

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSTGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

SECCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS

Efecto de los microorganismos eficaces en la calidad físicoquímica y microbiológica de los lixiviados del relleno sanitario municipal de Cajamarca

Presentado por:

Marlon Antonio Vásquez Chacón

Asesor:

Dr. Segundo Berardo Escalante Zumaeta

Cajamarca – Perú

2017

COPYRIGHT © 2017 by

Marlon Antonio Vásquez Chacón

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSTGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

SECCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS

Efecto de los microorganismos eficaces en la calidad fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados del relleno sanitario municipal de Cajamarca

Tesista: Marlon Antonio Vásquez Chacón

Comité Científico

Dr. Segundo Berardo Escalante Zumaeta
Asesor

Dr. Edín Alva Plasencia
Miembro del Comité Científico

Dra. Consuelo Plasencia Alvarado
Miembro del Comité Científico

M. Cs. Atilio Cadenillas Martínez
Miembro del Comité Científico

Cajamarca – Perú

2017

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi esposa Lorena que fue motivándome día a día para continuar creciendo profesionalmente.

A mi pequeño Piero Gabriel, quién a su corta edad me ha hecho experimentar lo maravilloso de vivir y ha colmado mi vida de un inexplicable e inigualable amor.

Agradecimiento

A mi asesor el Dr. Berardo Escalante Zumaeta por su tiempo, dedicación y amplio conocimiento para la elaboración de la presente investigación.

De manera especial a la Ing. M. Cs. Gladys Licapa Redolfo y sus alumnos del Quinto Ciclo de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte Sede Cajamarca, por su valioso apoyo durante la fase experimental del presente estudio.

RESUMEN

Uno de los problemas más importantes que conlleva el diseño y mantenimiento de un relleno sanitario es la gestión de los lixiviados que se generan. La investigación ejecutada consistió en la aplicación de microorganismos eficaces ME (cultivo mixto de bacterias fototróficas, ácido lácticas y levaduras) con frecuencias de tiempo de 15 y 20 días y dosis de 200 y 300 mL de ME a las muestras de lixiviado del relleno sanitario de la ciudad de Cajamarca. La adaptación de los microorganismos en el lixiviado fue exitosa e incrementaron su densidad poblacional en 48,4% para las levaduras; 67,1% las bacterias ácido lácticas y 19,7% las bacterias fototróficas. Las aplicaciones quincenales de ME al lixiviado, indujo una disminución de 0,07 mg.L⁻¹ en la cantidad de oxígeno disuelto; en tanto la incorporación de 200 mL de ME, incrementó el pH, de 7,5 a 8,27; la temperatura, de 19,6 a 22,03 °C; la cantidad de sólidos suspendidos totales, de 126 a 887,95 mg.L⁻¹; el oxígeno disuelto, de 0.2 a 0.28 mg.L⁻¹; el valor de la DBO₅, de 81,2 a 6 569,07 mg.L⁻¹, la población de Coliformes totales, de 79 a 170 000 NMP y la población de Coliformes termotolerantes, hasta en 2 722 veces comparado con el testigo. Para el caso de los sólidos disueltos totales y nitratos, no se tuvo efecto estadístico alguno.

Palabras clave: microorganismos eficaces ME, lixiviado, parámetro fisicoquímico, parámetro microbiológico.

ABSTRACT

One of the major problems associated with the design and maintenance of a landfill is the management of the leachate generated. The research carried out consisted of the application of effective microorganisms EM (Mixed culture of phototrophic bacteria, lactic acid and yeasts) with frequencies of 15 and 20 days and 200 and 300 mL doses of effective microorganisms to the samples of leachate of the municipal landfill of Cajamarca. The adaptation of the microorganisms in the leachate was successful and increased its population density in 48.4% for yeasts. 67.1% lactic acid bacteria and 19.7% phototrophic bacteria. The biweekly applications of EM to the leachate induced a decrease of 0.07 mg.L⁻¹ for the dissolved oxygen amount. While the incorporation of 200 mL of EM increased the pH from 7.5 to 8.27. The temperature, from 19.6 to 22.03 ° C. The amount of total suspended solids, from 126 to 887.95 mg.L⁻¹. The dissolved oxygen, from 0.2 to 0.28 mg.L⁻¹. The value of BOD₅, from 81.2 to 6 569.07 mg.L⁻¹. The total coliform population, from 79 to 170,000 MPN and the population of thermo-tolerant Coliform, up to 2 722 times compared to the control. In the case of total dissolved solids and nitrates, no statistical effect was observed.

Keywords: effective microorganisms EM, leached, physicochemical parameter, microbiological parameter

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INDICE GENERAL	viii
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Justificación de la investigación	15
1.4 Objetivos	16
1.5 Hipótesis	16
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. Residuos sólidos	18
2.2. Relleno sanitario	19
2.2.1. Relleno sanitario manual	19
2.2.2. Relleno sanitario mecanizado	19
2.2.3. Relleno semi mecanizado	20
2.3. Lixiviados	21
2.4. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado	23
2.4.1. Parámetros fisicoquímicos	23
2.4.2. Parámetros microbiológicos	28
2.5. Microorganismos eficaces	29
2.6. Composición de los microorganismos eficaces	30
2.6.1. Bacterias fototróficas (<i>Rhodopseudomonas palustris</i>)	31
2.6.2. Bacterias ácido lácticas (<i>Lactobacillus spp.</i>)	32
2.6.3. Levaduras (<i>Saccharomyces sp</i>)	33
2.7. Funcionamiento de los microorganismos eficaces (ME)	34
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODO	35
3.1. Materiales	35
3.1.1. Ubicación del experimento	36
3.1.2. Descripción de la gestión de aguas lixiviadas del relleno	38
3.1.3. Materiales, equipos, insumos y otros	38
3.1.3.1. Material Experimental	38
3.1.3.2. Equipos	38
3.1.3.3. Instrumental de laboratorio	40

3.1.3.4. Otros	41
3.2. Método	42
3.2.1. Población, muestra y unidad de análisis	42
3.2.2. Tipo de la investigación	43
3.2.3. Factores, niveles y tratamientos en estudio	43
3.2.4. Modalidad y momentos de aplicación de los ME activados	44
3.2.5. Toma y envío de muestras	48
3.2.6. Mediciones realizadas	48
3.2.7. Diseño experimental	49
3.2.8. Análisis de datos	49
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1. Tipo y densidad poblacional de microorganismos eficaces antes del periodo experimental	50
4.2. Tipo y densidad poblacional de microorganismos eficaces, durante la fase experimental	52
4.3. Tipo y densidad poblacional de ME después de la fase experimental	56
4.4. Parámetros fisicoquímicos del lixiviado	59
4.4.1. Potencial hidrógeno (pH)	60
4.4.2. Temperatura	63
4.4.3. Sólidos suspendidos totales (SST)	65
4.4.4. Sólidos disueltos totales (SDT)	68
4.4.5. Oxígeno disuelto (OD)	69
4.4.6. Nitratos	73
4.4.7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	74
4.4.8. Coliformes totales	78
4.4.9. Coliformes termotolerantes	80
4.4.10. Olor	82
4.4.11. Color	82
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
LISTA DE REFERENCIAS	lxxxix
APÉNDICE	xcv
ANEXOS	cxvii

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS	Pág.
Figura 1. Composición de los microorganismos eficaces ME.	31
Figura 2. Ubicación del proyecto.	36
Figura 3. Sistema de drenaje de lixiviado de un relleno sanitario.	37
Figura 4. Poza de almacenamiento de lixiviados del relleno sanitario Cajamarca.	38
Figura 5. Modelo de los módulos experimentales.	41
Figura 6. Proporción de insumos para la activación del ME.	45
Figura 7. Dosis y frecuencias de aplicación de ME en cada módulo de experimentación	47
Figura 8. Poblaciones de microorganismos en la solución activada de ME Cámara de Neubauer (400 X)	51
Figura 9. Poblaciones de ME en el lixiviado durante la experimentación Cámara de Neubauer (400 X)	56
Figura 10. Poblaciones de ME después de la fase de experimentación Cámara de Neubauer (400 X)	58
Figura 11. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>dosis</i> de ME en el pH del lixiviado.	61
Figura 12. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>dosis</i> de ME en la temperatura (°C) del lixiviado.	64
Figura 13. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>dosis</i> de ME en los SST del lixiviado.	67
Figura 14. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>frecuencia de aplicación</i> de ME en el OD del lixiviado	71
Figura 15. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>dosis</i> de ME en el OD del lixiviado.	73
Figura 16. Prueba de Duncan para el mejor tratamiento y cantidad DBO ₅	76
Figura 17. Prueba de Duncan para el mejor tratamiento y cantidad Coliformes Totales.	79
Figura 18. Prueba de Duncan para el mejor tratamiento y cantidad Coliformes Termotolerantes.	81
Figura 19. Variación del color del lixiviado del inicio de la experimentación hasta el día 120.	85

