



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LIXIVIADOS  
PROCEDENTES DEL CENTRO DE TRANSFERENCIA DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA  
MANCOMUNIDAD DE MANKATITLÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA; POSTERIOR A UN TREN  
DE TRATAMIENTO A ESCALA LABORATORIO; PARA EVALUAR SU REUSO, SEGÚN LOS  
PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006**

**Andrea Lucía Aldana Véliz**

Asesorado por el ing. Marco Vinicio Carballo García

Guatemala, septiembre 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LIXIVIADOS  
PROCEDENTES DEL CENTRO DE TRANSFERENCIA DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA  
MANCOMUNIDAD DE MANKATITLÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA; POSTERIOR A UN TREN  
DE TRATAMIENTO A ESCALA LABORATORIO; PARA EVALUAR SU REUSO, SEGÚN LOS  
PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANDREA LUCÍA ALDANA VÉLIZ**

ASESORADO POR EL ING. MARCO VINICIO CARBALLO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA AMBIENTAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordóva Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Pablo Morales Paniagua
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LIXIVIADOS  
PROCEDENTES DEL CENTRO DE TRANSFERENCIA DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA  
MANCOMUNIDAD DE MANKATITLÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA; POSTERIOR A UN TREN  
DE TRATAMIENTO A ESCALA LABORATORIO; PARA EVALUAR SU REUSO, SEGÚN LOS  
PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 27 de enero de 2017.



**Andrea Lucía Aldana Véliz**

Guatemala, 25 de febrero de 2019

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
Director Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he revisado y aprobado el Informe Final de Trabajo de Graduación **“CARACTERIZACIÓN FISIQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LIXIVIADOS PROCEDENTES DEL CENTRO DE TRANSFERENCIA DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA MANCOMUNIDAD DE MANKATITLÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA; POSTERIOR A UN TREN DE TRATAMIENTO A ESCALA LABORATORIO; PARA EVALUAR SU REUSO, SEGÚN LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006”**, de la estudiante de Ingeniería Ambiental Andrea Lucía Aldana Véliz, quien se identifica con carné estudiantil número 201213485 y DPI 2453 83565 1904.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente.



Ing. Qc. Marco Vinicio Carballo García  
Colegiado 1181  
Gerente de Investigación y Desarrollo Cal y Pulverizados  
Centro de Investigación y Desarrollo  
Cementos Progreso  
Asesor



Guatemala, 14 de mayo de 2019.  
Ref. EIQ.TG-IF.022.2019.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **057-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN  
-Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Andrea Lucía Aldana Véliz**.  
Identificada con número de carné: **2453835651904**.  
Identificada con registro académico: **201213485**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LIXIVIADOS  
PROCEDENTES DEL CENTRO DE TRANSFERENCIA DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA  
MANCOMUNIDAD DE MANKATITLÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA; POSTERIOR A UN TREN DE  
TRATAMIENTO A ESCALA LABORATORIO; PARA EVALUAR SU REUSO, SEGÚN LOS  
PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Marco Vinicio Carballo García**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

X "ID Y ENSEÑAD A TODOS"  
  
Ing. Jorge Mario Estrada Asturias  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.052.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del **Trabajo de Graduación** de la carrera de **Ingeniería Ambiental** de la estudiante, **ANDREA LUCÍA ALDANA VÉLIZ** titulado: **"CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LIXIVIADOS PROCEDENTES DEL CENTRO DE TRANSFERENCIA DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA MANCOMUNIDAD DE MANKATITLÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA; POSTERIOR A UN TREN DE TRATAMIENTO A ESCALA LABORATORIO; PARA EVALUAR SU REUSO, SEGÚN LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Williams G. Alvarez Mejía; M.I.Q., M.U.I.E  
Director  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre de 2019

Cc: Archivo  
WGAM/ale



ACAII

Asociación Guatemalteca de Ingenieros Químicos  
Asociación de Ingenieros Químicos de Guatemala







La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LIXIVIADOS PROCEDENTES DEL CENTRO DE TRANSFERENCIA DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA MANCOMUNIDAD DE MANKATITLÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA; POSTERIOR A UN TREN DE TRATAMIENTO A ESCALA LABORATORIO; PARA EVALUAR SU REUSO, SEGÚN LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006,** presentado por la estudiante universitaria: **Andrea Lucía Aldana Véliz,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana

  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DECANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
★

Guatemala, Septiembre de 2019

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser mi guía y luz en mi vida, para siempre salir adelante.
<b>Virgen María</b>	Por llenarme de sabiduría y guiar mi camino.
<b>Mis padres</b>	Norma Véliz y Wotsvely Aldana, por nunca perder su confianza en mi y su apoyo incondicional.
<b>Mis abuelos</b>	Candida Véliz (q.e.p.d.), Fidel Aldana (q.e.p.d.) y Argentina Arroyo, por cuidarme y apoyarme en cada momento.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la institución que me ayudó a adquirir el conocimiento para alcanzar mis sueños.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por la formación brindada para convertirme en un profesional.
<b>Mis padres</b>	Norma y Wotsvely, por no dejarme desistir ante cualquier adversidad y ser mi soporte durante toda mi vida.
<b>Mis hermanos</b>	Pablo y Wotsvely, por apoyarme y alentarme en todo momento, son parte de mi alegría.
<b>Mi familia</b>	Por estar siempre atentos a mis triunfos y a mi lado.
<b>Mi novio</b>	César, por ser mi compañero en este largo camino y apoyarme en todo momento.
<b>Mis amigos del colegio</b>	Andrea, Breyner, José Carlos, Jorge, Lis y María José, por su amistad y cariño, que sobrepasa fronteras.

<b>Mis amigos de la U</b>	Marilyn, Luis Pedro, Eduardo, Jessy, Ricardo y Angel, por agregarle alegría a mis días universitarios y por su apoyo en todo momento.
<b>Mi asesor</b>	Marco Carballo, por brindarme su conocimiento y apoyo para realizar este proyecto.
<b>Ing. Alfredo Beber</b>	Por su apoyo y sus enseñanzas a lo largo de mi camino.
<b>Cementos Progreso</b>	Por hacer posible que el proyecto se llevara a cabo y confiar en mis habilidades.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XV
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
Hipótesis .....	XXII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Mancomunidad de Mankatitlán.....	5
2.1.1. Historia .....	5
2.1.2. Descripción geográfica .....	6
2.1.2.1. Clima .....	7
2.1.2.2. Recursos naturales y economía .....	7
2.1.3. División política administrativa.....	8
2.1.4. Población .....	8
2.1.5. Sistema de recolección de basura.....	9
2.2. Centro de transferencia de desechos sólidos.....	9
2.2.1. Infraestructura y distribución.....	9
2.2.1.1. Bodega de reciclables .....	10
2.2.1.2. Piletas para vidrio y porcelana.....	10
2.2.1.3. Área de compostaje.....	10
2.2.2. Tratamiento de los desechos orgánicos .....	11

2.3.	Lixiviados .....	11
2.3.1.	Características .....	12
2.3.2.	Generación de lixiviados .....	12
2.3.3.	Tratamiento para lixiviados.....	15
2.4.	Hidróxido de calcio.....	16
2.4.1.	Propiedades del hidróxido de calcio.....	16
2.4.2.	Usos del hidróxido de calcio.....	16
2.4.3.	Tratamiento de aguas residuales con hidróxido de calcio .....	17
2.5.	Tratamientos para lixiviados.....	17
2.5.1.	Tratamiento primario .....	18
2.5.1.1.	Coagulación .....	18
2.5.1.2.	Sedimentación.....	18
2.5.2.	Tratamiento secundario.....	19
2.5.2.1.	Precipitación química .....	19
2.5.2.1.1.	Hidróxido de calcio.....	20
2.5.3.	Tratamiento terciario .....	20
2.5.3.1.	Filtración en medio granular .....	21
2.6.	Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de la descarga y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.....	22
2.6.1.	Objeto.....	22
2.6.2.	Aplicación.....	22
2.6.3.	Competencia .....	22
2.6.4.	Parámetros para aguas residuales y valores de descarga a cuerpos receptores .....	23
2.6.4.1.	Parámetros de aguas residuales.....	23
2.6.4.2.	Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos .....	24

2.6.5.	Parámetros de aguas para reuso .....	25
2.6.5.1.	Tipo I: reuso para riego agrícola en general.....	25
2.6.5.2.	Tipo II: reuso para cultivos comestibles.....	25
2.6.5.3.	Tipo III: reuso para acuicultura .....	26
2.6.5.4.	Tipo IV: reuso para pastos y otros cultivos.....	26
2.6.5.5.	Tipo V: reuso recreativo.....	26
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	27
3.1.	Localización.....	27
3.2.	Variables.....	27
3.2.1.	Variables independientes .....	27
3.2.2.	Variables dependientes .....	28
3.3.	Delimitación del campo de estudio .....	30
3.4.	Recursos humanos.....	30
3.5.	Recursos materiales .....	30
3.6.	Técnicas cuantitativas de la investigación .....	31
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información .....	32
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	32
3.9.	Análisis estadístico de los datos.....	35
3.9.1.	Cálculo de varianza .....	35
3.9.2.	Cálculo de desviación estándar .....	36
3.9.3.	Análisis de varianza.....	36
3.9.4.	Coeficiente de variación de Pearson .....	38

4.	RESULTADOS.....	67
4.1.	Parámetros analizados según Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	67
4.2.	Variación de parámetros respecto a la concentración de hidróxido de calcio en el tratamiento del lixiviado .....	68
4.3.	Caudal medio diario de lixiviado.....	87
4.4.	Tipos de reuso de aguas residuales.....	87
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	89
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES .....	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
	APÉNDICE .....	99



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Mancomunidad de Mankatitlán .....	6
2.	Composición promedio de lixiviados .....	14
3.	Contenido de aceites y grasas en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	69
4.	Contenido de sólidos suspendidos en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	70
5.	Contenido de la demanda bioquímica de oxígeno en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	71
6.	Contenido de la demanda química de oxígeno en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	72
7.	Contenido de nitrógeno total en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	73
8.	Contenido de fosforo total en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	74
9.	Contenido de potencial de hidrógeno en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	75
10.	Contenido de coliformes fecales en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	76
11.	Contenido de arsénico en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	77
12.	Contenido de cadmio en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	78

13.	Contenido de cianuro total en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	79
14.	Contenido de cobre en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	80
15.	Contenido de cromo hexavalente en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	81
16.	Contenido de mercurio en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	82
17.	Contenido de níquel en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	83
18.	Contenido de plomo en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	84
19.	Contenido de zinc en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	85
20.	Contenido de color en función de la concentración de hidróxido de calcio .....	86
21.	Litros de lixiviado por segundo con respecto a los días.....	87

## TABLAS

I.	Población de la mancomunidad de Mankatitlán .....	8
II.	Límites máximos permisibles para la descarga en cuerpos receptores .....	24
III.	Parámetros y límites máximos permisibles para reuso .....	26
IV.	Variables independientes .....	28
V.	Variables dependientes.....	28
VI.	Recursos materiales utilizados.....	31
VII.	Parámetros de análisis de lixiviado crudo .....	32
VIII.	Parámetros de análisis del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ a concentración 0,2 M.....	33
IX.	Parámetros de análisis de lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ a concentración 0,4 M.....	34
X.	Parámetros de análisis de lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ a concentración 0,6 M.....	34
XI.	Media y desviación estándar de parámetros de análisis de lixiviado crudo .....	39
XII.	Media y desviación estándar de parámetros de análisis de lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ a concentración 0,2 M .....	40
XIII.	Media y desviación estándar de parámetros de análisis de lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ a concentración 0,4 M .....	41
XIV.	Media y desviación estándar de parámetros de análisis de lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ a concentración 0,6 M .....	42
XV.	Experimento de un factor, para el parámetro de aceites y grasas del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	43
XVI.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de aceites y grasas del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	43

XVII.	Experimento de un factor, para el parámetro de aceites y grasas del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	43
XVIII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de aceites y grasas del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	44
XIX.	Experimento de un factor, para el parámetro de sólidos suspendidos del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	44
XX.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de sólidos suspendidos del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	44
XXI.	Experimento de un factor, para el parámetro de sólidos suspendidos del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	45
XXII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de sólidos suspendidos del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	45
XXIII.	Experimento de un factor, para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	46
XXIV.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	46
XXV.	Experimento de un factor, para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	46
XXVI.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	47
XXVII.	Experimento de un factor, para el parámetro de la demanda química de oxígeno del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	47
XXVIII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de la demanda química de oxígeno del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	47
XXIX.	Experimento de un factor, para el parámetro de la demanda química de oxígeno del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	48

XXX.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de la demanda química de oxígeno del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	48
XXXI.	Experimento de un factor, para el parámetro de nitrógeno total del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	49
XXXII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de nitrógeno total del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	49
XXXIII.	Experimento de un factor, para el parámetro de nitrógeno total del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	49
XXXIV.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de nitrógeno total del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	50
XXXV.	Experimento de un factor, para el parámetro de fósforo total del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	50
XXXVI.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de fósforo total del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	50
XXXVII.	Experimento de un factor, para el parámetro de potencial de hidrógeno del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	51
XXXVIII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de potencial de hidrógeno del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	51
XXXIX.	Experimento de un factor, para el parámetro de potencial de hidrógeno del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	51
XL.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de potencial de hidrógeno del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	52
XLI.	Experimento de un factor, para el parámetro de coliformes fecales del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	52
XLII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de coliformes fecales del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	52
XLIII.	Experimento de un factor, para el parámetro de coliformes fecales del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	53

XLIV.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de coliformes fecales del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	53
XLV.	Experimento de un factor, para el parámetro de arsénico del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	53
XLVI.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de arsénico del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	54
XLVII.	Experimento de un factor, para el parámetro de arsénico del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	54
XLVIII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de arsénico del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	54
XLIX.	Experimento de un factor, para el parámetro de cadmio del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	55
L.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cadmio del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	55
LI.	Experimento de un factor, para el parámetro de cadmio del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	55
LII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cadmio del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	56
LIII.	Experimento de un factor, para el parámetro de cianuro total del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	56
LIV.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cianuro total del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	56
LV.	Experimento de un factor, para el parámetro de cianuro total del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	57
LVI.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cianuro total del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	57
LVII.	Experimento de un factor, para el parámetro de cobre del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	57

LVIII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cobre del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	58
LIX.	Experimento de un factor, para el parámetro de cobre del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	58
LX.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cobre del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	58
LXI.	Experimento de un factor, para el parámetro de cromo hexavalente del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	59
LXII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cromo hexavalente del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	59
LXIII.	Experimento de un factor, para el parámetro de cromo hexavalente del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	59
LXIV.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cromo hexavalente del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	60
LXV.	Experimento de un factor, para el parámetro de mercurio del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	60
LXVI.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de mercurio del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	60
LXVII.	Experimento de un factor, para el parámetro de mercurio del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	61
LXVIII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de mercurio del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	61
LXIX.	Experimento de un factor, para el parámetro de níquel del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	61
LXX.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de níquel del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	62
LXXI.	Experimento de un factor, para el parámetro de níquel del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	62



LXXII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de níquel del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	62
LXXIII.	Experimento de un factor, para el parámetro de plomo del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	63
LXXIV.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de plomo del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	63
LXXV.	Experimento de un factor, para el parámetro de plomo del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	63
LXXVI.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de plomo del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	64
LXXVII.	Experimento de un factor, para el parámetro de zinc del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	64
LXXVIII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de zinc del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	64
LXXIX.	Experimento de un factor, para el parámetro de zinc del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	65
LXXX.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de zinc del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	65
LXXXI.	Experimento de un factor, para el parámetro de color del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	65
LXXXII.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de color del lixiviado tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	66
LXXXIII.	Experimento de un factor, para el parámetro de color del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	66
LXXXIV.	Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de color del lixiviado no tratado y tratado con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	66
LXXXV.	Parámetros analizados para lixiviado original y tratado con hidróxido de calcio a 0,2 M, 0,4 M y 0,6 M.....	67

LXXXVI.	Modelo matemático de contenido de aceites y grasas en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	69
LXXXVII.	Modelo matemático de contenido de sólidos suspendidos en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	70
LXXXVIII.	Modelo matemático de contenido de la demanda bioquímica de oxígeno en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	71
LXXXIX.	Modelo matemático de contenido de la demanda química de oxígeno en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	72
XC.	Modelo matemático de contenido de nitrógeno total en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	73
XCI.	Modelo matemático de contenido de fosforo total en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	74
XCII.	Modelo matemático de contenido de potencial de hidrógeno en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	75
XCIII.	Modelo matemático de contenido de coliformes fecales en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	76
XCIV.	Modelo matemático de contenido de arsénico en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	77
XCV.	Modelo matemático de contenido de cadmio en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	78
XCVI.	Modelo matemático de contenido de cianuro total en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	79
XCVII.	Modelo matemático de contenido de cobre en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	80
XCVIII.	Modelo matemático de contenido de cromo hexavalente en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	81
XCIX.	Modelo matemático de contenido de mercurio en función de la concentración de hidróxido de calcio. ....	82

C.	Modelo matemático de contenido de níquel en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	83
CI.	Modelo matemático de contenido de plomo en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	84
CII.	Modelo matemático de contenido de zinc en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	85
CIII.	Modelo matemático de contenido de color en función de la concentración de hidróxido de calcio.....	86
CIV.	Parámetros analizados para reuso de los lixiviados tratados con hidróxido de calcio a 0,2 M, 0,4 M y 0,6 M, según Acuerdo Gubernativo 236-2 006 .....	88

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
°C	Grados Celsius
°F	Grados Farenheit
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
LMA	Límite máximo aceptable
LMP	Límite máximo permisible
mg/L	Miligramo por litro de solución
NMP/100cm <sup>3</sup>	Número más probable/100cm <sup>3</sup> de solución
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
TSD	Total de sólidos disueltos
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros
Unid. Pt-Co	Unidades platino-cobalto



## GLOSARIO

<b>Acidez</b>	Concentración de hidrógeno mayor a la del agua pura, a igual temperatura, y el pH es menor a siete.
<b>Agua potable</b>	Agua que cumple los parámetros de la norma COGUANOR NTG 29,001, adecuada para el consumo humano.
<b>Alcalinidad</b>	Concentración de hidrógeno menor a la del agua pura, a igual temperatura, y el pH es mayor a siete.
<b>Calidad del agua</b>	Características físicas, químicas y biológicas, por las cuales se determina si el agua es adecuada para el uso destinado.
<b>Coliforme fecal</b>	Bacterias patógenas provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.
<b>Conductividad</b>	Capacidad que tienen las sustancias para conducir electricidad.
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno, medida indirecta del contenido de materia orgánica en agua, determinado por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica.

