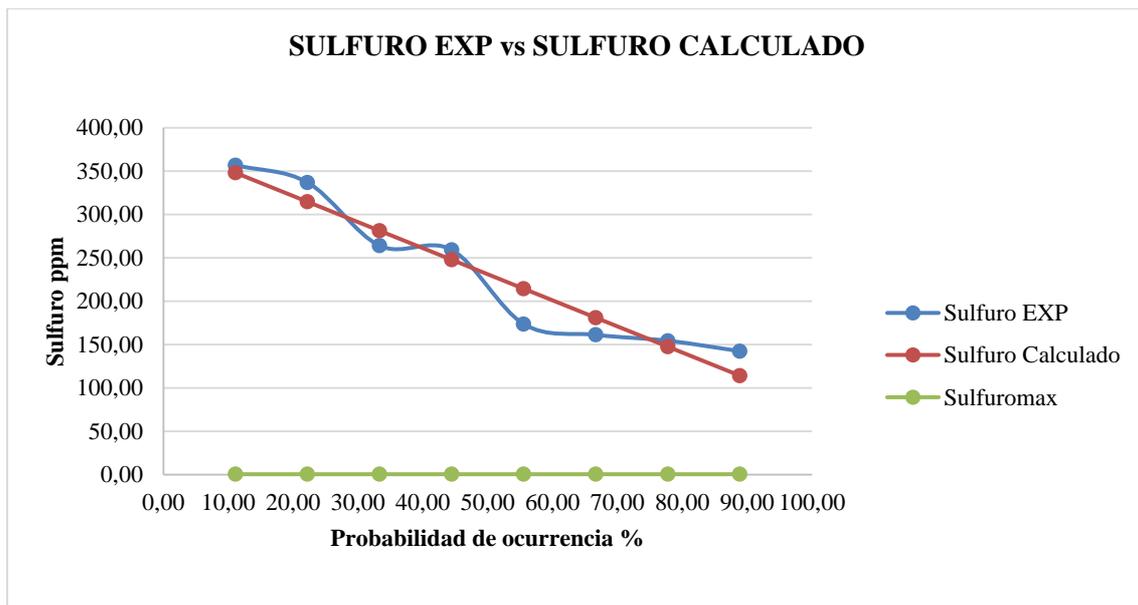
REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE EL INGA MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO.

Parámetro estimado (DBO ppm)							
Nº	f	%P	DBO EXP	DBO Calculado	DBO max	Valores Notables	
1	0,06	5,88	77,60	77,18	100,00	%P	DBO
2	0,12	11,76	76,80	73,09	100,00	25,00	63,89
3	0,18	17,65	68,00	69,00	100,00	50,00	46,50
4	0,24	23,53	67,20	64,91	100,00	75,00	29,12
5	0,29	29,41	60,00	60,82	100,00	90,00	18,68
6	0,35	35,29	56,00	56,73	100,00	DBOMAX	953,00
7	0,41	41,18	52,00	52,64	100,00	DBOMIN	54,00
8	0,47	47,06	51,20	48,55	100,00	DBOPROM	53,90
9	0,53	52,94	44,80	44,45	100,00		
10	0,59	58,82	35,20	40,36	100,00		
11	0,65	64,71	30,80	36,27	100,00		
12	0,71	70,59	27,20	32,18	100,00		
13	0,76	76,47	26,80	28,09	100,00		
14	0,82	82,35	26,00	24,00	100,00		
15	0,88	88,24	23,60	19,91	100,00		
16	0,94	94,12	20,80	15,82	100,00		
m	-0,70						
b	81,27						