TABLAS		Pág.
Tabla 1.	Contaminación de los lixiviados durante la fase de fermentación ácida y metanogénica.	22
Tabla 2.	Tratamientos en estudio.	43
Tabla 3.	Parámetros físicoquímicos y microbiológicos evaluado en lixiviado	49
Tabla 4.	Tipo y densidad poblacional de microorganismos en la solución activada	50
Tabla 5.	Tipo y densidad poblacional de Microorganismos en el lixiviado tratado con 200 mL de ME. A 3 horas de experimentación.	53
Tabla 6.	Tipo y densidad poblacional de Microorganismos en el lixiviado tratado con 300 mL de ME. A 3 horas de experimentación.	53
Tabla 7.	Tipo y densidad poblacional de Microorganismos en el lixiviado tratado con 200 mL de ME. Datos registrados a los 60 días de experimentación	55
Tabla 8.	Tipo y densidad poblacional de Microorganismos en el lixiviado tratado con 300 mL de ME. Datos registrados a los 60 días de experimentación.	55
Tabla 9.	Tipo y densidad poblacional de Microorganismos en el lixiviado tratado con 200 mL de ME. Datos registrados a los 120 días de experimentación.	57
Tabla 10.	Tipo y densidad poblacional de Microorganismos en el lixiviado tratado con 300 mL de EM. Datos registrados a los 120 días de experimentación	58
Tabla 11.	Análisis de varianza (ANOVA) para el pH del lixiviado.	60
Tabla 12.	Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>dosis</i> de ME en el pH del lixiviado.	61
Tabla 13.	ANOVA para la variable Temperatura (°C) del lixiviado.	63
Tabla 14.	Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>dosis</i> de ME en la temperatura (°C) del lixiviado.	64
Tabla 15.	ANOVA para la variable SST del lixiviado.	65
Tabla 16.	Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>dosis</i> de ME en los SST del lixiviado.	67
Tabla 17.	ANOVA para la variable Solidos Disueltos Totales (SDT) del lixiviado.	69
Tabla 18.	ANOVA para la variable Oxígeno Disuelto (OD) en el lixiviado.	69
Tabla 19.	Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>frecuencia de aplicación</i> de ME en el OD del lixiviado.	70
Tabla 20.	Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la <i>dosis</i> de ME en el OD del lixiviado.	72
Tabla 21.	ANOVA para la variable Nitratos.	74

Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable DBO ₅ .	75
Tabla 23. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para la interacción de los factores en estudio	75
Tabla 24. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Coliformes Totales.	78
Tabla 25. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para la interacción de los factores en estudio (Frecuencia y dosis)	79
Tabla 26. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Coliformes Termotolerantes.	80
Tabla 27. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para la interacción de los factores en estudio	80
Tabla 28. Evaluación sensorial del olor del lixiviado contenido en los módulos de experimentación.	83
Tabla 29. Evaluación sensorial del color del lixiviado contenido en los módulos de experimentación.	84

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Se ha estimado que el promedio mundial de producción de residuos sólidos por persona se encuentra por encima de un kilogramo diario (Muñoz 2009), representando uno de los problemas ambientales más álgidos que contribuye al deterioro ambiental del planeta tierra (OMS 2012). En el Perú, el Registro Nacional de Municipalidades del año 2010, señala que 1631 (88.9%) municipalidades distritales realizaron el recojo de residuos sólidos, de cuyo total, el 17.4 % los dispuso en rellenos sanitarios (INEI 2011), como consecuencia de las reacciones químicas y biológicas que suceden en su interior, se producen gases y lixiviados; los primeros son captados y evacuados mediante chimeneas, mientras los contaminantes lixiviados, son derivados a través de zanjas o drenes, hacia pozas impermeabilizadas, ubicadas en la parte inferior de los rellenos sanitarios, donde son acumulados para su posterior tratamiento.

Los lixiviados son considerados como el principal y gran contaminante generado en un relleno sanitario y se tienen origen en la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación del agua de lluvia a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en fase de descomposición (Mironel 2008).

La cantidad de lixiviados generado, guarda relación directa con el área que ocupa el relleno sanitario, su tiempo de operación, el tipo de residuo que se dispone, la precipitación y el modo de operación (manual, mecánico o combinado). En la composición de estos lixiviados destaca la presencia de compuestos orgánicos, metales pesados y sedimentos (Roben 2002) con un grado variable de toxicidad para los seres vivos, lo cual justifica su tratamiento a través del uso de piscinas aireadas, lagunas, precipitación química y otros métodos, que por lo general son de alto costo. Es por ello, que, la mayoría de municipalidades que cuentan con rellenos sanitarios, optan por recircular el lixiviado en las celdas donde se disponen los residuos sólidos, sin ningún tratamiento, pudiendo causar impactos negativos de gran magnitud e intensidad para el medio ambiente. Un claro ejemplo de esta deficiencia tecnológica, sucede en el relleno sanitario municipal de la ciudad de Cajamarca, a donde diariamente ingresan en promedio 140 toneladas de residuos sólidos, los cuales son dispuestos en las celdas de tratamiento que ocupan un área de 3,5 hectáreas, y los lixiviados drenan y acumulan en una poza impermeabilizada con geo membrana con una capacidad de almacenamiento de 10 000 m³. Esta poza tiene una cobertura temporal tipo techo para evitar el ingreso de las aguas de lluvia (Municipalidad Provincial Cajamarca 2008).

Ante la problemática planteada se presenta la necesidad de investigar nuevos métodos de tratamiento para reducir la carga de contaminantes de los lixiviados generados en un relleno sanitario municipal. Uno de estos métodos se relaciona con el uso de los Microorganismos Eficaces (ME) en el tratamiento de lixiviados que se generan en los rellenos sanitarios. Este método se basa en una biotecnología probiótica natural, basada en el uso de una mezcla de organismos benéficos (bacterias fototróficas, bacterias ácido

lácticas y levaduras altamente eficientes), no nocivos ni patógenos pero muy efectivos en el tratamiento de aguas y efluentes (Wood 2002).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de los Microorganismos Eficaces en la calidad fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados del relleno sanitario municipal de Cajamarca?

1.3. Justificación de la investigación

Diversas investigaciones destacan el uso de los microorganismos eficaces como inoculantes de utilidad en el campo agropecuario, así como en procesos de biorremediación ambiental (García 2006), biodegradación de contaminantes orgánicos persistentes en el suelo, agua y lugares prístinos, neutralización de malos olores (Mauz 2006) y descomposición de la materia orgánica (EMPROTEC 2004), entre otros. Sin embargo, su utilidad en el tratamiento de los lixiviados generados en un relleno sanitario, está escasamente documentada, razón por la cual, se planteó la presente investigación como medio para evidenciar la contribución de los Microorganismos Eficaces al mejoramiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los lixiviados, resultados que serán de utilidad para las municipalidades que dispongan sus residuos sólidos en rellenos sanitarios; así como empresas ligadas a la gestión integral de residuos sólidos y el tratamiento de aguas lixiviadas, generadas en rellenos sanitarios y antiguos botaderos de residuos sólidos a través de una biotecnología económica, natural, segura, fácil de usar y de alta eficiencia.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de los microorganismos eficaces, en la calidad fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados del relleno sanitario municipal de Cajamarca.

Objetivos específicos

1. Cuantificar las poblaciones de microorganismos eficaces antes, durante y después del experimento.
2. Determinar frecuencias de tiempo más adecuadas para aplicación de microorganismos eficaces en los módulos de experimentación con lixiviados.
3. Determinar el volumen más efectivo de microorganismos eficaces para mejorar la calidad del lixiviado.

1.5. Hipótesis

Los microorganismos eficaces mejoran la calidad fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados del relleno sanitario municipal de Cajamarca.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

El tratamiento de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios ha sido objeto de numerosas investigaciones en todo el mundo, habiéndose desarrollado sofisticados y costosos sistemas de tratamiento. Sin embargo no se puede implementar tan a la ligera los diferentes sistemas debido a que la tratabilidad de un lixiviado está directamente relacionada con su composición química y esta a su vez depende de factores como el tipo de desecho dispuesto, edad, condiciones ambientales y aspectos técnicos característicos del relleno sanitario (Mendoza 2004), el Banco Interamericano de Desarrollo en el año 2009 elaboró un Manual práctico de uso de los microorganismos eficaces basado en experiencias exitosas de tratamiento de aguas residuales y sus propiedades de descomposición de materia orgánica, reduciendo valores de DBO, DQO, turbidez y sólidos suspendidos; así como equilibrar el pH y el oxígeno disuelto.

A nivel nacional se reporta una aplicación exitosa de los microorganismos eficaces en la degradación de materia orgánica de aguas residuales domésticas de las lagunas de oxidación del distrito de Moche en la región Libertad, donde se obtuvo como resultados una reducción de la DBO_5 de 471 mg.L^{-1} hasta 79 mg.L^{-1} ; también disminuyó las poblaciones de coliformes totales (Rojas 2012).

A nivel local, los antecedentes teóricos de la investigación se basan en la aplicación de microorganismos eficaces para el tratamiento (descomposición) de materia orgánica en

rellenos sanitarios así como la recuperación de aguas residuales en el distrito de la Grama – San Marcos, la cual consistió en aplicar periódicamente dosis de 70 y 60 litros de microorganismos eficaces activados, a las aguas residuales contenidas en un tanque Imhoff (Ruiz 2008).

Con respecto a la aplicación de los microorganismos eficaces en el tratamiento de lixiviados generados en un relleno sanitario, la información está escasamente documentada.

2.1. Residuos sólidos

Los residuos sólidos son todas aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, procesos de minimización, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización transporte, tratamiento, transferencia y disposición final. Incluye los residuos de eventos naturales (Ley General de Residuos Sólidos N° 27314; Título III, CAP. I, Art. 14). Otra definición de los residuos sólidos indica que son aquellos materiales orgánicos o inorgánicos de naturaleza compacta, que han sido desechados luego de consumir su parte vital; así mismo explica que el concepto de residuo sólido es un concepto dinámico que evoluciona paralelamente al desarrollo económico y productivo (Montes 2009). Entre estos están considerados los residuos sólidos de competencia municipal, clasificación que obedece a su procedencia. Por tanto, son de competencia municipal, los residuos domiciliarios, comerciales y los de limpieza de espacios públicos (CONAM. 2006).

2.2. Relleno sanitario

Según lo establecido en la Ley General de Residuos Sólidos, el relleno sanitario es una infraestructura de disposición final, debidamente equipada y operada, que permite disponer sanitaria y ambientalmente segura los residuos sólidos.