<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno, medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en agua, determinado por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación química.
<b>Dureza</b>	Característica del agua que presenta la concentración total de iones de calcio y magnesio.
<b>Floculación</b>	Aglomeración de partículas en una solución coloidal, que posteriormente se irán depositando en el fondo.
<b>Grupo coliforme</b>	Bacterias que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas.
<b>LMP</b>	Límite máximo permisible, el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido.
<b>Lixiviado</b>	Líquido que se forman como resultado de pasar o percolarse a través de material sólido orgánico.
<b>Manto freático</b>	Capa de roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas.
<b>Parámetro</b>	Variable que identifica una característica, asignándole un valor numérico.
<b>Reuso</b>	Aprovechamiento de un recurso para otra actividad igual o diferente a la inicial.



## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objeto la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados procedentes del Centro de Transferencia de Desechos Sólidos de la mancomunidad de Mankatitlán, Sololá, Guatemala; al ser tratados con hidróxido de calcio, a partir de un tren de tratamiento a escala laboratorio, con el fin de evaluar su reuso, según los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.

Se realizó una serie de muestreos del lixiviado, captándolos del pozo número 1 dentro del centro de transferencia. A través de un tren de tratamiento a escala laboratorio, el cual constaba de precipitación química con hidróxido de calcio, sedimentación y filtración en medio granular; se hicieron pasar las muestras, utilizando distintas concentraciones de hidróxido de calcio: 0,2M, 0,4 M y 0,6 M, respectivamente, para cada muestra. Posterior al tratamiento se analizaron las muestras tratadas, así como las muestras del lixiviado crudo, dentro del Laboratorio Ecosistemas para determinar sus características fisicoquímicas y microbiológicas.

Se determinó que el lixiviado a 0,2 M es el más apto para reuso según sus características fisicoquímicas y microbiológicas, no conteniendo metales pesados ni coliformes fecales, parámetros esenciales para reuso. La importancia del tratamiento de los lixiviados en un basurero o relleno sanitario, es que estos al ser obtenidos no se infiltren en el suelo que llegan al manto freático para contaminar el agua subterránea.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente los lixiviados procedentes del Centro de Transferencia de Desechos Sólidos de la mancomunidad de Mankatitlán, Sololá, Guatemala; posterior a un tren de tratamiento a escala laboratorio; para evaluar su reuso, según los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

### **Específicos**

1. Evaluar si la concentración de hidróxido de calcio influye en las características del lixiviado, a través de los parámetros de medición del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
2. Comparar las características del lixiviado tratado y el no tratado, a través de los parámetros de medición del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
3. Evaluar si el lixiviado tratado cumple con los límites máximos permisibles para entes generadores nuevos de los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para su reuso.

## **Hipótesis**

El tratamiento del lixiviado a partir de un tren de tratamiento de precipitación química, sedimentación y filtración por medio granular, mejorará las propiedades del lixiviado, cumpliendo con los límites máximos permisibles para reuso, del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

### **Hipótesis nula**

- $H_{01}$ : los límites máximos permisibles para entes generadores nuevos, de los parámetros de medición del Acuerdo Gubernativo 236-2006, no varían al cambiar la concentración de hidróxido de calcio utilizada.
- $H_{02}$ : no existe diferencia significativa entre el lixiviado tratado y el no tratado según los límites máximos permisibles para entes generadores nuevos, de los parámetros de medición del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
- $H_{03}$ : los parámetros de control son menores o iguales a los parámetros requeridos, según los límites máximos permisibles para reuso del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

### **Hipótesis alternativa**

- $H_{11}$ : los límites máximos permisibles para entes generadores nuevos, de los parámetros de medición del Acuerdo Gubernativo 236-2006, varían al cambiar la concentración de hidróxido de calcio utilizada.

- $H_{i2}$ : existe diferencia significativa entre el lixiviado tratado y el no tratado según los límites máximos permisibles para entes generadores nuevos, de los parámetros de medición del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
- $H_{i3}$ : los parámetros de control son mayores a los parámetros requeridos, según los límites máximos permisibles para reuso del Acuerdo Gubernativo 236-2006.



## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tuvo como objeto la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados procedentes del centro de transferencia de desechos sólidos de la mancomunidad de Mankatitlán, Sololá, Guatemala; al ser tratados con hidróxido de calcio, a partir de un tren de tratamiento a escala laboratorio, para su posterior reuso, según los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Se conocen como lixiviados a líquidos producto de una percolación de un sólido. Estos lixiviados son muy densos, presentándose en colores negros y amarillos y con un alto aroma ácido. Los lixiviados pueden ser muy tóxicos, dependiendo de las concentraciones de nitrógeno, hierro, cloruros, fenoles, manganeso, metales pesados y microorganismos.

Los lixiviados son obtenidos debido a la acumulación de residuos orgánicos que se degradan por la acción de la temperatura, el viento y la humedad y son mezclados con nitratos y fosfatos pulverizados presentes en el suelo. Para determinar la calidad de un lixiviado se hace un análisis de laboratorio para evaluar las principales propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y contenido de metales pesados, para comparar con los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, correspondiente al Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y la disposición de lodos, del territorio de Guatemala.

El objeto principal del estudio fue caracterizar el lixiviado, tras una serie de tratamientos, en los cuales se utilizarán: precipitación química con hidróxido de calcio, sedimentación y filtración en medio granular, para evaluar mediante parámetros que los lixiviados puedan ser posteriormente reusados en diferentes actividades y así cumplir con dos funciones: dar tratamiento a este residuo y aprovecharlo dentro de la misma área por la comunidad.



## **1. ANTECEDENTES**

Los rellenos sanitarios se han convertido en un sistema esencial para el tratamiento de los desechos sólidos, pero para que este tenga una amplia eficiencia deben ser tratados productos como los lixiviados; por lo que se han realizado investigaciones y proyectos sobre plantas de tratamiento a partir de los niveles tradicionales de tratamiento, primario, secundario y terciario, al igual que tratamiento a partir de compuestos como sulfuro de aluminio y cloruro férrico. De igual forma, se ha utilizado el hidróxido de calcio para tratamientos.

Se realizó un estudio por la Compañía para la Gestión de los Residuos Sólidos de Asturias, Sociedad Anónima (COGERSA, S.A.) sobre el tratamiento de los lixiviados que se generan en los vertederos de RNP de Asturias, España; en donde los lixiviados producidos en los vertederos de COGERSA se almacenan en una balsa cubierta de hormigón, para que luego pase por un sistema de depuración que se basa en una depuración biológica mediante bacterias nitrificantes y desnitrificantes en reactores a presión, con una fase posterior de ultrafiltración para separar el efluente de los fangos biológicos. De esta forma, la empresa ha implementado este proceso por años para el tratamiento de los lixiviados.

En Barranquilla, Colombia, en el año 2009 se realizó un proyecto de diseño, implementación y puesta en marcha de una planta de tratamiento de lixiviados provenientes del Parque Ambiental Los Pocitos. Este proyecto fue realizado por el Ingeniero de planificación Mendoza, A., con el apoyo de la Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental. El sistema de tratamiento de los lixiviados está conformado por un desarenador, dos lagunas de sedimentación, tratamiento biológico y el tratamiento físico – químico, cumpliendo con el pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario; ubicados cada uno en la parte más baja del relleno para ser trasladados por gravedad.

En el año 2007, José Ramón Laines Canepa, ingeniero químico industrial de México, Jorge Alberto Goñi Arévalo, licenciado en hidrobiología de México, Randy Howard Adams Schroeder, biólogo de Estados Unidos y Wilder Camacho Chiu, Ingeniero agrónomo de México; realizaron una investigación titulada Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario, en la que se determinó la coagulación-floculación de mezclas con proporciones variables de almidón de plátano, sulfato de aluminio y arcillas; midiendo turbiedad, color, DQO, pH, sólidos suspendidos totales y conductividad, antes y después del tratamiento del lixiviado.

En el Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente del Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias en la Universidad de Oviedo, en el año 2008 se llevó a cabo una investigación sobre el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos, con el fin de reducir el contenido de materia orgánica biodegradable mediante la recirculación de lixiviados y el tratamiento de este mediante un proceso de coagulación-floculación, utilizando  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y policloruro de aluminio.

El Doctor Oscar Primo Martínez, en el año 2008, realizó su proyecto de investigación doctoral titulada Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de rsu mediante procesos de oxidación avanzada en la que se realiza el análisis del tratamiento de lixiviados procedentes de vertederos donde se recogen los residuos sólidos urbanos, mediante tecnologías de oxidación avanzada fenton y foto-fenton.

Para el proceso fenton se determinaron las condiciones de operación de concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  y temperatura; evaluándose la eficacia de esta mediante la reducción de la materia orgánica, expresada como DQO. Mientras mayores fueron las concentraciones de hierro, los porcentajes de eliminación de DQO mejoraron, ascendiendo. Respecto al proceso foto-fenton, este logró mayor eficacia en el porcentaje de eliminación de DQO, debido a que al adicionar luz UV al proceso convencional fenton. Utilizando este proceso se logró obtener 20 % más de eliminación de DQO, respecto al proceso fenton.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Mancomunidad de Mankatitlán**

La mancomunidad de Mankatitlán está ubicada en Sololá y conformada por 5 municipios del departamento.

#### **2.1.1. Historia**

A partir del año 2004 inician los espacios de diálogo entre las autoridades municipales de 5 municipios del departamento de Sololá, acerca de la necesidad de organizarse en una mancomunidad. Dicha mancomunidad de municipios se oficializa el 23 de junio del año 2005, denominándose Mankatitlán: La mancomunidad de Municipios Kaqchikel-Chichoy-Atitlán.

Los municipios integrantes de la mancomunidad Mankatitlán son: Panajachel, San Andrés Semetabaj, San Antonio Palopó, Santa Catarina Palopó y Concepción.

Es la mancomunidad de municipios más grande del departamento, entidad de derecho público, no lucrativa, de naturaleza esencialmente solidaria y de desarrollo en el ámbito municipal, no religiosa, no partidista, con igualdad de derechos y obligaciones entre los municipios que la conforman, para la formulación común de políticas públicas intermunicipales, planes, programas y proyectos, la ejecución de obras y la prestación eficiente de servicios públicos, con un voto por cada municipio.

## 2.1.2. Descripción geográfica

La mancomunidad Mankatitlán está localizada en la región suroccidente de Guatemala, con sede en el municipio de Panajachel del departamento de Sololá. Se sitúa en una latitud norte entre 14°38'00' y 14°48'30' y una longitud oeste entre 91°09'00' y 91°10'00' y tiene una extensión aproximada de 152 kilómetros cuadrados.

Los municipios de la Mankatitlán se ubican en la cuenca del lago Atitlán, ubicado en el departamento de Sololá a 1 562 msnm. La latitud en la que se encuentran los municipios mancomunados son: en la parte más baja a 1 400 msnm, en la rivera del lago Atitlán y la parte más alta a 2 800 msnm, al norte del municipio de San Andrés Semetabaj.

Figura 1. **Mancomunidad de Mankatitlán**



Fuente: Mankatitlán – Mapa. Consulta: <http://mankatitlan.org.gt/mapas/>

### **2.1.2.1. Clima**

La mancomunidad pertenece a las tierras altas de la cadena volcánica con montañas, colinas y conos volcánicos. Tiene bosques húmedos montañosos subtropicales, una precipitación pluvial de 1 000-2 000mm y temperatura media anual de 18-24 °C.

### **2.1.2.2. Recursos naturales y economía**

Dado a la ubicación geográfica, riqueza natural y cultural de los municipios mancomunados, se constituyen un potencial y atractivos para el turismo nacional e internacional. Por lo mismo, Panajachel es uno de los municipios que sobresale en la prestación de los servicios de: hotelería, restaurantería, artesanía, transporte terrestre y acuífero.

Mientras que en la zona alta de los municipios de Concepción, San Andrés Semetabaj, San Antonio Palopó y Santa Catarina Palopó; la población se dedica a la producción de granos básicos, vegetales de exportación, hortalizas y café.

Los recursos naturales de la mancomunidad consisten en:

- Potencial de recursos hídricos (lago de Atitlán) ríos y nacimientos de agua.
- Vocación del suelo agroforestal,
- Bosque predominante en la región el pino,
- Lugares escénicos,

### 2.1.3. División política administrativa

La mancomunidad Mankatitlán, cuya finalidad es gestionar el desarrollo sostenible de los habitantes de los municipios mancomunados, está conformada por los siguientes municipios: San Antonio Palopó, Santa Catarina Palopó, San Andrés Semetabaj, Panajachel y Concepción. Cada uno de los municipios mancomunados cuenta con su propia organización política-administrativa.

### 2.1.4. Población

Según las proyecciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadística en el año 2013, se obtuvo que la mancomunidad Mankatitlán compuesta por una cantidad poblacional de 57 725 habitantes, distribuida de la siguiente manera:

Tabla I. **Población de la mancomunidad de Mankatitlán**

<b>No.</b>	<b>Municipios</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total</b>
1	Concepción	3 288	3 611	6 899
2	Panajachel	8 919	9 033	17 952
3	Santa Catarina Palopó	2 882	3 105	5 987
4	San Antonio Palopó	6 654	6 835	13 489
5	San Andrés Semetabaj	6 547	6 851	13 398
Suma Total		28 290	29 435	57 725

Fuente: elaboración propia.



### **2.1.5. Sistema de recolección de basura**

Según información del INE el 72,62 % utilizaba el método de extracción de basura domiciliar y en el año 2006, se identificó que el 97,48 % de hogares utiliza este servicio, prestado por la municipalidad. La mancomunidad cuenta con un basurero municipal, que es el centro de transferencia de desechos sólidos, que está ubicado a cuatro kilómetros del casco urbano.

## **2.2. Centro de transferencia de desechos sólidos**

El CTDS se encuentra dentro de la finca municipal ubicada en la aldea Chuiquel del municipio de Sololá. El ingreso hacia este inmueble está en el kilómetro 132 sobre la carretera Interamericana a inmediaciones del puente Argueta. El acopio y manejo adecuado de desechos en este CTDS dio inicio el 25 de marzo del año 2014, y el promedio mensual de desechos sólidos manejados es de 200 toneladas mensuales de los cuales el 60 % corresponde a material orgánico que se procesa para la producción de compost y el 40 % corresponderá a material inorgánico reciclable que se acopia, embala y envía a centros de reciclaje para su aprovechamiento final adecuado.

### **2.2.1. Infraestructura y distribución**

El CTDS está distribuido según los tipos de residuos que se manejan, haciendo que su operación sea más eficiente.

### **2.2.1.1. Bodega de reciclables**

Dentro de esta se realiza el correcto almacenamiento en sacos o pacas de materiales reciclables, como botellas de plástico, papel de distintos tipos, cartón, madera, aluminio y otros residuos que no son precisamente reciclables pero de igual forma son separados, como electrodomésticos, llantas y duroport.

### **2.2.1.2. Piletas para vidrio y porcelana**

Se cuentan con cinco piletas construidas de cemento, con su respectivo drenaje, para la separación y almacenamiento de vidrio y porcelana. Cada pileta almacena los diferentes tipos de vidrio y porcelana, clasificados de la siguiente forma:

- Pileta 1 para vidrio circular transparente
- Pileta 2 para vidrio plano de todas las formas y colores
- Pileta 3 para vidrio circular de color café
- Pileta 4 para vidrio circular en colores verde y azul
- Pileta 5 para todo tipo de porcelana y cerámica

### **2.2.1.3. Área de compostaje**

Por sus condiciones estructurales, permite acelerar el proceso de degradación de la materia orgánica y está compuesto de tres zonas que son:

- Área de fermentado y cernido
- Área de secado y cosecha de abono orgánico y
- Área de cosecha de abono foliar

### **2.2.2. Tratamiento de los desechos orgánicos**

Se lleva a cabo un proceso técnico de degradación, monitoreando para el cumplimiento del proceso de compostaje, el nitrógeno, el carbono, el oxígeno y el agua. Mediante el ambiente idóneo para la actividad microbiana de degradación de la materia orgánica, se acumulan los desechos orgánicos de un día, inoculando estos desde el primer día y se realizan volteos semanales para su adecuada aireación; se maneja mensualmente un total de 12 bultos de desechos orgánicos inoculados y en proceso de fermentación.

El proceso de maduración y composta final de los desechos orgánicos, desde su inoculación hasta su cosecha final es de 8 semanas; se obtiene, por lo tanto, una cosecha semanal 50 quintales de abono orgánico listos para su embalado, canje y utilización en los campos de cultivos.