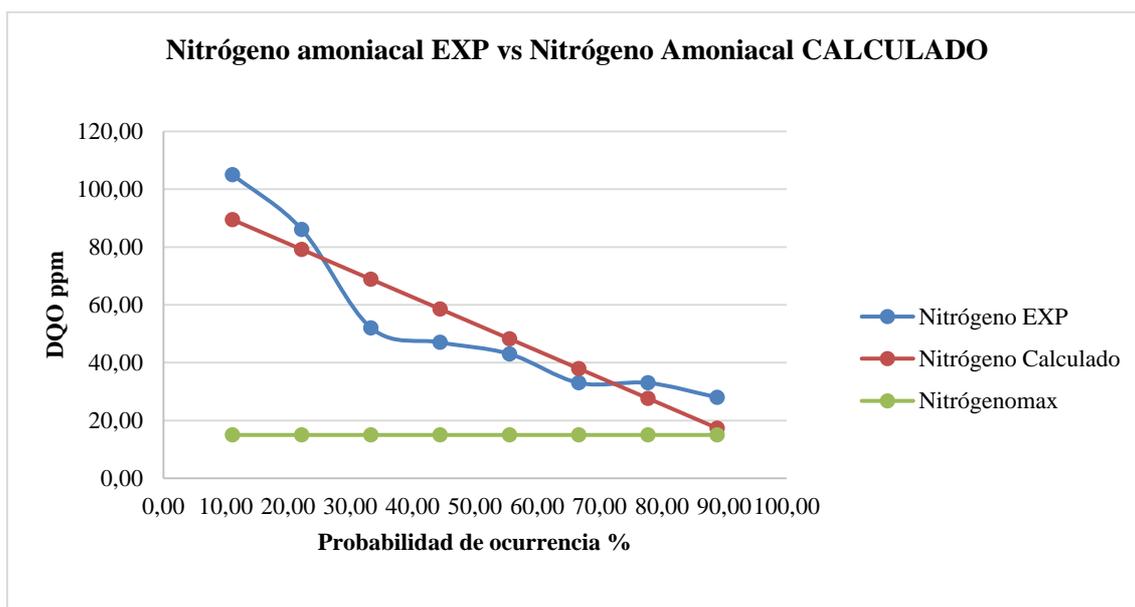
REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE EL INGA MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO.

Parámetro estimado (Sulfuro ppm)							
N°	f	%P	Sulfuro EXP	Sulfuro Calculado	Sulfuro max	Valores Notables	
1	0,11	11,11	356,80	348,00	0,50	%P	Sulfuro
2	0,22	22,22	336,80	314,59	0,50	25,00	306,23
3	0,33	33,33	264,00	281,17	0,50	50,00	231,05
4	0,44	44,44	259,20	247,76	0,50	75,00	155,87
5	0,56	55,56	173,60	214,34	0,50	90,00	110,76
6	0,67	66,67	161,20	180,93	0,50	S2MAX	953,00
7	0,78	77,78	154,40	147,51	0,50	S2MIN	54,00
8	0,89	88,89	142,40	114,10	0,50	S2PROM	231,05
m	-3,01						
b	381,41						



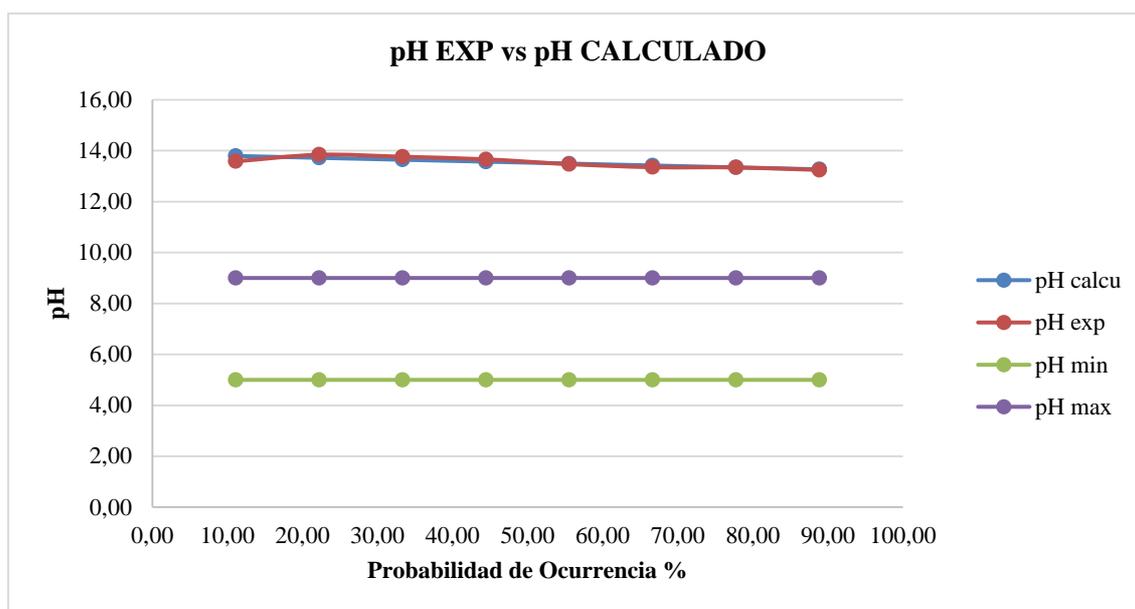
REDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE EL INGA MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERÓXIDO DE CALCIO.