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de residuos sólidos en el suelo, mediante el uso de principios de ingeniería para confinar la basura en un área previamente implementada con los dispositivos para el control y manejo de las emisiones (líquidos y gases) que se generan producto de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos, con la finalidad de prevenir los riesgos a la salud pública y deterioro de la calidad ambiental (Ministerio del Ambiente 2011).

Según Jaramillo 2002, los rellenos sanitarios se clasifican de acuerdo a su operación en:

2.2.1. **Relleno sanitario manual:** Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen (menos de 15 toneladas diarias), además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento. El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutado con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.

2.2.2. **Relleno sanitario mecanizado:** Está diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Es complejo porque su manejo exige considerar la cantidad y el tipo de

residuos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento.

- 2.2.3. **Relleno semi mecanizado:** Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos sólidos municipales en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno.

En la actualidad, los rellenos sanitarios son uno de los métodos más utilizados en el mundo para la disposición final de residuos sólidos al haber mostrado ser una forma barata de tratamiento de los residuos en comparación con procedimientos como la incineración (Renou et al., 2008). Para Chavarro (2006), los rellenos sanitarios, concebidos como una solución definitiva para el problema de los residuos domiciliarios, se convirtieron, con el correr de los años, en un nuevo problema que amerita una discusión profunda sobre cuáles deberían ser las verdaderas estrategias para encarar la gestión de los desechos sólidos. Uno de los problemas más importantes que conlleva el diseño y mantenimiento de un relleno sanitario es la gestión de los lixiviados que se generan. Los cuales dependen del tipo de residuo depositado y la edad del mismo (Netzaj, et al. 2008).

2.3. Lixiviados

Son líquidos que se generan por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en las fases de descomposición. El lixiviado es considerado como el principal y gran contaminante generado en un relleno, además estos arrastran a su paso material disuelto, en suspensión, fijo o volátil, lo que provoca que tengan elevadas cargas orgánicas (Mironel 2008) y un color que varía desde café, pardo y grisáceo, cuando están frescos, hasta un color negro vinoso, cuando envejecen (Jaramillo 2002, Mironel 2008).

El lixiviado es la sustancia, producto de la descomposición o putrefacción natural de los residuos sólidos o basura (Jaramillo 2002), mezclado con el agua de lluvia (Gonzales 2008). Es un líquido maloliente parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado. Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los residuos sólidos municipales, de ahí que sea importante interceptarlas y desviarlas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación en las corrientes y nacimientos de agua y pozos vecinos (Jaramillo 2002). Gonzales (2008), sostiene que los lixiviados traen consigo componentes que pueden ser nocivos para la salud humana, motivo por el cual deben ser tratados siguiendo ciertos parámetros y procesos especiales. En la Tabla 1, se muestra los valores promedios y máximos de contaminación durante la fase de fermentación ácida y metanogénica que se producen en los rellenos sanitarios.

Tabla 1. Contaminación de los lixiviados durante la fase de fermentación ácida y metanogénica.

Parámetro	Unidad	Contaminación de las aguas lixiviadas				Relleno mayor de 10 años
		Periodo de fermentación ácida		Periodo de fermentación metanogénica		
		Márgenes	Promedio	Márgenes	Promedio	
DBO ₅	mg.L ⁻¹	4000 - 40000	13000	20 – 550	180	100 – 200
DQO	mg.L ⁻¹	6000 – 60000	22000	500 – 4500	3000	100 – 500
Proporción DBO ₅ /DBO	mg.L ⁻¹	-	0.58	-	0.06	-
(PO ₄ -P)	mg.L ⁻¹	0,1 – 30	6	0,1 – 30	6	4 – 8
Cr total	mg.L ⁻¹	30 – 1600	300	30 – 1600	300	-
Pb total	mg.L ⁻¹	8 – 1600	90	8 – 1020	90	-
Cianuro total (CN ⁻)	mg.L ⁻¹	10		10	-	-
Cadmio (Cd)	mg.L ⁻¹	0.5 – 140	6	0.5 – 140	6	-
Cobre (Cu)	mg.L ⁻¹	4 – 1400	80	4 – 1400	80	-
Zinc (Zn)	mg.L ⁻¹	0,1 – 1	5	0,03 – 4	0,6	-
Tetra óxido de azufre (SO ₄)	mg.L ⁻¹	70 – 1750	500	10 – 884	80	-
Calcio (Ca)	mg.L ⁻¹	10 – 2500	1200	20 – 600	60	100 - 400
Magnesio (Mg)	mg.L ⁻¹	0,3 – 1130	600	0,03 – 530	250	50 – 200
Manganeso	mg.L ⁻¹	0 – 65,5	24	0 – 1.7	0,65	-
Hierro (Fe)	mg.L ⁻¹	20 – 2100	780	3 – 280	15	20 – 200
pH	-	0,5 – 15	7	0,3 – 7	1	6,6 – 7.5

Fuente: Roben 2002.

Valle (2013) indica que la generación de lixiviados en los rellenos sanitarios depende de muchos factores, entre los que se encuentran: El grado de compactación de los desechos, la humedad inicial de la basura, el tipo de material de cubierta de las celdas, condiciones ambientales (precipitación pluvial, humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración) y la capacidad del relleno sanitario.

La contaminación que generan los lixiviados es considerable ya que al presentarse en forma líquida su daño es directo a suelos y corrientes acuíferas tanto superficiales como subterráneas cercanas al sitio de disposición de residuos sólidos. Es por ello que surge la

necesidad de asignarle un tratamiento a los lixiviados el cual permita eliminar contaminantes y reducir el riesgo de generar contaminación al medio ambiente y/o afectaciones a la salud de la población (Valle 2013). La creciente demanda de la sociedad por la remediación de aguas contaminadas de diversos orígenes incluyendo el lixiviado de relleno sanitario, se ha visto materializada en regulaciones cada vez más estrictas que han llevado al desarrollo de tratamientos para reducir la cantidad de contaminantes, incluyendo tratamientos convencionales, como la recirculación del lixiviado a los residuos o más sofisticados como tratamientos biológicos y fisicoquímicos (Renou et al., 2008).

2.4. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los lixiviados

Los lixiviados son fuente de sustancias químicas y biológicas altamente tóxicas, que pueden generar perjuicios en la salud humana y el ambiente; el mayor impacto ambiental está asociado a la contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea (Torres et al. 2014). Para Valle (2013), las características del lixiviado tanto físicas como químicas y biológicas son consecuencia de las reacciones que se realizan dentro de un relleno sanitario y son estas, las que dan pauta al desarrollo de un tratamiento adecuado.

2.4.1. Parámetros fisicoquímicos

Las características físicas del lixiviado, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos como la vista, olfato y gusto, tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad. Se consideran importantes las siguientes:

turbiedad, sólidos solubles e insolubles, color, olor y sabor, temperatura, y pH (Barrenechea 2005).

- Potencial hidrógeno pH

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrogeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7, indican que es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales. Cuando el número de átomos de hidrógeno (H^+) excede el número de átomos del oxhidrilo (OH^-), la sustancia es ácida (Barrenechea 2005). La acidez tiene una importancia crucial en cuanto al combate de microorganismos patógenicos como *Escherichia coli* que se desarrolla en medios con pH comprendido entre 6 y 7, teniendo como mínima exigencia, un pH de 4.4 (Atlas y Bartha 2002). El potencial hidrógeno de un lixiviado varía de acuerdo a su edad y disminuye hasta 5 o menos por la presencia de ácidos orgánicos durante la fase ácida, incrementando después hasta un valor de 8 durante la fase de maduración (Valles, 2013)

- Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes, que influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de

mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (Barrenechea 2005). También Pantoza (2014) menciona que la temperatura es un indicador de calidad del agua y de la actividad de los microorganismos eficaces, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas.

- Olor

En su forma pura, el agua no produce sensaciones olfativas. El olor en el agua puede utilizarse de manera subjetiva para describir cualitativamente su calidad, estado, procedencia o contenido. Para propósitos de calidad de aguas, existen ciertos aromas característicos que tipifican algunas fuentes u orígenes, más o menos bien definidos. Además, existen otras fragancias que tipifican un origen en particular, pero que son menos frecuentes en los estudios de calidad de aguas. Así por ejemplo, las aguas residuales de industrias vinícolas, cerveceras, lecheras y de empresas relacionadas con la explotación o procesamiento del petróleo, tienen olores distintivos que son fáciles y rápidamente perceptibles y que deben registrarse en las libretas de campo (DIGESA 2007).

- Color

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos y ácidos fúlvicos. Se considera que el

color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas: la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal, la descomposición de la materia, la materia orgánica del suelo, la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos; y una combinación de los procesos descritos.

En la formación del color, en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados (Barrenechea 2005). Para Chavarro (2006) los lixiviados presentan un color oscuro debido a que en ellos se produce procesos de descomposición de materia orgánica y sustancias disueltas.

- Sólidos suspendidos totales SST

Los sólidos en suspensión son productos de la erosión de los suelos, residuos orgánicos y plancton. Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua (DIGESA 2007).

- Sólidos disueltos totales SDT

Mejor conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada. Comprende sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración,

ambos con partículas inferiores a un micrómetro (Barrenechea 2005). Para Valle (2013) menciona que el lixiviado de un relleno sanitario puede contener concentraciones extremadamente altas de sólidos disueltos totales llegando hasta 50 000 mg.L⁻¹ que pueden ser difíciles de tratar biológicamente.

- Oxígeno disuelto OD

Su presencia es esencial en el agua; proviene principalmente del aire. Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua pueden indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación (DIGESA 2007).

