



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO
DEL CANTÓN TENA PROVINCIA DE NAPO MEDIANTE
REACCION FENTON Y MICROORGANISMOS EFICIENTES,
2016**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: NATALI JOHANA ALVARADO AGUINDA

TUTOR: DR. ROBERT CAZAR

Riobamba-Ecuador

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN TENA PROVINCIA DE NAPO MEDIANTE REACCION FENTON Y MICROORGANISMOS EFICIENTES, 2016**, de responsabilidad de la señorita Natali Johana Alvarado Aguinda, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Robert Cazar

DIRECTOR DEL TRABAJO

DE TITULACIÓN

.....

.....

Ing. Mónica Murillo

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DE TITULACIÓN

.....

.....

Yo, Natali Johana Alvarado Aguinda soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

.....

Natali Johana Alvarado Aguinda

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, NATALI JOHANA ALVARADO AGUINDA declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación

Riobamba, 06 de Enero del 2016

NATALI JOHANA ALVARADO AGUINDA

Cédula de Identidad: 150096602-1

DEDICATORIA

A Dios por ser mi amigo, mi ídolo y compañero de toda la vida

A mis padres Jorge y Cecilia los seres más valiosos y de los cuales estoy orgullosa

A mis hermanos Evelyn, Cecibel, Javier gracias por confiar en mí.

A mi gran felicidad neycercito eres lo más lindo de mi vida.

A mi novio Luis Díaz por apoyarme en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mi tía Mérita y Anita le doy las gracias por estar conmigo siempre

A la mejor de mis amigas Taty Hidalgo gracias por tu apoyo y tu amistad.

NATALI ALVARADO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la dicha de estar con vida y darme lo mejor de esta vida a mis padres, hermanos y amigas.

Mis más sinceros agradecimientos al Doctor Robert Cazar y a la Doctora Mónica Murillo por brindarme sus conocimientos y su tiempo para llevar a cabo este trabajo.

A mi amigo David por su apoyo y colaboración.

NATALI ALVARADO

CONTENIDO DE ABREVIATURAS

CH ₄	Metano
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro cuadrado
CO ₂	Dióxido de carbono
COT	Carbón orgánico total
COV's	Compuestos orgánicos volátiles
Cr ⁺³	Cromo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBOt	Demanda Bioquímica de Oxígeno total
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DQOt	Demanda Química de Oxígeno total
EM	Microorganismos Eficientes
EPA	Agencia de Protección Ambiental
Fe ²⁺	Hierro II
Fe ³⁺	Hierro III
FeSO ₄	Sulfato de hierro
g	Gramo
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
H ₂ O	Agua
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogeno
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
H ₃ O ⁺	Ion hidronio

Hg	Mercurio
HO ⁻	Anión Hidroxilo
Kg	Kilogramo
L	Litro
Li	Litio
m	Metro
mg	Miligramo
mL	Mililitro
mm	Milímetro
NH ₃	Amoniaco
Ni	Níquel
°C	Grados Centígrados
Pb	Plomo
PH	Potencial de hidrogeno
R-OH	Alcohol
rpm	Revolución por minuto
RS	Residuo Sólido
RSP	Residuo Sólido Peligroso
RSU	Residuo Sólido Urbano
s	Segundo
SST	Sólidos Suspendidos Totales
Zn	Zin

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

RESPONSABILIDAD

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

CONTENIDO DE ABREVIATURA

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE ECUACIONES

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN.....xxv

ABSTRACT.....xxvi

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPITULO I

1.	MARCO TEÓRICO	4
1.1	<i>Residuos sólidos</i>	4
1.1.1	<i>Residuos Sólidos Urbanos o Municipales</i>	4
1.1.2	<i>Residuos Domésticos y Comerciales</i>	5
1.1.3	<i>Residuos Institucionales</i>	6
1.1.4	<i>Residuos de la construcción y demolición</i>	7
1.1.5	<i>Residuos de los servicios municipales</i>	7
1.1.6	<i>Residuos de industriales</i>	8
1.1.7	<i>Residuos Agrícolas</i>	8
1.1.8	<i>Residuos Mineros</i>	9
1.1.9	<i>Residuos Forestales</i>	9
1.1.10	<i>Residuos Radioactivo</i>	¡Error! Marcador no definido.
1.1.11	<i>Residuos hospitalarios</i>	10
1.2	Composición de los residuos sólidos.....	11
1.2.1	<i>Generación de residuos</i>	13

1.2.1.1	<i>Producción per cápita (PPC)</i>	13
1.2.2	<i>Riesgos para la salud</i>	15
1.2.2.1	<i>Riesgos directos</i>	15
1.2.2.2	<i>Riesgos indirectos</i>	15
1.2.3	<i>Efectos en el ambiente</i>	16
1.2.3.1	<i>Contaminación del agua</i>	17
1.2.3.2	<i>Contaminación del suelo</i>	17
1.2.3.3	<i>Contaminación del aire</i>	17
1.3	<i>Relleno sanitario</i>	17
1.3.1	<i>¿A que se denomina botadero de basura a cielo abierto?</i>	17
1.3.2	<i>Relleno sanitario</i>	18
1.3.3	<i>Tipos de Relleno Sanitario</i>	19
1.3.3.1	<i>Relleno Sanitario Mecanizado</i>	19
1.3.3.2	<i>Relleno Sanitario Semimecanizado</i>	19
1.3.3.3	<i>Relleno Sanitario Manual</i>	20
1.4	<i>Lixiviados</i>	20
1.4.1	<i>Características de los lixiviados</i>	21
1.4.2	<i>Clasificación de los lixiviados</i>	23
1.4.3	<i>Generación y fases del lixiviado</i>	24
1.4.3.1	<i>Cálculo de la generación de lixiviado o percolado</i>	25
1.5	<i>Alternativas de tratamiento de lixiviados</i>	26
1.5.1	<i>Procesos biológicos</i>	26
1.5.1.1	<i>Tratamiento aerobio</i>	27
1.5.1.2	<i>Tratamiento anaerobio</i>	27
1.5.2	<i>Sistemas Naturales</i>	28
1.5.3	<i>Recirculación de lixiviados</i>	28
1.5.3.1	<i>Aplicación directa de los lixiviados a los residuos durante su disposición</i> 28	
1.5.3.2	<i>Rociado por irrigación en la superficie del relleno</i>	29
1.5.3.3	<i>Aplicación subsuperficial</i>	29
1.5.3.4	<i>Ventajas</i>	29
1.5.3.5	<i>Desventajas</i>	29
1.5.4	<i>Evaporación</i>	30
1.5.5	<i>Sistemas de membrana</i>	30
1.5.5.1	<i>Biorreactores con membrana</i>	30
1.5.5.2	<i>Ósmosis inversa</i>	31

1.5.6	Procesos de oxidación avanzada (POA)	31
1.5.6.1	Clasificación de los POA	31
1.5.6.2	Ventajas.....	32
1.5.6.3	Desventajas	33
1.5.7	Ozonación	33
1.5.8	O₃/ H₂O₂	34
1.5.9	UV/ H₂O₂	34
1.5.9.1	Ventajas del método UV/ H ₂ O ₂	34
1.5.9.2	Desventajas del método UV/ H ₂ O ₂	34
1.5.10	Técnica Fenton	35
1.5.10.1	Ventajas del proceso Fenton.....	36
1.5.10.2	Desventajas	36
1.5.11	Principio del Proceso Foto-Fenton	36
1.5.12	Microorganismos Eficientes (EM)	37
1.5.12.1	Modo de Acción de los Microorganismos.....	38
1.5.12.2	Grupos de Microorganismos Eficientes.....	38
1.5.12.3	Como funciona los EM.....	40
1.5.12.4	Efectos del EM	40
1.5.13	Fases de crecimiento Microbiano	41
1.5.13.1	Crecimiento como progresión geométrica.....	41
1.5.13.2	Crecimiento microbiano en medio líquido.....	42
1.5.13.3	Crecimiento microbiano en medio sólido	44
1.6	Normativa Ambiental	44
2.	MARCO METODOLÓGICO	46
2.1	Área de estudio	46
2.1.1	Ubicación cartográfica y geográfica.....	46
2.1.2	Macrolocalización	46
2.1.3	Microlocalización	46
2.2	Metodología	48
2.2.1	Muestreo.....	48
2.2.2	Caracterización del Lixiviado.....	49
2.2.3	Transporte del lixiviado a lugar de trabajo.....	50
2.2.4	Metodología Técnica fenton.....	51
2.2.4.1	Aplicación de ácido sulfúrico para bajar el pH.....	52
2.2.5	Metodología Microorganismos eficientes	52

2.2.5.1	<i>Filtro casero</i>	53
2.3	Métodos y Técnicas	54
2.3.1	<i>Métodos</i>	54
2.4	Datos Experimentales	57
2.4.1	<i>Datos</i>	57
2.4.1.1	<i>Datos para la técnica Fenton</i>	57
2.4.1.2	<i>Datos para bajar el pH</i>	58
2.4.1.3	<i>Datos para la activación y aplicación de EM</i>	58
3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
3.1	Cálculos	59
3.1.1	<i>Cálculos para obtener la dosis óptima de reactivo fenton</i>	59
3.1.2	<i>Cálculo para la dosis de ácido sulfúrico</i>	59
3.1.3	<i>Cálculos para la activación de microorganismos eficientes</i>	60
3.2	Resultados	61
3.2.1	<i>Resultados de dosis óptima técnica Fenton e índice de biodegradabilidad</i>	61
3.2.2	<i>Resultado de dosis óptima de ácido sulfúrico</i>	61
3.2.3	<i>Resultado de la dosis óptima para la preparación de EM activados</i>	61
3.2.4	<i>Resultados del muestreo inicial del lixiviado</i>	62
3.2.5	<i>Resultado método Fenton</i>	63
3.2.5.1	<i>Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno</i>	63
3.2.5.2	<i>Resultado del análisis de la demanda química de oxígeno</i>	64
3.2.5.3	<i>Resultados del análisis del nitrógeno amoniacal</i>	65
3.2.6	<i>Resultados del tratamiento con microorganismos eficientes</i>	67
3.2.7	<i>Resultados globales</i>	67
3.2.7.1	<i>Resultados globales de la demanda bioquímica de oxígeno</i>	67
3.2.7.2	<i>Resultados globales de la demanda química de oxígeno</i>	69
3.2.7.3	<i>Resultados globales de Nitrógeno amoniacal</i>	71
3.3	Análisis y discusión de resultados	73
3.3.1	<i>Análisis de resultados</i>	73
3.3.2	<i>Discusión de resultados</i>	74
3.4	Presupuesto de la técnica Fenton y Microorganismos eficientes	77
	CONCLUSIONES	80
	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Composición de los residuos en países desarrollados	12
Tabla 2-1: Composición de los residuos en países en vías de desarrollo.....	12
Tabla 3-1: Producción Per cápita del cantón Tena.....	14
Tabla 4-1: Generación de residuos en el cantón Tena	14
Tabla 5-1: Tipos de vectores.....	16
Tabla 6-1: Características de los lixiviados según la edad del lixiviado.....	22
Tabla 7-1: Características generales de los lixiviados	23
Tabla 8-1: Procesos no fotoquímicos y fotoquímicos.....	32
Tabla 9-1: Límite de descarga de un cuerpo de agua dulce	45
Tabla 1-2: Ubicación Cartográfica del Relleno Sanitario	46
Tabla 2-2: Georeferenciación del Relleno Sanitario.....	47
Tabla 3-2: Métodos empleados para el análisis físico –químico del lixiviado	50
Tabla 4-2: Determinación de la DQO.....	54
Tabla 5-2: Determinación de la DBO ₅	55
Tabla 6-2: Determinación de nitrógeno amoniacal.....	56
Tabla 7-2: Datos para la técnica Fenton.....	58
Tabla 8-2: Datos para bajar el pH.....	58
Tabla 9-2: Datos para la activación de EM.....	58
Tabla 1-3: Resultados de dosis óptima técnica Fenton	61
Tabla 2-3: Resultado de dosis óptima H ₂ SO ₄	61

Tabla 3-3: Resultados del volumen óptimo de EM solución madre, melaza y agua para la activación de EM.....	63
Tabla 4-3: Resultados del muestreo inicial del lixiviado	62
Tabla 5-3: Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno	63
Tabla 6-3: Resultados del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno	64
Tabla 7-3: Resultados del análisis del nitrógeno amoniacal	66
Tabla 8-3: Resultados del tratamiento con EM.....	67
Tabla 9-3: Resultados de la DBO ₅ con los tratamientos aplicados	67
Tabla 10-3: Resultados de la DQO con los tratamientos aplicados	69
Tabla 11-3: Resultados de N-NH ₃ con los tratamientos aplicados	71
Tabla 12-3: Porcentaje de remoción de DBO ₅ , DQO y N-NH ₃ del lixiviado del Relleno Sanitario “Chimbadero”	75
Tabla 3-13: Porcentaje de remoción de los parámetros del lixiviado a tratar en la ciudad de Mérida y Tuxtla Gutiérrez mediante Fenton/ adsorción	75
Tabla 14-3: Caracterización del lixiviado antes y después del tratamiento físico- químico propuestos con sus respectivos porcentajes de remoción en el relleno sanitario Carrasco en Bucaramanga- Colombia.....	76
Tabla 15-3: Porcentaje de remoción de DQO en lixiviados generados en el tiradero municipal de Guanajuato mediante la técnica Fenton.....	76
Tabla 16-3: Porcentaje de remoción de contaminantes en aguas residuales la Granja Porcina de Zamorano, Honduras con EM	77
Tabla 17-3: Costos de la técnica Fenton	77

Tabla 18-3: Costo del tratamiento con EM	78
Tabla 19-3: Costo de materiales de campo	78
Tabla 20-3: Costo de análisis de laboratorio.....	78
Tabla 21-3: Costo total del proyecto.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Residuos sólidos urbanos.....	5
Figura 2-1: Residuos domésticos y comerciales.....	6
Figura 3-1: Residuos institucionales.....	6
Figura 4-1: Residuos de construcción y demolición.....	7
Figura 5-1: Residuos de servicios municipales.....	8
Figura 6-1: Residuos industriales	8
Figura 7-1: Residuos agrícolas	9
Figura 8-1: Residuos mineros.....	9
Figura 9-1: Residuos forestales	10
Figura 10-1: Residuos radioactivos	10
Figura 11-1: Residuos hospitalarios	11
Figura 12-1: Botadero de basura a cielo abierto	18
Figura 13-1: Relleno sanitario del cantón Tena.....	19
Figura 14-1: Microorganismos eficientes	40
Figura 15-1: Logaritmo de número de células.....	42
Figura 16-1: Fases de crecimiento microbiano.....	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Disminución de los valores de DBO ₅ mediante reacción Fenton.....	64
Gráfico 2-3: Disminución de los valores de DQO mediante reacción Fenton.....	65
Gráfico 3-3: Disminución de los valores de nitrógeno amoniacal mediante reacción fenton.	66
Gráfico 4-3: Disminución de la DBO ₅ mediante la técnica Fenton y Microorganismos eficientes	68
Gráfico 5-3: Porcentaje de disminución de la DBO ₅ a través de los tratamientos empleados.....	69
Gráfico 6-3: Disminución de la DQO mediante la técnica Fenton y Microorganismos eficientes	70
Gráfico 7-3: Disminución de la DQO mediante reacción Fenton y EM.....	71
Gráfico 8-3: Disminución del N-NH ₃ mediante la técnica Fenton y Microorganismos eficientes	72
Gráfico 9-3: Porcentaje de Disminución del N-NH ₃ mediante los tratamientos aplicados	73

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	212
Ecuación 2-1	223
Ecuación 3-1	27
Ecuación 4-1	34
Ecuación 5-1	33
Ecuación 6-1	345
Ecuación 7-1	356
Ecuación 8-1	356
Ecuación 9-1	367
Ecuación 10-1	378
Ecuación 11-1	378
Ecuación 12-1	38
Ecuación 13-1	412
Ecuación 14-1	412
Ecuación 15-1	412
Ecuación 16-1	423

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A:	Piscinas de lixiviados en tratamiento o lagunas de oxidación	82
Anexo B:	Lixiviado en percolación.....	82
Anexo C:	Cantidad de lixiviado a tratarse en el bidón.....	83
Anexo D:	Microorganismos Eficientes Comercial.....	83
Anexo E:	Aplicación de Microorganismos Eficientes	84
Anexo F:	Filtración del lixiviado después de la aplicación de EM.....	84
Anexo G:	Resultados con la técnica Fenton-tratamiento 1	85
Anexo H:	Resultados con la técnica Fenton-tratamiento 2	86
Anexo I:	Resultados con la técnica Fenton-tratamiento 3.....	87
Anexo J:	Resultados con la técnica Fenton-tratamiento 4	88
Anexo K:	Resultados Microorganismos Eficientes.....	89
Anexo L:	Resultados técnica Fenton y Microorganismos Eficientes.....	90
Anexo M:	Ficha técnica Ergomix.....	91

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo tratar los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Tena mediante Reacción Fenton y Microorganismos eficientes. Se caracterizó la muestra inicial del lixiviado mediante un análisis físico- químico, cuyos parámetros a determinar fueron: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y nitrógeno amoniacal (N-NH₃); dando un valor inicial de 8350 mg/L de DBO₅, 15400 mg/L de DQO y 875 mg/L de N-NH₃. Se empleó como un pre-tratamiento la técnica Fenton que consiste en la oxidación de la materia orgánica entre el sulfato ferroso (FeSO₄) y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en medio ácido. Se aplicó dosis de 200, 400, 600 y 800 gramos de FeSO₄ y mililitros de H₂O₂ respectivamente, con un tiempo de reacción de 6 días a pH 4 y se tomaron muestras en cada dosis aplicadas para su posterior análisis. Al finalizar la técnica Fenton se calculó el índice de biodegradabilidad que dio un valor de 0.32 con la finalidad de afirmar la aplicación de microorganismos eficientes (EM). Los microorganismos eficientes se activaron con melaza de caña de azúcar y agua, ya que éstos se encuentran en estado de latencia por el lapso de 7 días. Como se trató 200 L de lixiviado se aplicó una dosis de 1ml de EM activados por cada 1000 ml de lixiviado, es decir 200 ml de EM durante un mes para mayor eficiencia del proceso microbiano. Se logró porcentajes de remoción de 84.3 % de DBO₅, 74 % de DQO y 84 % de N-NH₃. Se concluyó que las técnicas utilizadas resultaron menos costosas y con cortos tiempos de remoción. Se recomienda a los municipios emplear estas tecnologías para minimizar la contaminación generada por lixiviados.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <BIOTECNOLOGÍA>, <FENTON>, <MICROORGANISMOS EFICIENTES>, <MATERIA ORGÁNICA>, <NITRÓGENO AMONIACAL>, <RELLENO SANITARIO>, <TENA [CANTÓN]>.

SUMMARY

The present titling work had as objective to treat the leachates generated in the sanitary landfill of the canton Tena through Fenton Reaction and efficient microorganisms. The initial sample of the leachate was characterized by a physical-chemical analysis, whose parameters to be determined were: biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD) and ammoniacal nitrogen (N-NH₃); giving an initial value of 8350 mg/L of BOD₅, 15400 mg/L of COD and 875 mg/L of N- NH₃. The Fenton technique consisting of the oxidation of organic matter between ferrous sulfate (FeSO₄) and hydrogen peroxide (H₂O₂) in acid medium was used as a pretreatment. Doses of 200, 400, 600 and 800 grams of FeSO₄ and milliliters of H₂O₂ respectively were applied with a reaction time of 6 days at pH 4 and samples were taken at each dose applied for further analysis. At the end of the Fenton technique the biodegradability index was calculated, which gave a value of 0.32 in order to assert the application of efficient microorganisms (ME). The efficient microorganisms were activated with sugar cane molasses and water, since these are in latency for the period of 7 days. As 200 L of leachate was treated, a dose of 1 ml of activated ME was applied per 1000 ml of leachate, that is to say 200 ml of ME for one month for greater efficiency of the microbial process. Percentages of removal of 84.3 % of BOD₅, 74 % of COD and 84 % of N-NH₃ were achieved. It was concluded that the techniques used were less expensive and with short removal times. It is recommended that municipalities use these technologies to minimize the pollution generated by leachate.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <BIOTECHNOLOGY>, <FENTON>, <EFFICIENT MICROORGANISMS>, <ORGANIC MATERIAL>, <NITROGEN AMMONIACAL>, <LANDFILL>

INTRODUCCIÓN

Tena es la cabecera cantonal y capital de la provincia de Napo, está ubicado al suroeste de la provincia de Napo en la región amazónica. Su principal actividad es el turismo, debido a que cuenta con una diversidad de atractivos naturales y manifestaciones culturales que se ubican en cada una de las parroquias las mismas que poseen características especiales que permiten a los visitantes conocer su historia y tradiciones.

El cantón Tena, se constituye en un sector multiétnico y pluricultural, su población actualmente llega a los 60.880 habitantes según el último censo de la población en el año 2010, de la cual el 61,7% de la población viven en la zona rural y el 38% en la zona urbana de Tena.

- ✓ Temperatura Promedio: 25°C
- ✓ Superficie: 3904.3 Km²
- ✓ Altitud : 510 msnm
- ✓ Humedad: 90 al 100%
- ✓ Parroquias: Tena (urbana), Ahuano, Muyuna, Puerto Misahuallí, Pano, Puerto Napo, Chontapunta y Talag (rurales).