Los lixiviados obtenidos de los bultos de materia orgánica son derivados y trasladados a través de un drenaje tipo francés y almacenado en una caja recolectora para ser recirculados dentro de la compostera.

### **2.3. Lixiviados**

Los lixiviados son líquidos que se forman como resultado de pasar o percolarse a través de material sólido orgánico. El líquido va arrastrando distintas partículas de los sólidos que atraviesa. Estos residuos suelen ser inertes esto es que no son solubles ni combustibles, ni biodegradables.

### **2.3.1. Características**

Los lixiviados se caracterizan por su composición física, química y biológica. Las características principales encontradas en los lixiviados son las siguientes:

- Propiedades físicas: color, olor, sólidos y temperatura.
- Constituyentes químicos: grasas y aceites, metales pesados, nitrógeno, fósforo, potencial de hidrógeno, azufre.
- Constituyentes biológicos: eubacterias y arqueobacterias.
- Gases: metano, dióxido de carbono.

### **2.3.2. Generación de lixiviados**

Debido a que el proceso de lixiviación es una degradación anaeróbica, se llevan a cabo distintas etapas o fases para que esta degradación esté completa:

- Fase inicial: en la fase inicial no se observan cambios considerables con los lixiviados. Eventualmente, se presenta la presencia de materia orgánica que logra degradarse de forma aeróbica.
- Fase de transición: comienza a presentarse la degradación anaeróbica, se da un incremento en la DQO y se comienza a presentar una disminución del pH. Esto evidencia la presencia de los primeros microorganismos acidogénicos. En alguna medida inicia también la precipitación de los metales y de los metales pesados.

- Fase ácida: con la formación de los ácidos grasos por parte de las bacterias acidogénicas se aumenta el DQO y también la presencia de dichos ácidos dentro de los lixiviados.
- Fase metanogénica: los microorganismos metanogénicos aparecen y se encargan de transformar los ácidos grasos en metano y dióxido de carbono, haciendo que descienda la presencia de ácidos grasos y disminuya el DQO de los lixiviados. El pH vuelve a regularse ya que desaparecen paulatinamente los ácidos grasos.
- Fase de maduración: en esta fase el pH se estabiliza y desaparecen gradualmente los demás contaminantes presentes en los lixiviados, evidenciando que el proceso de degradación ha terminado.

Figura 2. **Composición promedio de lixiviados**

Componente	Relleno joven (< 2 años)	Relleno maduro (>10 años)
DBO5	2000-30000	100-200
DQO	3000-60000	100-500
DO Total	1500-20000	80-160
SST	200-2000	100-400
N orgánico	10-800	80-100
N amoniacal	10-800	20-40
Nitrato	5-40	5-10
Fósforo Total	5-100	5-10
Alcalinidad (CaCO3)	1000-10000	200-1000
pH	4,5-7,5	6,6-7,5
Dureza	300-10000	200-500
Calcio	200-3000	100-400
Magnesio	50-1500	50-200
Potasio	200-1000	50-400
Sodio	200-2500	100-200
Cloro	200-3000	100-400
Sulfatos	50-1000	20-50
Hierro Total	50-1200	20-200

Fuente: SALAZAR, Luis. *Alternativa de tratamiento de lixiviados en plantas de aguas residuales urbanas*. Guatemala. p. 23.

### **2.3.3. Tratamiento para lixiviados**

La selección del proceso más adecuado para el tratamiento del lixiviado varía en función de las características del propio lixiviado, de su composición química. Así, los parámetros de concentración de amonio, materia orgánica biodegradable y no biodegradable, conductividad y cloruros son factores importantes que determinan cuál es la tecnología más adecuada para aplicar en el tratamiento de estos lixiviados.

En el momento que se requiere la instalación de una planta de tratamiento de lixiviado se debe realizar un estudio de viabilidad tecnológica y seleccionar la mejor tecnología disponible. Dada la complejidad química de los lixiviados, normalmente su tratamiento adecuado implica una combinación de distintas tecnologías.

Los tratamientos más adecuados para los lixiviados son los siguientes:

- Tratamientos térmicos: secado, evaporación y evapocondensación.
- Tratamientos biológicos: fangos activados, SBR, lechos bacterianos, biodiscos, lagunajes y MBR.
- Tratamientos con membranas: ósmosis inversa, ósmosis directa, filtración, ultrafiltración.
- Tratamientos fisicoquímicos: stripping amoniaco, oxidación, ozonización, precipitación, coagulación y floculación y electrodiálisis.

## 2.4. Hidróxido de calcio

El hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ , es conocido comercialmente como cal hidratada. Este es un compuesto químico obtenido de la calcinación de piedra caliza y al entrar en contacto con agua. Esta reacción genera una elevada cantidad de calor.



### 2.4.1. Propiedades del hidróxido de calcio

El hidróxido de calcio presenta propiedades físicas y químicas, las principales son las siguientes:

- Apariencia: polvo blanco
- Masa molar: 74 093 g/mol
- Densidad: 2 211 Kg/m<sup>3</sup>
- Solubilidad: 0,185 g/100 cm<sup>3</sup>
- Punto de fusión: -273,15 °C
- Punto de ebullición: -273,15 °C

### 2.4.2. Usos del hidróxido de calcio

El hidróxido de calcio es un compuesto muy versátil utilizado en una gran cantidad de campos:

- Industria: metalúrgica, química, alimentaria, cosmética, papelera, odontológica y dental.



- Construcción: infraestructuras y edificaciones.
- Agricultura: enmienda, fertilizantes, compostaje, biocida y alimentación animal.
- Ambiente: tratamiento de aguas potables y residuales, re-mineralización de agua desalinizada, depuración de gases, tratamiento de residuos y de suelos contaminados.

#### **2.4.3. Tratamiento de aguas residuales con hidróxido de calcio**

El hidróxido de calcio suaviza y clarifica el agua; elimina sustancias negativas y neutralizando los ácidos del agua. Este compuesto es utilizado en distintos procesos para el tratamiento del agua, como la coagulación, floculación, desinfección, ajuste de pH y suavización. El hidróxido de calcio puede ser utilizado en distintos tratamientos, ya sea en el primario, secundario o terciario.

#### **2.5. Tratamientos para lixiviados**

Los lixiviados son considerados líquidos debido a su estado físico, por lo cual el tratamiento que estos pueden tener se asemeja al de aguas residuales. Dentro del tratamiento, en su mayoría, se puede encontrar un tren de tratamiento con una fase primaria, secundaria y terciaria, de modo que los lixiviados al final de este tratamiento, tengan mejores propiedades respecto a su calidad.

## **2.5.1. Tratamiento primario**

En el tratamiento primario se eliminan sólidos en suspensión y parte de la materia orgánica. Suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas como tamizado y sedimentación, y algunas operaciones químicas como lo es la coagulación y floculación. El efluente de este tratamiento suele contener gran cantidad de materia orgánica y una demanda bioquímica de oxígeno alta.

### **2.5.1.1. Coagulación**

La coagulación tiene como fin principal la desestabilización de los coloides en las aguas residuales o lixiviados, llevando a que se logre formar un flóculo, que posteriormente sedimentará en tanques de sedimentación. Esta desestabilización se logra por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales. Los coagulantes más utilizados son las sales de aluminio y de hierro.

El hidróxido de calcio actúa como un coadyuvante de la floculación; que ayudan a la formación de flóculos.

### **2.5.1.2. Sedimentación**

La sedimentación consiste en la separación de las partículas en suspensión, por acción de la gravedad; esto se debe a la diferencia de pesos específicos del agua y las partículas suspendidas, siendo mayor el de estas. Es empleada para la eliminación de arenas, materia en suspensión en flóculo biológico y químico.

A partir de este proceso se clarifica el efluente tratado y también con los sólidos sedimentados se obtiene un lado que posteriormente tiene mayor facilidad al ser tratado.

## **2.5.2. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario tiene como función principal la eliminación de los sólidos en suspensión y los compuestos orgánicos biodegradables; también, se puede incluir la desinfección en este tratamiento.

Los principales nutrientes contenidos en aguas residuales y lixiviados son nitrógeno y fósforo, y su eliminación puede llevarse a cabo por procesos químicos, biológicos o una combinación de ambos; estos se realizan en combinación con el tratamiento secundario.

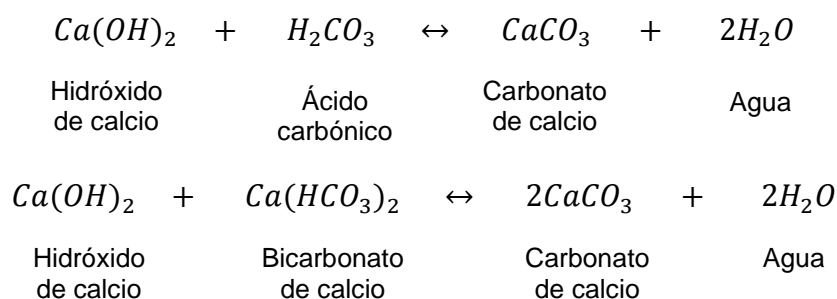
### **2.5.2.1. Precipitación química**

La precipitación química tiene como finalidad alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, para así facilitar su eliminación por sedimentación, al adicionar productos químicos. A partir de la precipitación química se pueden clarificar efluentes, se puede eliminar del 80 % al 90 % de materia total suspendida, del 40 % al 70 % de DBO<sub>5</sub>, del 30 % al 60 % de DQO y del 80 % al 90 % de bacterias.

Los productos químicos que se añaden al agua residual o lixiviado, reaccionan con las sustancias presentes en el agua o que son añadidas, para lograr este fin. Los productos químicos utilizados con clarificantes son: sulfato de alúmina, hidróxido de calcio, sulfato de hierro e hidróxido de calcio, cloruro férrico, cloruro férrico e hidróxido de calcio y sulfato férrico e hidróxido de calcio.

### 2.5.2.1.1. Hidróxido de calcio

El hidróxido de calcio es uno de los productos químicos utilizados como precipitante químico, que puede ser utilizado solo el hidróxido o en conjunto con otros compuestos. Al añadir hidróxido de calcio como precipitante se obtienen las siguientes reacciones químicas:



El carbonato de calcio actúa como coagulante, por lo que se debe agregar hidróxido de calcio para que este se combine con el dióxido de carbono libre y ácido carbónico de los carbonatos ácidos, que se encuentran en las aguas residuales y lixiviados.

### 2.5.3. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario también es conocido como tratamiento avanzado, que es el tratamiento necesario para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales y lixiviados que merecen mayor atención, como los nutrientes, compuestos tóxicos y excesos de materia orgánica o sólidos en suspensión. Los procesos normalmente usados en este tratamiento son: coagulación química, floculación, sedimentación seguida de filtración y carbono activado, intercambio iónico y osmosis inversa.

### **2.5.3.1. Filtración en medio granular**

La filtración es empleada, de forma generalizada, para conseguir una mayor eliminación de sólidos suspendidos, también, la eliminación del fósforo precipitado por vía química. El proceso se lleva a cabo haciendo circular el agua a través de un lecho granular.

Los materiales más utilizados como medios filtrantes son: arena sílica, antracita, grava, carbón activado granular y granate. Se emplean una serie de combinaciones de estos materiales, para tener un medio filtrante eficiente; de igual puede ser utilizado únicamente un material en el filtro.

Los tipos de filtros empleados para el tratamiento de aguas residuales son:

- Filtro convencional, monomedio, flujo descendente.
- Filtro convencional, bimedio, flujo descendente.
- Filtro convencional, monomedio, de lecho profundo, flujo descendente.
- Filtro de lecho profundo, flujo ascendente.
- Filtro de lecho pulsante.
- Filtro de puente móvil.
- Filtro de lecho profundo, flujo ascendente, y lavado a contracorriente continuo.
- Filtro de arena lento.

## **2.6. Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de la descarga y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos**

Este reglamento establece parámetros para la descarga y reuso de aguas residuales, así como la disposición de lodos, para todas las personas e instituciones que manejen aguas residuales.

### **2.6.1. Objeto**

El objeto es establecer los criterios y requisitos que se deben cumplir para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. De modo que con la mejora de las características del agua se protejan cuerpos receptores de agua, se recuperen cuerpos receptores de agua que se encuentran en proceso de eutrofización y se promueva el desarrollo del recurso hídrico con una visión de gestión integrada.

### **2.6.2. Aplicación**

El reglamento debe ser aplicado a: entes generadores de aguas residuales, quien descargue aguas de tipo especial al alcantarillado público, quien produzca agua residual para reuso, quien reúse parcial o totalmente aguas residuales y responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

### **2.6.3. Competencia**

Es responsabilidad del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, la aplicación de este reglamento; es el ente rector en temas de medio ambiente dentro del país.

#### **2.6.4. Parámetros para aguas residuales y valores de descarga a cuerpos receptores**

Para cumplir con el reglamento se deben caracterizar ciertos parámetros que son esenciales en la calidad de agua que se descargará.

##### **2.6.4.1. Parámetros de aguas residuales**

Los parámetros de medición para determinar las características de aguas residuales son:

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días
- Demanda química de oxígeno
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro total
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo

- Zinc
- Color
- Coliformes fecales

#### 2.6.4.2. Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos

Todo ente generador nuevo deberá cumplir con estos parámetros para descargar sus aguas en un cuerpo receptor. Las aguas deberán cumplir con un tratamiento previo para no sobrepasar los límites máximos permisibles.

Tabla II. Límites máximos permisibles para la descarga en cuerpos receptores

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Potencial de hidrógeno pH	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Aceites y grasas	mg/l	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	200
Sólidos suspendidos	mg/l	100
Nitrógeno total	mg/l	20
Fósforo total	mg/l	10
Arsénico	mg/l	0,1
Cadmio	mg/l	0,1
Cianuro total	mg/l	1
Cobre	mg/l	3
Cromo hexavalente	mg/l	0,1
Mercurio	mg/l	0,01
Níquel	mg/l	2
Plomo	mg/l	0,4



Continuación de la tabla II

Zinc Zn	mg/l	10
Color	Unidades platino-cobalto	500
Coliformes fecales	NMP/100ml	< 1x10 <sup>4</sup>

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, MARN. Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de la descarga y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. p. 10.

### **2.6.5. Parámetros de aguas para reuso**

El reglamento autoriza algunos tipos de reuso para el agua, siempre y cuando se cumplan con los límites máximos permisibles que corresponden a cada reuso.

#### **2.6.5.1. Tipo I: reuso para riego agrícola en general**

Se puede usar un efluente a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos, y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial. Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.

#### **2.6.5.2. Tipo II: reuso para cultivos comestibles**

Se permite el reuso de efluente en cultivos comestible, con la excepción de cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para los otros parámetros se deberá cumplir con los establecidos en el artículo 21, exceptuando sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total.

### 2.6.5.3. Tipo III: reuso para acuicultura

Se puede dar uso del efluente para la piscicultura y camaricultura, cumpliendo los límites máximos permisibles.

### 2.6.5.4. Tipo IV: reuso para pastos y otros cultivos

Se permite el riego para pastos y otros cultivos, con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros.

### 2.6.5.5. Tipo V: reuso recreativo

Reuso del efluente con restricciones en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental y el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no con estas.

Tabla III. **Parámetros y límites máximos permisibles para reuso**

Tipo de reuso	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	Coliformes fecales (NMP/100mL)
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$<2 \times 10^2$
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	$<1 \times 10^3$
Tipo V	200	$<1 \times 10^3$

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, MARN. Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de la descarga y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. p. 17.

## **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.1. Localización**

Las instalaciones en las cuales se realizó la fase experimental del presente estudio, tomando en cuenta el tratamiento a escala laboratorio y análisis de muestras.

- Laboratorio C I+D / CETEC, Laboratorio del Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso.
- Laboratorio Ambiental e Industrial Ecosistemas.

### **3.2. Variables**

Propiedad, característica o atributo que es susceptible a asumir diferentes valores, es decir, puede variar. Es un símbolo que puede ser reemplazado o que toma un valor numérico en una ecuación o expresión matemática en general.

#### **3.2.1. Variables independientes**

Variable que puede cambiar libremente su valor, sin que su valor se vea afectado por una o más variables.

Tabla IV. **Variables independientes**

No.	Variable	Dimensiones	Descripción
1	Concentración de Ca(OH) <sub>2</sub>	mol/L	Variación de 0,2 M de la concentración de hidróxido de calcio, iniciando con una concentración de 0,2 M.

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Variables dependientes

Son aquellas cuyo valor depende del valor numérico que adopta la variable independiente en la función.

Tabla V. **Variables dependientes**

No.	Variable	Dimensiones	Descripción
1	Grasas y aceites	Miligramos por litro	Contenido de ácidos grasos a través de extracción de la muestra con hexano.
2	Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	Medición del oxígeno disuelto en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.
3	Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	Medición del contenido de materia orgánica en el lixiviado.
3	Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	Contenido de partículas suspendidas en el lixiviado, que pueden dar lugar a depósitos de fango.

Continuación de la tabla IV.

4	Nitrógeno total	Miligramos por litro	Contenido de nutrientes que estimulan el crecimiento de protistas y plantas.
5	Fósforo total	Miligramos por litro	Contenido de nutrientes que estimulan el crecimiento de protistas y plantas.
6	Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	Índice de acidez o alcalinidad del lixiviado.
7	Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	Contenido de agentes patógenos, a través de la medición de generación de gas o colonias a una temperatura de incubación elevada.
8	Metales	Miligramos por litro	Contenido de Ni, Mn, Pb, Cr, Cd, Zn, Cu, Fe y Hg, a través de espectroscopia de absorción atómica.
9	Color	Unidades platino cobalto	Medición de unidades de platino-cobalto, a través de análisis espectrofotométricos.

Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Delimitación del campo de estudio**

El estudio que se realizará será de carácter cuantitativo-experimental-comparativo, que consiste en la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados; toman en cuenta la evaluación del efecto del hidróxido de calcio a partir de un tren de tratamiento a escala laboratorio sobre el lixiviado procedente del Centro de Transferencia de Desechos Sólidos de la mancomunidad Mankatitlán, Sololá, Guatemala. Asimismo, determina su factibilidad para el reuso según los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Las propiedades de los lixiviados se determinarán mediante un análisis, Acuerdo 236-2006 completo en aguas, trabajado en el Laboratorio Ecosistemas.

### **3.4. Recursos humanos**

- Investigador: Andrea Lucía Aldana Véliz
- Asesores: Ing. Qco. Marco Vinicio Carballo García
- Técnicos de laboratorio: personal del Laboratorio Ecosistemas.

### **3.5. Recursos materiales**

En la tabla VI se presentan los materiales y equipo utilizados en la fase experimental.

Tabla VI. **Recursos materiales utilizados**

<b>Materia prima</b>	<b>Lixiviado</b>
<b>Reactivos</b>	Hidróxido de calcio
	Agua desmineralizada
	Vidrio de reloj
	Frascos de muestreo
<b>Equipo</b>	Balanza analítica
	Pipeta automática
	Prueba de jarras
<b>Cristalería y almacenamiento</b>	Beacker de 10 mL, 100 mL, 500 mL y 1 000 mL
	Vidrio de reloj
	Frascos de muestreo
<b>Cristalería y almacenamiento</b>	Probeta 10 mL, 25 mL y 100 mL
	Pipeta de 1 mL y 5 mL
<b>Otros</b>	Combustible
	Electricidad
	Impresora

Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Técnicas cuantitativas de la investigación

En el presente estudio de investigación se utilizó una técnica cuantitativa para determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los lixiviados crudos y tratados; estas técnicas fueron empleadas directamente por el Laboratorio Ecosistemas y así obtener los resultados correspondientes.

### 3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Para obtener la materia prima se realizaron muestreos en el Centro de Transferencia de Desechos Sólidos de la mancomunidad Mankatitlán, Sololá, Guatemala, donde se obtuvo el lixiviado que se trató. A la materia prima se le realizaron análisis para determinar sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas; luego, ese lixiviado pasó por un tren de tratamiento a escala laboratorio que incluía precipitación química con hidróxido de calcio, sedimentación y filtración por medio granular; posteriormente, se le realizó un análisis para determinar sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, ya tratado. Se trabajó bajo tres concentraciones y se realizaron tres repeticiones a cada concentración; dio con esto un resultado de 12 análisis.

### 3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos obtenidos en la fase experimental fueron recogidos según la concentración de la muestra, incluyendo sus tres repeticiones.

Tabla VII. **Parámetros de análisis de lixiviado crudo**

<b>Parámetro</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>
Grasas y aceites (mg/L)	1 425	1 387	1 396
DBO (mg/L)	42 800	43 400	43 100
DQO (mg/L)	54 984	55 700	54 958
Sólidos suspendidos (mg/L)	2 750	3 020	2 925
Nitrógeno total (mg/L)	1 900	1 650	1 850
Fósforo total (mg/L)	184	178	182
Potencial de hidrógeno	6,34	6,28	6,31
Coliformes fecales	$> 1,6 \times 10^7$	$> 1,6 \times 10^7$	$> 1,6 \times 10^7$
Arsénico	0,012	0,012	0,012



Continuación de la tabla VII.

Cadmio	N.D.	N.D.	N.D.
Cianuro	NSD	NSD	NSD
Cobre	0,41	0,44	0,42
Cromo VI	N.D.	N.D.	N.D.
Mercurio	N.D.	N.D.	N.D.
Plomo	N.D.	N.D.	N.D.
Zinc	2,87	2,88	2,87
Níquel	N.D.	N.D.	N.D.
Color	4 150	2 650	4 300

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Parámetros de análisis del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$  a concentración 0,2 M**

<b>Parámetro</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>
Grasas y aceites (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
DBO (mg/L)	26,100	28,400	26,975
DQO (mg/L)	35,257	36,592	35,970
Sólidos suspendidos (mg/L)	853	912	890
Nitrógeno total (mg/L)	750	768	765
Fósforo total (mg/L)	5,40	5,20	5,40
Potencial de hidrógeno	9,51	9,51	9,54
Coliformes fecales	< 2	< 2	< 2
Arsénico	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio	N.D.	N.D.	N.D.
Cianuro	N.D.	N.D.	N.D.
Cobre	N.D.	N.D.	N.D.
Cromo VI	N.D.	N.D.	N.D.
Mercurio	N.D.	N.D.	N.D.
Plomo	N.D.	N.D.	N.D.
Zinc	N.D.	N.D.	N.D.
Níquel	N.D.	N.D.	N.D.
Color	2 035	2 005	2 027

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Parámetros de análisis de lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub> a concentración 0,4 M**

<b>Parámetro</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>
Grasas y aceites (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
DBO (mg/L)	24 600	25 100	24 875
DQO (mg/L)	36 142	36 585	36 658
Sólidos suspendidos (mg/L)	927	915	933
Nitrógeno total (mg/L)	765	792	787
Fósforo total (mg/L)	6,20	6,05	6,15
Potencial de hidrógeno	10,01	10,07	10,03
Coliformes fecales	< 2	< 2	< 2
Arsénico	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio	N.D.	N.D.	N.D.
Cianuro	N.D.	N.D.	N.D.
Cobre	N.D.	N.D.	N.D.
Cromo VI	N.D.	N.D.	N.D.
Mercurio	N.D.	N.D.	N.D.
Plomo	N.D.	N.D.	N.D.
Zinc	N.D.	N.D.	N.D.
Níquel	N.D.	N.D.	N.D.
Color	2 169	2 205	2 187

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Parámetros de análisis de lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub> a concentración 0,6 M**

<b>Parámetro</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>
Grasas y aceites (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.
DBO (mg/L)	30 400	29 300	29 400
DQO (mg/L)	44 593	45 091	45 275
Sólidos suspendidos (mg/L)	1 218	1 290	1 296

Continuación de la tabla X.

Nitrógeno total (mg/L)	850	835	875
Fósforo total (mg/L)	7,60	7,40	7,55
Potencial de hidrógeno	10,59	10,56	10,61
Coliformes fecales	< 2	< 2	<2
Arsénico	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio	N.D.	N.D.	N.D.
Cianuro	N.D.	N.D.	N.D.
Cobre	N.D.	N.D.	N.D.
Cromo VI	N.D.	N.D.	N.D.
Mercurio	N.D.	N.D.	N.D.
Plomo	N.D.	N.D.	N.D.
Zinc	N.D.	N.D.	N.D.
Níquel	N.D.	N.D.	N.D.
Color	2 759	2 675	2 458

Fuente: elaboración propia.

### 3.9. Análisis estadístico de los datos

En la presente investigación se determinó con un análisis de varianza si existe una relación significativa entre los parámetros y la concentración de hidróxido de calcio utilizada para el tratamiento. Se utilizó la herramienta de F de Fisher y F crítica, para aceptar o rechazar las hipótesis planteadas. De igual manera se determinó la correlación lineal, para determinar la dependencia entre los datos obtenidos en la experimentación.

#### 3.9.1. Cálculo de varianza

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N}$$

(Ecuación No. 1)

Donde:

- $\sigma^2$  : varianza
- $\bar{x}$  : promedio
- $\sum x_i$  : sumatoria de las corridas
- $N$  : número de datos trabajados

### 3.9.2. Cálculo de desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

(Ecuación No. 2)

Donde:

- $\sigma$  : desviación estándar
- $\bar{x}$  : promedio
- $\sum x_i$  : sumatoria de las corridas
- $N$  : número de datos trabajados

### 3.9.3. Análisis de varianza

La comprobación de la hipótesis nula y alternativa se realiza mediante el análisis de varianza; el procedimiento de este método es el siguiente:

$$S_2^2 = \sum_i \sum_j \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{h(n-1)}$$

(Ecuación No. 3)

Donde:

- $S_2^2$  = media cuadrática dentro de la muestra
- $x_{ij}$  = repetición j de la muestra i
- $\bar{x}_i$  = media de la muestra i
- $n$  = número de repeticiones
- $h$  = número de muestras
- $h(n - 1)$  = grados de libertad

La variación entre muestras se define mediante la siguiente ecuación:

$$S_1^2 = \frac{n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{h-1}$$

(Ecuación No. 4)

Donde:

- $S_1^2$  = media cuadrática entre muestras
- $n$  = número de repeticiones
- $\bar{x}_i$  = media de la muestra i
- $\bar{x}$  = media global
- $h$  = numero de muestras
- $(h - 1)$  = grados de libertad

Si la hipótesis nula es correcta, la variación entre  $S_1^2$  y  $S_2^2$  no debe ser significativa. Esto se comprueba mediante una prueba F de una cola.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

(Ecuación No. 5)

Donde:

- $S_2^2$  = media cuadrática dentro de la muestra
- $S_1^2$  = media cuadrática entre muestras

Si la F supera a la F crítica esto indica que si hay diferencia significativa entre los resultados.

#### **3.9.4. Coeficiente de variación de Pearson**

Indica la relación que existe entre la desviación de una muestra y su media. Esto permite determinar si el experimentador fue o no preciso.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

(Ecuación No. 4)

Donde:

- CV=coeficiente de variación
- $\sigma$  = desviación estándar
- $\bar{x}$ = media

Tabla XI. **Media y desviación estándar de parámetros de análisis de lixiviado crudo**

<b>Parámetro</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
Grasas y aceites (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	1 403	19,858
DBO (mg/L)	26 100	28 400	26 975	43 100	300,000
DQO (mg/L)	35 257	36 592	35 970	55 214	421,089
Sólidos suspendidos (mg/L)	853	912	890	2 898	136,961
Nitrogeno total (mg/L)	750	768	765	1 800	132,288
Fósforo total (mg/L)	5,40	5,20	5,40	181	3,055
Potencial de hidrógeno	9,51	9,51	9,54	6	0,030
Coliformes fecales	< 2	< 2	< 2	N/A	0,000
Arsénico	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cadmio	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cianuro	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cobre	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cromo VI	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Mercurio	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Plomo	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Zinc	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Níquel	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Color	2 035	2 005	2 027	3 700	912,414

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Media y desviación estándar de parámetros de análisis de lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub> a concentración 0,2 M**

<b>Parámetro</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
Grasas y aceites (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
DBO (mg/L)	26 100	28 400	26 975	27 158	1 160,908
DQO (mg/L)	35 257	36 592	35 970	35 940	668,017
Sólidos suspendidos (mg/L)	853	912	890	885	29,816
Nitrogeno total (mg/L)	750	768	765	761	9,644
Fósforo total (mg/L)	5,40	5,20	5,40	5	0,115
Potencial de hidrógeno	9,51	9,51	9,54	10	0,017
Coliformes fecales	< 2	< 2	< 2	N/A	0,000
Arsénico	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cadmio	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cianuro	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cobre	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cromo VI	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Mercurio	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Plomo	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Zinc	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Níquel	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Color	2 035	2 005	2 027	2 022	15,535

Fuente: elaboración propia.



Tabla XIII. **Media y desviación estándar de parámetros de análisis de lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub> a concentración 0,4 M**

<b>Parámetro</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
Grasas y aceites (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
DBO (mg/L)	24 600	25 100	24 875	24 858	250,416
DQO (mg/L)	36 142	36 585	36 658	36 462	279,235
Sólidos suspendidos (mg/L)	927	915	933	925	9,165
Nitrógeno total (mg/L)	765	792	787	781	14,364
Fósforo total (mg/L)	6,20	6,05	6,15	6	0,076
Potencial de hidrógeno	10,01	10,07	10,03	10	0,031
Coliformes fecales	< 2	< 2	< 2	N/A	0,000
Arsénico	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cadmio	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cianuro	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cobre	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cromo VI	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Mercurio	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Plomo	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Zinc	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Níquel	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Color	2 169	2 205	2 187	2 187	18,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Media y desviación estándar de parámetros de análisis de lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub> a concentración 0,6 M**

<b>Parámetro</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
Grasas y aceites (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
DBO (mg/L)	30 400	29 300	29 400	29 700	608,276
DQO (mg/L)	44 593	45 091	45 275	44 986	352,842
Sólidos suspendidos (mg/L)	1 218	1 290	1 296	1 268	43,405
Nitrogeno total (mg/L)	850	835	875	853	20,207
Fósforo total (mg/L)	7,60	7,40	7,55	8	0,104
Potencial de hidrógeno	10,59	10,56	10,61	11	0,025
Coliformes fecales	< 2	< 2	<2	N/A	0,000
Arsénico	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cadmio	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cianuro	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cobre	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Cromo VI	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Mercurio	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Plomo	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Zinc	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Níquel	N.D.	N.D.	N.D.	N/A	0,000
Color	2 759	2 675	2 458	2 631	155,320

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Experimento de un factor, para el parámetro de aceites y grasas del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de aceites y grasas del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Experimento de un factor, para el parámetro de aceites y grasas del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
No tratado	3	4 208	1 402,667	394,333
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de aceites y grasas del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2 951 210,67	1	2 951 210,67	14 968,101	2,677E-08	7,709
Dentro de los grupos	788,667	4	197,167			
Total	2 951 999,33	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Experimento de un factor, para el parámetro de sólidos suspendidos del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	2 655	885	889
0,4 M	3	2 775	925	84
0,6 M	3	3 804	1 268	1 884

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de sólidos suspendidos del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	265 938	2	132 969	139,624	9,306E-06	5,143

Continuación de la tabla XX.

Dentro de los grupos	5 714	6	952,333			
Total	271 652	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Experimento de un factor, para el parámetro de sólidos suspendidos del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	8 695	2 898,33333	18 758,3333
Tratado	3	2 655	885	889

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de sólidos suspendidos del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6 080 266,67	1	6 080 266,667	618,941	1,55E-05	7,709
Dentro de los grupos	39 294,6667	4	9 823,667			
Total	6 119 561,33	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Experimento de un factor, para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2M	3	81 475	27 158.333	1 347 708.33
0,4M	3	74 575	24 858.333	62 708.333
0,6M	3	89 100	29 700	370 000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	35 191 805,56	2	17 595 902,78	29,649	0,000775	5,143
Dentro de los grupos	3 560 833,333	6	593 472,222			
Total	38 752 638,89	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Experimento de un factor, para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	129 300	43 100,000	90 000,000
Tratado	3	81 475	27 158,333	1 347 708,333

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	381 205 104	1	381 205 104,167	530,295	2,1071E-05	7,709
Dentro de los grupos	2 875 416,67	4	718 854,167			
Total	384 080 521	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Experimento de un factor, para el parámetro de la demanda química de oxígeno del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2M	3	107 819	35 939,667	446 246,333
0,4M	3	109 385	36 461,667	77 972,333
0,6M	3	134 959	44 986,333	124 497,333

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de la demanda química de oxígeno del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	154 784 603,6	2	77 392 301,78	357,902	5,744E-07	5,143

Continuación de la tabla XXVIII.

Dentro de los grupos	1 297 432	6	216 238,667			
Total	38 752 638,89	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Experimento de un factor, para el parámetro de la demanda química de oxígeno del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	165 642	55 214	177 316
Tratado	3	107 819	35 939,667	446 246,333

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de la demanda química de oxígeno del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	557 249 888	1	557 249 888	1 787,31093	1,8713E-06	7,7086474
Dentro de los grupos	1 247 124,67	4	311 781,167			
Total	558 497 013	5				

Fuente: elaboración propia.



Tabla XXXI. **Experimento de un factor, para el parámetro de nitrógeno total del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
0,2 M	3	2 283	761	93
0,4 M	3	2 344	781,333	206,333
0,6 M	3	2 560	853,333	408,333

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de nitrógeno total del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	14 122,889	2	7 061,444	29,935	0,000756	5,143
Dentro de los grupos	1 415,333	6	235,889			
Total	15 538,222	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Experimento de un factor, para el parámetro de nitrógeno total del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
No tratado	3	5 400	1 800	17 500
Tratado	3	2 283	761	93

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de nitrógeno total del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1 619 281,5	1	1 619 281,5	184,082476	0,000171	7,708647
Dentro de los grupos	35 186	4	8 796,5			
Total	1 654 467,5	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Experimento de un factor, para el parámetro de fosforo total del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	544	181,333	9,333
Tratado	3	16	5,333	0,013

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de fosforo total del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	46 464	1	46 464	9 942,368	6,0657E-08	7,709
Dentro de los grupos	18,693	4	4,673			
Total	46 482,6933	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. Experimento de un factor, para el parámetro de potencial de hidrógeno del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	28,56	9,52	0,0003
0,4 M	3	30,11	10,037	0,000933
0,6 M	3	31,76	10,587	0,000633

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de potencial de hidrógeno del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,707	2	0,854	1 371,875	1,0389E-08	5,143
Dentro de los grupos	0,0037	6	0,00062			
Total	1,711	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. Experimento de un factor, para el parámetro de potencial de hidrógeno del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	18,93	6,31	0,0009
Tratado	3	28,56	9,52	0,0003

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de potencial de hidrógeno del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	15,456	1	15,456	25760,25	9,0394E-09	7,709
Dentro de los grupos	0,0024	4	0,0006			
Total	15,45855	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Experimento de un factor, para el parámetro de coliformes fecales del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de coliformes fecales del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,14325
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Experimento de un factor, para el parámetro de coliformes fecales del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
No tratado	3	48 000 000	16 000 000	0
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de coliformes fecales del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	3,84E+14	1	3,84E+14	65 535	N/A	7,709
Dentro de los grupos	0	4	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Experimento de un factor, para el parámetro de arsénico del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de arsénico del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Experimento de un factor, para el parámetro de arsénico del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	0,036	0,012	4,5139E-36
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de arsénico del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,000216	1	0,000216	9,5704E+31	6,5507E-64	7,709
Dentro de los grupos	9,0278E-36	4	2,2569E-36			
Total	0,000216	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. Experimento de un factor, para el parámetro de cadmio del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cadmio del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. Experimento de un factor, para el parámetro de cadmio del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	0	0	0
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cadmio del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	7,709
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Experimento de un factor, para el parámetro de cianuro total del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cianuro total del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.