- Nitratos

Los nitritos (NO₂) son oxidados por el grupo de nitro bacterias para formar nitrato (NO₃). Los nitratos formados pueden servir como fertilizantes para las plantas. Los nitratos producidos en exceso para las necesidades de la vida vegetal, son transportados por el agua, luego estos se filtran a través del suelo, debido a que el suelo no tiene la capacidad de retenerlos pudiendo encontrarse en concentraciones superiores en aguas subterráneas. El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados incluyendo el amoníaco así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanos y animales puede contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua, estos son solubles y no adsorben a

los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas (Metcalf 2005).

- Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅

Corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/L y es la demanda ejercida por las sustancias carbonadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores. Es una prueba que reduce a números un fenómeno natural, muy sencillo en teoría, pero en esencia muy complejo (Metcalf 2005); en tanto Giraldo (2002), menciona que la remoción de DBO en un lixiviado se ve afectada por la toxicidad que generan los metales, pero a su vez, la remoción de metales, incluyendo aquellos incrustantes como el hierro, se ve interferida por la presencia de la DBO que sirve como agente que mantiene los metales en solución dificultando y limitando severamente su remoción.

2.4.2. Parámetros microbiológicos

Estas características se relacionan con los microorganismos, en particular bacterias y virus causantes de enfermedades. Para poder clasificar las aguas de acuerdo a sus características microbiológicas, se cuenta con valores establecidos que dependen de la utilización que se prevé y los requisitos sanitarios. La gran mayoría de los países determina los valores permitidos con base en lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) adoptándolo a sus circunstancias (Cardona 2008).

- Coliformes totales

Este grupo coniforme está formado por todas las bacterias Gram Negativas aerobias y anaerobias facultativas, no formadoras de esporas, con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido en 48 horas a 35 °C y desarrollándose en presencia de sales biliares y otros agentes tenso activos. Pueden hallarse tanto en heces como en el medio ambiente, por ejemplo aguas ricas en nutrientes, suelos, materias vegetales en descomposición. También hay especies que nunca o casi nunca se encuentran en las heces pero que se multiplican en el agua (DIGESA 2007).

- Coliformes Termotolerantes

Son un sub grupo de las coliformes totales, capaces de fermentar la lactosa a 44.5 °C, proceden de las heces de animales de sangre caliente. Los termotolerantes diferentes de *Escherichia coli* pueden proceder de aguas orgánicamente enriquecidas, como efluentes industriales, materias vegetales y suelos en descomposición. Comprende a los géneros de *Escherichia* y en menor grado *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* (DIGESA 2007).

2.5. Microorganismos eficaces

Se usa el término “Microorganismos Eficaces”, para denotar cultivos mixtos específicos de microorganismos benéficos conocidos que son empleados efectivamente como inoculantes microbianos. Esta tecnología, desarrollada en la década de los ochenta en Japón, ha sido empleada en diferentes campos como la agricultura, industria animal,

remediación ambiental, entre otros y se encuentra en la actualidad ampliamente distribuida (Higa y Parr 1994).

Los Microorganismos Eficaces (EM), son un cultivo mixto de microorganismos, con diversos tipos de metabolismo, que al encontrarse juntos, presentan relaciones sinérgicas, de cooperación y metabolismo (Higa y Parr 1994). Estudios de las interacciones entre los diferentes integrantes de las comunidades microbianas han demostrado en varias ocasiones una mayor eficiencia de estos consorcios en los procesos de degradación, frente a estudios que involucran sólo a un gremio; estudios posteriores encontraron que se creaba un efecto potencializador al mezclar microorganismos con diversas características metabólicas (Atlas y Bartha 1998).

Los microorganismos eficaces poseen varias características útiles en procesos de biorremediación, entre las cuales se encuentran la fermentación de materia orgánica sin la liberación de malos olores y su capacidad de convertir los desechos tóxicos (H_2S) en sustancias no tóxicas (SO_4), propiedades desionizantes que favorecen la detoxicación de sustancias peligrosas, quelación de metales pesados y producción de enzimas como la lignina peroxidasa, entre otras (García 2006).

2.6. Composición de los microorganismos eficaces

En una solución de microorganismos eficaces, destaca la presencia de levaduras y bacterias ácidos lácticos, en coexistencia con bacterias fototróficas (Fig. 1).

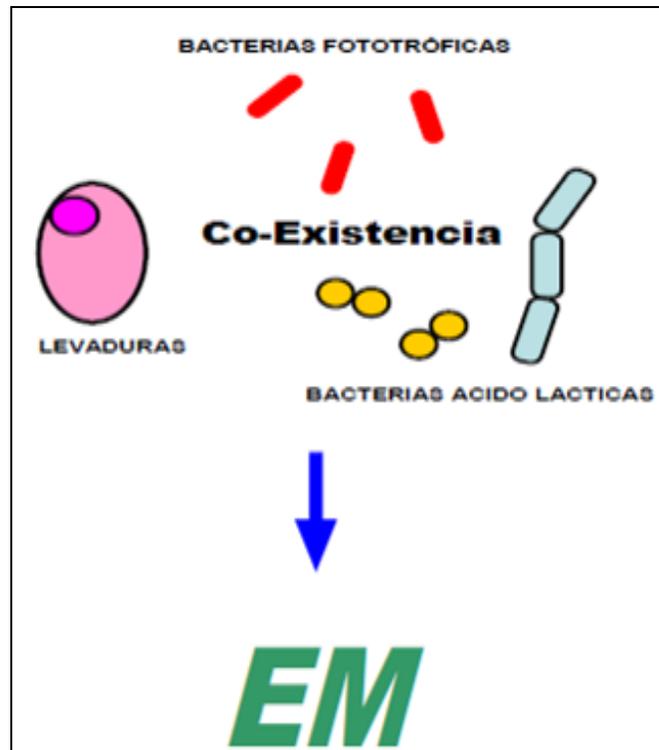


Figura 1. Composición de los Microorganismos Eficaces EM.

2.6.1. Bacterias fototróficas (*Rhodopseudomonas palustris*)

Dentro de los organismos fototróficas que forman parte de los Microorganismos Eficaces se encuentra *Rhodopseudomonas palustris* que son bacterias facultativas clasificadas dentro de las bacterias púrpuras, no del azufre. Éstas comprenden a un grupo variado de bacterias, tanto en morfología, filogenia y tolerancia a diferentes concentraciones de azufre; además, son microorganismos capaces de producir aminoácidos, ácidos orgánicos y sustancias bioactivas como hormonas, vitaminas, azúcares empleados por otros microorganismos, heterótrofos en general, como sustratos para incrementar sus poblaciones (Higa 1994).

R. palustris es encontrada comúnmente en el suelo y aguas y, posee un metabolismo muy versátil al degradar y reciclar gran cantidad de compuestos aromáticos, como bencénicos de varios tipos encontrados en el petróleo, lignina y sus compuestos carbonados. No sólo puede convertir CO₂ en material celular, sino también N₂ en amoníaco y producir H₂ gaseoso. Crece tanto en ausencia como en presencia de oxígeno (Vivanco 2003).

Las bacterias fototróficas son microorganismos autosuficientes e independientes. Ellas sintetizan las sustancias útiles producidas por la secreción de las raíces, materia orgánica y/o gases perjudiciales (como el sulfuro de hidrógeno) utilizando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias benéficas están compuestas por aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, todas las cuales ayudan al crecimiento y desarrollo de las plantas (Ramírez 2006).

2.6.2. Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp.*)

Dentro de los microorganismos que conforman el multicultivo, los más abundantes son las bacterias ácido lácticas, denominadas así por su capacidad de producir ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos generados por bacterias fotosintéticas y levaduras, como parte de su metabolismo. El ácido láctico es un componente con propiedades bactericidas que puede suprimir a los organismos patógenos (Rodríguez y Palenzuela 2000), mientras ayuda a la descomposición de la materia orgánica, incluso en el caso de compuestos recalcitrantes como la lignina o la celulosa, ayudando a evitar los efectos

negativos de la materia orgánica que no puede ser descompuesta. En lo que se refiere a su crecimiento, las bacterias ácido lácticas son micro aerofilicas, razón por la cual, debe procurarse que la incubación se realice en una atmósfera con 5% de CO₂, con un periodo de incubación de 3 días a 37 °C, puesto que son microorganismos de crecimiento relativamente lento y sus rendimientos metabólicos dependen directamente de la temperatura (Merck 2003).

2.6.3. Levaduras (*Saccharomyces sp*)

El tercer grupo dentro de microorganismos presentes, son las levaduras del género *Saccharomyces*, las cuales emplean diversas fuentes de carbono y energía. En primer lugar, se encuentra la glucosa y la sacarosa, aunque también pueden emplearse fructuosa, galactosa, maltosa y suero hidrolizado, ya que *Saccharomyces* no puede asimilar lactosa. También puede utilizarse etanol como fuente de carbono. El nitrógeno asimilable debe administrarse en forma de amoníaco, urea o sales de amoníaco, aunque también se puede emplear mezclas de aminoácidos. Contrariamente, el nitrato y nitrito son fuentes no asimilables para estos microorganismos (Harvey *et al.* 1985).

Las levaduras sintetizan y utilizan las sustancias antimicrobianas que intervienen en el crecimiento de las plantas, a partir de los aminoácidos y azúcares producidos por las bacterias fototricas, así como las de la materia orgánica y de las raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, tales como hormonas y enzimas producidas por las levaduras incrementan la actividad celular y el número de raíces. Sus secreciones son sustratos útiles para ciertos microorganismos efectivos, tales como las bacterias ácido lácticos y los actinomicetos (Ramírez 2006).

2.7. Funcionamiento de los Microorganismos Eficaces (ME)

Debido a la presencia de bacterias fototróficas en su composición, el ME, tiene la propiedad de neutralizar los malos olores y prevenirlos. Las bacterias fototróficas transforman las sustancias que producen olores desagradables (metano, mercaptano, ácido sulfhídrico, amoníaco y otros) en ácidos orgánicos que no producen mal olor y que tampoco son nocivos para el hombre. En ese sentido se puede emplear ME 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 (Mauz 2006).