En la actualidad la generación de residuos sólidos sigue aumentando su *per capita* a causa del crecimiento poblacional y del desarrollo industrial lo que lleva al consumismo y al facilismo para adquirir cualquier producto y desecharlo a un contenedor de basura sin conocer los problemas que ocasiona su acumulación y aún más si los productos están elaborados con materiales no biodegradables los cuales contaminan el medio ambiente y los recursos necesarios para la vida. Es por esto que se pretende implementar tratamientos a los residuos sólidos que ayuden a disminuir el impacto de contaminación con los habitantes y el entorno.

La Municipalidad del cantón Tena posee carros recolectores que transitan por la urbe para recoger los residuos almacenados en los contenedores que se han instalado en la ciudad para mayor facilidad y orden para luego ser colocada en el Relleno Sanitario el Chimbadero.

Es en este lugar de acumulación de basura donde se desprende un líquido que proviene de la descomposición de la basura o por el paso del agua lluvia por los residuos y es conocido propiamente con el término de lixiviado.

Este líquido arrastra varios contaminantes que si no son tratados respectivamente se dispersan por todo el terreno que por medio de la escorrentía contamina las aguas superficiales y subterráneas ya que el relleno sanitario del cantón Tena está rodeado de fuentes hídricas.

Los lixiviados generados en el relleno sanitario “Chimbadero” no han sido recolectados ni tratados correctamente por desconocimiento del tema y por factores económicos que agravan la estabilidad de la población por la emanación de olores desagradables y origen de vectores. Mediante el empleo de sulfato ferroso y peróxido de hidrogeno los lixiviados pueden ser tratados gracias a la reacción Fenton que se forma entre los dos reactivos minimizando la concentración de DBO₅, DQO y N-NH₃ seguidos de un tratamiento biológico como es el uso de microorganismos eficientes que son efectivos para manipular lixiviados.

Se estima que en el Relleno Sanitario “Chimbadero” se depositan a diario 48,7ton/día de residuos que se mezclan directamente con grandes cantidades de material pétreo a excepción de los residuos hospitalarios y reciclables, donde son adecuados respectivamente los cuales se descomponen con el tiempo generando lixiviados que desprende malos olores y son fuente de contaminación para el agua superficial y subterránea.

Alrededor de 2000 habitantes del sector 21 de Enero y Amaden del cantón Tena se ven afectados por los problemas ambientales que ocasiona el inadecuado manejo de lixiviados en el relleno sanitario que aún no han sido tratados correctamente, ni tampoco se le ha tomado interés porque se desconoce del tema o por irresponsabilidad de las autoridades.

Esto ha llegado a preocupar a la población y requiere encontrar soluciones mediante la intervención de las autoridades para emplear métodos que minimicen su impacto y permitan la tranquilidad y armonía de vivir en un ambiente sano.

JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales inconvenientes del Relleno Sanitario del Cantón Tena que aqueja a la población aledaña es la generación de olores desagradables que desprenden los lixiviados producidos por la putrefacción de los residuos sólidos que a diario ingresa al relleno en un promedio de 48,7 ton/día, cifra que aumenta con el crecimiento poblacional y uso de productos desechables.

Este estudio se enfocará en los lixiviados, ya que el adecuado tratamiento de estos líquidos tóxicos debe ser parte fundamental de la gestión de los residuos sólidos urbanos. Si no se controlan adecuadamente, los lixiviados pueden contaminar los suelos y las aguas superficiales y subterráneas.

Uno de los tratamientos físico-químicos más prometedores para lixiviados es el de la oxidación Fenton, que consiste en la oxidación de la carga contaminante con una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo Fenton) que pueden alcanzar altos porcentajes de remoción de los contaminantes orgánicos.

La tecnología de EM (Microorganismos eficientes) es muy útil para manejo de los rellenos sanitarios o botaderos. Actualmente entre el 40% al 60% de basuras son orgánicas y causa la generación de malos olores, moscas, lixiviados, gas metano, etc.

Mediante este tratamiento se pretende disminuir la concentración de DBO, DQO y nitrógeno amoniacal y evidentemente los olores desagradables que son motivo fundamental de estudio.

Esta investigación beneficiará al sector 21 de Enero y Amaden del cantón Tena, porque el relleno sanitario se encuentra ubicado cerca a dichos sectores motivo por el cual los habitantes se ven involucrados en la problemática ambiental ocasionados por los lixiviados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Tratar los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Tena mediante Reacción Fenton y Microorganismos eficientes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Minimizar la emanación de olores desagradables producto de la descomposición de residuos y origen de lixiviados que provocan malestar a la población aledaña.
- ✓ Caracterizar los lixiviados generados en el Relleno Sanitario del cantón Tena mediante análisis de laboratorio antes del tratamiento
- ✓ Evaluar la capacidad de reacción Fenton en la primera fase del tratamiento y analizar la muestra a través de pruebas de laboratorio.
- ✓ Aplicar microorganismos eficientes (EM) en la segunda fase del tratamiento para posteriormente determinar la eficacia de la actividad microbiana.
- ✓ Disminuir los valores de Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda química de oxígeno y Nitrógeno amoniacal, parámetros principales a tratar en los lixiviados.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Residuos sólidos

Los residuos sólidos pueden ser definidos como “aquellos materiales orgánicos e inorgánicos de naturaleza compacta, que han sido desechados luego de consumir su parte vital”. Asimismo, explica que “el concepto de residuo sólido es un concepto dinámico que evoluciona paralelamente al desarrollo económico y evolutivo”. (Montes, 2009, p. 20)

De acuerdo a Mendoza & Gallardo (2009, pp. 91-100) los tipos de residuos sólidos provienen de varias fuentes de generación, tales como hogares, centros educativos, mercados, fábricas, vías públicas, restaurantes, hospitales, entre otras mas y se pueden clasificar en :

1.1.1 Residuos Sólidos Urbanos o Municipales

Son los residuos provenientes de viviendas, diferentes comercios, lugares administrativos y servicios en general que no se consideren peligrosos para la sociedad y no alteren los componentes bióticos con relación a su composición. Se pueden mencionar también residuos urbanos a los:

- ✓ Que se generan de la limpieza de las calles urbanas, parques, plazas y jardines.
- ✓ Cadáveres de animales muertos, como también artefactos, mobiliarios y los carros abandonados.
- ✓ Residuos cuyo origen es construcciones pequeñas y arreglo de casas. (Colomer Mendoza & Gallardo Izquierdo, 2009, pp. 91-102)



Figura 1-1: Residuos sólidos urbanos
Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

1.1.2 Residuos Domésticos y Comerciales

Se denomina residuos domésticos y comerciales a las fracciones orgánicas e inorgánicas de los domicilios o lugares habitacionales y de centros comerciales. Entre los sólidos orgánicos están los restos de comida, residuos de papel, plásticos, cartón, telas, cuero y de la limpieza de arbustos o jardín. En cambio los residuos inorgánicos pueden ser las latas, vidrio, material de cerámica, fierros, desechos de aluminio. Existe el caso en que los elementos de los residuos se combinan al desecharlos y no pueden separarse, dicha unión se considera como *Residuos sólidos urbanos domésticos y comerciales no seleccionados*

Los desechos de comida al ser eliminados se descomponen rápidamente llamándolos residuos putrescibles provocando malos olores y la aparición de vectores. En común se los menciona como materia orgánica, sin embargo este término no es el apropiado.



Figura 2-1: Residuos domésticos y comerciales
Fuente: <http://huddimage.com/residuos-solidos-domesticos.html>

1.1.3 Residuos Institucionales

Se originan en centros administrativos, escuelas, cárceles y hospitales, excluyendo a los residuos de fabricación de las industrias y los residuos sanitarios de los hospitales. La gran mayoría de los hospitales manipulan los residuos sanitarios separando de otros residuos comunes.



Figura 3-1: Residuos institucionales
Fuente: <http://ceteme.blogspot.com/2016/04/r-s-u.html>

1.1.4 Residuos de la construcción y demolición

Son residuos que resultan de edificaciones construidas, reestructuración y modificación de casas, entre otras construcciones que originan gran cantidad de residuos como bloques, hormigón, material pétreo. La generación de residuos de demolición es igual a la antes mencionada, aquí en cambio se incluyen los residuos de vidrios, acero y plásticos, etc.



Figura 4-1: Residuos de construcción y demolición

Fuente: <http://ceteme.blogspot.com/2016/04/r-s-u.html>

1.1.5 Residuos de los servicios municipales

Proviene de las operaciones de mantenimiento de las instalaciones municipales, así como también residuos de barridos de las calles, residuos de jardinería, residuos de sumideros y vehículos abandonados.



Figura 5-1: Residuos de servicios municipales

Fuente: <http://ceteme.blogspot.com/2016/04/r-s-u.html>

1.1.6 Residuos de industriales

Su fuente principal es de actividades industriales, los cuales pueden ser asimilables a urbanos, otros pueden ser residuos inertes y algunos presentar peligro por sus características tóxicas.



Figura 6-1: Residuos industriales

Fuente: http://www.garciagalvis.com/noticia_45.html

1.1.7 Residuos Agrícolas

Proviene del desarrollo de actividades agropecuarias y ganaderas.



Figura 7-1: Residuos agrícolas

Fuente: https://www.ecured.cu/Residuo_agr%C3%ADcola

1.1.8 Residuos Mineros

Son todos los materiales que se utilizan para la exploración y extracción del mineral.



Figura 8-1: Residuos mineros

Fuente: http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema06/Tema_06_Residuos_1.htm

1.1.9 Residuos Forestales

Pueden proceder de actividades realizadas en los bosques que acumulan cantidades considerables de masas forestales.



Figura 9-1: Residuos forestales

Fuente: <http://www.inti.gob.ar/sabercomo/sc29/inti6.php>

1.1.10 Residuos Radioactivos

Se genera en las centrales nucleares debido a distintas actividades como la producción de energía, minería, fabricación de elementos combustibles y todas las actividades asociadas a su utilización en los reactores nucleares.



Figura 10-1: Residuos radioactivos

Fuente: <http://www.efeverde.com/tag/residuos/>

1.1.11 Residuos hospitalarios

Son sustancias, materiales, subproductos sólidos, líquidos, gaseosos, que provienen de la prestación de servicios de salud en clínicas, hospitales y consultorios.



Figura 11-1: Residuos hospitalarios
Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

1.2 Composición de los residuos sólidos

La composición de los residuos sólidos depende de los siguientes factores:

- ✓ Modo y nivel de vida de la población: debido al consumo de productos elaborados que genera el aumento de la cifra de envases y embalajes de todo tipo.
- ✓ Actividad de la población y características, ya sean zonas rurales o sectores urbanos áreas residenciales o zonas de servicio.
- ✓ Climatología general de la zona y estacionalidad, en verano hay mayor consumo de productos orgánicos como frutas y verduras mientras que en invierno prefieren productos envasados y que se conserven por más tiempo.

Tabla 1-1: Composición de los residuos en países desarrollados

PAÍSES DESARROLLADOS	
Materia	% del peso total
Metales	3,60-8,00
Vidrio	6,50-16,70
Tierra y ceniza	0,20-5,00
Papel	14,00-32,00
Cartón	5,00-10,00
Madera	0,20-1,20
Plásticos	10,00-16,00
Gomas y cueros	0,30-1,20
Textiles	3,25-6,50
Residuos orgánicos	40,00-55,00

Fuente: (Colomer Mendoza & Gallardo Izquierdo, 2009)

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Tabla 2-1: Composición de los residuos en países en vías de desarrollo

PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLADOS	
Materia	% del peso total
Metales	0,70-1,60
Vidrio	1,00-3,80

Tierra y ceniza	6,00-16,00
Papel	2,60-5,00
Cartón	1,00-1,80
Madera	0,10-1,00
Plásticos	3,80-7,40
Gomas y cueros	0,20-1,40
Textiles	2,00-4,10
Residuos orgánicos	58,00-80,20

Fuente: (Colomer Mendoza & Gallardo Izquierdo, 2009)
Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

1.2.1 Generación de residuos

1.2.1.1 Producción per cápita (PPC)

Es un parámetro que se basa en el promedio de generación de los residuos sólidos por habitante, expresado en kg/hab/día y sus actividades socioeconómicas. La determinación de la PPC permite estimar datos para los sistemas de recolección de basura, barrido, transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos.

$$PPC = \frac{\text{kg Recolectados}}{\text{Numero de habitantes}}$$

Tabla 3-1: Producción Per cápita del cantón Tena

<i>PPC</i>	<i>KG/HAB*DÍA</i>	<i>%</i>
PPC DOMÉSTICA	0,616	74,00%
PPC COMERCIAL	0,119	14,00%
PPC EDUCATIVA	0,009	1,00%
PPC MERCADOS	0,028	3,00%
PPC CENTROS SALUD	0,004	1,00%
PPC INDUSTRIAS	0,000	0,00%
PPC CAMAL	0,017	2,00%
PPC BARRIDO	0,038	5,00%
PPC TOTAL	0,831	100,00%
PPC	KG/HAB*DÍA	
PPC ASOCIADA	0,22	
PPC DOMÉSTICA	0,616	
PPC TOTAL	0,831	

Fuente: (De la torre, 2013)

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Tabla 4-1: Generación de residuos en el cantón Tena

Año	Total ton/día recolectado	Total ton/año recolectado	Total m3/año en Relleno Sanitario
2013	43,8	15757,6	26262,7
2014	45,4	16335,0	27224,9

2015	47,0	16930,8	28218,1
2016	48,7	17546,2	29243,6
2017	50,5	18182,5	30304,1
2018	52,3	18840,0	31399,9
2019	54,2	19520,6	32534,4

Fuente: (De la Torre, 2013)

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

1.2.2 Riesgos para la salud

Se considera que las enfermedades causadas por los residuos sólidos de manera directa presentan indeterminaciones en su forma de transmisión, por este motivo se estima que hay una infección que conlleva otros factores, especialmente por vías indirectas. Los efectos en la salud de las personas pueden ser ocasionarse ya sea en forma directa o indirecta.

1.2.2.1 Riesgos directos

El factor principal para que se origine un riesgo directo es la inadecuada organización de los residuos sólidos, provocando que se combinen con residuos de composición peligrosa y poniendo en contacto directo con la población. Los desechos de curaciones, jeringas, vidrios rotos, papel de baño con excremento de personas y animales, productos químicos, son residuos con alto peligro para los recolectores de basura y recicladores.

Los recolectores de basura son personas que laboran día y noche para conseguir materiales reciclables y otras cosas útiles para su necesidad, los cuales corren graves riesgos de cortarse, contraer enfermedades e incluso tener accidentes que causen la muerte.

1.2.2.2 Riesgos indirectos

El origen de vectores es el principal riesgo indirecto para que se origine las enfermedades, debido a que estos llevan microorganismos portadores de enfermedades infecciosas. Como vectores tenemos a los mosquitos, moscas, cucarachas y roedores, donde los botaderos de basura se convierten en un lugar apropiado para su reproducción y abastecimiento de alimento, creando una cadena de enfermedades que se manifiesta con diarreas, fiebre y otros síntomas molestos. A continuación se muestra en la tabla 1-5 ejemplos de tipos de vectores:

Tabla 5-1: Tipos de vectores

Vectores	Formas de transmisión	Principales Enfermedades
Ratas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mordisco, orina y heces ✓ Pulgas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peste bubónica ✓ Tifus murino ✓ Leptospirosis
Moscas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vía mecánica (alas, patas y cuerpo) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fiebre tifoidea ✓ Salmonellosis ✓ Cólera ✓ Amibiasis ✓ Disentería ✓ Giardiasis
Mosquitos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Picadura del mosquito hembra 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Malaria ✓ Leishmaniasis ✓ Fiebre amarilla ✓ Dengue ✓ Filariasis
Cucarachas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vía mecánica (alas, patas y cuerpo) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fiebre tifoidea ✓ Cólera ✓ Giardiasis
Cerdos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ingestión de carne contaminada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cisticercosis ✓ Toxoplasmosis ✓ Triquinosis ✓ Teniasis
Aves	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Heces 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Toxoplasmosis

Fuente: (Jaramillo, 2002, p. 9)

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

1.2.3 Efectos en el ambiente

El inadecuado manejo de los residuos sólidos municipales causa un efecto paisajístico y deterioro estético de las ciudades, tanto urbano como rural.

Esto es muy común observar en los botaderos a cielo abierto o basura amontonada en cualquier lugar abandonado.

1.2.3.1 Contaminación del agua

La contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas se debe por el efecto de desechar residuos a ríos y fuentes de agua menores, produciendo lixiviados a causa de la putrefacción de sólidos orgánicos e inorgánicos. Las fuentes contaminadas representan la causa principal de afectación a la salud pública cuando no se tratan debidamente y por ende grandes gastos de potabilización. Los ríos contaminados con residuos sólidos tienen baja concentración de oxígeno disuelto, así entonces aumenta la cantidad de nutrientes que conlleva al crecimiento de algas verdes, creando el fenómeno de eutrofización, provocando desagradables olores, inadecuando ambiente para los peces y disminuye la apariencia del recurso agua.

1.2.3.2 Contaminación del suelo

Los botaderos de basura a cielo abierto emiten grandes problemas para la población aledaña, que a simple vista se puede observar en la apariencia paisajística de sus alrededores. Traen consigo afectaciones a los suelos a causa de la composición de residuos químicos peligrosos, que los desechan sin conocer los graves problemas que conlleva su inadecuada disposición.

1.2.3.3 Contaminación del aire

La calidad del aire se ve afectada por la inadecuada disposición de los residuos sólidos, los cuales paran en lugares abandonados, o simplemente son quemados al aire libre aumentando el riesgo de contaminación atmosférica ya que se prolifera el polvo con olores desagradables que afectan a la respiración, vista y además son vías para que los microorganismos se trasladen de un lugar a otro afectando a la salud. (Jaramillo, 2002, pp. 11-13)

1.3 Relleno sanitario

1.3.1 ¿A que se denomina botadero de basura a cielo abierto?

Desde hace años la humanidad se ha acostumbrado a desechar los residuos a lugares abandonados que lo convierten en un botadero de basura como disposición final de la basura. Se denomina botadero al sitio donde se acumulan los residuos sin ninguna técnica de separación y tratamiento alguno. Por lo general estos lugares funcionan sin criterios técnicos y profesionales situadas cerca de cuerpos de agua o algún drenaje natural. Como son lugares

abandonados no existe control sanitario y ambiental lo cual ocasiona contaminación del agua, suelo y aire, debido a la formación de gases y percolación de lixiviados, quema de basura, y por lo tanto la emanación de olores desagradables.

Los botaderos de basura atraen a los principales vectores culpables de la aparición de varias enfermedades, cabe mencionar a moscas, ratas, perros, cerdos, aves y otros animales que han invadido dicho terreno como hábitat o zona de alimentación, siendo un problema para las poblaciones aledañas y familias que se han trasladado a los botaderos por carencias económicas o no poseen terrenos para vivir.

Actualmente los municipios consideran el depósito de basura en un sector alejado de la ciudad como una práctica irresponsable de manejar la basura para las generaciones futuras que conlleva a un aspecto negativo para el desarrollo del país. (Jaramillo, 2002, p. 41)



Figura 12-1: Botadero de basura a cielo abierto
Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

1.3.2 Relleno sanitario

Se denomina relleno sanitario al método técnico de disposición final de los residuos sólidos en un espacio geográfico determinado que beneficia a la sociedad y al medio ambiente, empleando parámetros de diseño y construcción para confinamiento y compactación de la basura en un área con material pétreo y así reducir su volumen. De esta forma se previene la aparición de gases y líquidos lixiviados que se forman por la descomposición de la materia orgánica. (Jaramillo, 2002, pp. 42-45)



Figura 13-1: Relleno sanitario del cantón Tena
Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

1.3.3 Tipos de Relleno Sanitario

Existen tres tipos de relleno sanitario en relación con la disposición final de los residuos sólidos:

1.3.3.1 Relleno Sanitario Mecanizado

Es una técnica aplicada para ciudades mayores con gran población que generan más de 40 ton/día para lo cual hay que tener en cuenta la cantidad de residuos con su respectiva tipología, tener una buena planificación, elegir la zona de trabajo, conocer las medidas del terreno, ejecutar su diseño y contar con la correcta infraestructura. En este tipo de relleno es muy necesario el empleo de un compactador de residuos, así como las máquinas para remover la tierra: retroexcavadora, tractor de oruga, volquete, etc.

1.3.3.2 Relleno Sanitario Semimecanizado

Para este tipo de relleno semimecanizado el tractor agrícola es el más indicado para una buena compactación de la basura, nivelación de terraplenes y asegurar una vida útil al relleno a la cual ingresan entre 16 y 40 ton/día de residuos sólidos. Además requiere otros tipos de maquinaria (tractores de orugas o retroexcavadoras) que ayudan a trasladar la tierra hacia el relleno.

1.3.3.3 *Relleño Sanitario Manual*

Es el tipo de relleno sanitario para pequeñas poblaciones y con un per cápita bajo las 15 ton/día en la cual no emplean maquinaria pesada y para su construcción es suficiente la mano de obra y herramientas a disposición.

1.4 **Lixiviados**

Se le considera a los lixiviados líquidos que se percolan por medio de los residuos sólidos que provienen de la descomposición de la materia orgánica e inorgánica. Contienen altas concentraciones de materia orgánica, nitrógeno amoniacal, metales pesados y sales. Su composición química depende de varios factores tales como la climatología, la edad del relleno, la naturaleza química o física de la basura y la geología del terreno. (Droppelmann & Oettinger, 2009, p. 11).