Tabla LV. **Experimento de un factor, para el parámetro de cianuro total del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	0	0	0
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cianuro total del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	7,709
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **Experimento de un factor, para el parámetro de cobre del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cobre del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **Experimento de un factor, para el parámetro de cobre del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	1,27	0,423333	0,000233
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cobre del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,268817	1	0,268817	2 304,143	1,1269E-06	7,709
Dentro de los grupos	0,000467	4	0,000117			
Total	0,269283	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. Experimento de un factor, para el parámetro de cromo hexavalente del lixiviado tratado con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cromo hexavalente del lixiviado tratado con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. Experimento de un factor, para el parámetro de cromo hexavalente del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	0	0	0
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIV. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de cromo hexavalente del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	7,709
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXV. **Experimento de un factor, para el parámetro de mercurio del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de mercurio del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVII. Experimento de un factor, para el parámetro de mercurio del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	0	0	0
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVIII. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de mercurio del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	7,709
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIX. Experimento de un factor, para el parámetro de níquel del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXX. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de níquel del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXI. **Experimento de un factor, para el parámetro de níquel del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	0	0	0
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXII. **Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de níquel del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	7,709
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXIII. Experimento de un factor, para el parámetro de plomo del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXIV. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de plomo del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXV. Experimento de un factor, para el parámetro de plomo del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
No tratado	3	0	0	0
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXVI. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de plomo del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	7,709
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXVII. Experimento de un factor, para el parámetro de zinc del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	0	0	0
0,4 M	3	0	0	0
0,6 M	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXVIII. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de zinc del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0	2	0	65 535	N/A	5,143
Dentro de los grupos	0	6	0			
Total	0	8				

Fuente: elaboración propia.



Tabla LXXIX. Experimento de un factor, para el parámetro de zinc del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	8,62	2,87333333	3,3333E-05
Tratado	3	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXX. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de zinc del lixiviado no tratado y tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	12,3840667	1	12,3840667	743 044	1,0867E-11	7,709
Dentro de los grupos	6,6667E-05	4	1,6667E-05			
Total	12,3841333	5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXI. Experimento de un factor, para el parámetro de color del lixiviado tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,2 M	3	6 067	2 022,333	241,333
0,4 M	3	6 561	2 187	324
0,6 M	3	7 892	2 630,667	24 124,333

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXXII. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de color del lixiviado tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	594 024,6667	2	297 012,3333	36,08947063	0,00045205	5,14325285
Dentro de los grupos	49 379,33333	6	8 229,888889			
Total	643 404	8				

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXXIII. Experimento de un factor, para el parámetro de color del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No tratado	3	11 100	3 700	832 500
Tratado	3	6 067	2 022,333	241,333

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXXIV. Análisis de varianza de un factor, para el parámetro de color del lixiviado no tratado y tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4 221 848,17	1	4 221 848,17	10,1396388	0,03339824	7,70864742
Dentro de los grupos	1 665 482,67	4	416 370,667			
Total	588 7330,83	5				

Fuente: elaboración propia.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Parámetros analizados según Acuerdo Gubernativo 236-2006

En la tabla LXXXV se presentan los parámetros obtenidos del análisis de la muestra a diferentes concentraciones.

Tabla LXXXV. **Parámetros analizados para lixiviado original y tratado con hidróxido de calcio a 0,2 M, 0,4 M y 0,6 M**

Parámetro	Dimensional	Límites acuerdo 236-2006	Muestras			
			Lixiviado original	Lixiviado tratado 0,2 M	Lixiviado tratado 0,4 M	Lixiviado tratado 0,6 M
Aceites y grasas	mg/l	10	1 402,67	0	0	0
Materia flotante	---	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/l	100	2 898,33	885	925	1 268
Demanda bioquímica de oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	200	43 100	27 158,33	24 858,33	29 700
Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	--	55 214	35 939,667	36 461,667	44 986,333
Nitrógeno total	mg/l	20	1 800	761	781,33	853,33
Fósforo total	mg/l	10	181,33	5,33	6,13	7,52
Potencial de hidrógeno	unidades	6 a 9	6,31	9,52	10,04	10,59
Coliformes fecales	NMP/100ml	< 1x10 <sup>4</sup>	> 1,6x10 <sup>7</sup>	< 2	< 2	< 2
Arsénico	mg/l	0,1	0,012	0	0	0

Continuación de la tabla LXXXV.

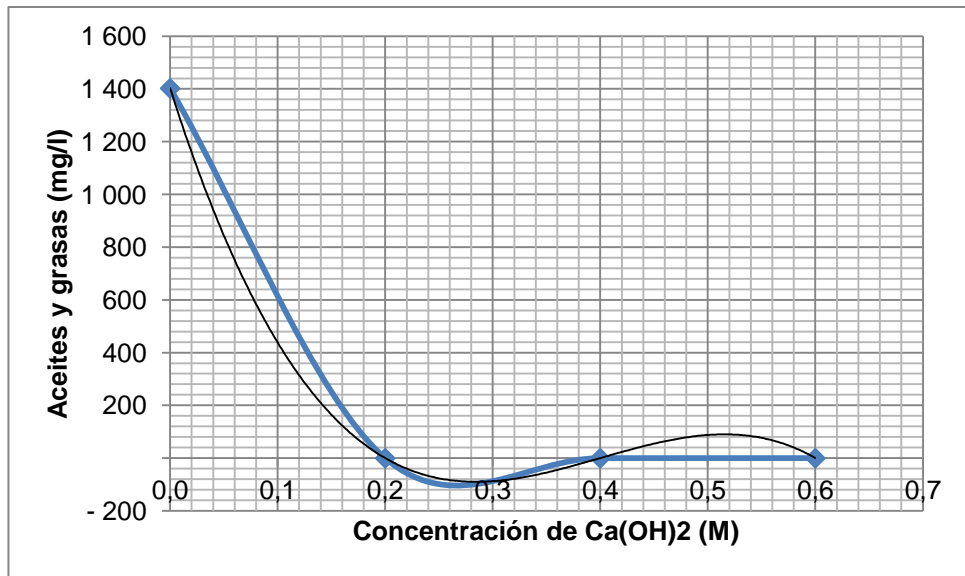
Cadmio	mg/l	0,1	0	0	0	0
Cianuro total	mg/l	1	0	0	0	0
Cobre	mg/l	3	0,42	0	0	0
Cromo Hexavalente	mg/l	0.1	0	0	0	0
Mercurio	mg/l	0,01	0	0	0	0
Niquel	mg/l	2	0	0	0	0
Plomo	mg/l	0,4	0	0	0	0
Zinc	mg/l	10	0	0	0	0
Color	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	500	3 700	2 022,33	2 187	2 630,67

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2. Variación de parámetros respecto a la concentración de hidróxido de calcio en el tratamiento del lixiviado**

Los parámetros analizados presentaron una variación según la concentración de hidróxido de calcio de la muestra, en las siguientes figuras se ve representada.

Figura 3. **Contenido de aceites y grasas en función de la concentración de hidróxido de calcio**



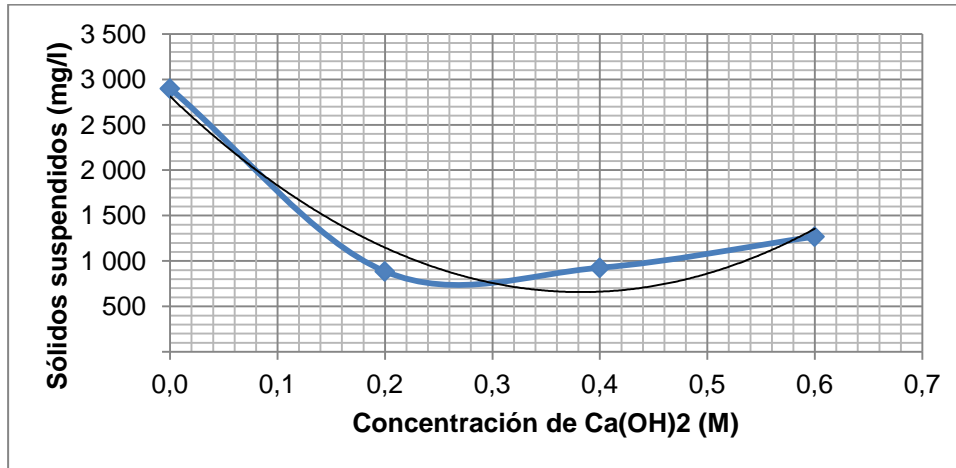
Fuente: elaboración propia

Tabla LXXXVI. **Modelo matemático de contenido de aceites y grasas en función de la concentración de hidróxido de calcio**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 8\,766,7x^2 - 7\,364x + 1\,332,5$	(0-0,6) M	0,9333

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Contenido de sólidos suspendidos en función de la concentración de hidróxido de calcio**



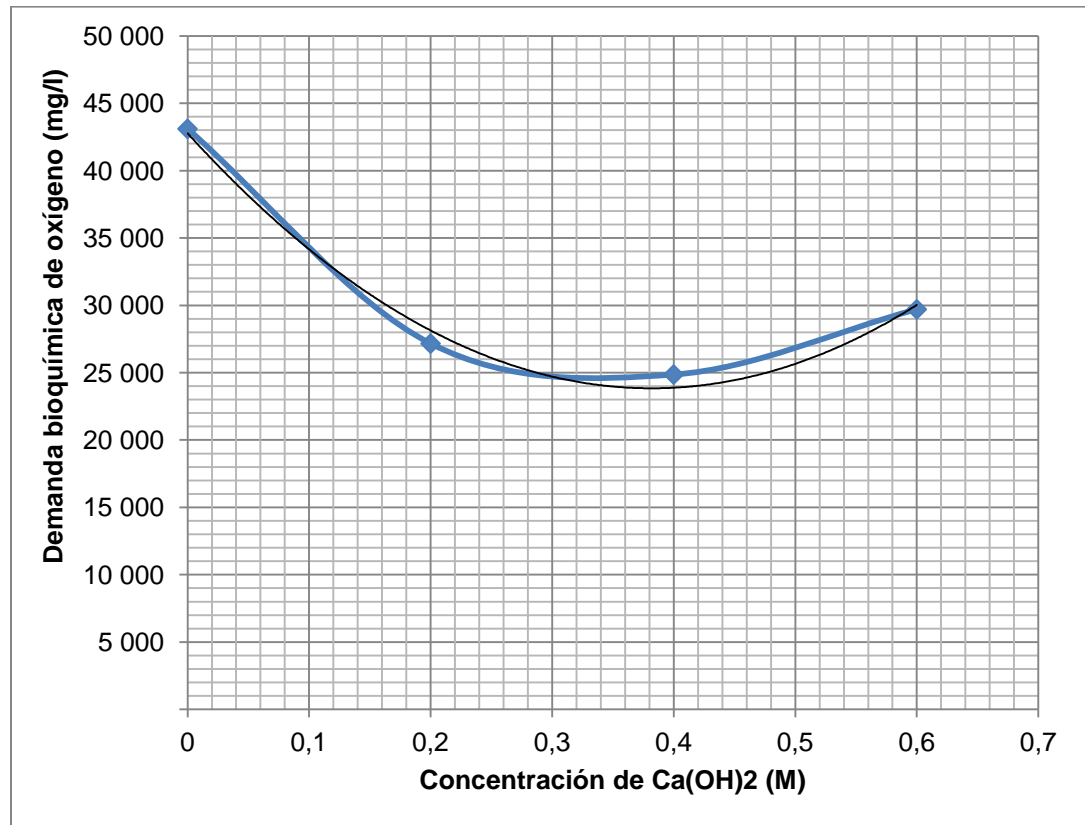
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVII. **Modelo matemático de contenido de sólidos suspendidos en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 14\,727x^2 - 11\,262x + 2\,810,8$	(0-0,6) M	0,9436

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Contenido de la demanda bioquímica de oxígeno en función de la concentración de hidróxido de calcio**



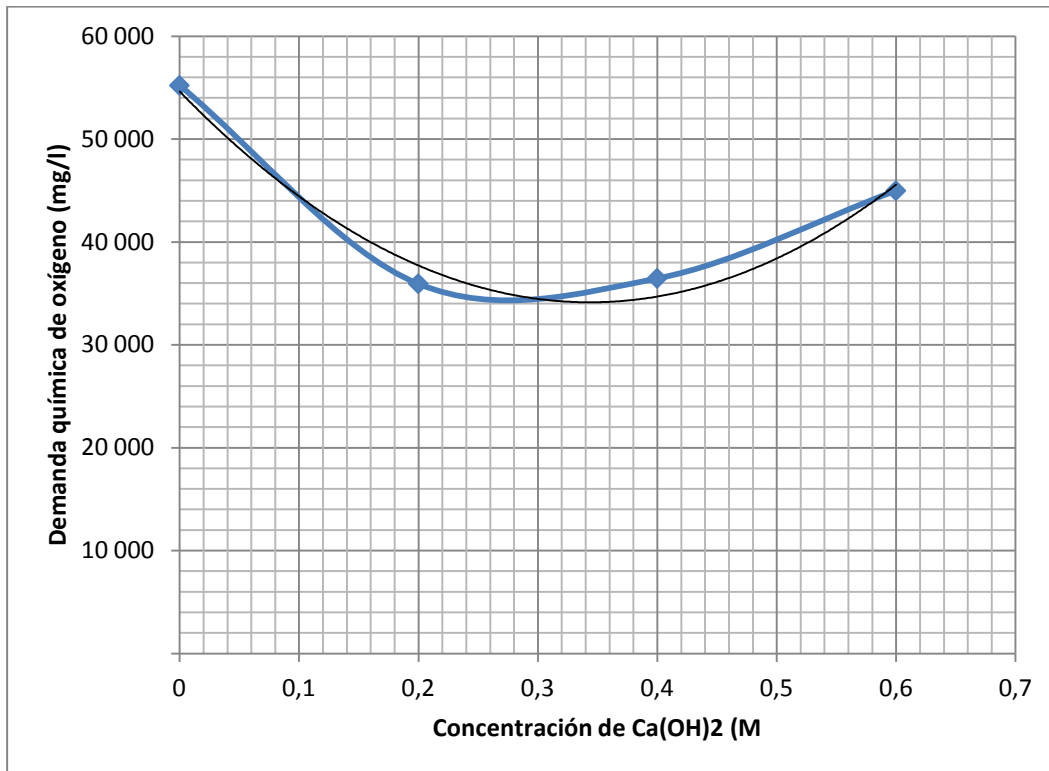
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVIII. **Modelo matemático de contenido de la demanda bioquímica de oxígeno en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 129\,896x^2 - 99\,188x + 42\,775$	(0-0,6) M	0,9895

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Contenido de la demanda química de oxígeno en función de la concentración de hidróxido de calcio**



Fuente: elaboración propia.

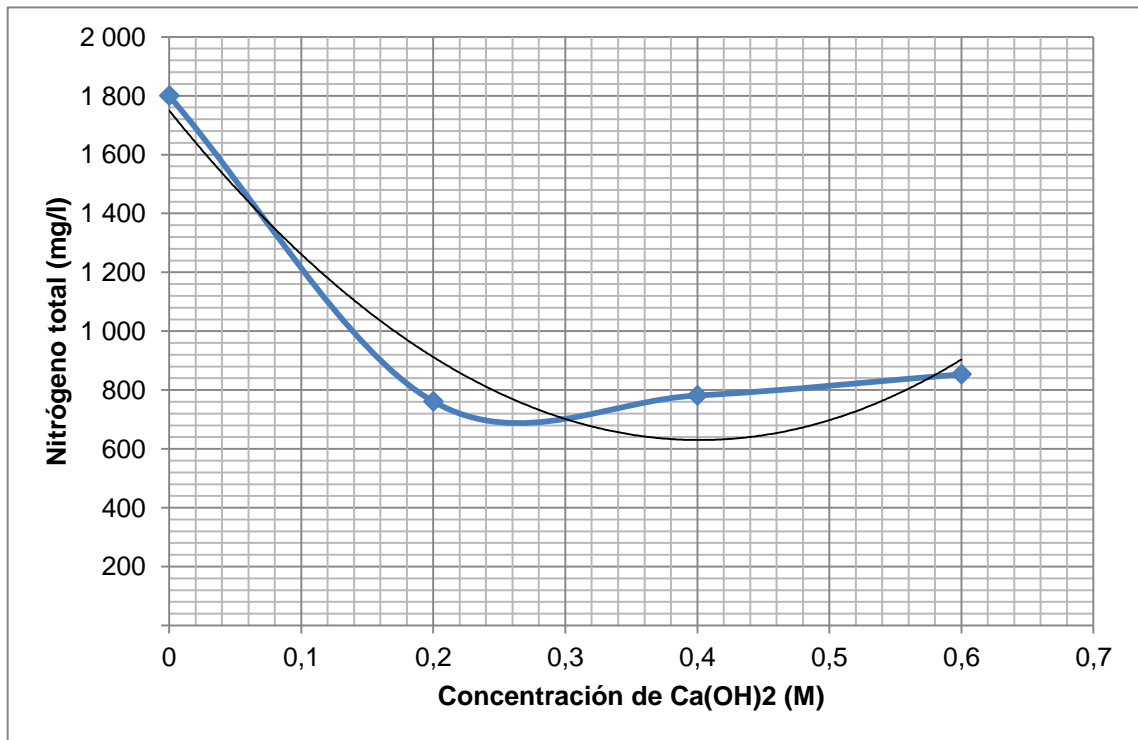
Tabla LXXXIX. **Modelo matemático de contenido de la demanda química de oxígeno en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 173\,744x^2 - 119\,327x + 54\,624$	(0-0,6) M	0,9717

Fuente: elaboración propia.