Los lacto bacilos o bacterias ácido lácticas producen sustancias que aceleran la descomposición de la materia orgánica, por lo cual permite reducir el período de compostaje. Estos microorganismos, además, producen sustancias que ayudan a controlar algunos patógenos que atacan a las plantas. Las levaduras por su parte producen sustancias que actúan como hormonas naturales y que promueven el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Mauz 2006).

Los microorganismos eficaces, inducen a que la materia orgánica se descomponga rápidamente por la vía de la fermentación y no de la putrefacción. Dado que las moscas prefieren esta última para desarrollarse, su empleo reduce la población de moscas. Posee la ventaja con respecto a los insecticidas que es totalmente seguro y no tiene ningún tipo de riesgo de intoxicación, lo que lo hace especialmente conveniente para aquellos locales donde se manipulan alimentos o donde frecuentan los niños o personas irresponsables (EMPROTEC 2004).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Materiales

3.1.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Biología de la Universidad Privada del Norte en la Ciudad de Cajamarca (UPN) ubicada en la ciudad de Cajamarca entre los paralelos 4° 30´ y 7° 45´ latitud sur y los meridianos 77° 30´ de longitud oeste de Greenwich, a una altitud de 2720 m.s.n.m. Las muestras de lixiviado fueron obtenidas de la celda de residuos sólidos de competencia municipal del Relleno Sanitario de Cajamarca, ubicado en la comunidad de San José de Canay, jurisdicción del distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca.

En el laboratorio se acondicionó los módulos de experimentación con las muestras de lixiviado objeto de análisis, todo ello con la finalidad de proteger las muestras de posibles cambios en el clima y lograr una óptima realización del estudio (Fig. 2).

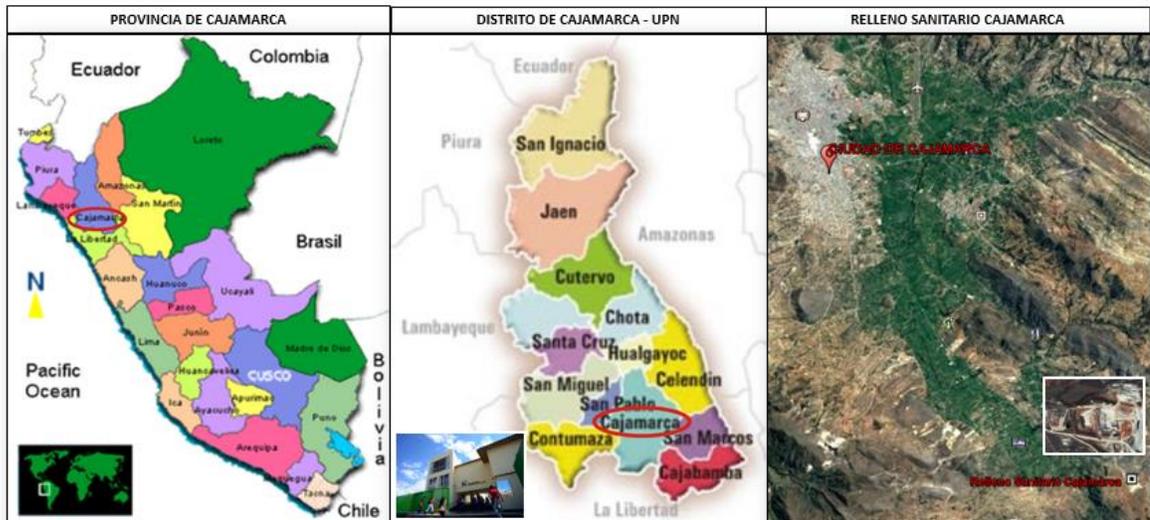


Figura 2. Ubicación del proyecto.

3.1.2. Descripción de la gestión de los lixiviados del relleno sanitario de Cajamarca

El relleno sanitario de la ciudad de Cajamarca cuenta con una celda para la disposición de residuos sólidos de competencia municipal de 3,5 hectáreas, a esta estructura diariamente ingresa un promedio de 140 toneladas de desechos que son conformados en capas de 1 m de alto y cubiertos con 0.30 m de suelo propio de la zona. La operación del relleno sanitario se realiza con maquinaria pesada contando con un cargador frontal CAT-966H, un volquete marca Scania de 15 m³ y un tractor de orugas CAT-D6T.

La compactación de los residuos en la celda se da por efectos del peso del tractor que los extiende y los cubre con tierra, lo que hace presumir que el nivel de compactación no es el adecuado.

La recolección del lixiviado en el relleno sanitario de Cajamarca, se realiza a través de un sistema de drenaje vertical en el interior de la celda y horizontal en su

base (Fig. 3). Luego de su recolección, el lixiviado es conducido hacia una poza impermeabilizada con geo membrana con una capacidad de almacenamiento de 10000 m³ (Fig. 4). Los lixiviados almacenados, son periódicamente recirculados a las celdas donde se disponen los residuos sólidos, sin ningún tratamiento previo (Municipalidad Provincial Cajamarca 2008).

En el mes de julio del año 2013, la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA), a través de su órgano adscrito a la Dirección Regional de Salud de Cajamarca (DIRESA), emitió la Resolución Regional Sectorial N° 731, sancionando a la Municipalidad Provincial de Cajamarca con la suma de 185 000 Nuevos Soles (50 UIT), por la filtración de lixiviados, fuertes olores y proliferación de moscas.

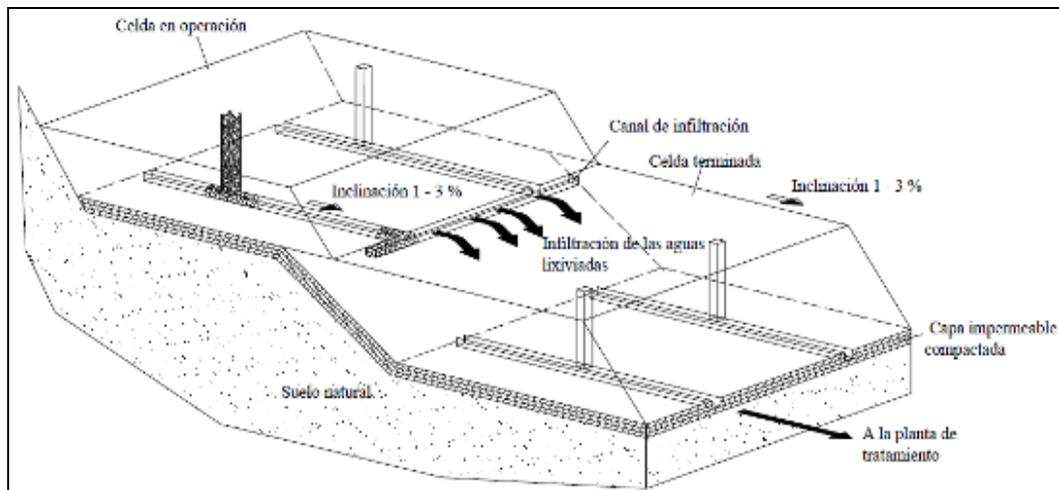


Figura 3. Sistema de drenaje de lixiviado de un relleno sanitario.



Figura 4. Poza de almacenamiento de lixiviados del relleno sanitario Cajamarca.

3.1.3. Materiales, equipos, insumos y otros

3.1.3.1. Material Experimental

- Lixiviado: 108 litros de lixiviado obtenidos de la celda de residuos sólidos de competencia municipal del Relleno de Cajamarca.
- Microorganismos Eficaces (ME): Adquiridos directamente del proveedor (Biosoluciones Ambientales Cajamarca SRL / Representante del paquete tecnológico EMROJAPAN), los que luego fueron activados con agua y melaza.

3.1.3.2. Equipos

- pH-metro digital portátil:
Marca : Metrohm
Resolución : 0.1 pH

Rango : 0.00 a 14.00 pH

Precisión 20 °C : ± 0.01 pH

Batería : Pilas de 2A x 4 unidades

- Balanza Digital:

Marca : Ohaus

Modelo : T72P

Medición Máx. : 75 Kg

Precisión : 1g

- Estufa eléctrica (Hotplate sólido)

Marca : Ly

Modelo : Ly8003

Potencia: 1500 W

Voltaje : 220 V

- Laptop

Marca : Toshiba

Modelo : Satellite Core I3

- Cocina eléctrica

Marca : Rommelsbacher

Modelo : TL 2595

- Cocina a gas

Marca: Mabe de 6 hornillas

- Sensor para Nitratos.

- Sensor para Oxígeno disuelto.

- Termómetro digital tipo martillo

Marca : Multi-Thermometer

Modelo : ST-9265

- Cámara fotográfica digital

Marca: Fujifilm

Modelo: FinePix S8600

3.1.3.3. Instrumental de laboratorio

- Matraz Erlenmeyer 250 mL
- Capsula de porcelana.
- Luna de reloj.
- Probeta graduada 100mL. 1mL⁻¹
- Vaso de precipitados.
- Tubos de ensayo.
- Embudo cónico de vidrio
- Fuente de acero inoxidable
- Gradilla
- Bandejas de aluminio
- Bureta
- Frascos de vidrio para muestras de 100 mL
- Cámara de Neubauer.
- Microscopio trinocular.
- Cámara de microscopio.

- Gotero.
- Lámina cubre objetos.

3.1.3.4. Otros

- Módulos de experimentación tipo pecera, con capacidad para 6 litros de lixiviado y ME, fabricados con vidrio transparente a fin de favorecer el registro fotográfico y la observación durante el periodo experimental (Fig. 5).