Los parámetros más importantes a determinar en un relleno sanitario son:

Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica por procesos biológicos, la cual también determina si la materia es biodegradable.

Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno se usa para medir el material orgánico presente en las aguas y es susceptible de ser oxidado por medios químicos como el dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$) con ácido sulfúrico.

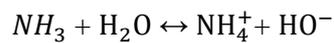
Nitrógeno amoniacal

Las aguas residuales contienen una elevada carga contaminante que corresponde, en la mayoría, a la materia orgánica, en cuya composición también se encuentran los compuestos de nitrógeno. Entre las formas de nitrógeno más predominantes están el amoniacal y el total. El amoniacal es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que forma parte del ciclo del nitrógeno y se ve afectado por la actividad biológica. Es un producto natural de la degradación de los compuestos orgánicos nitrogenados. Las aguas superficiales no deben tener normalmente amoniacal. En general, la existencia de amoniacal libre o ion amonio se determina que hay contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos.

El nitrógeno total está compuesto por el nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico, y este está constituido por las formas de nitrógeno correspondientes al nitrato, nitrito y amonio.

El amoníaco está en equilibrio con el anión amonio, en función del pH de la solución, de acuerdo con la ecuación 1-1:

Ecuación 1-1



1.4.1 Características de los lixiviados

Los lixiviados provenientes de los Rellenos Sanitarios se caracterizan por muchos factores. Entre ellos tenemos la tipología de los residuos la temperatura, el contenido de humedad, la calidad y cantidad del agua que entra en contacto con los residuos sólidos dispuestos, al igual que la edad del relleno sanitario cambiará la composición de los lixiviados.

Las características fisicoquímicas de los lixiviados se relacionan con la calidad de los residuos sólidos y su grado de estabilización. (Dávila Cifuentes, 2013, p. 12)

Los lixiviados generados en rellenos sanitarios de países en desarrollo presentan cargas mayores de DBO, amoníaco, metales y sustancias precipitables a diferencia de los países en desarrollo. Esto se debe a que los residuos sólidos generados en los países en vías de desarrollo contienen materia orgánica fácilmente biodegradable y por lo tanto la humedad es alta, produciendo elevadas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco, esto se debe a que efectúa un proceso de fermentación inicial. Tiene influencia en el pH que se muestra bajo, es decir ácido, y contribuyen a la solubilización de los metales que se encuentran en los residuos dispuestos en el relleno.

Cuando un relleno sanitario empieza a funcionar los lixiviados que salen son altamente contaminantes que se le conoce como un lixiviado joven. Pero conforme pasa el tiempo las cargas contaminantes varían, pero puede ocurrir el caso como los metales pesados que tienen reacciones de óxido-reducción, en donde la concentración al inicio del proceso de lixiviación no sea la mayor. (Giraldo, 1997, p. 45)

Tabla 6-1: Características de los lixiviados según la edad del lixiviado

Edad del Relleno Sanitario			
	< 5 joven	5– 10 medio	>10 Viejo
Parámetro	Biodegradable	Intermedio	Estabilizado
<i>pH</i>	< 6.5	6.5 – 7.5	>7.5
DBO (mg/L)	>20,000	3,000 – 15,000	<5,000
DQO/COT	<2.7	2.0 – 2.7	> 2.0
DBO ₅ /DQO	>0.5	0.1 – 0.5	<0.1
AGV*(%COT)	>70	5 – 30	< 5
METALES PESADOS (mg/L)	2		< 50 mg/L

Fuente: Franceschi, 2015

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

La caracterización de cualquier líquido contaminado en este caso del lixiviado permite definir el tipo de tratamiento que se le va a emplear. Para el caso de los lixiviados que son muy complejos y heterogéneos en su composición, se basan en parámetros básicos que permiten decidir el sistema de tratamiento a emplearse. La relación de la carga orgánica medida como DBO y DQO indican en gran medida la biodegradabilidad del lixiviado. Se denomina un lixiviado pobre en biodegradabilidad cuando la relación o índice de biodegradabilidad se encuentra en valores de 0 a 0.17, por el contrario para otros autores cuando es menor a 0.3, de este modo se le conoce como lixiviado viejo o estabilizado. Pero, cuando el índice de biodegradabilidad es superior a 0.3, se considera que el lixiviado es biodegradable y se le conoce como lixiviado joven (típicamente menor de dos años de edad). (Aguilar, 2009)

Ecuación 2-1

$$IB = \frac{DBO_5}{DQO}$$

Dónde:

IB: Índice de biodegradabilidad

DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)

DQO: demanda química de oxígeno (mg/L)

1.4.2 Clasificación de los lixiviados

El agua se filtra a través de los residuos sólidos en descomposición, que permite la lixiviación en solución de materiales biológicos y constituyentes químicos. En la siguiente tabla se presenta las características generales de los lixiviados:

Tabla 7-1: Características generales de los lixiviados

Parámetro	Intervalo de valores (mg/l) (excepto donde se indica)	Parámetro	Intervalos de valores (mg/l) (excepto donde se indica)
Sólidos disueltos totales	584-55,000	Fosforo total	ND – 234.0
Sólidos suspendidos totales	2-140,900	Boro	0.87 – 13.0
Conductancia específica	480 – 72,500 micromhos/cm	Bario	ND – 12.50
DBO ₅	6.6 – 99,000	Níquel	ND – 7.50
DQO	10.0 – 195,000	Nitrógeno de nitratos	ND- 250.0
Carbono orgánico total	ND – 40,000	Plomo	ND – 14.20

PH	3.7 - 8.9	Cromo	ND – 5.60
Alcalinidad total	ND – 15,050	Antimonio	ND – 3.19
Dureza	0.1 – 225,000	Cobre	ND – 9.0
Cloruros	2.0 – 11,375	Talio	ND – 0.78
Calcio	3.0 – 2,500	Cianuro	ND – 6.0
Sodio	12.0 – 6,010	Arsénico	ND – 70.20
Nitrógeno total	2.0 – 3,320	Molibdeno	0.01 – 1,43
Fierro	ND – 4,000	Estaño	ND -0.16
Potasio	ND – 3,200	Nitrógeno de nitritos	ND – 1.46
Magnesio	2.0 – 3,320	Selenio	ND – 1.85
Zinc	ND – 731.0	Mercurio	ND – 3.00
Manganeso	ND – 400.0	Turbiedad	40 – 500UTJ

Fuente: SEDESOL

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

1.4.3 Generación y fases del lixiviado

Para la generación de lixiviados se tiene en cuenta las fases de degradación anaeróbica que ocurre en los rellenos sanitarios:

- ✓ Fase I o inicial es una etapa netamente aeróbica estimulada por el aire en las celdas cubiertas en el relleno sanitario o vertedero, aquí el aire se consume muy rápido, al igual que el nitrógeno que ayuda a la nitrificación. Por motivos de fermentación aeróbica de la materia orgánica se produce el bióxido de carbono. En esta fase no se observa cambios considerables en los lixiviados.
- ✓ Fase II se denomina fase ácida o fase de transición ya que se transforman en procesos anaeróbicos, en donde los lixiviados por casusa de la fermentación producen altos contenidos de ácidos grasos, bajando el valor del pH. Se genera biogás compuesto por bióxido de carbono y nitrógeno aún no gastado, que seguido se una producción menor de hidrógeno. Además se eleva la concentración de DQO, amoníaco y ácidos grasos.

- ✓ En la fase III o fase metanogénica intermedia, sobresalen completamente las condiciones anaeróbicas. El porcentaje de metano se eleva y el bióxido de carbono disminuye. Aparece el biogás por transformación de los ácidos grasos volátiles, disminuyendo su carga en los lixiviados. Por esta razón el pH asciende y la materia orgánica se minimiza.
- ✓ La Fase IV es la fase metanogénica estable el metano consigue aumentar su concentración en el biogás en un 55 % en volumen, mientras que el bióxido de carbono varía entre 40 y 50 %. El pH se mantiene alto y el amoníaco predomina en las características del lixiviado; a su vez la carga orgánica va descendiendo y este parámetro se mide en la DQO.
- ✓ Fase V llamada fase de estabilización de los residuos, con condiciones aeróbicas que se eventúan especialmente en rellenos sanitarios clausurados. La producción de metano va disminuyendo y el bióxido de carbono cambia a dióxido de carbono y oxígeno a medida que alcanza el aire atmosférico por medio de las capas superficiales del relleno. (Kiss & Encarnación, 2016, pp. 42-43)

1.4.3.1 Cálculo de la generación de lixiviado o percolado

Los factores que influyen en la cantidad de lixiviado en un relleno sanitario se mencionan a continuación:

- ✓ La frecuencia de precipitación pluvial
- ✓ Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- ✓ Evapotranspiración.
- ✓ Cantidad de humedad natural de los residuos.
- ✓ El efecto de compactación
- ✓ Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para contener humedad).

El volumen de lixiviado aumenta con la cantidad de agua de las precipitaciones. Así las aguas de lluvia aportan en la cantidad del lixiviado a parte del agua que circula de las escorrentías.

Dependiendo de los distintos manejos de operación y localización de cada relleno, los datos estimados varían; de modo que se debe calcular para cada relleno.

Para evitar la dificultad de buscar información sobre datos climatológicos de distintas localidades, simplemente se emplea coeficientes de correlación entre los factores que generan los lixiviados.

Mediante el método suizo se puede calcular el caudal del lixiviado de una manera sencilla:

Ecuación 3-1

$$Q = \frac{1}{t} P \times A \times K$$

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (L/seg)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31.536.000 seg/año)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (k = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno. Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno. (Jaramillo, 2012, pp. 114-115)

1.5 Alternativas de tratamiento de lixiviados

Después de la caracterización de los lixiviados se prosigue a la selección de los tratamientos que se deben elegir según el tratamiento requerido, o a su vez por el problema de contaminación a tratarse, ya sean estos por microorganismos patógenos, contaminación por nutrientes, concentración de materia orgánica y por elementos tóxicos. (Martínez Lopez, 2014, pp. 37-47)

1.5.1 Procesos biológicos

Lo procesos biológicos son eficientes para remover la materia orgánica disuelta de los lixiviados, especialmente de los lixiviados jóvenes que presentan elevada carga contaminante de ácidos graso volátiles (ACV), originando un índice de biodegradabilidad de 0,4 entre la

relación de demanda bioquímica de Oxígeno y demanda química de Oxígeno (DBO5/DQO), permitiendo tratar con procesos biológicos al determinarse biodegradable.

1.5.1.1 Tratamiento aerobio

Se basa en la remoción de la materia orgánica mediante la aplicación de microorganismos en presencia de oxígeno y agitación, para prevenir el fenómeno de anaerobiosis dentro de los tanques de depuración. En este proceso se van formando sólidos decantables que se separan fácilmente de la fracción líquida. Para conseguir la remoción esperada se necesita de condiciones estables de funcionamiento, carga orgánica, concentración de nutrientes, de pH, etc.

Para poder aplicar un tratamiento aerobio se lo hace a través del uso de lagunas de oxidación, sistema de lodos activados, biodiscos, filtros percoladores, etc.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es normalmente alta en los lixiviados, por lo que es conveniente tratar con procesos aeróbicos alcanzando valores de remoción por encima del 90%.

1.5.1.2 Tratamiento anaerobio

En el tratamiento anaerobio las bacterias actúan sin la presencia de oxígeno para el proceso de depuración de la carga orgánica, lo cual produce menos cantidad de lodos.

No obstante se debe tener en cuenta algunos factores al momento de operar como los altos contenidos de amoníaco y minerales disueltos que pueden intoxicar a los microorganismos, por los que es recomendable eliminar previamente el amoníaco y reducir la aplicación de cargas de trabajo por consecuencia a las limitaciones en la actividad microbiana por toxicidad. El proceso anaerobio puede dificultarse debido a que se acumula material inorgánico en el interior de los reactores causando el problema de incrustaciones limitando el funcionamiento del reactor, dificulta el manejo de lodos y provoca el taponamiento de los sistemas de conducción, ocasionando el deterioro del sistema..

De acuerdo a las investigaciones se han encontrado trabajos empleando este tipo de tratamiento con diversos sistemas, entre ellas tenemos las lagunas anaeróbicas que son las más simples y los procesos de lecho fluidizado, filtros anaerobios y reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB) que por sus avances tecnológicos son muy sofisticados. Dichos sistemas funcionan a elevadas velocidades de carga teniendo en cuenta los tiempos de retención debidamente bajos, sobrecargas y sobre todo se debe dar arranques rápidos cuando el sistema

no está operando, sin embargo no se debe detener las actividades depuradoras de la flora bacteriana.

1.5.2 Sistemas Naturales

Son alternativas apropiadas para el tratamiento de lixiviados, así como las lagunas y humedales artificiales. Se caracteriza por la facilidad de operación y son capaces de alcanzar buenos resultados al primer tratamiento. Al combinar el tratamiento con lagunas y humedales se podría mejorar el tratamiento a comparación con otros métodos que retienen precipitados, se forman aglomeraciones de espumas, aumenta la proliferación de microorganismos y se presentan variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas. Si se desea lograr un sistema natural en buenas condiciones hay que fijarse que los tiempos de retención hidráulicos sean muy altos y con volúmenes de procesamiento grandes, para que el sistema se adapte a los diferentes volúmenes del caudal, evita acumulación de precipitados, reduciendo la emanación de gases y formación de espumas.

Como todo sistema tiene su ventaja también el sistema natural presenta su desventaja al requerir extensiones grandes de terreno para llevar a cabo las actividades. Dado el caso que los rellenos sanitarios por naturaleza necesitan de zonas amortiguamiento visual, de reducción de olores y de ruido, adecuadas por los alrededores del relleno, cabe mencionar la idea de utilizar estas áreas para incluir sistemas naturales, por ejemplo los humedales.

1.5.3 Recirculación de lixiviados

La recirculación de lixiviados permite controlar la libre dispersión de lixiviados, en donde por medio de la reinfiltración esto líquidos vuelven al relleno dispuestos en el interior de los residuos. Aquí los lixiviados circula por todo el relleno pasando por sistemas biológicos, lluvia y adsorción, por ellos es un método de control adecuado.

1.5.3.1 Aplicación directa de los lixiviados a los residuos durante su disposición

En este proceso se realiza una combinación entre el descargue, depósito y compactación al inicio de la disposición de los residuos. Pero se manifiesta el problema de origen de olores causando afectaciones a la salud por la exposición directa y graves accidentes por la maquinaria, también se produce el deslave de residuos que lleva consigo la migración de los lixiviados.

1.5.3.2 Rociado por irrigación en la superficie del relleno

Se aplica el lixiviado en la parte superficial del relleno por ejemplo cuando se irriga agua en los cultivos. Puede tener la ventaja de regar los lixiviados a una gran parte del relleno, debido a que los lixiviados se evaporan y se reduce su volumen. El problema es evidente ya que al evaporarse contamina los pozos que abastecen de agua tratada.

1.5.3.3 Aplicación subsuperficial

Esta forma de recirculación de lixiviados tiene similitud a un pozo de recarga vertical o a su vez se compara con una tubería de desagüe horizontal en el interior de los residuos. Para que funcione, se requiere excavar en gran extensión y realizar la estructura para este método, sin embargo disminuye el efecto de contaminación al aire.

1.5.3.4 Ventajas

- ✓ Se puede comprobar con este método si los lixiviados reducen su concentración dentro del relleno sanitario, de este modo se conoce la cantidad del lixiviado a tratarse y se contabiliza los costos.
- ✓ Si hay aumento de la cantidad de humedad se crea condiciones para la descomposición de residuos orgánicos en el relleno sanitario.
- ✓ Los lixiviados por medio de la acción de las lluvias y la adsorción remueven contaminantes inorgánicos reduciendo el riesgo de contaminación.
- ✓ La recirculación de los lixiviados interviene en la estabilidad biológica al sistema y esto disminuye los problemas de contaminación en el relleno, evitando los monitoreos obligatorios por parte de las autoridades.
- ✓ Los costos de esta alternativa no son tan elevados ya que su sistema es simple.

1.5.3.5 Desventajas

- ✓ Debido a la heterogeneidad de los lixiviados producidos en el relleno es importante construir canales para que estos líquidos circulen evitando se combinen con los residuos y se permitan tratar en su totalidad.
- ✓ Se puede dar el caso de amenaza al ambiente en caso de que los lixiviados sean dispuestos en la superficie del relleno.
- ✓ Escasa información de las dificultades que acarrea una inadecuada aplicación

1.5.4 Evaporación

La evaporación es una tecnología que se basa en el uso del biogás que se origina en el relleno sanitario que permite el calentamiento del agua que contiene el lixiviado provocando la evaporación. Mediante el uso de nuevos avances tecnológicos se puede monitorear la cantidad de lixiviados que se produce en el relleno sanitario, en la cual permanece un lodo que se adecua de nuevo al relleno. Al realizar los cálculos correspondientes de la emisión de gas y lixiviados en los rellenos sanitarios, se comprueba que existe la generación de gas en gran cantidad, lo que permite la evaporación del lixiviado a tratar.

Dependiendo de la tipología del lixiviado, existe la necesidad de realizar un post-quemado de la combinación gas-vapor de agua producto de la evaporación como medio de eliminación de emanación de compuestos orgánicos volátiles (COV) que se desplazan con la evaporación, de este modo la demanda de biogás se aumenta con referencia a las operaciones termodinámicas calculadas.

Ya realizada el proceso de quemar los COVs la generación de emisiones de gas producto del proceso origina vapor de agua y la formación de lodo espeso. Sin embargo, existen tecnologías que simplemente emplean la energía generada del gas que se quema, con la finalidad de provocar la evaporación del lixiviado, fenómeno que se conoce como vaporización de gas.

1.5.5 Sistemas de membrana

Actualmente existen más casos del empleo de sistema de membranas para tratar aguas residuales domésticas, industriales e incluso los lixiviados originados en los rellenos sanitarios. La aplicación de membranas ha sido útil en procesos de microfiltración, nanofiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa y directa, hasta en procesos de pervaporación para remediar lixiviados.

1.5.5.1 Biorreactores con membrana

Tienen semejanza con los sistemas biológicos, con la única diferencia de reemplazar el sedimentador por la técnica de microfiltración para separar sólido-líquido. Sin embargo, a pesar que tienen la capacidad de reducir el volumen de tanque del biorreactor, puede resultar acarrear complicaciones al operar el sistema, debido a que los módulos de membranas son difíciles de manejar y conservar lo que no sucede con un sedimentador. Otra ventaja relevante es que se eleva la cantidad de biomasa que se encuentra en el interior de los reactores, no obstante, se pierde la eficiencia en la acción de transferencia de masa durante la aireación, por

lo que se elevan los costos de energía. Resulta beneficioso para oxidar amoníaco con gran eficiencia, así también para reducir la concentración de DBO.

1.5.5.2 Ósmosis inversa

Se considera a la ósmosis inversa como un sistema de hiperfiltración que permite remover partículas de menor tamaño inmersas en una solución, tales como sales, y algunas impurezas físicas entre ellas el color y características de los fluidos. También se emplea para la limpieza de fluidos que contienen etanol y glicol, la cual consiste en hacer pasar estas sustancias por medio de una membrana de ósmosis inversa acarreado consigo los iones y otras cargas contaminantes que puedan atravesar. Es por esto que esta tecnología ha sido aplicada para purificar aguas en donde se necesita remover cualquier tipo de impurezas. La característica de la membrana utilizada es que es semipermeable, lo que facilita el paso de fluidos garantizando su purificación, y reteniendo los contaminantes. La osmosis inversa utiliza una nueva tecnología que es el sistema de flujo transversal para que la membrana se autolimpie constantemente. En general, la osmosis inversa tiene la capacidad de atrapar sales, microorganismos, azúcares, proteínas, colores, y otros materiales.

1.5.6 Procesos de oxidación avanzada (POA)

Los procesos de oxidación avanzada se han destacado por remover contaminantes que se encuentran en el agua con gran eficacia, cuya propiedades fisicoquímicas permiten la generación del radical hidroxilo (HO°), la cual ayuda a oxidar la materia orgánica. Para generar este radical hidroxilo se puede emplear métodos fotoquímicos e incluso los usos de la luz solar o a su vez mediante otras formas de energía, para lo cual se debe incrementar la velocidad de reacción al tratar fuentes de aguas contaminadas.

1.5.6.1 Clasificación de los POA

Su clasificación está en función del medio de origen de las especies oxidantes, ya sea en procesos no fotoquímicos y fotoquímicos. Los procesos no fotoquímicos producen especies oxidantes a través de la alteración química especies químicas o mediante cualquier forma de energía, excepto la irradiación luminosa. En cambio los procesos necesitan simplemente la luz natural o artificial para generar especies reactivas. (Tabla 1-7)

Tabla 8-1: Procesos no fotoquímicos y fotoquímicos

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización en medio alcalino	UV/periodato
Ozonización con peróxido de hidrógeno (O ₃ /H ₂ O ₂)	Ferrioxalato y otros complejos de Fe (III)
Procesos Fenton (Fe ²⁺ /H ₂ O ₂) y relacionados	Fotólisis del agua en el ultravioleta al vacío (UVV)
Oxidación electroquímica	UV/Peróxido de hidrógeno
Radiólisis γ y tratamiento con haces de electrones	UV/O ₃
Plasma no térmico	Foto-Fenton y relacionadas
Descarga electrohidráulica- Ultrasonido	Fotocatálisis heterogénea

Fuente: (Martínez Lopez, 2014)

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

1.5.6.2 Ventajas

- ✓ A parte de cambiar de fase al contaminante lo transforma químicamente.
- ✓ Tiene la capacidad de conseguir la mineralización completa en casi todos los compuestos.
- ✓ En algunos casos no se producen sustratos que se necesiten tratamiento posterior.
- ✓ Resultan efectivos en el tratamiento de contaminantes refractarios a bajas concentraciones (ppb).
- ✓ Hay menos consumo de energía a diferencia de otros métodos como la incineración.
- ✓ No afectan a la salud por ejemplo el uso de desinfectantes y oxidantes residual como el cloro.