Figura 7. **Contenido de nitrógeno total en función de la concentración de hidróxido de calcio**



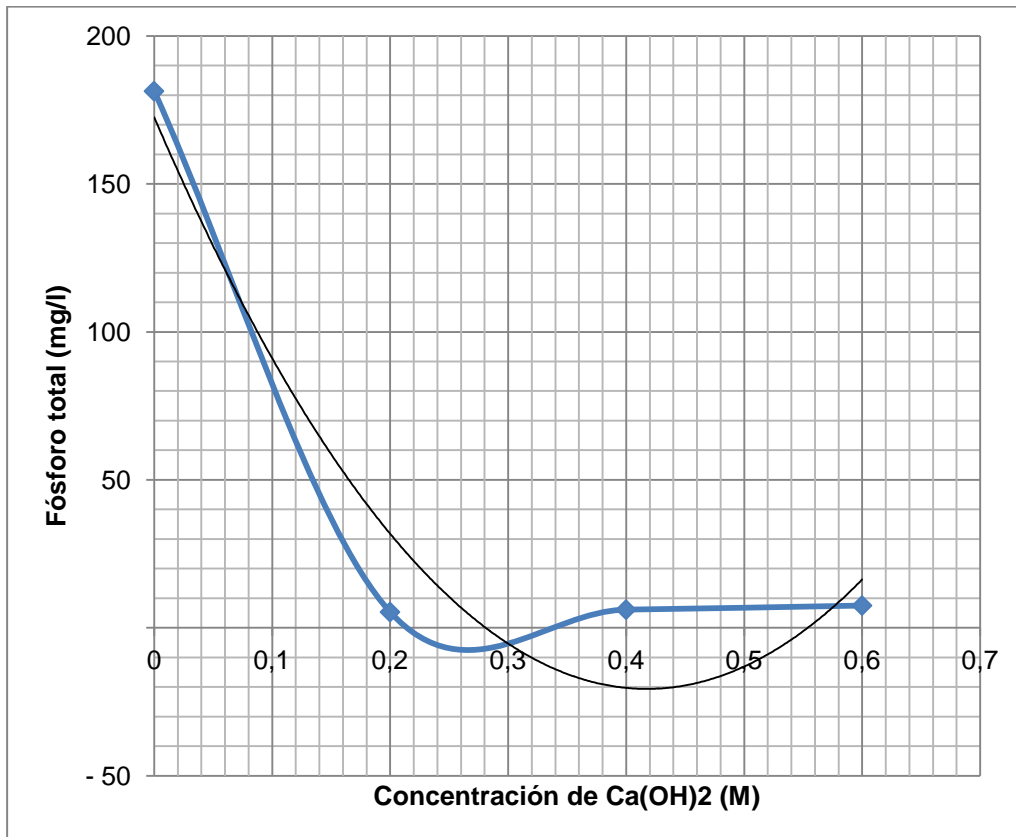
Fuente: elaboración propia.

Tabla XC. **Modelo matemático de contenido de nitrógeno total en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 6\,943,8x^2 - 5\,576,1x + 1\,749,6$	(0-0,6) M	0,9329

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Contenido de fosforo total en función de la concentración de hidróxido de calcio**



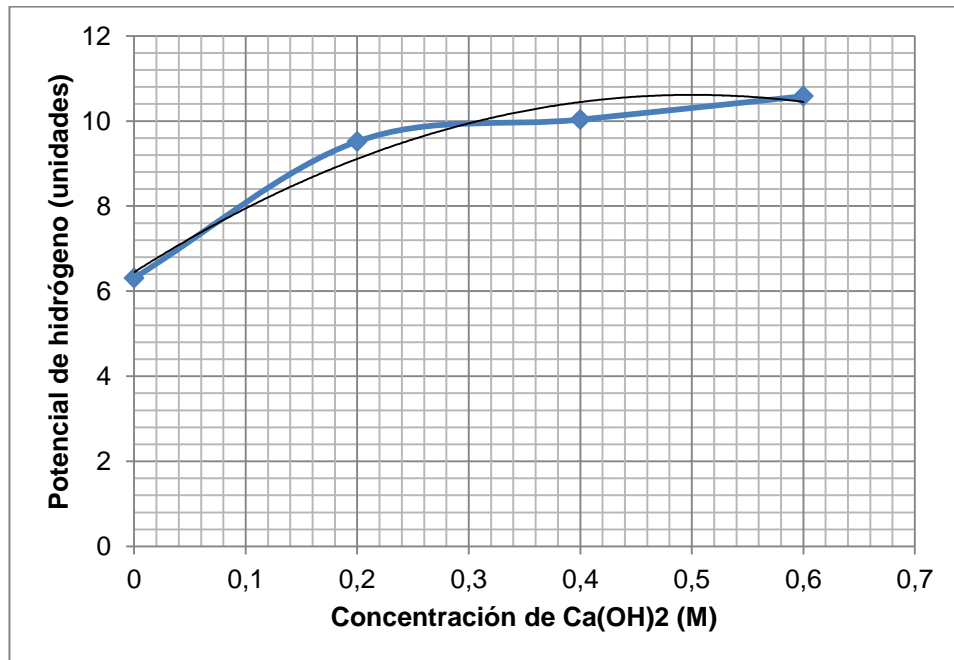
Fuente: elaboración propia.

Tabla XCI. **Modelo matemático de contenido de fosforo total en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 1\,108,6x^2 - 925,51x + 172,52$	(0-0,6) M	0,9324

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Contenido de potencial de hidrógeno en función de la concentración de hidróxido de calcio**



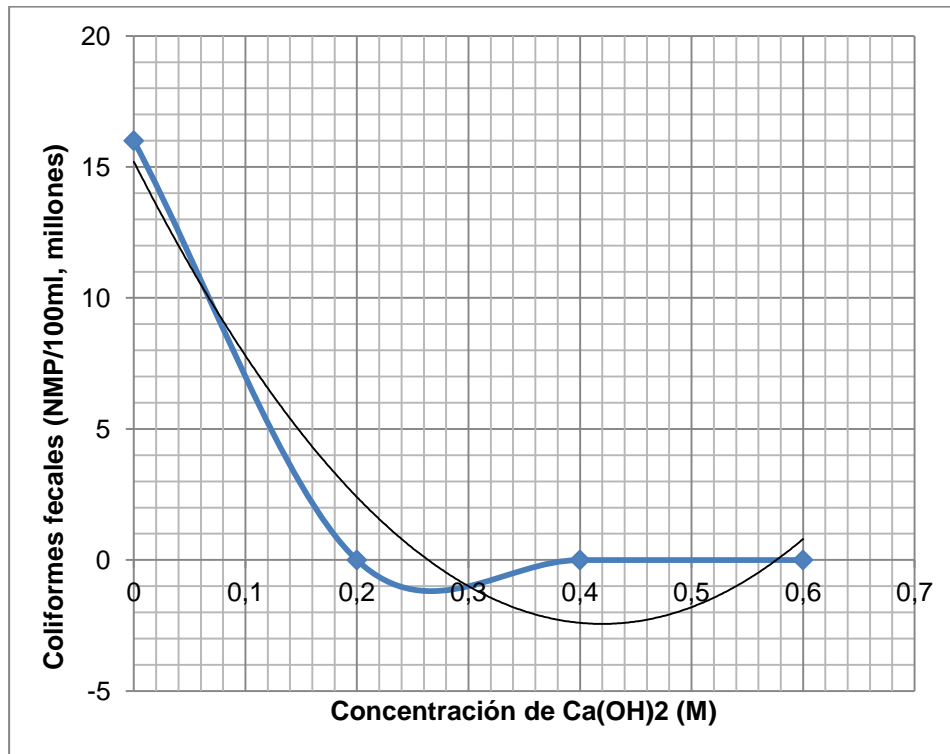
Fuente: elaboración propia.

Tabla XCII. **Modelo matemático de contenido de potencial de hidrógeno en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = -16,625x^2 + 16,648x + 6,4463$	(0-0,6) M	0,9664

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Contenido de coliformes fecales en función de la concentración de hidróxido de calcio**



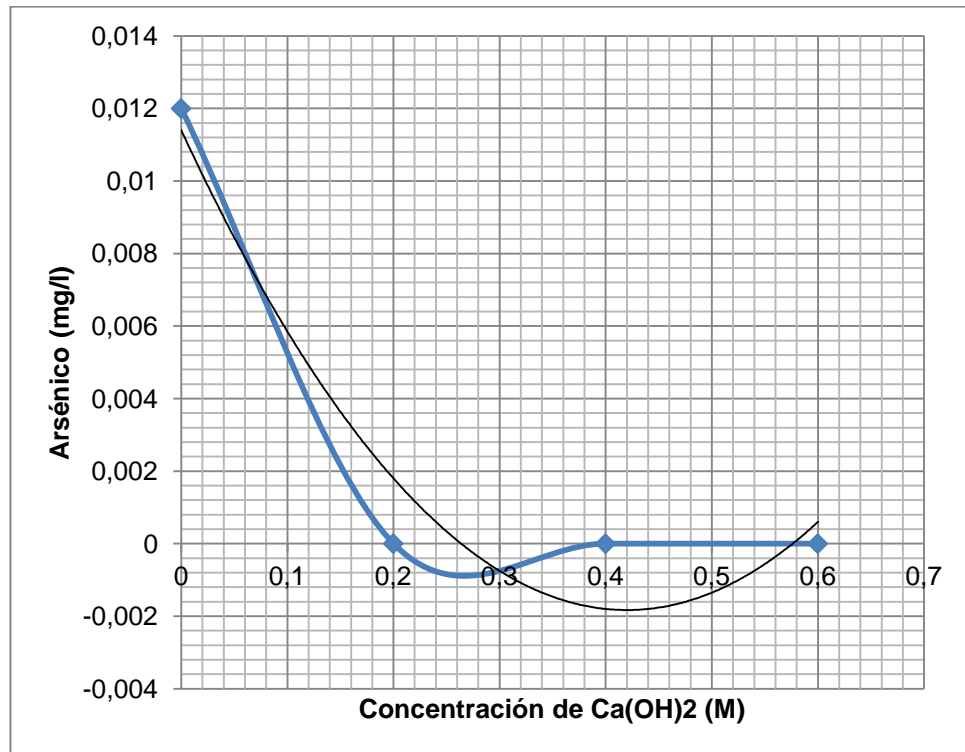
Fuente: elaboración propia.

Tabla XCIII. **Modelo matemático de contenido de coliformes fecales en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 100x^2 - 84x + 15,2$	(0-0,6) M	0,9333

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Contenido de arsénico en función de la concentración de hidróxido de calcio**



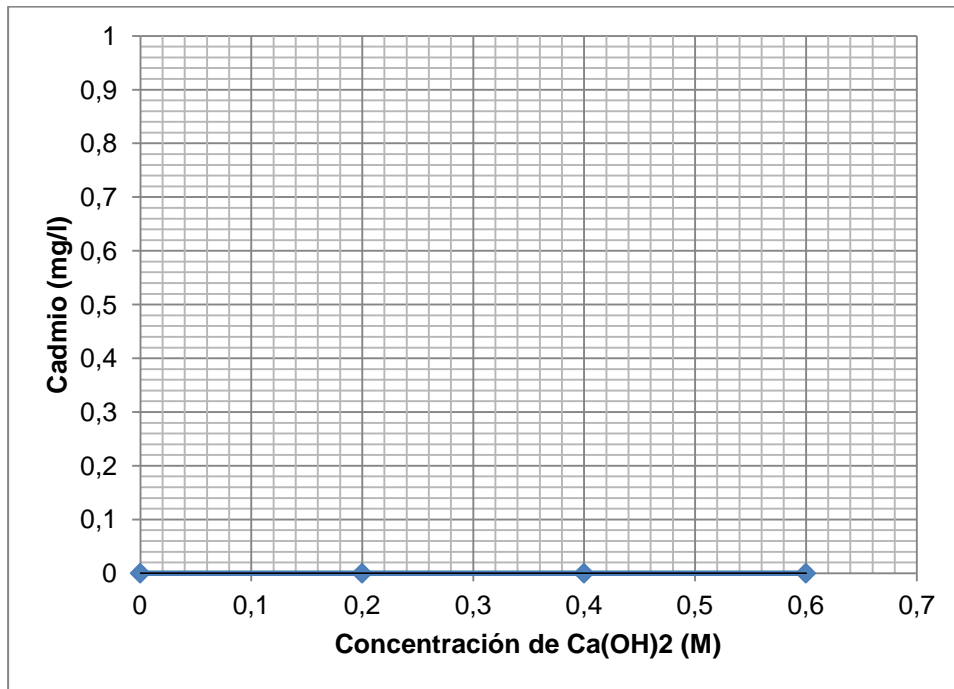
Fuente: elaboración propia.

Tabla XCIV. **Modelo matemático de contenido de arsénico en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 0,075x^2 - 0,063x + 0,0114$	(0-0,6) M	0,9333

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Contenido de cadmio en función de la concentración de hidróxido de calcio**



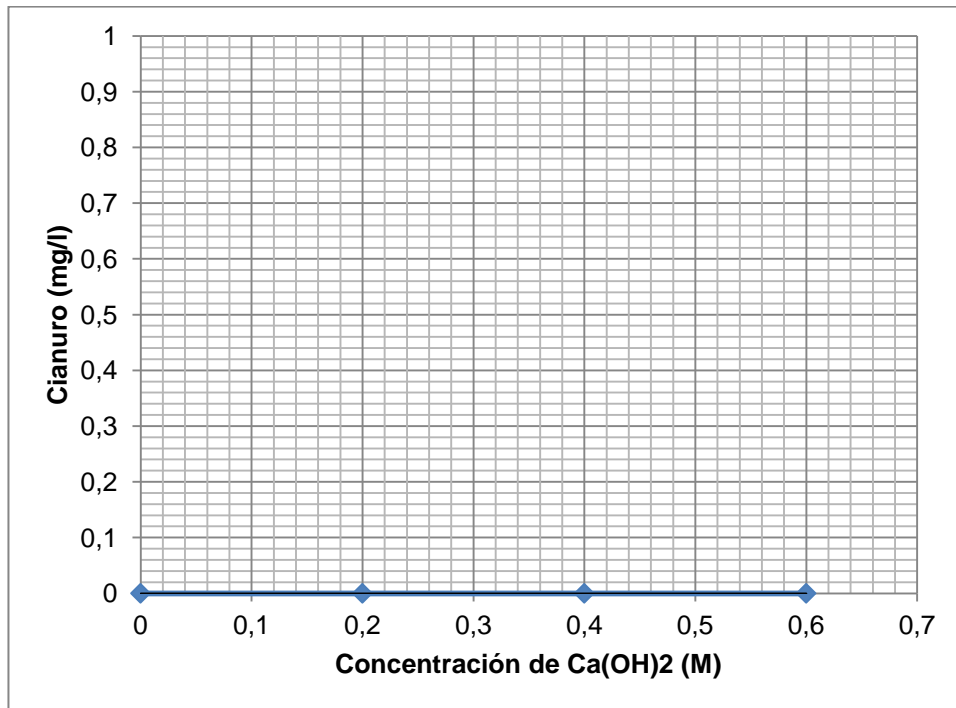
Fuente: elaboración propia.

Tabla XCV. **Modelo matemático de contenido de cadmio en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 0$	(0-0,6) M	--

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Contenido de cianuro total en función de la concentración de hidróxido de calcio**



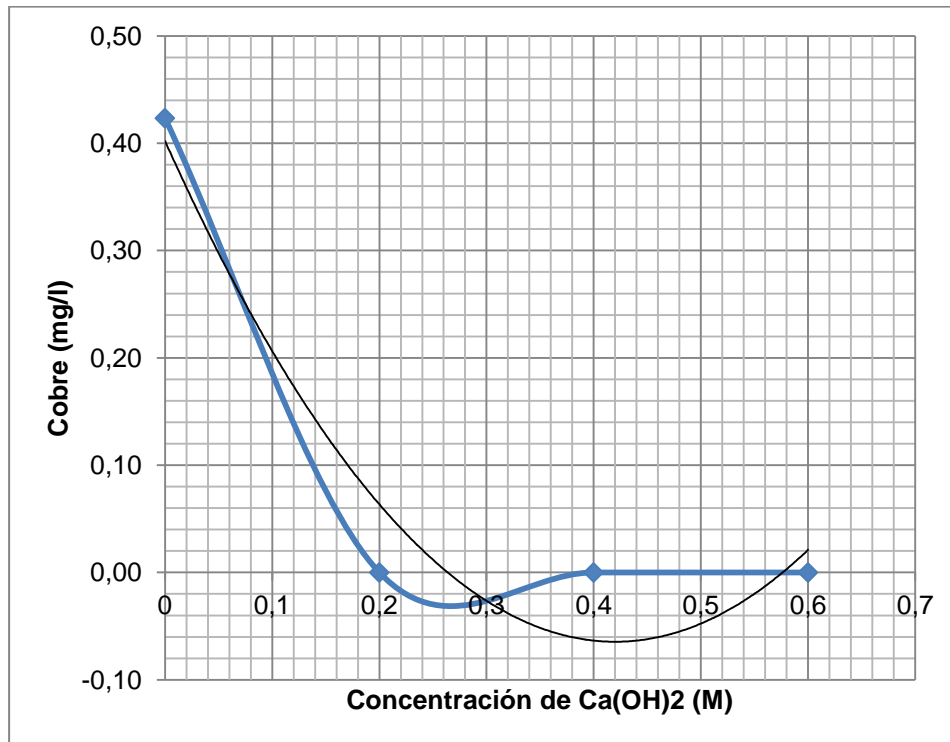
Fuente: elaboración propia.