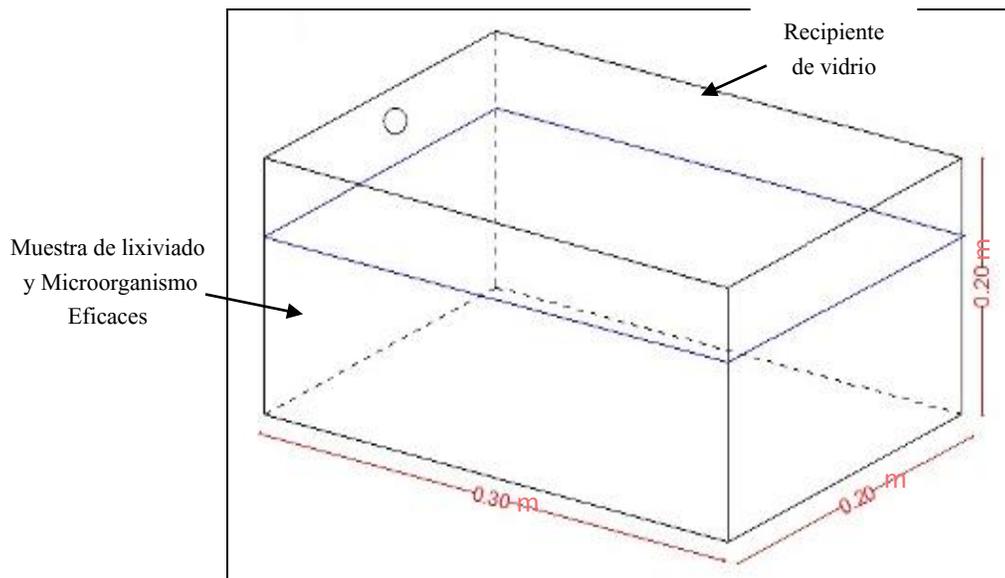


Figura 5. Modelo de los módulos experimentales.

- Estante de vidrio.
- Software Logger Pro 3.8.2.
- Galoneras de plástico N° 7
- Papel filtro.
- Papel toalla.
- Jeringa hipodérmica de 100 mL

- Papel toalla.
- Bata blanca.
- Guantes quirúrgicos.
- Papel aluminio
- Agua destilada
- Paños absorbentes.
- Melaza.
- Bandeja de contención de geomembrana.
- Camioneta Hiunday Tucson.

3.2. Método

3.2.1. Población, muestra y unidad de análisis

La población estuvo compuesta por el volumen total de lixiviados que emanan del relleno sanitario de Cajamarca. La muestra se compuso de 108 litros de lixiviado, aleatoriamente tomados en diferentes puntos de la poza de lixiviados de la celda de residuos sólidos de competencia municipal del relleno de Cajamarca. La unidad de análisis estuvo representada por 100 mL, 300 mL y 1 litro de lixiviados aleatoriamente extraídos de cada módulo de experimentación con fines de satisfacer las exigencias de los análisis físicos y químicos programados y los requerimientos del laboratorio NKAP.

3.2.2. Tipo de la investigación

La presente, fue una investigación aplicada, de corte experimental, caracterizada por una secuencia de análisis cuantitativos y muestras de lixiviados.

3.2.3. Factores, niveles y tratamientos en estudio

Factor D: Dosis de microorganismos eficaces ME (mL.L de lixiviado⁻¹)

d₀: Sin microorganismos eficaces (testigo).

d₁: 200 mililitros

d₂: 300 mililitros

Factor F: Frecuencia de aplicación de la solución de ME:

f₁: 15 días.

f₂: 20 días.

Tabla 2. Tratamientos en estudio.

Tratamiento		
Nº	Clave	Descripción
1	d ₀ f ₁	[Sin M.E. + 15 días]
2	d ₀ f ₂	[Sin M.E. + 20 días]
3	d ₁ f ₁	[200 mL de M.E. + 15 días]
4	d ₁ f ₂	[200 mL de M.E. + 20 días]
5	d ₂ f ₁	[300 mL de M.E. + 15 días]
6	d ₂ f ₂	[300 mL de M.E. + 20 días]

3.2.4. Modalidad y momentos de aplicación de los microorganismos eficaces activados

Para el desarrollo del experimento se siguieron los siguientes pasos:

Primero : Se confeccionaron dieciocho módulos experimentales de vidrio ($M_1, M_2, \dots M_{18}$), con una capacidad de almacenamiento de 6 litros, el cual comprendió el volumen de lixiviado y la dosis de ME-activado, según el tratamiento en estudio.

Segundo : Activación del cultivo de microorganismos eficaces ME.

Los microorganismos eficaces, son un concentrado de microorganismos en estado latente que necesita ser activado para su uso en las distintas aplicaciones y tratamientos. Un litro de ME rinde 20 litros de ME-Activado.

Para la activación del ME fue necesario contar con un recipiente de plástico con tapa hermética. Para cualquier volumen a preparar, las proporciones utilizadas fueron: 5 % de ME, 5 % de melaza y 90 % de agua (Fig. 6).

La preparación se inició depositando la melaza en una olla. Seguidamente, se le adicionó el correspondiente volumen de agua caliente (35 a 40 °C). Luego, se propició una adecuada dilución de la melaza y la mezcla se calentó hasta registrar 60 °C, temperatura a la cual se la mantuvo por espacio de 20 minutos. Posteriormente, esta mezcla fue depositada en el recipiente, se le

agregó el volumen correspondiente de ME, agitó y tapó herméticamente, manteniéndolo así por 10 días, a una temperatura ambiente de 20 °C.

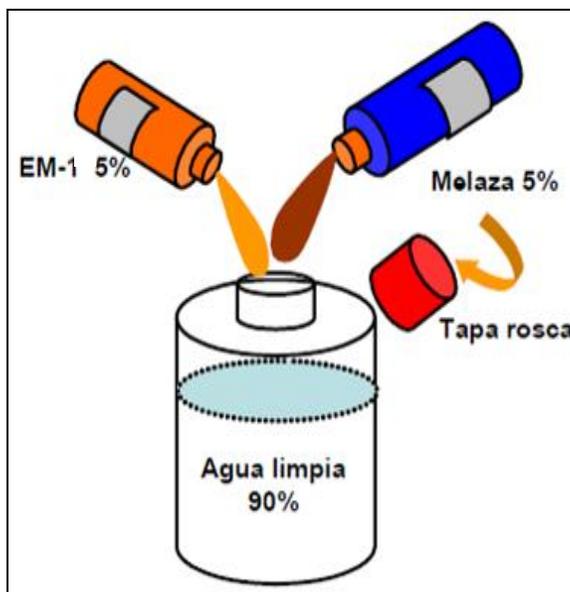


Figura 6. Proporción de insumos para la activación de los microorganismos eficaces.

Tercero : Previa autorización de la Sub Gerencia de Limpieza Pública de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, se colectaron 108 litros de lixiviado del relleno sanitario de la ciudad de Cajamarca, para abastecer los módulos de experimentación (6 litros por módulo).

El traslado del lixiviado desde el relleno sanitario hacia las instalaciones de la Universidad Privada del Norte, se realizó utilizando 04 galoneras de 30 litros de capacidad con tapa hermética y ubicadas en una bandeja de contención en la parte posterior de un vehículo cerrado (Camioneta Hiunday, modelo Tucson); para evitar posibles derrames del material experimental el traslado fue a una velocidad controlada de 35 km.hora⁻¹.

Cuarto : Se instaló el experimento en el laboratorio de Biología de la UPN, donde se acondicionó un estante con los 18 módulos de experimentación tipo peceras; posteriormente se realizó una caracterización inicial de la muestra del lixiviado, considerando los parámetros evaluados en la investigación.

Quinto : Posteriormente se procedió a realizar la primera aplicación de los ME, según las recomendaciones de Wood (2002).

En los módulos experimentales se aplicaron volúmenes de EM activado de 200 mL y 300 mL, cada 15 días y 20 días (8 y 6 aplicaciones respectivamente), por un periodo de 120 días. De acuerdo al diseño randomizado presentado en la Fig. 7.