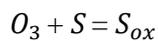
1.5.6.3 Desventajas

- ✓ Entre los POA, como los fotoquímicos, acarrear costos adicionales por generación de energía eléctrica.
- ✓ Los POA en que la cual interviene la luz no son indicadas para producir mezclas de sustancias de elevada absorptividad, debido a que se pierde eficiencia cuántica por falta de luz o por absorción competitiva.

1.5.7 Ozonación

Los oxidantes con mayor capacidad de reducir contaminantes de aguas residuales y biosólidos son el ozono y el oxígeno. Cabe destacar que el O_3 es más activo en comparación con el oxígeno, sin embargo debe ser generado en el momento de ser utilizado debido a que es un material inestable. A partir de 1980, el ozono ha intervenido para tratar aguas residuales de diferente procedencia, así como para remediar lodos con gran eficacia. Inclusive el ozono interviene en la desinfección de agua para beber, por lo general en la eliminación de cianuros y fenoles, además cambia el aspecto del color, el sabor, permite que sean más filtrables y con sean biodegradables a procesos biológicos. Ayuda a bajar las cargas contaminantes de DBO y DQO, mejora el color, olor y reduce la turbiedad, elimina microorganismos peligrosos para la salud, manteniendo la concentración de oxígeno disuelto en el efluente. Pero a la final resulta costoso por la generación de ozono, ya que necesitan realizar pruebas para comprobar la eficiencia de la molécula, otra dificultad que se presenta ocurre en la transferencia de masa que se asocia a gases, a consecuencia de la escasez de solubilidad infinita del ozono en agua.

Ecuación 4-1



Ecuación 5-1



En la primera reacción ocurre en medios ácidos como se puede observar en la ecuación 1-5, donde también se incluye solutos con mayor rapidez de reacción con el ozono. A diferencia de la primera reacción, en la segunda se puede combinar con algunas especies, por ejemplo con el HO^- , HO_2^- , $HCOO^-$, Fe_2 o sustancias húmicas. En conclusión termina siendo más eficiente en medios alcalinos el proceso de ozonización.

1.5.8 O₃/ H₂O₂

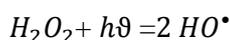
La combinación de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) con la ozonización, a pesar de que el peróxido de hidrógeno es un ácido débil, con alto poder de oxidación y un comportamiento inestable, permite alcanzar una mejor ozonización, destruyendo la carga orgánica. Por medio de la transferencia de electrones el H₂O₂ se da el paso a la descomposición de la molécula de O₃. Dicha reacción da lugar al origen de HO• que se alimenta de H₂O₂ y O₃, siguiendo un método en cadena. La combinación de estos dos componentes puede terminar siendo caro pero rápido, con el beneficio de aplicar esta técnica al tratamiento de contaminantes organoclorados, como los plaguicidas.

Esta técnica se ha intervenido en la decoloración de compuestos de agua residual de la industria papelería y también en el tratamiento de lixiviados de vertederos de RSU.

1.5.9 UV/ H₂O₂

El porcentaje de irradiación de la molécula de H₂O₂ es de 0,98 (a 254 nm), efectuada por los fotones con mayor energía a la del enlace O-O, permite la formación de dos radicales HO•

Ecuación 6-1



El proceso de fotólisis del H₂O₂ utiliza con frecuencia lámparas de vapor de mercurio de baja o media presión de 254 nm, sin embargo como la absorción del H₂O₂ es alta a 220 nm, se necesita lámparas de Xe/Hg que emiten en el rango de 210-240 nm, pero éstas terminan siendo de elevando costo. El medio alcalino es muy eficiente para el que se dé el proceso fotoquímico, ya que la base del peróxido (HO₂⁻) es mayor en absorción (ε₂₅₄= 240 M⁻¹ cm⁻¹).

1.5.9.1 Ventajas del método UV/ H₂O₂

- ✓ El oxidante se lo consigue fácilmente
- ✓ Tiene estabilidad térmica.
- ✓ Se almacena en cuyo lugar donde se aplicará

1.5.9.2 Desventajas del método UV/ H₂O₂

- ✓ Debido a la baja sección eficaz de absorción de H₂O₂ a 254 nm, se requieren de elevadas concentraciones del oxidante

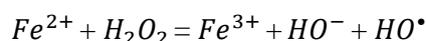
- ✓ No hay efectividad en la degradación de alcanos fluorados o clorados, ya que no hay acción de los radicales hidroxilos (HO[•]).
- ✓ No presenta gran eficacia en tratamientos de agua contaminada con elevada absorbancia a $\lambda < 300$ nm.
- ✓ El uso excesivo de H₂O₂ en presencia de altas concentraciones de HO[•] tienden a provocar reacciones opositoras que crean un efecto inhibitorio para su degradación.

1.5.10 Técnica Fenton

El proceso Fenton es la tecnología que resulta de la combinación de H₂O₂ y una sal de hierro (II). Durante el año 1881, Henry J. H. Fenton, dio a conocer una publicación acerca de la capacidad de oxidación de la unión entre el H₂O₂ y sales de hierro, cuya mezcla la llamó reactivo Fenton. Al principio del año 1894, Henry J. H. Fenton experimentó dicha reacción en ácidos orgánicos, por ejemplo el fórmico, láctico, benzoico, tartárico, glicólico y otros compuestos. De este modo afirmó que si no existen sales de hierro en la reacción, la descomposición con H₂O₂ reacciona a velocidades bajas, llevando al caso de no darse la oxidación de ácidos orgánicos.

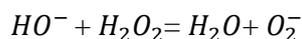
Para el año 1900, Cross y sus colaboradores, aprobaron que las sales de hierro y H₂O₂ ayudaban a acelerar la descomposición; luego, el científico Goldhammer después de experimentar el uso de reactivo fenton en fenoles, afirmó que por cada equivalente de Fe²⁺ se originaban tres equivalentes de H₂O₂, sin embargo para el caso de soluciones concentradas de H₂O₂, se degradaban 24 equivalentes de H₂O₂ por cada mol de Fe²⁺. Para Haber y Weiss en 1934, dedujeron la existencia de radicales libres (HO[•]) que se producían por efecto de la reacción:

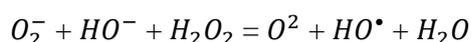
Ecuación 7-1



Por otro lado, se descubrió que el radical hidroxilo HO[•] junto con el H₂O₂ da lugar a la formación del anión superóxido O₂⁻, pero si éste en presencia de un exceso de H₂O₂, permite generar un cantidad adicional de HO[•] como se indica en las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1-2





La técnica Fenton interviene en la descomposición de compuestos alifáticos y aromáticos clorados, PCBs, colorantes azo, fenoles, PCP, entre otros. Este reactivo Fenton no tiene efecto sobre los compuestos organoclorados, acetona, parafinas, ácido acético ácido oxálico. Contribuye en la decoloración de aguas, es un potente oxidante de herbicidas y otros compuestos que afectan al suelo. Los municipios utilizan este reactivo para minimizar la concentración de DQO de aguas residuales domésticas y en el tratamiento de lixiviados.

1.5.10.1 Ventajas del proceso Fenton

- ✓ El Fe (II) se encuentra en abundancia y no es tóxico.
- ✓ El peróxido de hidrógeno se maneja fácilmente y no afecta al ambiente.
- ✓ No existen formaciones de compuestos clorados como se ve en otros métodos oxidantes.
- ✓ Debido a que es un sistema homogéneo no se originan limitaciones de transferencia de masa.

1.5.10.2 Desventajas

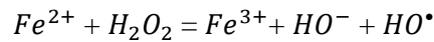
- ✓ Si hay exceso de Fe (II) baja la capacidad para atrapar radicales hidroxilos (HO[•]).
- ✓ Si pH del lixiviado es menor a 5 se origina Fe (III) particulado, dando lugar a la producción de lodo residual.

1.5.11 Principio del Proceso Foto-Fenton

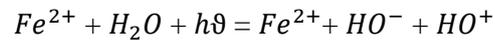
El proceso foto-Fenton se basa principalmente por efecto de la luz ultravioleta (UV/ H₂O₂/Fe²⁺) lo que no ocurre en la técnica Fenton que reacciona con H₂O₂ y sales de Fe²⁺. La radiación ultravioleta acelera la oxidación de cargas orgánicas a través del método Fenton. Dependiendo de estas condiciones, la fotólisis de los complejos Fe³⁺ dan lugar a la reformación del Fe²⁺. De este modo se origina otra vía para la producción del radical HO[•] mediante la fotólisis del H₂O₂

Mediante las siguientes reacciones se describe el método Foto-Fenton:

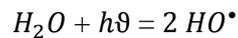
Ecuación 10-1



Ecuación 11-1



Ecuación 12-1



El ciclo de reacción del proceso Foto-Fenton, tiene como primer proceso la fotoreducción de complejos de Fe^{3+} que degradan a iones Fe^{2+} , para luego darse la reacción Fenton y la oxidación de compuestos orgánicos. Para la fotólisis de Fe^{3+} interviene irradiación con luz UV cercano, o a su vez con luz visible. La presencia de iones de Fe^{2+} , que se da por la reacción de fotoreducción, es también a consecuencia de radicales hidroxilos de H_2O_2 como segundo paso. Al darse la formación de radicales HO^\bullet , se va a iniciar la oxidación de cargas orgánicas en el agua en casos se da la mineralización de contaminantes orgánicos. Debido a que las reacciones se efectúan a longitudes de onda que van de los 300 nm hasta la región visible, se permite que este proceso trabaje en presencia de la luz solar, minimizando los costos de operación. El método Foto-fenton se emplea en la industria farmacéutica, para tratar aguas residuales municipales, también para degradar herbicida en medio acuoso, insecticidas, colorantes, compuestos fenólicos, tratamiento de lixiviados vertederos de RSU, etc.

1.5.12 Microorganismos Eficientes (EM)

Las consecuencias de practicar monocultivos y utilizar fertilizantes e insecticidas químicos son factores que provocan daños al suelo, al ambiente y a la producción agrícola. Debido al aumento de la población se requieren altas demanda de alimentos para abastecer la población, por lo que acuden a varios métodos especialmente químicos con el fin de disminuir los procesos de germinación, crecimiento y producción, sin tomar en cuenta los problemas que acarrea su uso excesivo en los suelos, afectando por ende a los consumidores.

De este modo conociendo los graves riesgos que surgen del uso de fertilizantes u otros compuestos químicos se alternó con procesos biológicos que mejoren la germinación de los productos, evite el deterioro del suelo, y no conlleve daños a la salud del consumidor.

Por eso los microorganismos eficientes son los indicados para ayudar en el sector agrícola, ya que son de bajo costos a comparación de los abonos químicos.

La abreviatura de EM significa Microorganismos Eficientes, que consiste en un cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales, sin ser alterados genéticamente, que habitan en ecosistemas que se encuentran en la naturaleza, que sus características físicas son compatibles unas con otras. Si el cultivo de los EM se realiza en medio natural, se va a dar lugar a la combinación de microorganismos que le confieren efectos para cada uno.

El creador de esta tecnología innovadora es el profesor Teruo Higa, Ph. D de la universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. Como profesor de horticultura tuvo la idea de buscar otras alternativas que sustituyera a los abonos químicos y pesticidas, que hasta ahora son utilizados en la agricultura en todo el mundo. Se definen a los microorganismos eficientes como el agrupamiento mixto de microorganismos benéficos entre las principales están bacterias fotosintéticas, productoras de ácido láctico, levaduras, actinomicetes y hongos fermentadores, que se utilizan hoy en día como un activador para acrecentar la diversidad microbiana de los suelos, la cual además aumenta la calidad y la salud de los suelos, lo que a su vez aumenta el crecimiento, la calidad y el rendimiento de los cultivos.

1.5.12.1 Modo de Acción de los Microorganismos

Los distintos tipos de microorganismos en el EM, adquieren sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los Microorganismos Eficaces para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas. Cuando los Microorganismos Eficaces aumentan su población, como una comunidad en el medio en que se encuentran, se mejora la actividad de los microorganismos naturales, enriqueciendo la microflora, balanceando los ecosistemas microbiales, suprimiendo microorganismos patógenos. (Hoyos, 2010)

1.5.12.2 Grupos de Microorganismos Eficientes

Bacterias Fototróficas

Incluyen en este grupo la *Rhodospseudomonas* spp, siendo bacterias autótrofas que sintetizan sustancias como secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, en presencia de la luz solar y el calor del suelo considerados como fuentes de energía.

Como producto de la síntesis de complejos se originan los aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, colaborando en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Los EM captan metabolitos que lo utilizan como sustrato para aumentar la población de otros Microorganismos Eficaces.

Bacterias Ácido Lácticas

Estas bacterias (*Lactobacillus* spp) generan ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico se considera un potente esterilizador, disminuye microorganismos patógenos y ayuda la rápida descomposición de materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas intensifica la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin efectos negativos en el proceso.

Levaduras

Estos microorganismos (*saccharomyces* spp) permiten sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, intervienen en la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para Microorganismos Eficaces como bacterias ácido lácticas y actinomicetos. El concepto de la inoculación de suelos y plantas con microorganismos benéficos para generar un ambiente microbiano apto para el crecimiento de las plantas ha puesto en controversia durante décadas por parte de los científicos dedicados a la agricultura. El principio biológico que establece la actuación de este conjunto de bacterias se basa, entre otras propiedades, en su carácter antioxidante. Además, cuando estos microorganismos entran en contacto con la materia orgánica, secretan sustancias benéficas como vitaminas, ácidos orgánicos y minerales.

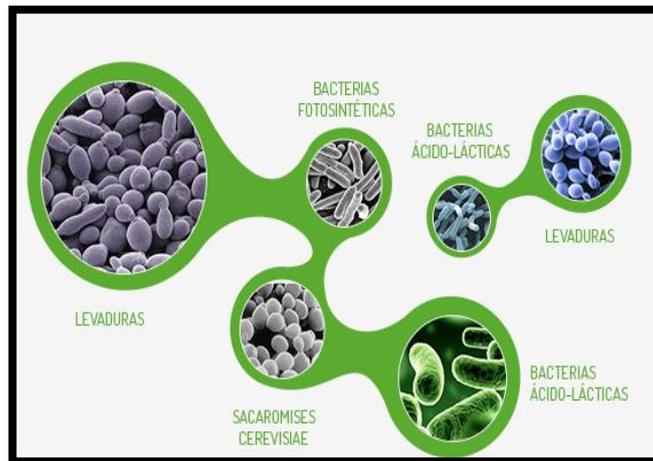


Figura 14-1: Microorganismos eficientes

Fuente: <http://www.bioem.com.pe/que-es-em/>

1.5.12.3 Como funciona los EM

El EM, contiene bacterias fotosintéticas que tiene la propiedad de neutralizar los olores desagradables y prevenirlos. Las bacterias fotosintéticas transforman las sustancias que producen olores desagradables (metano, mercaptano, ácido sulfhídrico, amoniaco, etc.) en ácidos orgánicos que no causan mal olor y que no son perjudiciales para el hombre. Gracias a estos beneficios sentido se puede emplear el EM en graseras, baños, cocinas, habitaciones con olor a humedad o a humo de tabaco, zapatos, ropas y en lugares ocupados por animales domésticos, perros u otros animales, etc.

Los Lacto bacilos o bacterias ácido lácticas producen sustancias que ayudan a la rápida descomposición de la materia orgánica, de este modo el EM permite minimizar el período de compostaje. Estos microorganismos también producen sustancias que evitan que algunos patógenos ataquen a las plantas.

Las levaduras por su parte producen sustancias que actúan como hormonas naturales y que intervienen en el crecimiento y el desarrollo de las plantas. (BID, 2009, p. 5)

1.5.12.4 Efectos del EM

Los siguientes son algunos de los efectos benéficos de la aplicación del EM:

- ✓ Interviene en la mejora del proceso de germinación, la floración, el desarrollo de los frutos y la reproducción de las plantas.
- ✓ Evita que los suelos se contaminen y suprime los agentes patógenos causantes de enfermedades.

- ✓ Hay mayor fotosíntesis de los cultivos
- ✓ Reduce los malos olores y por lo tanto se disminuye la utilización de desinfectantes.
- ✓ Se puede realizar abonos con desechos animales.
- ✓ Permite elaborar abonos de mejor calidad con mayor rapidez.
- ✓ Trata aguas residuales entre ellas las aguas de riego.
- ✓ Mejora la calidad de los productos animales.
- ✓ Baja las concentraciones de DQO y DBO

1.5.13 Fases de crecimiento Microbiano

1.5.13.1 Crecimiento como progresión geométrica

Las bacterias crecen a base de una progresión geométrica en la que el número de individuos se duplica en el lapso de un tiempo determinado denominado tiempo de generación (τ). De esta forma, podemos calcular el número de bacterias (N) al cabo de un número de generaciones (n) mediante la ecuación siguiente:

Ecuación 13-1

$$N = NO 2^g$$

Siendo NO el número de células en el momento actual. Para el número de generaciones se puede calcular de la siguiente manera:

Ecuación 14-1

$$g = t/\tau$$

Donde t es el tiempo transcurrido.

Por consiguiente, combinando las ecuaciones 1-11 y 1-12 tenemos:

Ecuación 15-1

$$N = NO 2^{t/\tau}$$

Las ecuaciones exponenciales son muy complicadas de calcular gráficamente, de este modo se transforma en una ecuación exponencial en una recta, para ello se aplica logaritmos en los dos términos y resulta:

$$\ln N = \log N + \left(\frac{t}{\tau}\right) \ln 2$$

También se puede utilizar la fórmula:

$$\log N = \log N_0 + \left(\frac{t}{\tau}\right) \log 2$$

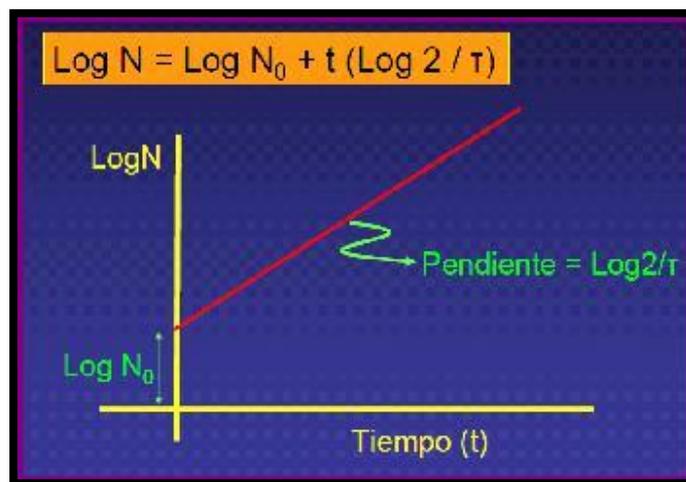


Figura 15-1: Logaritmo de número de células
Fuente: (Salvucci, 2010)

En la figura 1-26 se muestra el logaritmo del número de células crece en modo lineal con el tiempo a través de una constante igual a $\ln 2/\tau$. Pero si el tiempo de generación τ es muy grande, el crecimiento resulta con poca pendiente (será lento) y por ende si τ es pequeño el crecimiento se acelerará. Sin embargo, en un crecimiento equilibrado, todos los parámetros de crecimiento (número de células, biomasa de cultivo, acumulación de metabolitos primarios, proteínas, ácidos nucleicos etc.) evolucionan en modo paralelo. Así se deduce que en la ecuación anterior N puede representar cualquiera de estos factores.

1.5.13.2 Crecimiento microbiano en medio líquido

Cuando la bacteria crece en un medio líquido, en muchos de los casos las células que se producen en cada división tienden a formar una suspensión de células libres.

Así en un cultivo discontinuo de bacterias en medio líquido, se diferencian cuatro fases que miden el crecimiento microbiano.

Fase de latencia o de adaptación

En esta fase los microorganismos adaptan su metabolismo a las nuevas condiciones ambientales (abundancia de nutrientes y condiciones de cultivo). Por el contrario no hay aumento en el número de células, pero existe gran actividad metabólica, incremento en el tamaño individual de las células, en el contenido proteico, ADN y peso seco de las células.

Fase exponencial o logarítmica

Se intensifica la velocidad de crecimiento y el tiempo de generación es bajo. En esta fase las bacterias consumen a velocidad máxima los nutrientes que hay en el medio. Si un cultivo que está creciendo en fase exponencial es inoculado al mismo medio de cultivo en base a las mismas condiciones de crecimiento, no se muestra fase de latencia y el crecimiento exponencial continuo a la misma velocidad.

Fase estacionaria

Durante esta etapa no se incrementa el número de bacterias ni tampoco la masa u otros parámetros del cultivo. En cambio las células en fase estacionaria desarrollan un metabolismo diferente en comparación a la fase exponencial y debido a este proceso se acumulan y se liberan metabolitos secundarios que pueden tener importancia industrial.