Parámetro estimado Nitrógeno ppm)							
N°	f	%P	Nitrógeno EXP	Nitrógeno Calculado	Nitrógeno max	Valores Notables	
1	0,11	11,11	105,00	89,42	15,00	%P	Nitrógeno am
2	0,22	22,22	86,00	79,12	15,00	25,00	76,54
3	0,33	33,33	52,00	68,82	15,00	50,00	53,38
4	0,44	44,44	47,00	58,52	15,00	75,00	30,21
5	0,56	55,56	43,00	48,23	15,00	90,00	16,30
6	0,67	66,67	33,00	37,93	15,00	N2MAX	953,00
7	0,78	77,78	33,00	27,63	15,00	N2MIN	54,00
8	0,89	88,89	28,00	17,33	15,00	N2PROM	53,38
m	-0,93						
b	99,71						



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.

Parámetro estimado (pH)								
N°	f	%P	pH EXP	pH calculado	pH min	pH max	Valores Notables	
1	0,11	11,11	13,58	13,79	5,00	9,00	%P	pH
2	0,22	22,22	13,84	13,72	5,00	9,00	25,00	13,70
3	0,33	33,33	13,76	13,64	5,00	9,00	50,00	13,53
4	0,44	44,44	13,66	13,57	5,00	9,00	75,00	13,36
5	0,56	55,56	13,47	13,49	5,00	9,00	90,00	13,26
6	0,67	66,67	13,35	13,42	5,00	9,00	pHMAX	9,30
7	0,78	77,78	13,34	13,34	5,00	9,00	pHMIN	2,90
8	0,89	88,89	13,24	13,27	5,00	9,00	pHPROM	13,53
m	-0,01							
b	13,87							



ANEXO D

Cálculo desviación estándar

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.

Cálculo desviación estándar y coeficiente de variación para concentración menor									
	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto	Nitritos	Nitratos	Sulfuros	N amoniacal	DQO	DBO
	10,85	14,43	6,22	400,00	100,00	1500,00	210,00	4000,00	315,20
	10,68	14,11	6,18	300,00	120,00	1200,00	222,00	3483,87	306,40
	10,35	14,13	6,17	300,00	170,00	1300,00	224,00	3010,75	143,60
	10,87	14,54	6,10	300,00	100,00	1100,00	212,00	3612,90	139,20
	10,65	13,67	6,08	400,00	70,00	900,00	247,00	3419,35	313,60
	10,48	14,52	6,10	400,00	70,00	800,00	242,00	3053,76	301,60
	10,85	13,95	5,98	400,00	60,00	1500,00	212,00	3741,94	25,60
	10,35	13,99	6,10	300,00	70,00	1300,00	241,00	3612,90	122,80
								3096,77	344,00
								3612,90	358,40
								2903,23	24,80
								3268,82	28,80
									310,40
									341,60
									195,60
									159,20
Varianza	0,05	0,09	0,01	2857,14	1342,86	65714,29	227,07	113420,01	15166,45
Desv Estándar	0,22	0,31	0,07	53,45	36,65	256,35	15,07	336,78	123,15
Coef. Desviación	2,06	2,17	1,21	15,27	38,57	21,36	6,66	9,64	59,07

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.