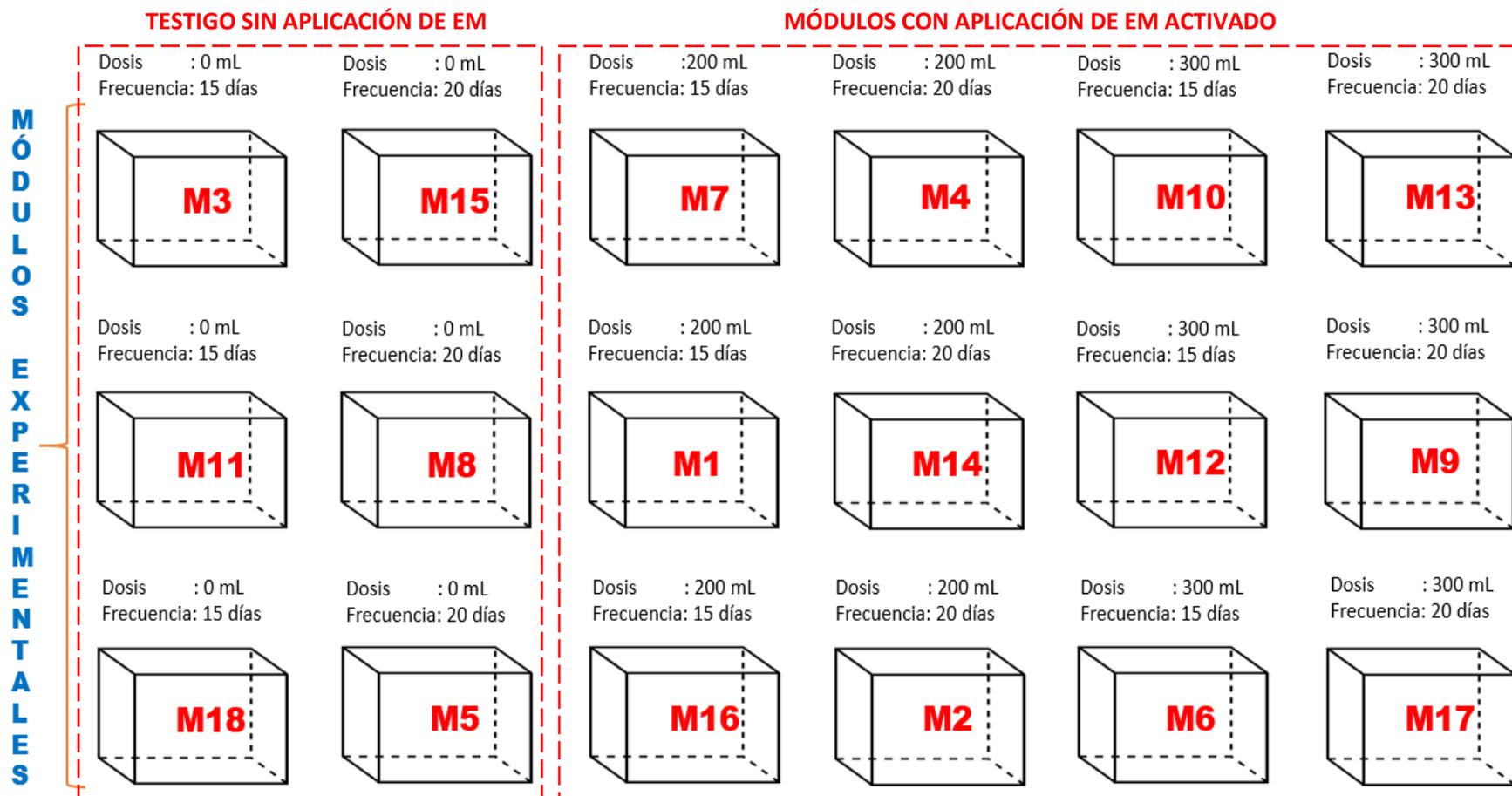


Figura 7. Dosis y frecuencias de aplicación de EM en cada módulo de experimentación.

3.2.5. Toma y envío de muestras

Las muestras fueron homogenizadas y extraídas de cada módulo de experimentación de manera manual, utilizando jeringas hipodérmicas de 100 mL de capacidad. La realización de los muestreos fueron: antes de iniciar el experimento, a los 40, 80 y 120 días. Las muestras consistieron en 100 y 300 mL de lixiviado de acuerdo a los protocolos establecidos en el Apéndice I para los parámetros de pH, temperatura, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y nitratos.

Para el caso de los parámetros Demanda bioquímica de oxígeno, Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes, las muestras estuvieron conformadas por 300 mL y 1 litro de solución de lixiviado extraídas de los módulos de experimentación, las que luego fueron envasadas en frascos esterilizados de vidrio y plástico, debidamente codificados y rotulados (Anexo 1) y enviados al laboratorio NKAP SRL para las correspondientes mediciones cuyos resultados se muestran en el Anexo 5 del presente estudio.

3.2.6. Mediciones realizadas

Previo al inicio de la etapa experimental, la solución activada de ME fue muestreada y analizada con el propósito de determinar su composición microbiana utilizando la metodología detallada en Apéndice 1.

Las mediciones de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Tabla 3), se realizaron en cada módulo de experimentación, tanto al inicio del experimento

(caracterización inicial), como a los 40, 80 y 120 días después. Asimismo, los cambios en el aspecto de las soluciones, fueron fotográficamente registradas a lo largo del periodo experimental.

Tabla 3. Parámetros físico químicos y microbiológicos evaluados en el lixiviado

Parámetro	Unidad de Medida
pH	-
Temperatura	°C
Olor	U.O.
Color	U.C.
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹
Nitratos	mg.L ⁻¹
Demanda bioquímica de oxígeno	mg.L ⁻¹
Coliformes totales	NMP
Coliformes termotolerantes	NMP

3.2.7. Diseño experimental

Completamente Randomizado, bajo un arreglo factorial 3x2, con seis tratamientos y tres repeticiones (Fig. 7).

3.2.8. Análisis de datos

Los parámetros señalados en la Tabla 3, fueron analizados en base a sus respectivos protocolos de laboratorio (normas APHA), detallados en el Apéndice

1.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tipo y densidad poblacional de Microorganismos Eficaces antes del periodo experimental

En la solución activada de microorganismos eficaces, las bacterias ácido lácticas fueron los microorganismos de mayor densidad poblacional promedio en la solución activada de ME (181,4 individuos. 0,5 mL⁻¹). Le siguieron en predominancia las levaduras (166,2 individuos. 0,5 mL⁻¹) y los microorganismos fototróficas (12,8 individuos. 0,5 mL⁻¹) (Tabla 4).

Tabla 4. Tipo y densidad poblacional de microorganismos en la solución activada de ME, antes de su aplicación a los módulos de experimentación

N° de Muestra *	Tipo de microorganismos		
	Levaduras (N° Individuos)	Fototróficas (N° Individuos)	Bacterias ácido lácticas (N° Individuos)
1	160	10	192
2	176	15	185
3	158	13	173
4	172	14	170
5	165	12	187
Promedio	166,2	12,8	181,4

* Muestra compuesta de 0,5 mL de solución activada de ME.

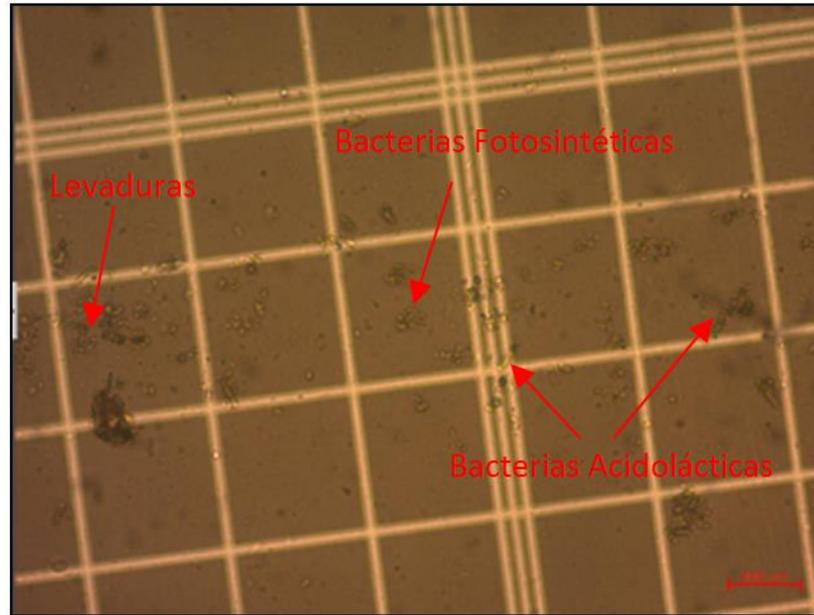


Figura 8. Poblaciones de microorganismos en la solución activada de ME Cámara de Neubauer (400 X).

La predominancia de las bacterias ácido lácticas en la solución activada de ME ha sido también reportada por Rodríguez y Palenzuela (2000), quienes sostienen que la abundancia de estos microorganismos puede suprimir a los organismos patógenos debido que tienen propiedades bactericidas. También Higa y Parr (1994) lo consideran como una ventaja, en tanto que una de sus funciones es de actuar como un compuesto altamente “esterilizador” que contribuye a suprimir la presencia de microorganismos patógenos y fomentar una rápida descomposición de la materia orgánica, lo cual favorecerá el tratamiento microbiológico de los lixiviados, motivo de la presente investigación.

Atlas y Bartha (1998), afirman que las poblaciones de densidad intermedia, como la alcanzada por las levaduras tienen generalmente más éxito en la colonización de nuevos hábitats naturales que los organismos individuales o de baja densidad poblacional, lo cual

tiene consistencia con lo sucedido trascurrido 60 días de experimentación donde las levaduras representaron los microorganismos con mayor abundancia en las soluciones de lixiviado y ME-activada.

4.2. Tipo y densidad poblacional de Microorganismos Eficaces, durante la fase experimental

A tres horas de iniciado el experimento, los microorganismos de mayor densidad poblacional promedio en el lixiviado tratado con 200 mL de ME, fueron las bacterias ácido lácticas (16,6 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$). Le siguieron en predominancia las levaduras (13 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) y los microorganismos fototróficas (3,4 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) (Tabla 5).

En el mismo periodo (3 horas de iniciado el experimento), los microorganismos de mayor densidad poblacional promedio en el lixiviado tratado con 300 mL de ME, fueron las bacterias ácido lácticas (29.8 individuos. 0.5 mL^{-1}). Le siguieron en predominancia las levaduras (19,6 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) y los microorganismos fototróficas (7,2 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) (Tabla 6).

Tabla 5. Tipo y densidad poblacional de microorganismos en el lixiviado tratado con 200 mL de ME. Datos registrados a 3 horas de experimentación.

N° de Muestra *	Tipo de microorganismo		
	Levaduras (N° Individuos)	Fototróficas (N° Individuos)	Bacterias ácido lácticas (N° Individuos)
1	12	3	14
2	11	4	15
3	13	3	17
4	15	4	19
5	14	3	18
Promedio	13	3,4	16,6

* Muestra compuesta de 0,5 mL de cultivo de ME.

Tabla 6. Tipo y densidad poblacional de microorganismos en el lixiviado tratado con 300 mL de ME. Datos registrados a 3 horas de experimentación.