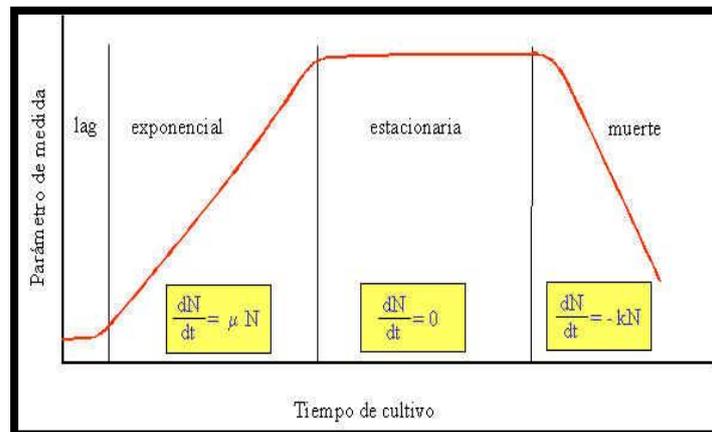


Figura 16-1: Fases de crecimiento microbiano

Fuente: (Salvucci, 2010)

Se explica que los microorganismos entran en fase estacionaria por agotamiento de algún nutriente esencial del medio o porque los productos de desecho que han liberado en la fase exponencial hacen que el medio sea inhóspito para el crecimiento microbiano. Mediante la

etapa estacionaria se puede considerar probablemente estado metabólico real de los microorganismos en los ambientes naturales.

Fase de muerte

Si la incubación sigue su proceso después de que una población microbiana alcanza la fase estacionaria, las células pueden seguir vivas y continuar su metabolismo, pero va a empezar una disminución progresiva en el número de células viables, es decir que se puedan dividir y cuando esto sucede la población entra en fase de muerte.

1.5.13.3 Crecimiento microbiano en medio sólido

Las fases, parámetros y cinética de crecimiento mencionadas para el caso de los cultivos líquidos son también considerados en cultivos sólidos. La cinética de crecimiento, para este caso, se explica con la evolución del número de células viables por unidad de superficie o por unidad de masa.

Cuando una célula aislada e inmóvil empieza a crecer sobre un medio sólido, el resultado del crecimiento por un tiempo determinado es la formación de una colonia, lo que se denomina unidad formadora de colonia (UFC) a una célula bacteriana viva y aislada que si se encuentra en condiciones de substrato y ambientales adecuadas permite la producción de una colonia en un breve lapso de tiempo. De esta manera si el número inicial de bacterias por unidad de superficie es muy alto, la convergencia de las colonias genera la aparición a lo que se llama un césped cuando se realizan los cultivos en placas de laboratorio.

En el caso de microorganismos móviles (deslizantes) o en el de los hongos filamentosos que presentan un crecimiento trófico no se producen colonias aisladas dando lugar a formaciones más difusas o miceliares. (Salvucc, 2010)

1.6 Normativa Ambiental

Para la ejecución de este tema de investigación, se tomó a consideración las leyes y artículos aplicables al manejo de residuos sólidos en el Ecuador y en el cantón Tena

Para la caracterización del lixiviado del relleno sanitario del cantón Tena se utilizará como guía la normativa ambiental difundida por el TULSMA, la cual permite valorar los límites permisibles de los parámetros a controlar: DBO₅, DQO y Nitrógeno Amoniacal. (Tulsma, 2013)

Tabla 9-1: Límite de descarga de un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	250
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	mg/L	30

Fuente: TULSMA, Libro

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Área de estudio

2.1.1 Ubicación cartográfica y geográfica

El relleno sanitario “Chimbadero” está ubicado en la Vía Tena – Archidona a 5 km desde el redondel de salida de la ciudad, localizado en un terreno de propiedad municipal a 500 m desde la vía pavimentada por el sector Amaden, como referencia se encuentra también instalado el camal Municipal de Tena.

2.1.2 Macrolocalización

Tabla 1-2: Ubicación Cartográfica del Relleno Sanitario

Ubicación Cartográfica	
PROVINCIA	Napo
CANTÓN	Tena
PARROQUIA	Tena
SITIO	Amaden

Fuente: GAD Municipal Cantón Tena

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Los límites del cantón Tena son:

- ✓ Norte: Cantón Archidona (Napo) y cantón Loreto (Orellana)
- ✓ Sur: Provincias de Tungurahua, cantón Carlos Julio Arosemena Tola (Napo) y Pastaza.
- ✓ Este: Provincia de Orellana
- ✓ Oeste: Provincias de Cotopaxi y Tungurahua

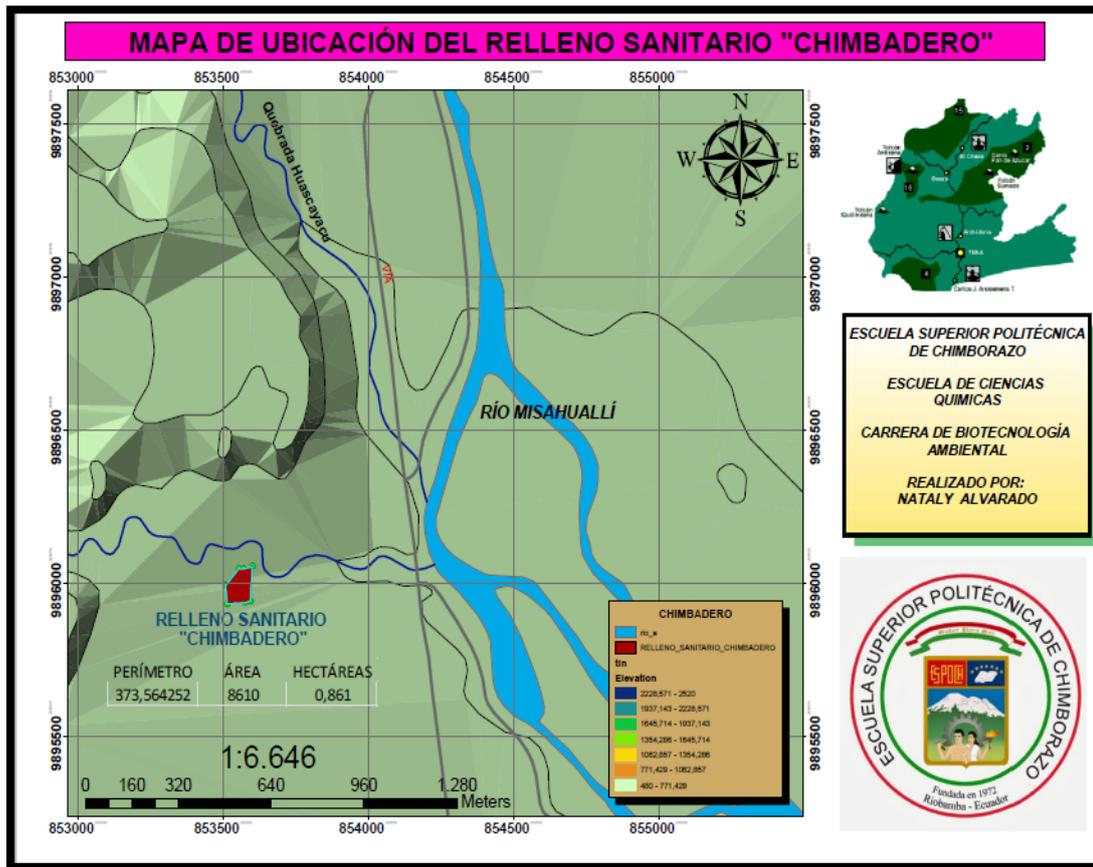
2.1.3 Microlocalización

Tabla 2-1: Georeferenciación del Relleno Sanitario

PUNTO	X	Y
1	9895908	186315
2	9895896	186015
3	9895967	185643
4	9896027	185638
5	9896082	185683
6	9896081	185700
7	9896089	185730
8	9895976	185723
9	9895970	185704

Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

Mediante un GPS se tomó los puntos de geográficos para la localización del relleno sanitario “Chimbadero”, se empleó como Datum Horizontal el Sistema Geofísico Mundial de 1984 (WGS 84) y como Datum Vertical se utilizó el Sistema de Proyección Cartográfica Universal Transversa de Mercator, Zona 17 Sur, Meridiano Central W 78°30’.



2.2 Metodología

2.2.1 Muestreo

Para determinar los valores físico-químicos del lixiviado, se tomó la primera muestra del lixiviado en estado de percolación, es decir el líquido que sale del relleno por efecto de la gravedad, debido a que el relleno sanitario no cuenta con piscinas propiamente para los lixiviados y para las técnicas que se va a emplear se necesita un lixiviado puro. De este modo se puede establecer los resultados iniciales mediante pruebas de laboratorio que analizará DBO₅, DQO y Nitrógeno Amoniacal. Se tener en cuenta que estos resultados pueden ser susceptibles a factores de variabilidad espacial y temporal tales como los factores estacionales como lluvias intensas que intervienen en la cantidad de lixiviado, al igual que el factor de dilución en la fuente superficial lo que se observa en los cambios de concentraciones de los parámetros analizados, entre otros factores.

Materiales

- Botas de caucho
- Balde 5 L
- Guantes
- Mascarilla
- Gorro
- Cooler
- Hielo
- Recipiente estéril

PROCEDIMIENTO

1. Me dirigí al relleno sanitario del cantón Tena, la cual se encuentra en el sector Amaden.
2. Para mayor seguridad y prevención de contaminación me protegí con guantes, mascarilla, gorra y botas.
3. Para recolectar la muestra purgue tres veces la botella con el lixiviado.
4. Luego de haber purgado la botella se recoge la muestra que va a ser analizada en el laboratorio, la cual se lo lleva en un cooler en refrigeración.

2.2.2 Caracterización del Lixiviado

El lixiviado a caracterizar es proveniente del Relleno Sanitario “Chimbadero” ubicado en el cantón Tena sector Amaden, para lo cual se recogió el lixiviado en tiempo áspero de forma manual. Para el tratamiento con reactivo Fenton y Microorganismos Eficientes se tomó como muestra de estudio 200 litros de lixiviado percolado y propiamente puro. De este modo se tomó la primera muestra que nos sirve para su caracterización Físico- Químico, para lo cual se necesitó unos 2 litros para pruebas de laboratorio.

Los métodos empleados para analizar los parámetros del lixiviado a tratar permitirán valorar el avance del tratamiento y estimar sus beneficios y ventajas en el uso de técnicas para remediar los lixiviados. Los métodos para el análisis físico –químico del lixiviado son los siguientes:

Tabla 3-2: Métodos empleados para el análisis físico –químico del lixiviado

Parámetro	Método análisis	Unidades
DQO	Standard Methods No. 5220 D	mg /L
DBO	Standard Methods No. 5210 B	mg /L
Nitrógeno amoniacal	EPA Water Waste No. 350.2	mg /L

Fuente: CESSTTA

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

2.2.3 Transporte del lixiviado a lugar de trabajo

Se trasladó 200 L de lixiviado a un lugar más propicio para realizar el tratamiento, ya que el relleno sanitario es una zona alejada de la ciudad y por lo tanto no cuenta con las condiciones necesarias para manejar los tratamientos a emplearse, también por seguridad y cuidado del equipo de trabajo y materiales.

Materiales

- Balde de 5 L
- Botas de caucho
- Guantes estériles
- Gorra
- Bidón de 208 L
- Bidón de 20 L

PROCEDIMIENTO

1. Antes de ingresar al Relleno Sanitario me coloqué el equipo de protección: Botas, guantes y gorra para la recolección del lixiviado.
2. Para recoger el lixiviado percolado y puro se realizó un canal en donde pueda circular el líquido puesto que las piscinas son lagunas de oxidación.
3. Una vez que se iba generando lixiviado se empezó a llenar en bidones de 20 L para luego llenarlo en el bidón de 208 L.

4. Se tapó el contenedor para que no exista contaminación y se llevó al lugar de trabajo para comenzar el tratamiento.

2.2.4 Metodología Técnica fenton

El reactivo Fenton es la técnica que se va aplicar al lixiviado recolectado del Relleno Sanitario “Chimbadero” para bajar los valores altos de DBO₅, DQO y Nitrógeno amoniacal presentes en el lixiviado. Es un pre - tratamiento químico muy efectivo que permiten mejorar las características del líquido y eliminar el principal problema de este trabajo de investigación que son los olores desagradables.

Materiales

- ✓ Balanza digital
- ✓ Vaso de precipitación de 200 mL
- ✓ Erlenmeyer de 2000 mL

Reactivo

- ✓ Sulfato de hierro
- ✓ Peróxido de hidrogeno

PROCEDIMIENTO

1. La dosis exacta de reactivo fenton se obtuvo mediante cálculos, haciendo una relación con los 200lt de lixiviado que se va a tratar, dando como resultado 200 g de sulfato ferroso y 200 ml de peróxido de hidrógeno.
2. La primera dosis a aplicar fueron 200 g de sulfato ferroso y 200 ml de peróxido de hidrógeno, en donde se mezcló los reactivos en el bidón que contiene el lixiviado y se agitó durante 30 minutos a 100 rpm, el reactivo fenton reacciona a los 30 minutos de su aplicación, en este caso para mejores resultados se dejó reposar por 6 días.
3. Para lograr que los valores de DBO₅, DQO y Nitrógeno amoniacal disminuyan se incrementa la dosis de 200 a 400, 600 y 800 g de sulfato de hierro y el peróxido de hidrógeno se aumentó de 200 a 400, 600 y 800 mL.
4. Se repite el proceso para cada dosis agitando durante 30 minutos a 100 rpm y se deja reposar por el lapso de 6 días.

2.2.4.1 *Aplicación de ácido sulfúrico para bajar el pH*

1. Al medir el pH del lixiviado recolectado se obtuvo un valor de 6, lo que significa que para el tratamiento con reactivo fenton el pH debe estar < 5 para que el método utilizado funcione y se dé con éxito la reacción.
2. El ácido sulfúrico es un reactivo muy peligroso, por lo cual se necesita de mucha precaución y cuidado para su aplicación. Por lo tanto para el proceso se usó el equipo de protección.
3. Para que el pH se vuelva ácido se aplicó 200 ml de H_2SO_4 y se mezcló para que se disuelva en los 200 lt de lixiviado. Se dejó reaccionar unos 30 minutos y se procedió a medir el pH, lo cual resultó un valor de 5.
4. Entonces se volvió aplicar otra dosis de 200 ml de H_2SO_4 y se realizó el mismo proceso, dando como resultado un pH de 4 que es más ácido y efectivo para trabajar con reactivo fenton.

2.2.5 *Metodología Microorganismos eficientes*

Los microorganismos eficientes que se aplicó para el tratamiento secundario de los lixiviados son de EM comercial, es decir ya vienen preparados en forma líquida.

Los microorganismos presentes en el EM se encuentran en estado de latencia (inactivo), por lo tanto para aumentar la población de microorganismos es necesario activarlos de la siguiente manera:

Materiales

- ✓ Botella de plástico de 1 L
- ✓ Vaso de precipitación de 200 mL
- ✓ Erlenmeyer de 2000 mL

Reactivo

- ✓ Agua
- ✓ Melaza
- ✓ Microorganismos eficientes en estado líquido

PROCEDIMIENTO

1. Como se va a tratar 200 L de lixiviados se hace una relación de 1: 1000, que quiere decir 1ml utilizando 1 ml de EM por 1000 ml de lixiviado a tratar, por lo tanto se prepara 1 L de EM activados.
2. El agua a utilizar debe estar libre de cloro, por lo que se reposa unas 48 horas para obtener una mejor fermentación, así también debe estar a una temperatura menor de 40 grados para evitar un desequilibrio de la solución madre y posteriormente prevenir la muerte de muchos elementos vivos necesarios.
3. En un balde se aplica, 50 ml de melaza sin conservantes y 900 ml de agua, colocar esta mezcla en un envase de un litro, luego se aplica poco a poco los 50 ml de EM solución madre.
4. Se tapa bien el envase y se deja reposar en un lugar templado a una temperatura de entre 28 y 37°C, durante 5 a 7 días.
5. Durante este lapso de tiempo se afloja la tapa cuando la botella coge presión para que salga el gas que se produce. Es importante medir el pH y cerciorarnos que esté alrededor de 3.5, es decir, en medio ácido.
6. Una vez terminada el proceso de activación, está lista para aplicar al lixiviado, para lo cual se utilizó 200 ml de EM activados que se dejará reposar al cabo un mes.

2.2.5.1 Filtro casero

Materiales

- 1 recipientes de 5 L transparente
- Algodón
- Gasa
- Arena gruesa y arena fina
- Carbón
- Recipiente hondo

PROCEDIMIENTO

1. Cortar por la parte superior de la botella y hacer un agujero en la tapa para que salga el líquido filtrado

2. Se empieza a rellenar por capas desde la parte inferior, primero se coloca algodón, luego piedras, arena fina, carbón y por último se recubre con la gasa que ayuda a retener los sólidos.
3. Para filtrar se coloca un recipiente hondo de plástico sobre la superficie plana, en donde va a caer el líquido a filtrado
4. Se ubica el filtro en la llave de desfogue del bidón con la parte de la boca hacia abajo y con la tapa puesta.
5. Una vez puesto el filtro en el punto de desfogue se comienza a abrir la llave para que el agua circule por el filtro, dejar reposar uno 30 minutos para posteriormente coger la última muestra de lixiviado tratado para ser analizado.

2.3 Métodos y Técnicas

2.3.1 Métodos

Tabla 4-2: Determinación de la DQO

Fundamento	Determinación de la DQO
Método	Standard Methods No. 5220 D
Materiales y reactivos	<p>Equipo fotométrico con longitudes de onda de 620 nm y 420 nm.</p> <p>Pipeta graduada certificada para dispensar la muestra</p> <p>Cubetas de 16 mm de diámetro</p> <p>Gafas protectoras</p> <p>Gradilla para colocar las cubetas</p> <p>Paños para limpiar las cubetas</p>

	<p>REACTIVOS</p> <p>Solución de Dicromato de Potasio</p> <p>Ácido Sulfúrico</p> <p>Solución titulante de Sulfato Ferroso y Amonio</p> <p>Solución indicadora de Ferroin</p> <p>Sulfato de Plata</p> <p>Sulfato de Mercurio</p> <p>Ácido Sulfámico</p> <p>Solución patrón de Ftalato</p> <p>Acido de Potasio</p>
Procedimiento	Norma técnica
Cálculos	$DQO, mgO_2/L = \frac{(mgO_2 \text{ en volumen final} * 1000)}{mL \text{ de muestra}}$

Fuente: Norma Técnica

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Tabla 5-2: Determinación de la DBO₅

Fundamento	Determinación de la DBO ₅
Método	Standard Methods No. 5210 B
Materiales y reactivos	<p>Frasco de DBO de 250 cm³</p> <p>Incubadora de aire con control termostático a 20 ±1 °C.</p> <p>Agitador magnético</p> <p>Probeta</p>

	<p>Balones clase A de volumen adecuado para preparar diluciones</p> <p>Película plástica</p> <p>Erlenmeyer de 5000 mL.</p> <p>Erlenmeyer de 100 mL.</p> <p>Papel absorbente.</p> <p>REACTIVOS</p> <p>Agua destilada</p> <p>Solución amortiguadora de Fosfato</p> <p>Solución de Sulfato Magnesio</p>
Procedimiento	Norma Técnica
Cálculos	<p>El agua de dilución no ha sido inoculada</p> $\text{DBO mg/L} = \frac{D1-D2}{P}$ <p>El agua de dilución ha sido inoculada</p> $\text{DBO mg/L} = \frac{(D1-D2)-(B1-B2)f}{P}$

Fuente: Norma Técnica

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Tabla 6-2: Determinación de nitrógeno amoniacal

Fundamento	Determinación de NH ₄
Método	EPA Water Waste No. 350.2
Materiales y reactivos	Espectrofotómetro DR 2800

	<p>Cubetas de análisis, cuadrada de una pulgada, 10 ml</p> <p>Pipeta serológica de 1 ml</p> <p>Enlermeyer</p> <p>Muestra de agua</p> <p>Limpiadores</p> <p>REACTIVOS</p> <p>Estabilizante mineral</p> <p>Alcohol polivinílico</p> <p>Reactivo Nessler</p> <p>Agua destilada</p>
Procedimiento	Norma Técnica
Cálculos	El resultado de mg/ L N-NH ₃ que aparecen directamente en la pantalla.

Fuente: Norma Técnica

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

2.4 Datos Experimentales

2.4.1 Datos

2.4.1.1 Datos para la técnica Fenton

Tabla 7-2: Datos para la técnica Fenton

Reactivo	Volumen de lixiviado a tratar (L)	pH
Sulfato de hierro	200	4
Peróxido de hidrogeno	200	

Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

La adición de los reactivos depende del volumen de lixiviado a tratar contenido en el bidón de 220 litros, el volumen del lixiviado a tratar es de 200 litros.