Cálculo desviación estándar y coeficiente de variación para concentración mayor									
	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto	Nitritos	Nitratos	Sulfuros	N amoniacal	DQO	DBO
	13,58	20,12	6,54	100,00	30,00	400,00	105,00	2193,55	56,00
	13,34	19,98	6,69	300,00	50,00	700,00	52,00	2064,52	77,60
	13,47	20,35	6,33	300,00	10,00	900,00	47,00	1849,46	30,80
	13,35	19,88	6,11	400,00	10,00	800,00	86,00	2451,61	20,80
	13,24	19,47	5,12	400,00	30,00	900,00	33,00	2258,06	76,80
	13,84	19,68	6,01	500,00	40,00	1000,00	28,00	2064,52	51,20
	13,76	20,15	5,98	300,00	20,00	700,00	43,00	2322,58	26,80
	13,66	19,66	5,33	300,00	10,00	900,00	33,00	2193,55	23,60
								2064,52	67,20
								2064,52	68,00
								2000,00	44,80
								2580,65	35,20
									52,00
									60,00
									26,00
									27,20
Varianza	0,05	0,09	0,30	13571,43	228,57	35535,71	764,84	41441,12	389,58
Desv Estándar	0,22	0,30	0,55	116,50	15,12	188,51	27,66	203,57	19,74
Coef. Desviación	1,59	1,48	9,13	35,85	60,47	23,94	51,81	9,36	43,43

ANEXO D

Registro fotográfico

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.

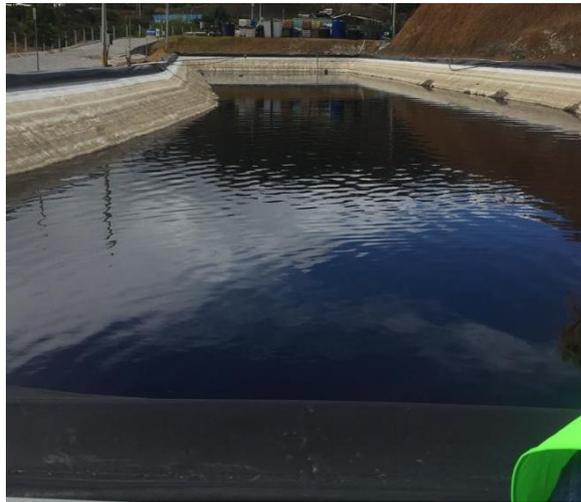


Imagen 1. Piscina 13 del relleno sanitario El Inga.
Fuente: Daniela Gallardo



Imagen 2. Muestras de CaO_2 .
Fuente: Daniela Gallardo



Imagen 3. Lixiviado crudo.
Fuente: Daniela Gallardo

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.



Imagen 4. Aplicación del peróxido de calcio con diferentes concentraciones, día uno.

Fuente: Daniela Gallardo



Imagen 5. Lixiviado con peróxido de calcio con diferentes concentraciones, día tres.

Fuente: Daniela Gallardo



Imagen 6. Lixiviado tratado con peróxido de calcio con diferentes concentraciones, días completos.

Fuente: Daniela Gallardo

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.



Imagen 7. Análisis en laboratorio UISEK después del tratamiento con peróxido de calcio.

Fuente: Daniela Gallardo



Imagen 8. Análisis en laboratorio UISEK después del tratamiento con peróxido de calcio.

Fuente: Daniela Gallardo

ANEXO E
Normativa Utilizada

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.

Tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce TABLA 12. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Libro VI Anexo 1.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehidos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes	Nmp/100 ml		^B Remoción > al 99,9 %
Fecales			
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10

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.

Tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce TABLA 12. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Libro VI Anexo 1

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
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
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

Continua...

Continuación...

TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.