Tabla XCVI. **Modelo matemático de contenido de cianuro total en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 0$	(0-0,6) M	--

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Contenido de cobre en función de la concentración de hidróxido de calcio**



Fuente: elaboración propia.

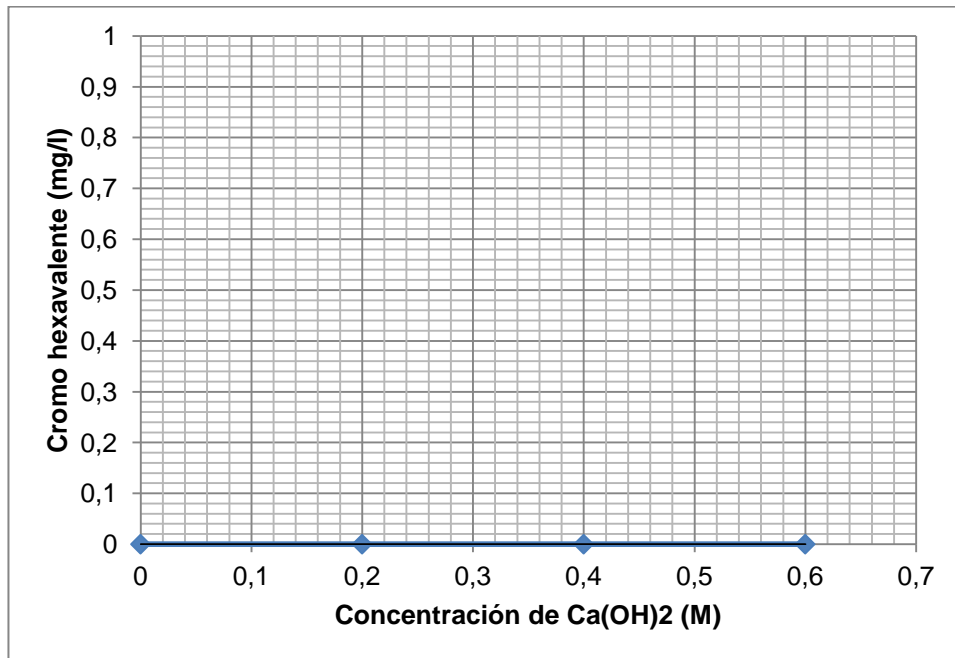
Tabla XCVII. **Modelo matemático de contenido de cobre en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 2,6458x^2 - 2,2225x + 0,4022$	(0-0,6) M	0,9333

Fuente: elaboración propia.



Figura 15. **Contenido de cromo hexavalente en función de la concentración de hidróxido de calcio**



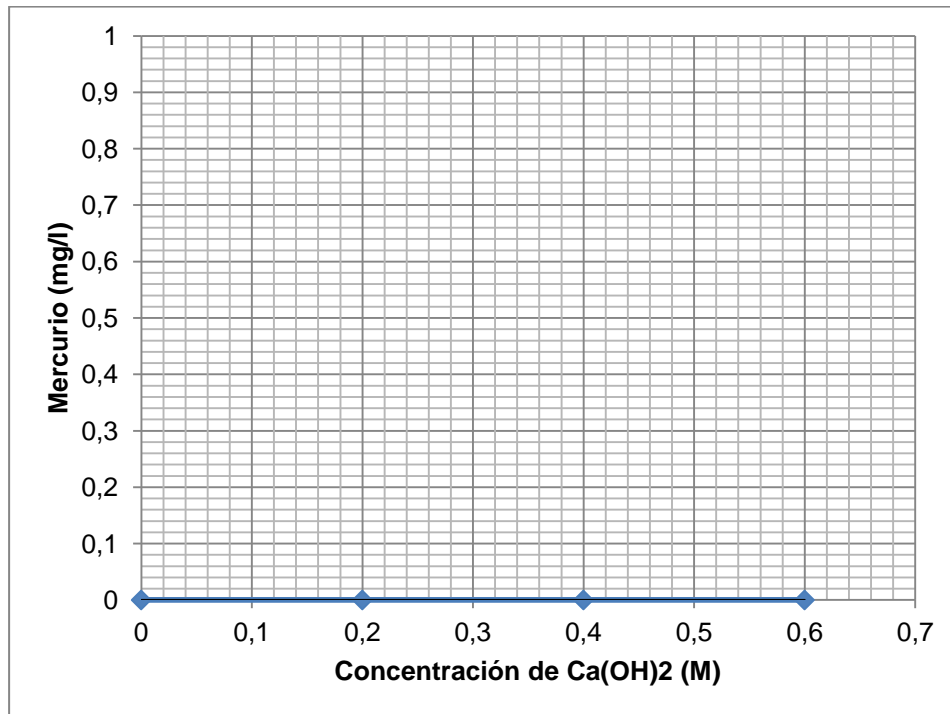
Fuente: elaboración propia.

Tabla XCVIII. **Modelo matemático de contenido de cromo hexavalente en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 0$	(0-0,6) M	- -

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Contenido de mercurio en función de la concentración de hidróxido de calcio**



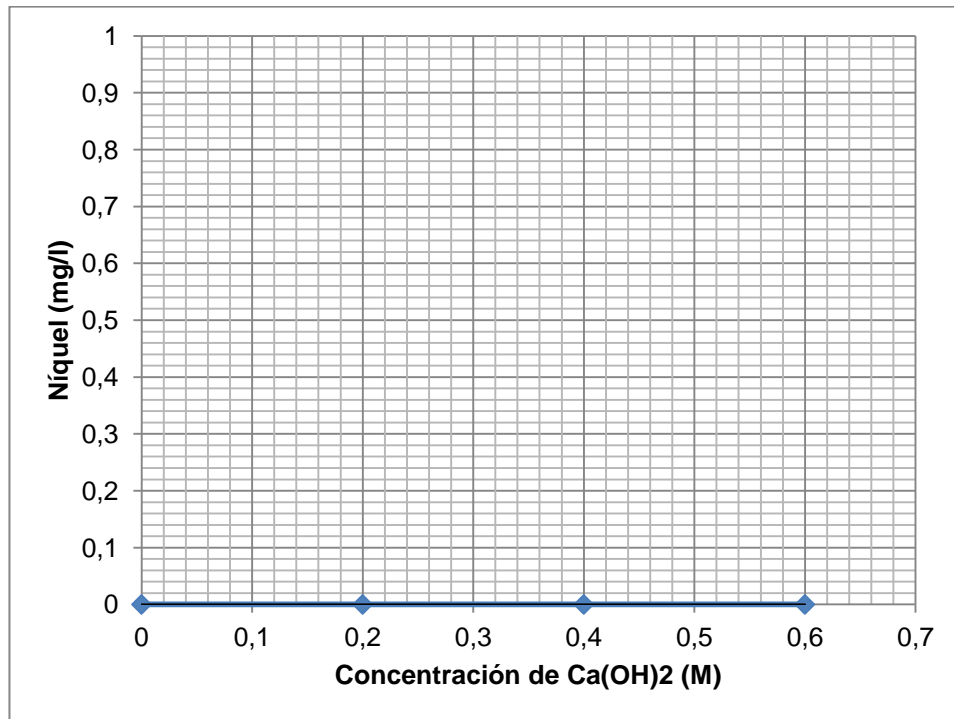
Fuente: elaboración propia.

Tabla XCIX. **Modelo matemático de contenido de mercurio en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 0$	(0-0,6) M	- -

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Contenido de níquel en función de la concentración de hidróxido de calcio**



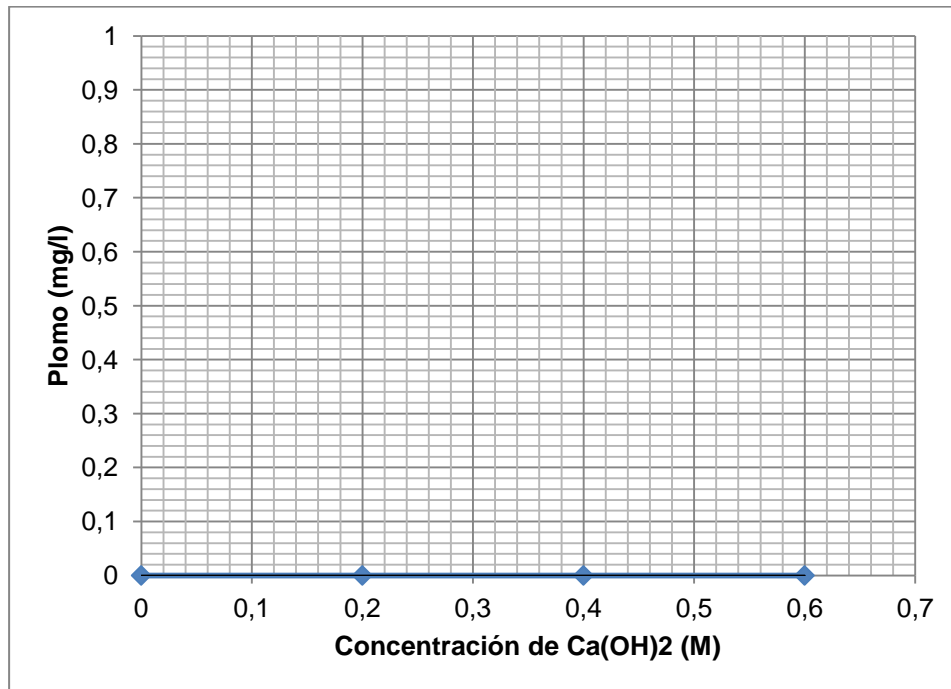
Fuente: elaboración propia.

Tabla C. **Modelo matemático de contenido de níquel en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 0$	(0-0,6) M	--

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Contenido de plomo en función de la concentración de hidróxido de calcio**



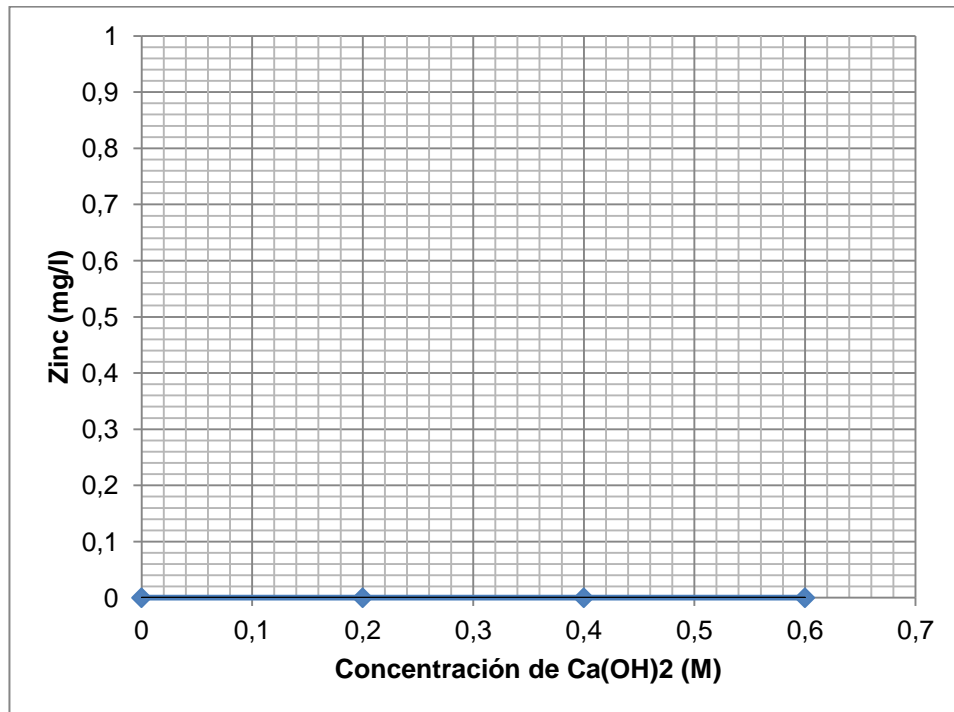
Fuente: elaboración propia.

Tabla CI. **Modelo matemático de contenido de plomo en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 0$	(0-0,6) M	--

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Contenido de zinc en función de la concentración de hidróxido de calcio**



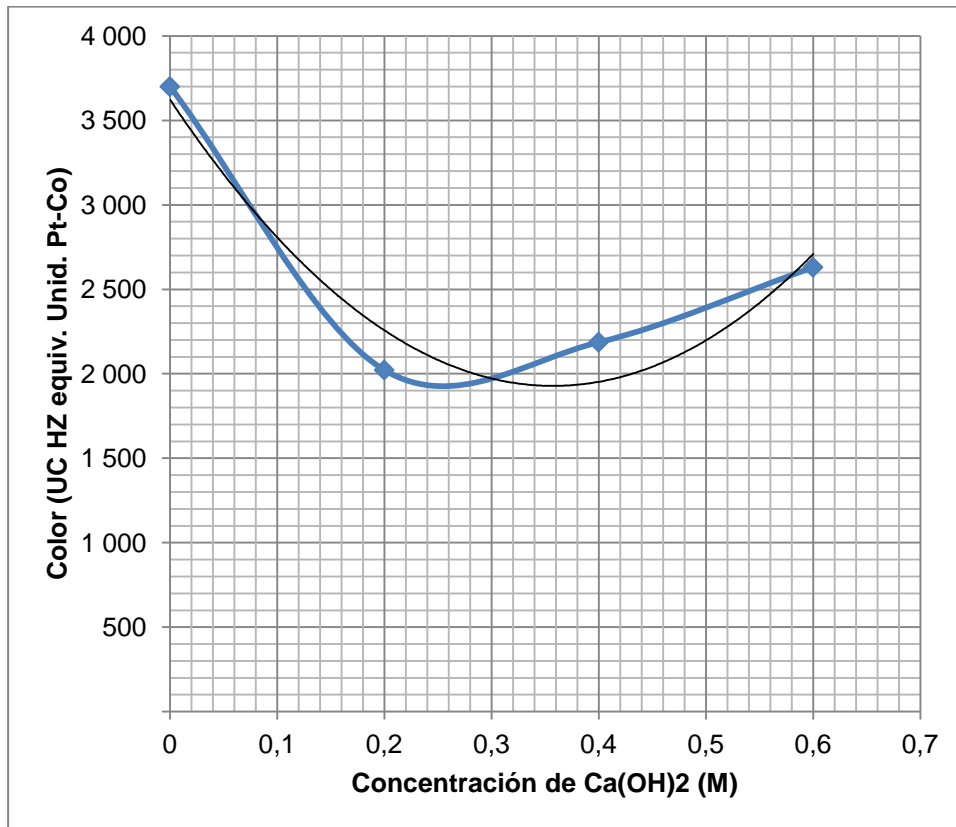
Fuente: elaboración propia.

Tabla CII. **Modelo matemático de contenido de zinc en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 0$	(0-0,6) M	--

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Contenido de color en función de la concentración de hidróxido de calcio**



Fuente: elaboración propia.

Tabla CIII. **Modelo matemático de contenido de color en función de la concentración de hidróxido de calcio.**

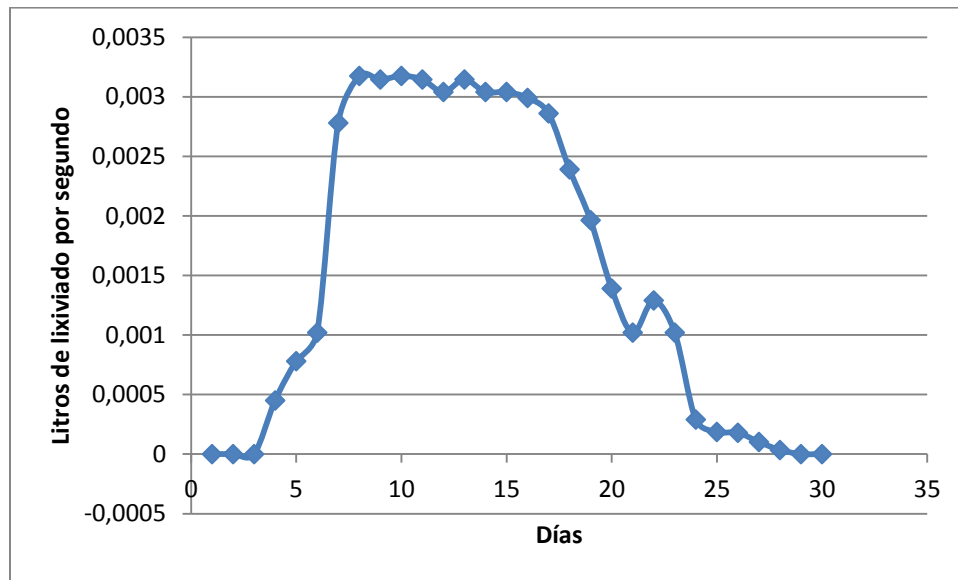
Color	Modelo matemático	Rango	R <sup>2</sup>
	$y = 13\,258,333333x^2 - 9\,476,666667x + 3\,621,833333$	(0-0,6) M	0,928551

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Caudal medio diario de lixiviado

Según la etapa del compostaje, así será la cantidad de lixiviado generada.