2.4.1.2 Datos para bajar el pH

Tabla 8-2: Datos para bajar el pH

Reactivo	Volumen de reactivo a utilizar (mL)	Volumen de lixiviado a tratar (L)
Ácido Sulfúrico	200	200

Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

2.4.1.3 Datos para la activación y aplicación de EM

Tabla 9-2: Datos para la activación de EM

Reactivos	% de aportación	Volumen de lixiviado a tratar	Volumen de EM activados a obtener
Melaza	5 %	200 L	1 L
Solución madre EM	5 %		
Agua	90%		

Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

Se aplica estas proporciones de acuerdo a la cantidad de lixiviado que se va a tratar mediante la relación 1: 1000, de la cual se deduce que se utiliza 1 ml de EM activado por cada 1000 ml de lixiviado.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Cálculos

3.1.1 Cálculos para obtener la dosis óptima de reactivo fenton

Peróxido de Hidrógeno

$$x = \frac{1 \text{ mL H}_2\text{O}_2 * 200 \text{ L de lixiviado a tratar}}{1 \text{ L de lixiviado a tratar}}$$

$$x = 200 \text{ ml de H}_2\text{O}_2$$

Sulfato de Hierro

$$x = \frac{1 \text{ g FeSO}_4 * 200 \text{ L de lixiviado tratar}}{1 \text{ L de lixiviado a tratar}}$$

$$x = 200 \text{ g de FeSO}_4$$

3.1.2 Cálculo para la dosis de ácido sulfúrico

$$x = \frac{1 \text{ mL de H}_2\text{SO}_4 * 200 \text{ L de lixiviado a tratar}}{1 \text{ L de lixiviado a tratar}}$$

$$x = 200 \text{ mL de H}_2\text{SO}_4$$

Índice de Biodegradabilidad

Para aplicar el segundo tratamiento biológico que es con los EM se necesita determinar el índice de biodegradabilidad con la ecuación 1-1 del capítulo 1:

$$\mathbf{IB} = \frac{\text{DBO ml/L}}{\text{DQO ml/L}}$$

$$\mathbf{IB} = \frac{2530\text{ml/L}}{8008 \text{ ml/L}}$$

$$\mathbf{IB} = 0.32$$

El valor del Índice de Biodegradabilidad es 0.32, lo cual determina que si es posible aplicar el tratamiento con microorganismos eficientes.

3.1.3 Cálculos para la activación de microorganismos eficientes

Microorganismos eficientes al 5 %

$$1 \text{ lt} = 1000 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ mL} = 100\%$$

$$X = 5 \%$$

$$\mathbf{X} = \frac{1000 \text{ mL} * 5 \%}{100 \%}$$

$$\mathbf{X} = 50 \text{ mL de EM solución madre}$$

Melaza

$$1000 \text{ mL} = 100\%$$

$$X = 5 \%$$

$$\mathbf{X} = \frac{1000 \text{ mL} * 5 \%}{100 \%}$$

$$\mathbf{X} = 50 \text{ mL de melaza}$$

Agua

$$1000 \text{ mL} = 100\%$$

$$X = 90 \%$$

$$X = \frac{1000 \text{ mL} * 90 \%}{100 \%}$$

$$X = 900 \text{ mL de agua}$$

3.2 Resultados

3.2.1 Resultados de dosis óptima técnica Fenton e índice de biodegradabilidad

Tabla 1-3: Resultados de dosis óptima técnica Fenton

Parámetro	Unidad	Dato
FeSO ₄	g	200
H ₂ O ₂	mL	200
IB	-	0.32

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Para la primera aplicación del reactivo fenton se comenzó con 200 mL de peróxido de hidrógeno y 200 g de sulfato ferroso, y luego se fue aumentando la dosis en 400, 600 y 800 respectivamente hasta conseguir una disminución de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y nitrógeno amoniacal.

3.2.2 Resultado de dosis óptima de ácido sulfúrico

Tabla 2-3: Resultado de dosis óptima H₂SO₄

Parámetro	Unidad	Dato
H ₂ SO ₄	mL	200

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Para conseguir que el pH del lixiviado se vuelva ácido y baje hasta un valor <5, se aplicó 200 mL de ácido sulfúrico y posteriormente se utilizó otra dosis hasta resultar en un pH bajo.

3.2.3 Resultado de la dosis óptima para la preparación de EM activados

Tabla 3-1: Resultados del volumen óptimo de EM solución madre, melaza y agua para la activación de EM

Parámetro	Unidad	Dato
EM solución madre	mL	50
Melaza	mL	50
Agua	mL	900

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

La activación de EM se dio al 100 % con respecto a la relación 1:1000, lo cual permite emplear la dosis necesaria para el tratamiento del lixiviado y evitar complicaciones en el proceso.

3.2.4 Resultados del muestreo inicial del lixiviado

Tabla 4-3: Resultados del muestreo inicial del lixiviado

Fecha	Parámetro	Experimentación	Unidad	Resultado
13/06/2016	DQO	Muestra 1	mg/L	15400
13/06/2016	DBO ₅	Muestra 1	mg/L	8350
13/06/2016	Nitrógeno amoniacal	Muestra 1	mg/L	875

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Espoch, 2016.

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Los valores iniciales obtenidos mediante análisis de laboratorio muestran valores que corresponden a 13400 mg/L de DQO, 8350 mg/L de DBO₅, y 570 mg/L de N-NH₃, lo que significa que se va a tratar un lixiviado poco biodegradable según la tabla 1-6 del capítulo 1 con una edad intermedia, pero con el proceso fenton vamos a mejorar los resultados para posteriormente aplicar una tecnología biológica.

3.2.5 Resultado método Fenton

3.2.5.1 Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 5-3: Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno

Fecha	Experimentación	Unidad	Resultado	Técnica	Observaciones
12/07/2016	Muestra 1	mg/L	4160	Fenton	Se aplica 200 g de Fe ₂ SO ₄ y 200 mL de H ₂ O ₂
19/07/2016	Muestra 2	mg/L	3310	Fenton	Se aumenta a 400 g de Fe ₂ SO ₄ y 400 mL de H ₂ O ₂
25/07/2016	Muestra 3	mg/L	3116	Fenton	Sube la concentración a 600 g de Fe ₂ SO ₄ y 600 mL de H ₂ O ₂
02/08/2016	Muestra 4	mg/L	2530	Fenton	Se aumenta a 800 g de Fe ₂ SO ₄ y 800 mL de H ₂ O ₂

Fuente: CESTTA

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

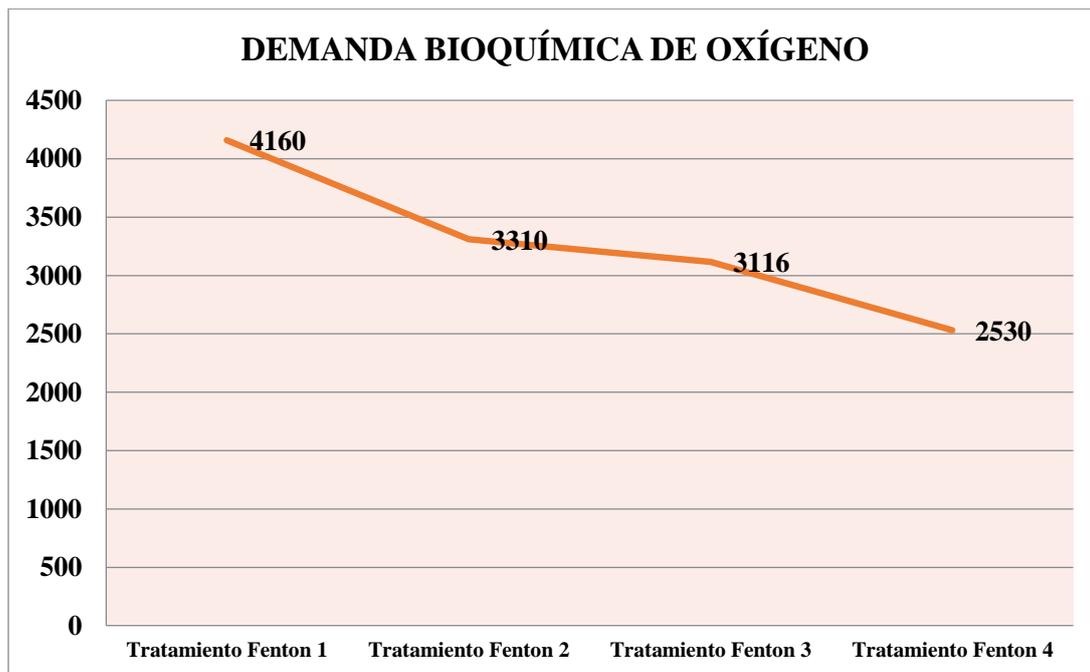


Gráfico 1-3: Disminución de los valores de DBO₅ mediante reacción Fenton
 Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

En el gráfico 3-1 se muestra la variación de los resultados de la DBO₅ debido a la dosis de reactivo fenton que se aplica en un intervalo de tiempo, en este caso 6 días para posteriormente verificar su disminución mediante análisis de laboratorio. En comparación con el valor inicial de la muestra que es 8350 mg/L se puede determinar que el valor de la DBO₅ ha descendido con las cuatro dosis de reactivo Fenton (200, 400, 600 y 800) aplicados al lixiviado.

3.2.5.2 Resultado del análisis de la demanda química de oxígeno

Tabla 6-3: Resultados del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno

Fecha	Experimentación	Unidad	Resultado	Técnica	Observaciones
12/07/2016	Muestra 1	mg/L	12780	Fenton	Se aplica 200 g de Fe ₂ SO ₄ y 200 mL de H ₂ O ₂
19/07/2016	Muestra 2	mg/L	10240	Fenton	Se aumenta a 400 g de Fe ₂ SO ₄ y 400 mL de H ₂ O ₂
25/07/2016	Muestra 3	mg/L	9680	Fenton	Sube la concentración a 600 g de Fe ₂ SO ₄ y 600 mL de H ₂ O ₂

02/08/2016	Muestra 4	mg/L	8008	Fenton	Se aumenta a 800 g de Fe ₂ SO ₄ y 800 mL de H ₂ O ₂
------------	-----------	------	------	--------	---

Fuente: CESTTA

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

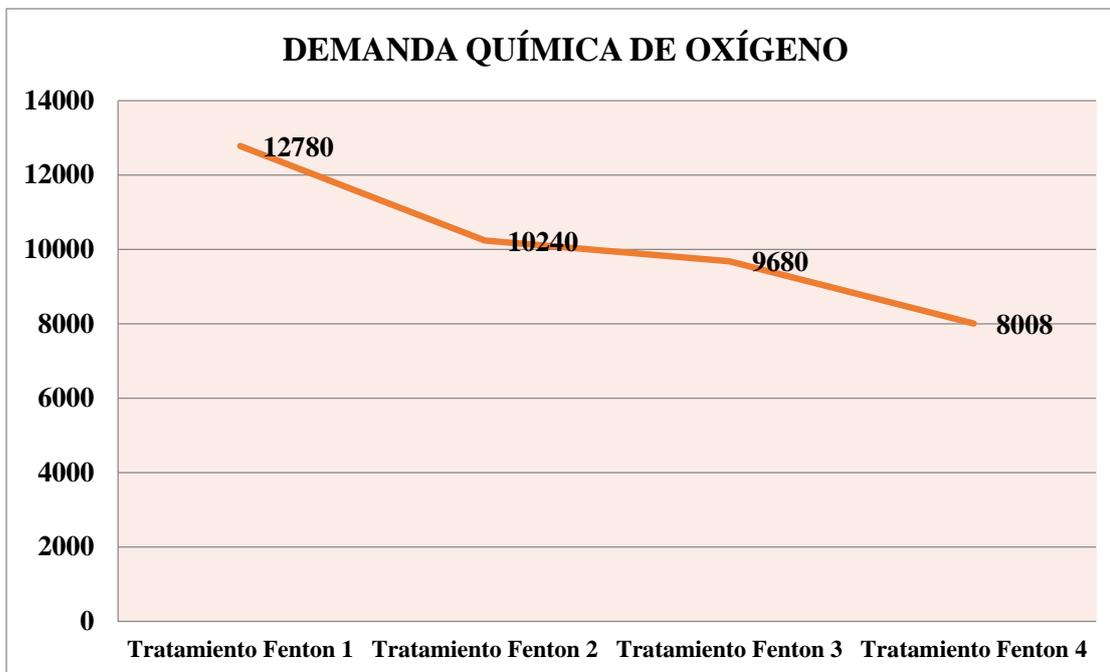


Gráfico 2-3: Disminución de los valores de DQO mediante reacción Fenton

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Los resultados de la DQO permiten observar la disminución de su concentración en el lixiviado que ha sido tratado mediante la aplicación de 200, 400, 600 y 800 mg/ L de sulfato de hierro y 200, 400, 600 y 800 mg/L de peróxido de hidrógeno. El reactivo Fenton actúa con eficiencia a pH ácido en este caso con un valor de pH 4.

3.2.5.3 Resultados del análisis del nitrógeno amoniacal

Tabla 7-3: Resultados del análisis del nitrógeno amoniacal

Fecha	Experimentación	Unidad	Resultado	Técnica	Observaciones
12/07/2016	Muestra 1	mg/L	570	Fenton	Se aplica 200 g de Fe ₂ SO ₄ y 200 mL de H ₂ O ₂
19/07/2016	Muestra 2	mg/L	485	Fenton	Se aumenta a 400 g de Fe ₂ SO ₄ y 400 mL de H ₂ O ₂
25/07/2016	Muestra 3	mg/L	462,50	Fenton	Sube la concentración a 600 g de Fe ₂ SO ₄ y 600 mL de H ₂ O ₂
02/08/2016	Muestra 4	mg/L	331,25	Fenton	Se aumenta a 800 g de Fe ₂ SO ₄ y 800 mL de H ₂ O ₂

Fuente: CESTTA

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

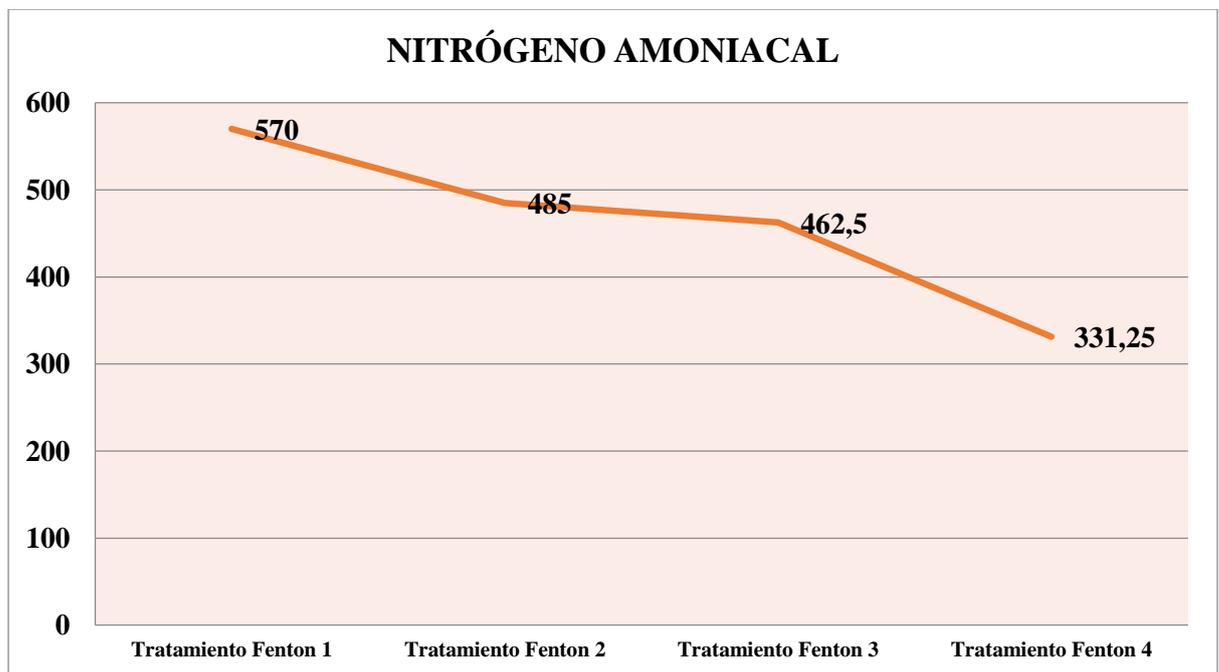


Gráfico 3-1: Disminución de los valores de nitrógeno amoniacal mediante reacción fenton

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

En la caracterización inicial del lixiviado se indica un valor de 875 mg/L de nitrógeno amoniacal, lo cual permite comparar con los resultados obtenidos del tratamiento con reactivo fenton, mostrando una baja de concentración de N-NH₃.

3.2.6 Resultados del tratamiento con microorganismos eficientes

Tabla 8-3: Resultados del tratamiento con EM

Fecha	Parámetro	Experimentación	Unidad	Resultado
04/10/2016	DQO	Muestra 1	mg/L	4004
04/10/2016	DBO ₅	Muestra 1	mg/L	1310
04/10/2016	Nitrógeno amoniacal	Muestra 1	mg/L	140

Fuente: CESTTA

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Los resultados obtenidos con la aplicación de EM han permitido determinar la variación de valores que se ha generado durante el periodo de tratamiento, con lo que se demuestra la eficiencia de los microorganismos eficientes ya que los parámetros de DQO, DBO₅ y Nitógeno amoniacal han disminuido en gran porcentaje con una sola aplicación.

3.2.7 Resultados globales

3.2.7.1 Resultados globales de la demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 9-3: Resultados de la DBO₅ con los tratamientos aplicados

Fecha	Experimentación	Unidad	Resultado	Técnica	Observaciones
13/06/2016	Muestra 1	mg/L	8350		Resultado de la muestra inicial
12/07/2016	Muestra 2	mg/L	4160	Fenton	Se aplica 200 g de Fe ₂ SO ₄ y 200 mL de H ₂ O ₂
19/07/2016	Muestra 3	mg/L	3310	Fenton	Se aumenta a 400 g de Fe ₂ SO ₄ y 400 mL de H ₂ O ₂
25/07/2016	Muestra 4	mg/L	3116	Fenton	Sube la concentración a 600 g de Fe ₂ SO ₄ y 600 mL de H ₂ O ₂

02/08/2016	Muestra 5	mg/L	2530	Fenton	Se aumenta a 800 g de Fe ₂ SO ₄ y 800 mL de H ₂ O ₂
04/10/2016	Muestra 6	mg/L	1310	EM	200 ml de EM en 200 L de lixiviado a tratar

Fuente: CESTTA

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

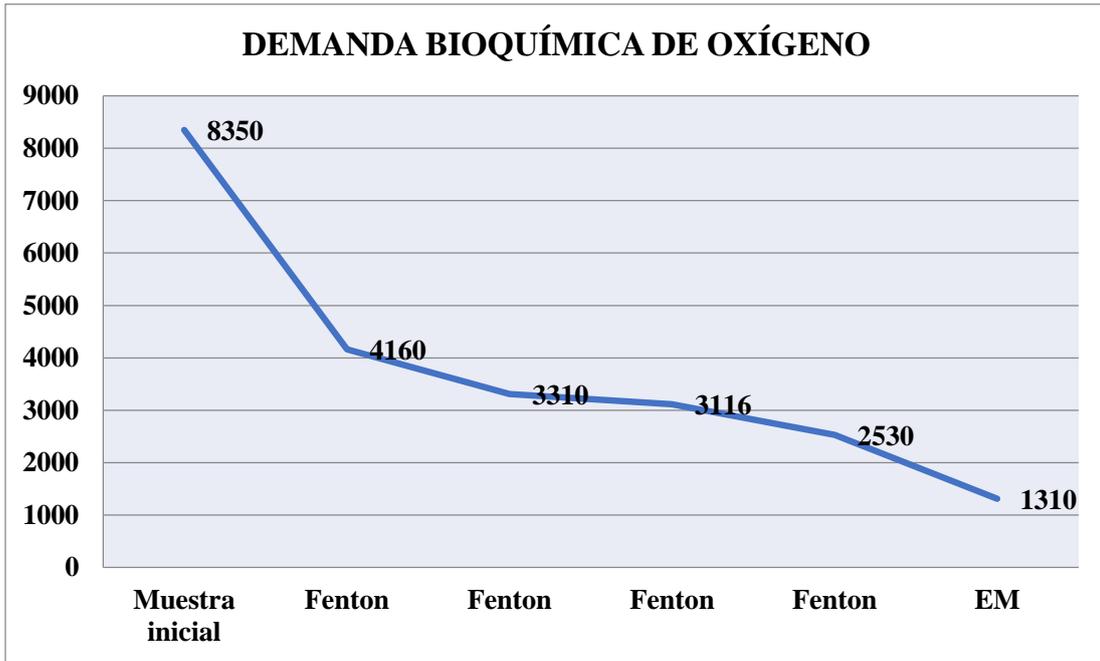


Gráfico 4-3: Disminución de la DBO₅ mediante la técnica Fenton y Microorganismos eficientes

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

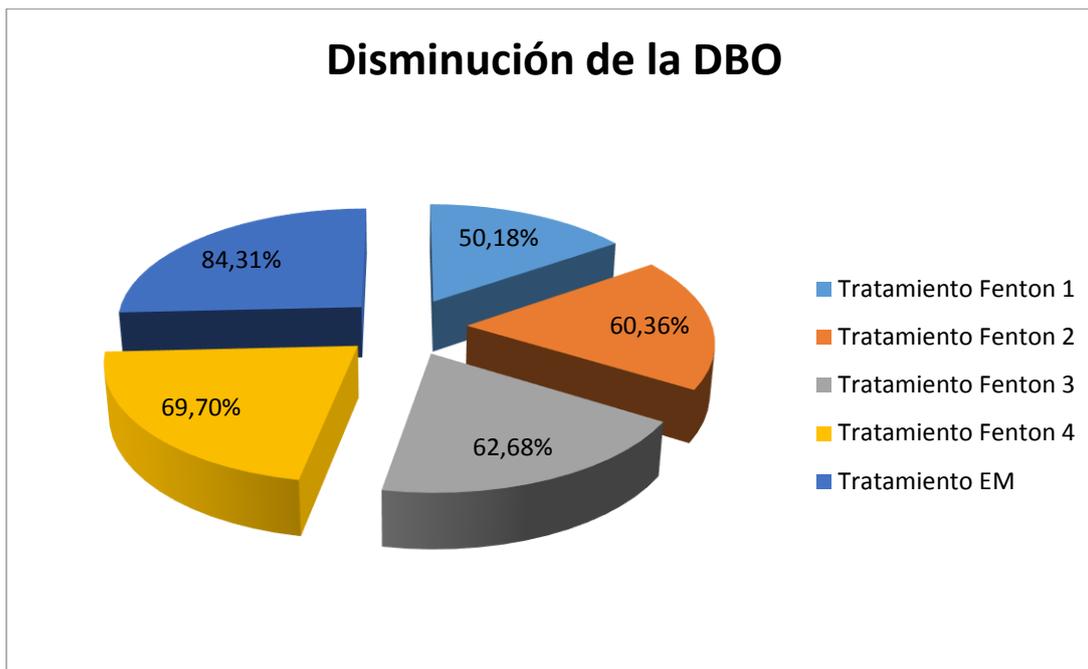


Gráfico 5-3: Porcentaje de disminución de la DBO₅ a través de los tratamientos empleados
Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Se puede observar claramente que el porcentaje de disminución de la DBO₅ ha variado con los tratamientos asignados en este proceso desde un 50.18 % hasta un 84.31 % permitiendo definir la eficiencia de los tratamientos.