Figura 21. Litros de lixiviado por segundo con respecto a los días



Fuente: elaboración propia.

### 4.4. Tipos de reuso de aguas residuales

Los tipos de reuso de las aguas residuales están establecidos según los niveles de demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales; en la tabla CIV se clasifican.

Tabla CIV. **Parámetros analizados para reuso de los lixiviados tratados con hidróxido de calcio a 0,2 M, 0,4M y 0,6M, según Acuerdo Gubernativo 236-2 006**

Parámetro	Tipos de reuso					Muestras		
	I	II	III	IV	V	Lixiviado tratado 0,2 M	Lixiviado tratado 0,4 M	Lixiviado tratado 0,6 M
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	N/A	N/A	200	N/A	200	27 158,33	24 858,33	29 700
Coliformes fecales	N/A	< 2x10 <sup>2</sup>	N/A	< 1x10 <sup>3</sup>	< 1x10 <sup>3</sup>	< 2	< 2	< 2

Fuente: elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo la caracterización fisicoquímica y microbiológica de lixiviados, pasando por un tren de tratamiento, para evaluar su reuso según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de Guatemala. Los lixiviados fueron recolectados del Centro de Transferencia de Desechos Sólidos de la mancomunidad de Mankatitlán, Sololá.

El tren de tratamiento a escala laboratorio estaba compuesto de precipitación química con hidróxido de calcio, sedimentación y filtración en medio granular; el cual fue diseñado a partir de tres estanques, correspondientes a cada una de las etapas, los cuales estaban unidos por tuberías y llaves de paso que permitían la retención y conducción del fluido.

Primero, se colocaron 30 litros de lixiviado en el estanque superior debidamente cerrado a modo que la materia orgánica iniciará un proceso de degradación anaeróbica; posterior a ello se pasó al siguiente estanque y se le agregó el hidróxido de calcio a una concentración específica, se homogenizó la mezcla y se dejó sedimentar durante 24 horas. Luego de las 24 horas se dio paso al tercer estanque y ahí se llevó a cabo la filtración por medio granular, empleando diferentes granulometrías de piedra volcánica; finalmente, el lixiviado ya tratado fue obtenido en el estanque final a través de una llave de salida, para posteriormente ser refrigerada y analizada en el Laboratorio Ecosistemas.

En las tablas de la X hasta la XIII se observa la media de los parámetros analizados tanto para el lixiviado crudo como para los lixiviados tratados a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio, 0,2 M, 0,4 M y 0,6 M, con sus respectivas desviaciones estándar, las cuales indican la variabilidad que existe en las réplicas del ensayo.

Según la tabla LXXXIV, las características fisicoquímicas y microbiológicas del lixiviado crudo no son aptas para su reuso y mucho menos para su descarga en un cuerpo de agua. Entre los parámetros de mayor importancia a recalcar son los coliformes fecales, que estos sobrepasan en gran cantidad el límite máximo permisible, siendo muy dañino para la salud humana; al igual se puede mencionar la cantidad de arsénico y cobre, que aunque no sobrepase el límite máximo permisible, sería un riesgo para las personas entrar en contacto con estos metales, ya que no se descarta que pueda existir una acumulación de los mismos al utilizar agua contaminada constantemente.

Nuevamente, la tabla LXXXIV revela los parámetros analizados para el lixiviado crudo y los lixiviados tratados, incluyendo los límites máximos permisibles según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, los cuales los lixiviados no son aptos para su reuso y menos para descargar cuerpos de agua. Los coliformes fecales es uno de los parámetros importantes, el cual sobrepasa el límite máximo permisible, siendo muy dañino para la salud humana. De igual forma, se puede mencionar la cantidad de arsénico y cobre, que aunque no sobrepasen el límite máximo permisible, sería un riesgo para las personas entrar en contacto con estos metales, ya que no se descarta que pueda existir una acumulación de los mismos al utilizar agua contaminada constantemente.

Los parámetros presentaron una variación significativa, tanto los lixiviados tratados a diferentes concentraciones, así como entre el lixiviado crudo y los tratados. Se puede confirmar esta diferencia a través del análisis de varianza de un factor, contenido de la tabla XIV a la LXXXIII, en las cuales se determina si la diferencia en los parámetros es significativa respecto a la concentración de hidróxido de calcio. El valor del coeficiente de Fisher respecto a un coeficiente de Fisher crítico decreta esta diferencia; evidencian que los parámetros si varían significativamente con respecto a la concentración adicionada. Este análisis se trabajó con un grado del 95 % de confianza.

Para estimar cuál sería la cantidad precisa de hidróxido de calcio a añadir en el tratamiento del lixiviado, se realizó un análisis gráfico de cada parámetro analizado en función de la concentración de hidróxido de calcio, siendo estas 0M (lixiviado crudo), 0,2 M, 0,4 M y 0,6 M, presentando una curva con el comportamiento de las muestras y un modelo matemático de tendencia cuadrática, con el fin de poder establecer en el valor 'y' el límite máximo permisible de cada parámetro y así obtener el valor 'x' que en este caso sería la concentración de hidróxido de calcio a utilizar.

Debido a que la concentración de algunos parámetros en el lixiviado crudo, es muy elevada, no existe una correlación lineal entre el parámetro y la concentración de hidróxido de calcio; es decir, aunque se le agregue hidróxido de calcio a distintas concentraciones o no se agregue, las características del lixiviado con respecto a ese parámetro, seguirán siendo las mismas. La demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y nitrógeno total presentan esta característica en el lixiviado.

El caudal de lixiviado que se tiene en el Centro de Transferencia de Desechos Sólidos es mínimo, presentando un valor de 0,001512 litros de lixiviado por segundo; esto se debe a que el flujo de lixiviado no es constante, cuando se encuentre en la etapa de fermentación de la materia orgánica el flujo aumenta. Los niveles de flujo se pueden observar en la figura 22. A partir del caudal se obtuvo la carga orgánica del lixiviado, siendo esta de 3 519,72 kg/día de demanda bioquímica de oxígeno; la meta establecida por el Acuerdo Gubernativo 236-2 006 establece una carga orgánica de 3 000 kg/día de demanda bioquímica de oxígeno, revelando una diferencia mínima que puede ser cumplida al mejorar el proceso.

Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, el lixiviado tratado posterior al tren de tratamiento a escala laboratorio, se puede reusar según la clasificación establecida, como tipo I, reuso para riego agrícola en general; cumpliendo con los parámetros establecidos estando por debajo de ellos, siendo estos coliformes fecales y nivel de DBO.

## CONCLUSIONES

1. Sí existe diferencia estadística significativa para el tratamiento de lixiviados a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio, según parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006. La concentración de 0,2M de hidróxido de calcio es la óptima para el tratamiento, obteniendo valores más cercanos a los límites máximos permisibles.
2. Entre el lixiviado crudo y el lixiviado tratado existe diferencia significativa entre los parámetros analizados y establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Aceites y grasas, coliformes fecales y metales pesados, los cuales disminuyeron más allá de los límites máximos permisibles al tratar el lixiviado, independientemente de su concentración.
3. El lixiviado es adecuado para ser reusado para riego agrícola en general, presentando los niveles requeridos de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
4. La carga orgánica obtenida fue de 3 519,72 Kg/día de demanda bioquímica de oxígeno, la cual puede disminuir al mejorar el proceso; y al ser mínima la diferencia con la meta establecida, no afectará a los cultivos.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio de factibilidad para determinar la rentabilidad de instalar una planta piloto y así tratar el lixiviado y reutilizarlo.
2. Colocar un sistema de filtración más eficiente o una segunda etapa para disminuir la cantidad de sólidos suspendidos resultantes de la adición de hidróxido de calcio.
3. Emplear un contenedor en forma de cono para la etapa de sedimentación, de modo que esta tenga mayor eficiencia y mejor resultados.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo 236-2 006, Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. [en línea]. <[cta-consultoria.com/wp-content/uploads/2013/08/Acuerdo-236.pdf](http://cta-consultoria.com/wp-content/uploads/2013/08/Acuerdo-236.pdf)> [Consulta: 18 de septiembre de 2016].
2. *Alternativa de tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios en plantas de aguas residuales urbanas.* [en línea]. [www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/orta.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/orta.pdf) [Consulta: 17 de septiembre de 2016].
3. *Coagulación-Floculación.* [en línea]. <[http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis\\_procesos/tema5.pdf](http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf)> [Consulta: 17 de septiembre de 2016].
4. GÁLVEZ, José. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales sector cuatro caminos y diseño del mercado de la aldea El Pajón, municipio de Santa Catarina Pinula, departamento de Guatemala. [en línea]. < [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2710\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2710_C.pdf)> [Consulta: 18 de septiembre de 2016].
5. MANCTZOLOJYA, Mancomunidad de Municipios Tzolojya. Manual de operación y funcionamiento del Centro de Transferencia de Desechos Sólidos “CTDS” del municipio de Sololá. Guatemala: 2014. p. 5.

6. MANCTZOLOJYA, Mancomunidad de Municipios Tzolojya. Modelo de gestión para el manejo adecuado de los desechos sólidos en el casco urbano de Sololá: sensibilización, concientización y educación ambiental. Guatemala: 2013. p. 2.
7. MANCTZOLOJYA, Mancomunidad de Municipios Tzolojya. Modelo de gestión para el manejo adecuado de los desechos sólidos en el municipio de Sololá. Guatemala: 2003. p. 2.
8. METCALF, Eddy. Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Barcelona: 1985. p 969.
9. Uso de cal en tratamientos de agua. [en línea]. <[http://anfagal.org/media/Biblioteca\\_Digital/Usos\\_Ecologicos/Tratamiento\\_de\\_Aguas/USOS\\_DE\\_CAL\\_EN\\_TRATAMIENTOS\\_DE\\_A\\_GUA.pdf](http://anfagal.org/media/Biblioteca_Digital/Usos_Ecologicos/Tratamiento_de_Aguas/USOS_DE_CAL_EN_TRATAMIENTOS_DE_A_GUA.pdf)> [Consulta: 17 de septiembre de 2016].

## APÉNDICE

### Apéndice 1. Almacenamiento de desechos orgánicos para producción de compost



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 2. Direccionamiento de lixiviados hacia tuberías de captación en área de las camas de compost



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Área de tamizado y empackado del compost**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Área de almacenaje de lixiviado y recolección**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Sistema utilizado para tren de tratamiento de lixiviados**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Lixiviado homogenizado con hidróxido de calcio**



Fuente: elaboración propia.



Apéndice 7. **Granulometría de material granular para filtración**



Fuente: elaboración propia.


## ANEXOS

### Anexo 1. Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado crudo, repetición 1

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	6.34	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	1425	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	42 800	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	54 984	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	2750	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	1900	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	184	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	0.012	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	NSD	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	0.41	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Níquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	2.87	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	42 850	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	4150	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	> 1.6 x 10 <sup>7</sup>	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.

Anexo 2. **Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado crudo, repetición 2.**



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**COPIA**

LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL  
17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Ofibodegas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 +2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 1238-16  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 280616

Fecha de análisis: 280616-140716

Fecha del informe: 140716

Identificación de la muestra: Muestra 2 Mankatitlan  
Correlativo Ecosistemas: 5242


Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	6.28	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	1387	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	43 400	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	55 700	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendedos	mg/l	10	3020	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	1650	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	178	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P-E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	0.012	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	NSD	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	0.44	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Níquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	2.88	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	43 000	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2650	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	> 1.6 x 10 <sup>7</sup>	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.



Anexo 3. **Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado crudo, repetición 3.**



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**COPIA**

LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL  
17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Oficinas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 1239-16  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua  
Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC  
Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA  
Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA  
Fecha de ingreso de muestras: 280616  
Fecha de análisis: 280616-140716  
Fecha del informe: 140716


Identificación de la muestra: Muestra 3 Mankatitlan  
Correlativo Ecosistemas: 5243

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	6.31	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	1396	EPA 1664
Materia Flotante	—	—	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	43.100	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	54.958	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	2925	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	1850	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	182	Spectroquant Merck Análogo EPA 385.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1 DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	0.012	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	NSD	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	0.42	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Níquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	2.87	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	42.890	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	4300	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	> 1.6 x 10 <sup>7</sup>	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.

Anexo 4. **Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado tratado con hidróxido de calcio a 0,2 M, repetición 1.**



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**COPIA**

LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Ofibodegas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 1248-16  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 300616

Fecha de análisis: 300616-140716

Fecha del informe: 140716


Identificación de la muestra: Muestra 4 Mankatitlan  
Correlativo Ecosistemas: 5305

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	9.51	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	26 100	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	35 257	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	853	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	750	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	5.40	Spectroquant Merck Análogo EPA 385.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Níquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	9000	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2035	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.

Anexo 5. **Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado tratado con hidróxido de calcio a 0,2 M, repetición 2.**



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL**

**COPIA**

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Oficinas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 1249-16  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 300616

Fecha de análisis: 300616-140716

Fecha del informe: 140716


Identificación de la muestra: Muestra 5 Mankatitlan  
Correlativo Ecosistemas: 5306

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	9.51	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	28 400	Oxtop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	36 592	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	912	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	768	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	5.20	Spectroquant Merck Análogo EPA 385.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Níquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	8960	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2005	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.

Anexo 6. **Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado tratado con hidróxido de calcio a 0,2 M, repetición 3.**



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**COPIA**

LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Ofibodegas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 1250-16  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 300616

Fecha de análisis: 300616-140716

Fecha del informe: 140716

Identificación de la muestra: Muestra 6 Mankatitlan  
Correlativo Ecosistemas: 5307


Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	9.54	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Fiotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	26 975	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	35 970	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	890	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	785	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	5.40	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	8995	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2027	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.



Anexo 7. **Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado tratado con hidróxido de calcio a 0,4 M, repetición 1.**



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**COPIA**

LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL  
17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Of/bodegas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 1251-16  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 300616

Fecha de análisis: 300616-140716

Fecha del informe: 140716


Identificación de la muestra: Muestra 7 Mankatitlan  
Correlativo Ecosistemas: 5308

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	10.01	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	24 600	Oxtop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	36 142	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendedos	mg/l	10	927	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	765	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	6.20	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	9936	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2169	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.

Anexo 8. **Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado tratado con hidróxido de calcio a 0,4 M, repetición 2.**



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL** COPIA

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Oficinas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 1252-16  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 300616

Fecha de análisis: 300616-140716

Fecha del informe: 140716


Identificación de la muestra: Muestra 8 Mankatitlan  
Correlativo Ecosistemas: 5309

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	10.07	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	25 100	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	36 585	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	915	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	792	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	6.05	Spectroquant Merck Análogo EPA 385.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189, D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Níquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	9685	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2205	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.

Anexo 9. **Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado tratado con hidróxido de calcio a 0,4 M, repetición 3.**



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**COPIA**

LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL  
17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Ofibodegas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 1253-16  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 300616

Fecha de análisis: 300616-140716

Fecha del informe: 140716


Identificación de la muestra: Muestra 9 Mankatitlan  
Correlativo Ecosistemas: 5310

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	10.03	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	24 875	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	36 658	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendedos	mg/l	10	933	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	787	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	6.15	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	9983	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2187	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.

Anexo 10. Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado tratado con hidróxido de calcio a 0,6 M, repetición 1.



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**COPIA**

LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Ofibodegas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 802-17  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 040417

Fecha de análisis: 040417-170417

Fecha del informe: 170417

Identificación de la muestra: Muestra 1  
Correlativo Ecosistemas: 7913


Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	10.59	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	—	—	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	30 400	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	44 593	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	1218	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	850	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	7.60	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	9690	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2759	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.



Anexo 11. Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado tratado con hidróxido de calcio a 0,6 M, repetición 2.



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**COPIA**

LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Oficinas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 803-17  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 040417

Fecha de análisis: 040417-170417

Fecha del informe: 170417


Identificación de la muestra: Muestra 2  
Correlativo Ecosistemas: 7914

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGÍA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	10.56	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	29 300	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	45 091	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	1290	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	835	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	7.40	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	9358	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2675	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.

Anexo 12. Análisis de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 del lixiviado tratado con hidróxido de calcio a 0,6 M, repetición 3.



**ECOSISTEMAS**  
PROYECTOS AMBIENTALES

**LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL**

**COPIA**

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Of/bodegas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 804-17  
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: CEMENTOS PROGRESO / MC

Dirección: MANKATITLAN, SOLOLA

Procedencia de la muestra: MANKATITLAN SOLOLA

Fecha de ingreso de muestras: 040417

Fecha de análisis: 040417-170417

Fecha del informe: 170417

Identificación de la muestra: Muestra 3  
Correlativo Ecosistemas: 7915

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	10.61	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	29 400	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	45 275	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendedos	mg/l	10	1296	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/l	10	875	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/l	0.05	7.55	Spectroquant Merck Análogo EPA 385.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.10	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/l	0.15	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.10	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/l	0.01	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Níquel Ni	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.25	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	8996	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	2458	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP

Fuente: Laboratorio Ecosistemas. Fecha: 14 de julio de 2016.