3.2.7.2 Resultados globales de la demanda química de oxígeno

Tabla 10-3: Resultados de la DQO con los tratamientos aplicados

Fecha	Experimentación	Unidad	Resultado	Técnica	Observaciones
13/06/2016	Muestra 1	mg/L	15400		Resultado de la muestra inicial
12/07/2016	Muestra 2	mg/L	12780	Fenton	Se aplica 200 g de Fe ₂ SO ₄ y 200 mL de H ₂ O ₂
19/07/2016	Muestra 3	mg/L	10240	Fenton	Se aumenta a 400 g de Fe ₂ SO ₄ y 400 mL de H ₂ O ₂
25/07/2016	Muestra 4	mg/L	9680	Fenton	Sube la concentración a 600 g de Fe ₂ SO ₄ y 600 mL de H ₂ O ₂

02/08/2016	Muestra 5	mg/L	8008	Fenton	Se aumenta a 800 g de Fe ₂ SO ₄ y 800 mL de H ₂ O ₂
04/10/2016	Muestra 6	mg/L	4004	EM	200 ml de EM en 200 L de lixiviado a tratar

Fuente: CESTTA

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

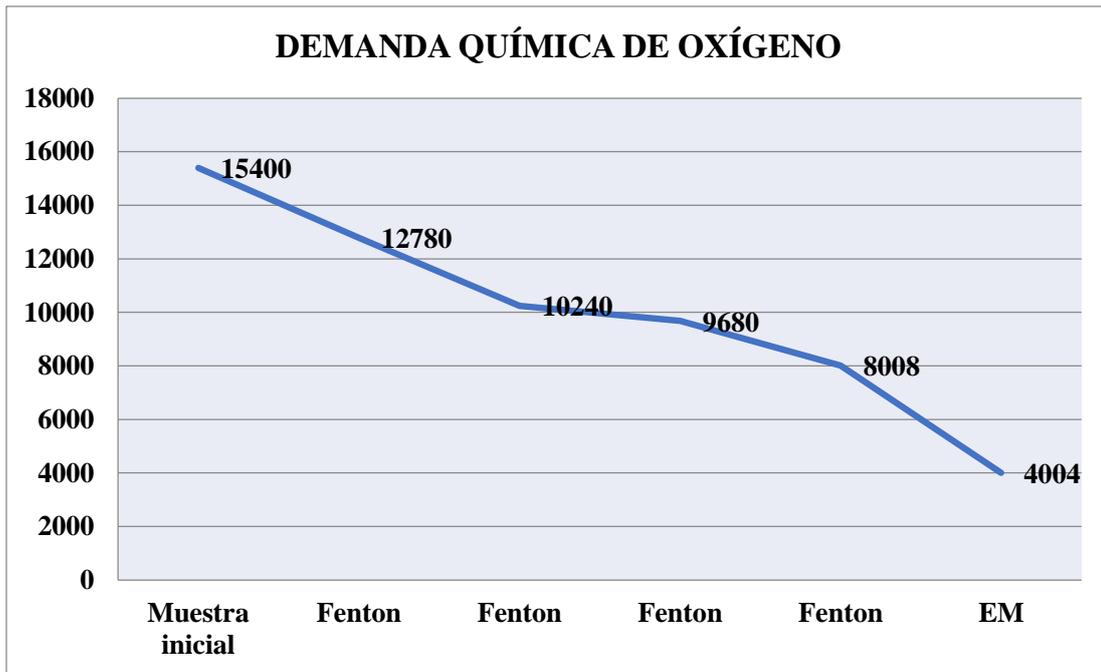


Gráfico 6-3: Disminución de la DQO mediante la técnica Fenton y Microorganismos eficientes

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

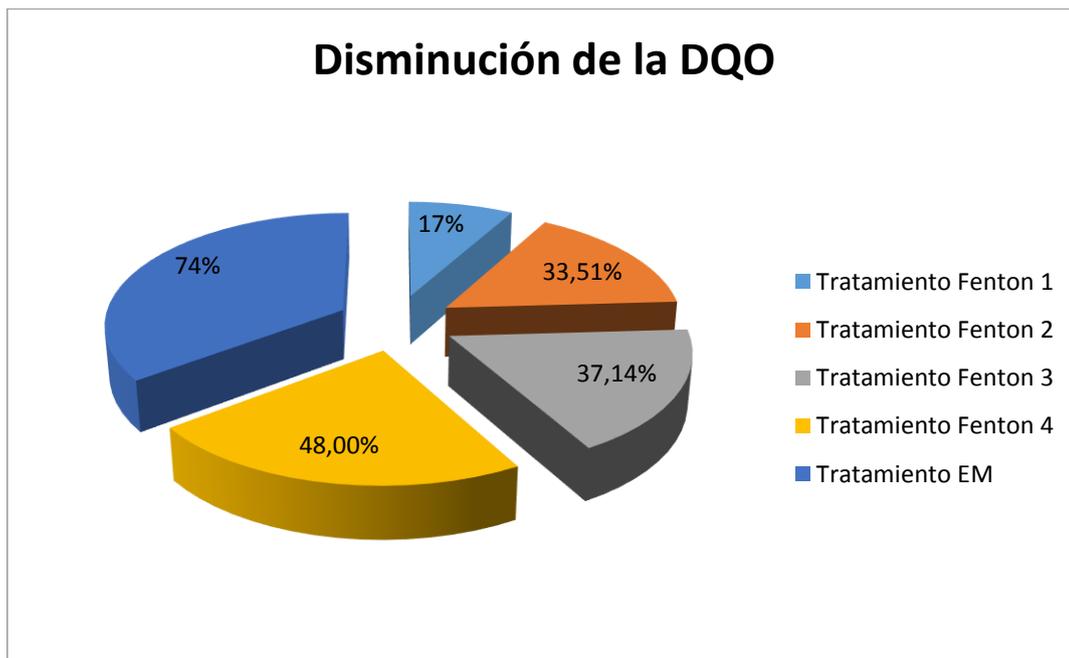


Gráfico 7-3 : Disminución de la DQO mediante reacción Fenton y EM

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

En el gráfico 3-7 se muestra el porcentaje de disminución de la DQO con un 17 % en la primera aplicación de reactivo fenton, llegando a bajar hasta un 74 % con la aplicación de EM lo que establece que los valores de DQO han descendido significativamente en poco tiempo en referencia al valor inicial.

3.2.7.3 Resultados globales de Nitrógeno amoniacal

Tabla 11-3: Resultados de N-NH₃ con los tratamientos aplicados

Fecha	Experimentación	Unidad	Resultado	Técnica	Observaciones
13/06/2016	Muestra 1	mg/L	875		Resultado de la muestra inicial
12/07/2016	Muestra 1	mg/L	570	Fenton	Se aplica 200 g de Fe ₂ SO ₄ y 200 mL de H ₂ O ₂
19/07/2016	Muestra 2	mg/L	485	Fenton	Se aumenta a 400 g de Fe ₂ SO ₄ y 400 mL de H ₂ O ₂
25/07/2016	Muestra 3	mg/L	462,50	Fenton	Sube la concentración a 600

					g de Fe ₂ SO ₄ y 600 mL de H ₂ O ₂
02/08/2016	Muestra 4	mg/L	331,25	Fenton	Se aumenta a 800 g de Fe ₂ SO ₄ y 800 mL de H ₂ O ₂
04/10/2016	Muestra 6	mg/L	140	EM	200 ml de EM en 200 L de lixiviado a tratar

Fuente: CESTTA

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

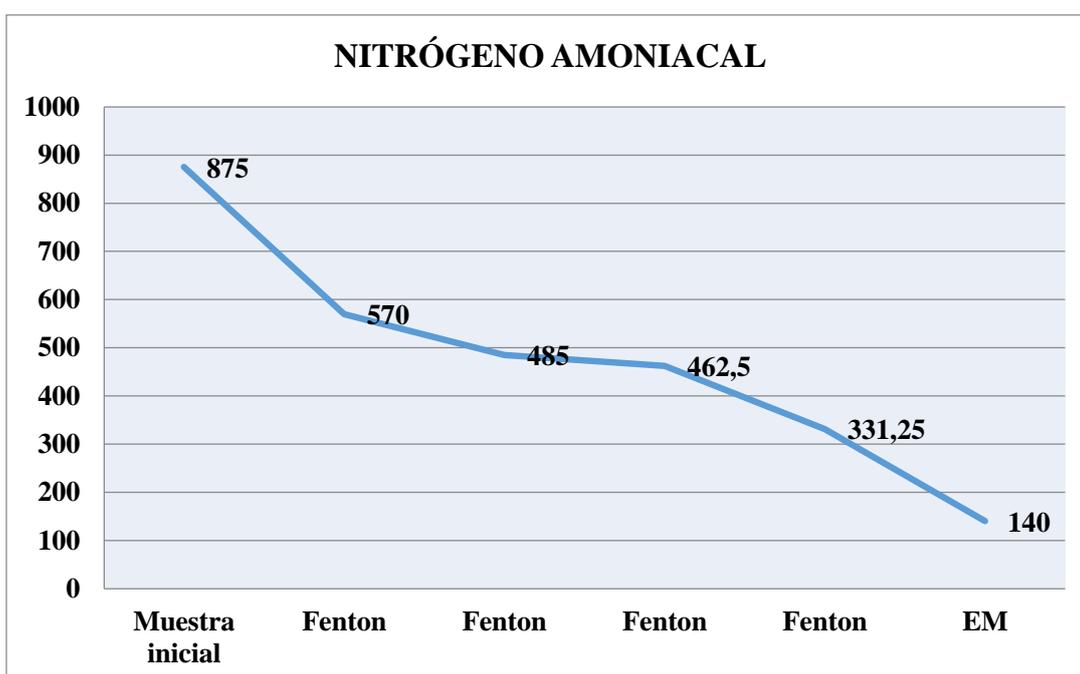


Gráfico 8-3: Disminución del N-NH₃ mediante la técnica Fenton y Microorganismos eficientes

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

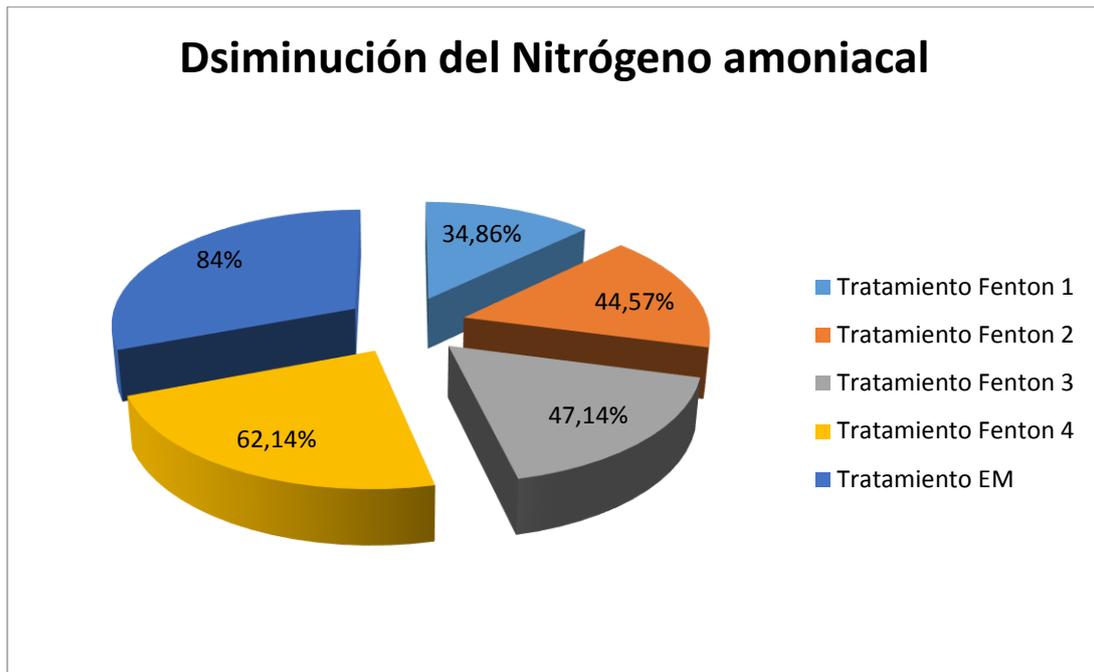


Gráfico 9-3: Porcentaje de Disminución del N-NH₃ mediante los tratamientos aplicados
Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Los valores de Nitrógeno amoniacal han bajado paulatinamente desde 34.86 % con tratamiento fenton y 84 % con los microorganismos eficientes lo que se manifiesta en la desaparición del olor desagradable del lixiviado mejorando su aspecto.

3.3 Análisis y discusión de resultados

3.3.1 Análisis de resultados

Técnica Fenton

La técnica Fenton es una reacción que se produce entre el peróxido de hidrógeno y sulfato de hierro que genera hidroxilos los cuales ayudan a descomponer la materia orgánica presente en el lixiviado y a eliminar la emanación de olores. Para que la reacción funcione el pH del lixiviado debe ser bajo es decir ácido, en este caso el pH del lixiviado que se trató tenía un valor de 6 para lo cual se utilizó ácido sulfúrico en una dosis de 400 ml que dio un pH de 4 resultado que permitió aplicar el reactivo Fenton. Se empleó dosis de 200, 400, 600, y 800 que se fueron aumentando paulatinamente cada 6 días. En las 200 primeras dosis de reactivo fenton se mantuvo herméticamente cerrado el bidón para que de mejores resultados, pero luego se abrió la tapa para que el nitrógeno amoniacal pueda eliminarse con mayor facilidad reduciendo así más el olor desagradable. Este proceso químico reduce la DBO₅ y DQO permitiendo mejorar la biodegradabilidad del lixiviado mediante la relación DBO₅/DQO, así se pudo

determinar la posibilidad de la aplicación de EM con un IB de 0.32 que significa que si puede emplearse un proceso biológico.

Tratamiento con Microorganismos eficientes

La aplicación de EM resultó muy eficiente con una sola aplicación bajó los valores de DBO₅, DQO y N-NH₃, lo que indica que se debe colocar las dosis correctas para una buena acción de los microorganismos eficientes. Se aplicó 200 ml de EM de acuerdo a la relación 1: 1000 es decir 1 ml de EM por cada 1000 ml de lixiviado a tratar, como se trabajó con 200 L de lixiviado se empleó este método. Como los EM adquiridos se encontraban en estado de latencia se tuvo que activarlos a través de la preparación de una solución con melaza de caña al 5 %, EM al 5 % y agua al 90 % para obtener un buen crecimiento de los EM y reducir los valores de los parámetros que se está trabajando.

Se consiguió un 84.31 % de reducción de la DBO₅, un 74 % de DQO y 84 % de N-NH₃ que demuestra una buena acción de los EM que posteriormente si se aplica otra dosis por el mismo lapso los resultados bajarían hasta llegar a los valores permisibles según el TULSMA.

3.3.2 Discusión de resultados

Los resultados de este trabajo de experimentación permiten comprobar la eficacia de los métodos aplicados al tratamiento de lixiviados como son reactivo fenton y microorganismos eficientes que han reducido los valores de demanda bioquímica de oxígeno en un 84 %, demanda química de oxígeno se ha disminuido un 74 % y un 84 % de nitrógeno amoniacal, lo cual indica una buena remoción de contaminantes y sobre todo la eliminación total del olor desagradable del lixiviado objetivo principal de estudio.

Con el método fenton se consiguió resultados variados con cada dosis aplicada de 200, 400, 600, y 800 g de sulfato de hierro y de 200, 400, 600 y 800 ml de peróxido de hidrógeno, se empezó con un valor de 8350 mg/L de DBO₅ que es un valor alto y se redujo a 2530 mg/L , con la DQO se trabajó con un valor inicial de 15400 mg/L y se minimizó a 8008 mg/L, así mismo el N-NH₃ se manejó con un valor de 875 mg/L y bajó a 331.25 mg/L esto se obtuvo solo con el tratamiento fenton. Por medio de estos resultados se pudo determinar el índice de biodegradabilidad del lixiviado que dio como dato 0.32 que según (Aguilar, 2009) se considera biodegradable superior a 0.30. Con este dato se pudo efectuar el tratamiento con EM que es un proceso netamente biológico.

Con el proceso de microorganismos eficientes se tuvo mejores resultados con tan solo una sola aplicación de 200 ml de EM activados, ya que la DBO₅ bajó de 8350 mg/L a 1310 mg/L, la

DQO de 15400 mg/L descendió a 4004 mg/L y el N-NH₃ con un dato inicial de 875 mg/L se minimizó a 140 mg/L, entonces sería muy factible aplicar otras dosis y mejorar los resultados.

Por medio de la obtención de estos valores se estableció el valor promedio, la desviación estándar y el porcentaje de remoción de los parámetros a tratar del lixiviado del Relleno Sanitario del Cantón Tena, lo cual permite comparar con otros estudios similares y conocer la efectividad de los medios puestos en práctica. (Tabla 3-12)

Tabla 12-3: Porcentaje de remoción de DBO₅, DQO y N-NH₃ del lixiviado del Relleno Sanitario “Chimbadero”

Parametro (mg/l)	Valor promedio	Valor minimo	Valor máximo	Desviación estándar	% de remoción
DBO ₅	3796	1310	8350	2422.93	84.3%
DQO	10018.67	4004	15400	3923.43	74 %
N-NH ₃	477.3	140	875	245.82	84 %

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

A través de este análisis estadístico se determinó el porcentaje de remoción con respecto a los resultados obtenidos de la caracterización inicial del lixiviado y de los valores logrados con los tratamientos dispuestos para los lixiviados, así se logró un 84 % DBO₅, 74 % DQO y 84 % N-NH₃.

En la siguiente tabla 3-13 se muestra los resultados del uso de la técnica Fenton para tratar lixiviados en la ciudad de Mérida y Tuxtla Gutiérrez

Tabla 13-2: Porcentaje de remoción de los parámetros del lixiviado a tratar en la ciudad de Mérida y Tuxtla Gutiérrez mediante Fenton/ adsorción

PARAMETRO (mg/L)	Ciudad de Mérida			Tuxtla Gutiérrez		
	LI	LF	% DE REMOCIÓN	LI	LF	%DE REMOCIÓN
DBO ₅	10193	44	99.57	457	8	98.25
DQO	861	36	95.82	9280	30	99.67
N-NH ₃	1797	15	99.17	2510	985	60.76

Fuente: (San Pedro Cedillo & Méndez Novelo, 2105)

En la ciudad de Mérida se utilizó la técnica Fenton para remediar lixiviados obteniendo porcentajes de remoción muy altos con 98.25 % de DBO₅, 99.67 % de DQO y 60.76 % N-NH₃, lo que indica que los resultados son aceptables y están dentro de los límites permisibles según las normas ambientales.

Tabla 14-3: Caracterización del lixiviado antes y después del tratamiento físico- químico propuestos con sus respectivos porcentajes de remoción en el relleno sanitario Carrasco en Bucaramanga- Colombia

PARAMETRO (mg/L)	LIXIVIADO CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN RESIDUAL	% DE REMOCIÓN
DBO ₅	7782.4	4134.4	46.87
DQO	14000	4183	70.12
N-NH ₃	1354.55	1194.97	12.41

Fuente: (Guarin Villamizar & Gomez Plata, 2013)

En el relleno sanitario Carrasco en Bucaramanga- Colombia se desarrolló la técnica Fenton para reducir cargas contaminantes entre ellas la DBO₅ con 46.87 % de remoción, DQO con una minimización del 70.12 % y el 12.41 % de remoción del N-NH₃.

Tabla 15-3: Porcentaje de remoción de DQO en lixiviados generados en el tiradero municipal de Guanajuato mediante la técnica Fenton

PARAMETRO (mg/L)	LIXIVIADO CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN RESIDUAL	% DE REMOCIÓN
DQO	8.02	1.33	83

Fuente: (Barquín Bravo & Cuevas Rodríguez, 2011)

La demanda bioquímica de oxígeno se redujo en 83 % con un valor inicial de 8.02 mg/L y un valor final de 1.33, esto se logró con las dosis óptimas de reactivo Fenton y las condiciones adecuadas para bajar los niveles de DQO.

Tabla 16-3: Porcentaje de remoción de contaminantes en aguas residuales la Granja Porcina de Zamorano, Honduras con EM

PARAMETRO (mg/L)	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	% DE REMOCIÓN
DBO ₅	21.573	4.84	98
DQO	53.530	1.762	97

Fuente: (Aguilar, 2012)

Se trató aguas residuales la Granja Porcina de Zamorano, Honduras con microorganismos eficientes lo cual resultó muy eficientes en la remoción de DBO₅ (98 %) y DQO (97%). Con este tipo de estudio se puede comparar al caso de tratamiento de lixiviados que terminó siendo una técnica biológica capaz de remover cargas contaminantes como DBO₅, DQO y N-NH₃.

3.4 Presupuesto de la técnica Fenton y Microorganismos eficientes

Tabla 17-3: Costos de la técnica Fenton

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Bidón de 208 L	1	\$ 41,50	\$ 41,50
Balanza digital	1	\$ 35	\$ 35
Vaso de precipitación de 200 (Ml)	1	\$ 5	\$ 5
Erlenmeyer de 2000 (mL)	1	\$ 8	\$ 8
Sulfato de hierro (g)	800	\$0.06	\$ 48
Peróxido de hidrógeno (mL)	800	\$ 0.02	\$ 16
Caja de tiras para medir el pH	1	\$ 20	\$ 20
COSTO TOTAL			\$ 173,50

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Tabla 18-3: Costo del tratamiento con EM

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Microorganismos eficientes (L)	1	\$ 15	\$ 15
Melaza (L)	1	\$ 0,50	\$0.50
Filtro	1	\$ 3	\$
COSTO TOTAL			\$18,50

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Tabla 19-3: Costo de materiales de campo

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Cooler	1	\$ 6	\$ 6
Una funda de hielo	6	\$ 1	\$6
Guantes	6 pares	\$ 0,20	\$1,20
Mascarilla	2	\$ 0,20	\$ 0,40
Recipiente para el muestreo	6	\$0,25	\$ 1,50
Libreta de apunte	1	\$ 1	\$ 1
Rastrillo	1	\$ 18	\$ 18
COSTO TOTAL			\$ 34,10

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Tabla 20-3: Costo de análisis de laboratorio

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
<ul style="list-style-type: none"> • Demanda bioquímica de oxígeno • Demanda química de oxígeno 	6	\$ 54,72	\$ 328,32

• Nitrógeno amoniacal			
COSTO TOTAL			\$ 328,32

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

Tabla 21-3: Costo total del proyecto

Ítem	Descripción	Total
1	Costos de la técnica Fenton	\$ 173,50
2	Costo del tratamiento con EM	\$17,50
3	Costo de materiales de campo	\$ 34,10
4	Costo de análisis de laboratorio	\$ 328,32
COSTO TOTAL		\$ 553.42

Realizado por: ALVARADO, Natali. 2016

CONCLUSIONES

- La técnica Fenton y Microorganismos eficientes son métodos muy efectivos para tratar lixiviados y aguas residuales con altos valores de DBO₅, DQO y N-NH₃.
- Se logró reducir los olores desagradables que producía el lixiviado mediante el reactivo Fenton que se aplicó como un pre-tratamiento a un pH de 4, esto ayudó a mejorar su aspecto y color.
- Las dosis óptimas de reactivo Fenton fueron de 200 g de sulfato de hierro y 200 ml de peróxido de hidrógeno aplicadas al lixiviado con pH 4 es decir en medio ácido para excelentes resultados, para lo cual se usó ácido sulfúrico ya que el lixiviado presentaba un pH de 6 y esto podía dificultar el proceso de reacción.
- Para los microorganismos eficientes se utilizó una dosis óptima de 200 ml de EM activado a un pH de 4, para lo cual se utilizó la relación 1: 1000, es decir, 1 ml de EM activado por cada ml de lixiviado a tratar.
- La técnica Fenton permitió que el lixiviado sea más biodegradable con un DBO₅ de 2530 mg/L y DQO de 8008 mg/L, cuyo resultado de 0.32 determinó el tratamiento con microorganismos eficientes.
- Mediante la aplicación de los EM se minimizó los valores de DBO₅ a 1310 mg/L, DQO se redujo a 4004 mg/Ly N-NH₃ a 140 mg/L, se evidencia que el método biológico es eficiente para manejar lixiviados.
- Las dosis óptimas de reactivo Fenton y EM removieron en un 84.3 % (1310 mg/L) de DBO₅, un 74 % (4004 mg/L) de DQO y 84 % (140 mg/L) de N-NH₃.

RECOMENDACIONES

- Con los resultados obtenidos y conociendo la eficiencia de los procesos utilizados a los lixiviados, es recomendable que los Municipios apliquen en los rellenos sanitarios estas técnicas que resultan poco costosas y son efectivas en menos tiempo.
- Es importante antes de aplicar la técnica Fenton cerciorarse que el pH sea bajo <3 para que se genere una adecuada reacción y se obtenga mejores resultados.
- Utilizar las dosis óptimas de reactivo Fenton para evitar cualquier alteración, ya que un exceso puede provocar un atrapamiento de OH radicales que van a descomponer la materia orgánica.
- Antes de aplicar un tratamiento biológico es importante realizar un pre-tratamiento con método físico-químico, esto es con el fin de mejorar las condiciones de biodegradabilidad y anticipar si el proceso biológico va a resultar o simplemente no es recomendable.
- Para dar mayores resultados y alcanzar los límites permisibles del TULSMA es aconsejable utilizar otras dosis de microorganismos eficientes, ya que por motivos de tiempo solo se aplicó una sola vez por casi un mes.

BIBLIOGRAFÍA:

1. **COLOMER MENDOZA, Francisco Jose & GALLARDO IZQUIERDO, Antonio.** *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. México: Universidad Politécnica de Valencia, 2009, pp. 91-102.
2. **DÁVILA CIFUENTES, Alexandra Marcela.** Estudio del tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario de lago agrio [en línea] (tesis) universidad central del ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química. Quito, Ecuador.2013.pp: 94-96. [Consulta: 28 agosto 2016.]. Disponible en : <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1501>
3. **DE LA TORRE, Francisco.** Estudio de impacto ambiental del relleno sanitario del cantón tena. [En línea] 03 2013. [Citado el: 08 16, 2016.]. Disponible en: <https://maenapo.files.wordpress.com/2015/03/esia-gestion-de-residuos1.pdf>
4. **DROPPELMANN , Carmen V & OETTINGER, Michael.** “Tratamiento en Lodo Activado del Lixiviado de un Relleno Sanitario”. *Información Tecnológica* [En línea], 2009 (Santiago-Chile) 20(1), pp. 11-16 [Consulta: 23 Agosto 2016] ISSN 0718-0764. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n1/art03.pdf>
5. **GUARIN VILLAMIZAR, Oscar D & GOMEZ PLATA, Sandra Milena.”** Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el carrasco”. *Innovaciencia*[En línea], 2013, (Colombia) 1(1), pp: 23-27.[Consulta 13 Agosto 2016]. ISSN 2346-075X. Disponible en: http://revistas.udes.edu.co/site/index.php/innovaciencia/article/view/212/pdf_5
6. **HOYOS, A.A.”** Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente” *Journal de Ciencia e Ingeniería* [En línea], 2010, (Colombia) 2(2), pp.42-45. [Consulta: 2 julio 2016]. Disponible en : <http://jci.uniautonoma.edu.co/2010/2010-7.pdf>

7. **JARAMILLO, J. 2012.** *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales* [En línea]. Universidad de Antioquia, Colombia: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2012. [Consulta: 20 septiembre 2016]. Disponible en:
<http://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>
8. **KISS KÖFALUSI, G & ENCARNACIÓN AGUILAR, G.** “Los productos y los impactos de la descomposición de los residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final”.*Gaceta Ecológica* [En línea], 2006 , (México) (79), pp. 43-44. [Consulta: 06 junio 2016]. ISSN 1405-2849. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907903>
9. **MARTÍNEZ LOPEZ, A.G & PADRÓN-HERNÁNDEZ, W.** “*Alternativas del manejo de lixiviados*”.*Avances en química* [En línea], 2014, (Venezuela) 9(1), pp: 37-47.[Consulta: 11 septiembre 2016]. ISSN 1856-5301. Disponible en :
<http://www.redalyc.org/pdf/933/93330767005.pdf>
10. **MONTES, C.** *Régimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos*. Colombia: Universidad Externado de Colombia, 2009, pp.20
11. **NÁJERA, H & CASTAÑÓN, J.** "Caracterización y tratamiento físicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México". *I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos* [En línea],2009, (México) 1(1), pp. 1-9. [Consulta: 10 octubre 2016].
12. **OISCA & BID.** *Manual Práctico de Uso de EM* [En línea]. Japón . 2009.[Consulta: 2016-10-11]. Disponible en:
http://www.emuruguay.org/images/Manual_Practico_Uso_EM_OISCA_BID.pdf
13. **SALVUCC, E.** “*Crecimiento microbiano*”. *Hacia una nueva biología* [En línea] ,2010 [Consulta: 25 septiembre 2016]. Disponible em:
[https://esalvucci.wordpress.com/crecimiento-microbiano/.](https://esalvucci.wordpress.com/crecimiento-microbiano/)

- 14. SAN PEDRO CEDILLO, L & MÉNDEZ NOVELO, R. I.** “*Remoción de contaminantes mediante reacción fenton/adsorción*”. Asociación mexicana de ingeniería ciencia y gestión ambiental, A.C. AMICA [En línea] ,2105, (México), pp.2. [Consulta: 2 julio 2016]. Disponible en:
<http://www.amica.com.mx/issn/archivos/141.pdf>
- 15. TOC AGUILAR, René Manuel.** Efecto de los Microorganismos Eficientes (ME) en las Aguas Residuales de la Granja Porcina de Zamorano, Honduras. [En línea](tesis) Zamorano, Honduras. 2012. pp. 3-11.[Consulta: 28 octubre 2016] . Disponible en:
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1039/1/T3265.pdf>.
- 16. TULSMA. 2013.** *Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes.*

ANEXOS

ANEXO A: Piscinas de lixiviados en tratamiento o lagunas de oxidación



Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

ANEXO B: Lixiviado en percolación



Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

ANEXO C: Cantidad de lixiviado a tratarse en el bidón



Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

ANEXO D: Microorganismos eficientes comercial



Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

ANEXO E: Filtración del lixiviado después de la aplicación de EM



Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

ANEXO F: Aplicación de Microorganismos Eficientes



Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

ANEXO G: Resultados con la técnica Fenton-tratamiento 1

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
--	--

INFORME DE ENSAYO No.	777
ST:	04 - 16 ANÁLISIS DE LIXIVIADOS
Nombre Peticionario:	N.A.
Atm.	Natali Alvarado
Dirección:	Sector 21 de Enero Tena - Napo
FECHA:	12 de Julio del 2016
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2016/07/01 - 15:08
FECHA DE MUESTREO:	2016/06/30 - 13:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2016/07/01 - 2016/07/12
TIPO DE MUESTRA:	Lixiviado
CÓDIGO CESTTA:	LAB- L- 05-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Relleno sanitario Chimbadero
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico - Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Natali Alvarado
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0°C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Nitrógeno Amoniacal	EPA Water Waste No 350.2	mg/L	570	-
Demanda Química de Oxígeno	Standard Methods No. 5220 D	mg/L	12780	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	Standard Methods No. 5210 B	mg/L	4160	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO H: Resultados con la técnica Fenton-tratamiento 2

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 ½. ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183
---	---

INFORME DE ENSAYO No. 800
ST: 05 – 16 ANÁLISIS DE LIXIVIADOS
Nombre Peticionario: N.A.
Atn. Natali Alvarado
Dirección: Sector 21 de Enero
Tena – Napo

FECHA: 19 de Julio del 2016
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2016/07/08 – 08:54
FECHA DE MUESTREO: 2016/06/07 – 18:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2016/07/08 - 2016/07/19
TIPO DE MUESTRA: Lixiviado
CÓDIGO CESTTA: LAB- L- 06-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Relleno sanitario Chimbadero
ANÁLISIS SOLICITADO: Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Natali Alvarado
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0°C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Nitrógeno Amoniacal	EPA Water Waste No 350.2	mg/L	485	-
Demanda Química de Oxígeno	Standard Methods No. 5220 D	mg/L	10240	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	Standard Methods No. 5210 B	mg/L	3310	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-16

Página 1 de 1
Edición 0

ANEXO I: Resultados con la técnica Fenton-tratamiento 3

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
--	--

INFORME DE ENSAYO No.	846
ST:	06 – 16 ANÁLISIS DE LIXIVIADOS
Nombre Peticionario:	N.A.
Atn.	Natali Alvarado
Dirección:	Sector 21 de Enero Tena – Napo
FECHA:	25 de Julio del 2016
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2016/07/14 – 17:00
FECHA DE MUESTREO:	2016/06/07 – 07:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2016/07/14 - 2016/07/25
TIPO DE MUESTRA:	Lixiviado
CÓDIGO CESTTA:	LAB- L- 07-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Relleno sanitario Chimbadero
ANÁLISIS SOLICITADO:	Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Natali Alvarado
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0°C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Nitrógeno Amoniacal	EPA Water Waste No 350.2	mg/L	462,50	-
Demanda Química de Oxígeno	Standard Methods No. 5220 D	mg/L	9680	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	Standard Methods No. 5210 B	mg/L	3116	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

ANEXO J: Resultados con la técnica Fenton-tratamiento 4

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
--	--

INFORME DE ENSAYO No. 877
ST: 07 – 16 ANÁLISIS DE LIXIVIADOS
Nombre Peticionario: N.A.
Atn. Natali Alvarado
Dirección: Sector 21 de Enero
Tena – Napo

FECHA: 02 de Agosto del 2016
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2016/07/22 – 15:10
FECHA DE MUESTREO: 2016/07/22 – 09:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2016/07/22 - 2016/08/02
TIPO DE MUESTRA: Lixiviado
CÓDIGO CESTTA: LAB- L- 09-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Relleno sanitario Chimbadero .
ANÁLISIS SOLICITADO: Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Natali Alvarado
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0°C

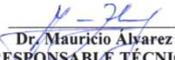
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Nitrógeno Amoniacal	EPA Water Waste No 350.2	mg/L	331,25	-
Demanda Química de Oxígeno	Standard Methods No. 5220 D	mg/L	8008	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	Standard Methods No. 5210 B	mg/L	2530	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- El cliente acepta el ingreso de las muestras pasadas las 24 horas de muestreo.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO K: Resultados Microorganismos Eficientes

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
--	--

INFORME DE ENSAYO No.	1108
ST:	11 – 16 ANÁLISIS DE LIXIVIADOS
Nombre Peticionario:	N.A.
Atn.	Natali Alvarado
Dirección:	Sector 21 de Enero Tena – Napo
FECHA:	04 de Octubre del 2016
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2016/09/21 – 16:18
FECHA DE MUESTREO:	2016/09/21 – 09:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2016/09/21 - 2016/10/04
TIPO DE MUESTRA:	Lixiviado
CÓDIGO CESTTA:	LAB- L- 13-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Relleno sanitario Chimbadero
ANÁLISIS SOLICITADO:	Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Natali Alvarado
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0°C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Nitrógeno Amoniacal	EPA Water Waste No 350.2	mg/L	140	-
Demanda Química de Oxígeno	Standard Methods No. 5220 D	mg/L	4004	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	Standard Methods No. 5210 B	mg/L	1310	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarado
RESPONSABLE TÉCNICO



Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-16

Página 1 de 1
 Edición 0

ANEXO L: Resultados técnica Fenton y Microorganismos Eficientes



Fuente: ALVARADO, Natali. 2016

FICHA TECNICA

AGROMIX (EMs – MICROORGANISMOS EFICIENTES)

DESCRIPCION:

Fórmula:

Cianobacterias, Levaduras, Lactobacillus

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS

Olor: frutal

Forma: liquido

Color: MIEL

Valor de pH: 5 - 7

COMPOSICION GARANTIZADA:

AGROMIX (Ems- MICROORGANISMOS EFICIENTES), posee una concentración específica de microorganismos benéficos EFICIENTES, capaces de suministrar proteínas, aminoácidos, minerales, vitaminas y enzimas necesarias para el desarrollo de la planta, eficiencia del suelo, remediación ambiental, prevención de enfermedades, etc.

HONGOS $\geq 1 * 10^9$ unidades formadoras de propágulos viables (esporas, antibioticos, metabolitos y enzimas necesarias que estimularan a la planta para un crecimiento fuerte y una mayor producción de frutos. Además de emanar capaces de ayudar en remediación ambiental, prevención de enfermedades, etc.

BACTERIAS $\geq 1 * 10^9$ unidades formadoras de colonia viables (cuerpos vegetativos, endosporas, antibióticos, metabolitos y enzimas necesarias que estimularan a la planta para un crecimiento fuerte y una mayor producción de frutos. Además de emanar capaces de ayudar en remediación ambiental, prevención de enfermedades, etc.

MECANISMO DE ACCION:

- *Cianobacterias*, aportan proteínas, aminoácidos, minerales, pigmentos, vitaminas, polisacáridos.

Cianobacterias, contribuyen al aumento de la clorofila en las hojas y retrasan el envejecimiento.

Cianobacterias contienen además cantidades significativas de potasio, cobre, magnesio, manganeso, fósforo, selenio, sodio y zinc.

Cianobacterias, contienen oligosacáridos, manitol, fucoïdan, almidón, celulosa y hemicelulosa.

Cianobacterias contribuyen de manera significativa a la desmineralización, desalinización y desintoxicación del suelo.

Por otra parte, los restos de pesticidas y sustancias tóxicas son hidrolizados y degradados por enzimas que aportan las propias cianobacterias, eliminándose de esta forma más rápidamente.

- *Levaduras*, sintetizan sustancias antimicrobiales y otras sustancias útiles para el crecimiento de las plantas.

Levaduras, producen sustancias bioactivas como hormonas y enzimas, promueven la división activa de células y raíces.

- *Lactobacillus*, producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras.

El ácido láctico que producen estas bacterias, es un compuesto altamente esterilizante que suprime microorganismos nocivos.

Lactobacillus, mejora la descomposición de la materia orgánica. Promoviendo la fermentación y descomposición de materiales como lignina y celulosa.

OBJETIVOS BIOLÓGICOS

El objetivo biológico más importante de este producto es renovar el suelo, generando mayor producción de nutrientes como: sales, minerales, vitaminas, etc, que servirán de alimento para las plantas.

Estos EMs (MICROORGANISMOS EFICIENTES), serán capaces de prevenir y controlar enfermedades y plagas que se desarrollan en los diferentes cultivos.

Estos microorganismos serán capaces de disminuir el nivel fitotóxico existente en el suelo, haciendo de éste un más apto para el cultivo. Evitando problemas de dureza, de falta o exceso de agua, esterilidad del suelo, etc.

BENEFICIOS Y VENTAJAS

Al usar este producto, los beneficios y ventajas son los siguientes:

- Renueva el suelo, lo hace más apto para el cultivo
- Reducir los efectos de fitotoxicidad
- Mayor producción de nutrientes
- Previene y controla el ataque de enfermedades

- Mayor resistencia frente a estrés hídrico en la planta
- No contamina el medio ambiente
- No es toxico para el ser humano
- No es toxico para animales
- No existe riesgo de fitotoxicidad
- Son solubles en agua
- No contamina el medio ambiente
- Son productos económicos

DOSIS Y APLICACIÓN

1 litro/ha (dependiendo del cultivo)

Se disuelve el líquido en 100 litros de agua como solución madre.

“Debido a que se trata de un organismo vivo, es necesario que exista un mínimo de materia orgánica en el suelo, si esta se encuentra baja, se recomienda repetir al menos una vez por semana”

Formas de aplicación EDAFICA Y FOLIAR

Vía drench

Vía aspersión

Fertirriego

Otras

Instrucciones de uso

Agite bien el producto antes de su uso

Utilice guantes para aplicación

Evite el contacto con ojos, nariz y boca

Almacenamiento

Ambiente fresco y seco

No mayor a 20°C

Humedad relativa de 70-80%.

ESTABILIDAD

El producto permanece estable durante 90 días bajo condiciones de refrigeración

El producto permanece estable durante 45 – 60 días a condiciones antes mencionadas de almacenamiento

AVISO AL COMPRADOR

El fabricante garantiza la composición y calidad del producto. No se responsabiliza por el uso imprudente, excesivo o indebido por parte del consumidor.

CATEGORIA TOXICOLOGICA:

IV (Franja verde)

PRESENTACIONES

Frascos y fundas de 500 ml

Frascos y fundas de 1 L

Galones

Tanques de 100 L

Tanques de 200 L

Tanques de 1000 L

FORMULADOR Y COMERCIALIZADOR:

AGRORGANIC S.A.

Km 13 ½ vía Quevedo

Santo Domingo - Ecuador

Teléfono: (593) 978609264

M&V biosoluciones

Santa Rita

Quito - Ecuador

Teléfono: (593) 984315998