N° de Muestra *	Tipo de microorganismo		
	Levaduras (N° Individuos)	Fototróficas (N° Individuos)	Bacterias ácido lácticas (N° Individuos)
1	23	8	35
2	13	7	27
3	21	6	33
4	16	7	25
5	25	8	29
Promedio	19,6	7,2	29,8

* Muestra compuesta de 0,5 mL de cultivo de ME.

Como fue de esperar, lo descrito evidencia que las variaciones en la densidad poblacional de microorganismos, en el periodo de 3 horas, están asociados a la dosis de ME incorporada en el lixiviado. A la vez se deduce que por cada 100 mL de solución activada

de ME que se incorpora al lixiviado, la población promedio de levaduras, microorganismos fototróficas y bacterias ácido lácticas, se incrementa en 6,6; 3,8 y 13,2 individuos, respectivamente; lo que en buena cuenta es el aporte microbiano de 100 mL de solución activada de ME.

A 60 días de experimentación, los microorganismos de mayor densidad poblacional promedio en el lixiviado tratado con 200 mL de ME, fueron las bacterias ácido lácticas (86,4 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$). Le siguieron en importancia las levaduras (56,8 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) y los microorganismos fototróficas (5,6 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) (Tabla 7). Sin embargo, al elevar la dosis de ME de 200 a 300 mL, la mayor densidad poblacional promedio en el lixiviado, fue alcanzada por las levaduras (80,6 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$), seguidas de las bacterias ácido lácticas (53,8 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) y los microorganismos fototróficas (6,8 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) (Tabla 8). Asumimos que las levaduras tienen mayor incremento poblacional y mejor adaptación a las características del lixiviado por que se benefician en mayor medida de los aminoácidos y azúcares producidos por los microorganismos fototróficas y que sus secreciones sirven como sustrato alimenticio a las bacterias ácido lácticas, las cuales registraron el segundo incremento poblacional en predominancia durante la investigación.

Tabla 7. Tipo y densidad poblacional de microorganismos en el lixiviado tratado con 200 mL de ME. Datos registrados a los 60 días de experimentación

N° de Muestra *	Tipo de microorganismo		
	Levaduras (N° Individuos)	Fototróficas (N° Individuos)	Bacterias ácido lácticas (N° Individuos)
1	48	4	96
2	64	5	83
3	58	8	79
4	53	6	93
5	61	5	81
Promedio	56,8	5,6	86,4

* Muestra compuesta de 0,5 mL de cultivo de ME.

Tabla 8. Tipo y densidad poblacional de microorganismos en el lixiviado tratado con 300 mL de ME. Datos registrados a los 60 días de experimentación.

N° de Muestra *	Tipo de microorganismo		
	Levaduras (N° Individuos)	Fototróficas (N° Individuos)	Bacterias ácido lácticas (N° Individuos)
1	96	5	48
2	88	7	53
3	43	9	59
4	85	8	47
5	91	5	62
Promedio	80,6	6,8	53,8

* Muestra compuesta de 0,5 mL de cultivo de ME.

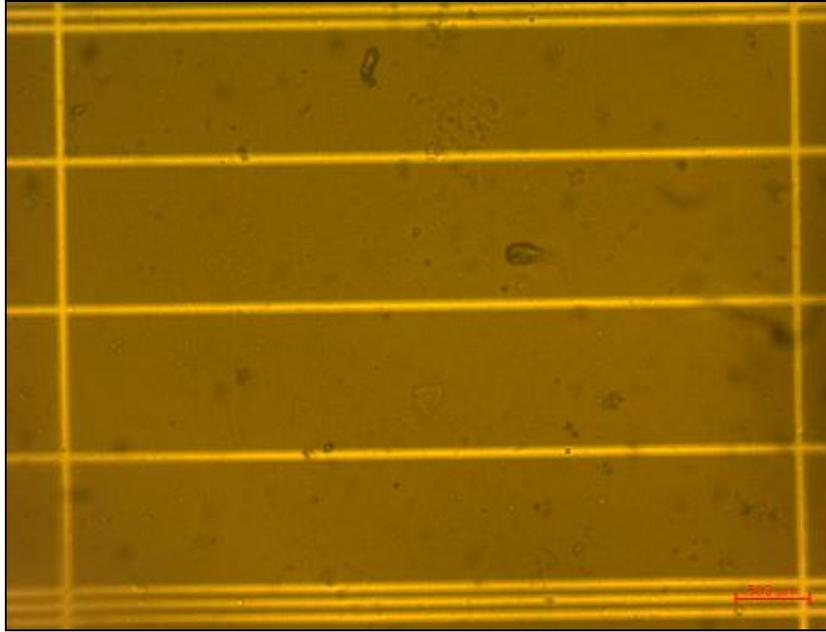


Figura 9. Poblaciones de ME en el lixiviado durante la experimentación
Cámara de Neubauer (400 X).

4.3. Tipo y densidad poblacional de ME después de la fase experimental

Al término de la investigación (120 días de experimentación), se determinó que el lixiviado tratado con 200 mL de ME presentó una mayor densidad poblacional promedio de levaduras (397,8 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$), seguida de bacterias ácido lácticas (208,6 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) y microorganismos fototróficas (73,2 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) (Tabla 9), tendencia que se mantuvo después de tratar al lixiviado con 300 mL de ME, pues bajo este tratamiento, los micro organismos de mayor densidad poblacional fueron las levaduras (590,4 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$), seguidas de las bacterias ácido lácticas (348,6 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) y los microorganismos fototróficas (87,6 individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) (Tabla 10).

Deducimos que luego de elevar la dosis de ME de 200 a 300 mL, al término de la fase experimental (120 días de experimentación), las levaduras incrementaron su densidad poblacional promedio en 48,4%; las bacterias ácido lácticas en 67,1% y los microorganismos fototróficos en 19,7%. El incremento de los tres tipos de poblaciones microbianas es un indicador de una exitosa adaptación de las levaduras, bacterias ácido lácticas y microorganismos fotosintéticos a las características físico químicas de las aguas lixiviadas del relleno sanitario en estudio. Al respecto, Holt (2000) afirma que las bacterias fotosintéticas producen aminoácidos, ácidos orgánicos y sustancias bioactivas (hormonas, vitaminas, azúcares) de utilidad para otros microorganismos heterótrofos, como sustratos para incrementar sus poblaciones.

Tabla 9. Tipo y densidad poblacional de microorganismos en el lixiviado tratado con 200 mL de ME. Datos registrados a los 120 días de experimentación.

N° de Muestra *	Tipo de microorganismo		
	Levaduras (N° Individuos)	Fototróficas (N° Individuos)	Bacterias ácido lácticas (N° Individuos)
1	415	63	230
2	398	79	195
3	373	68	216
4	421	75	203
5	382	81	199
Promedio	397,8	73,2	208,6

* Muestra compuesta de 0,5 mL de cultivo de ME.

Tabla 10. Tipo y densidad poblacional de microorganismos en el lixiviado tratado con 300 mL de EM. Datos registrados a los 120 días de experimentación

N° de Muestra *	Tipo de microorganismo		
	Levaduras (N° Individuos)	Fototróficas (N° Individuos)	Bacterias ácido lácticas (N° Individuos)
1	579	93	345
2	620	84	361
3	553	97	315
4	591	75	349
5	609	89	373
Promedio	590,4	87,6	348,6

* Muestra compuesta de 0,5 mL de cultivo de ME.

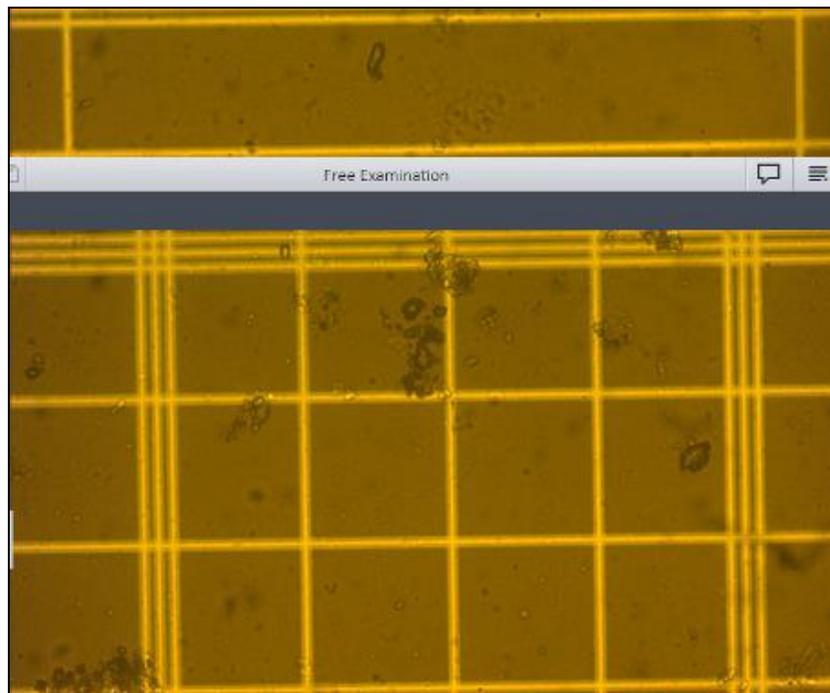


Figura 10. Poblaciones de ME después de la fase de experimentación Cámara de Neubauer (400 X).

Nuestras observaciones también encentraron sustento con lo citado por Harvey et al (1985), quienes señalan que las levaduras tienen un rápido crecimiento poblacional debido a que emplean diversas fuentes de carbono y energía, entre las cuales destacan la glucosa, fructosa, galactosa, maltosa, sacarosa, suero hidrolizado, etanol, amoníaco, úrea o sales de amoníaco y mezclas de aminoácidos, los cuales, según análisis, pueden haber derivado de la actividad metabólica de los microorganismos fototróficas o simplemente pueden haber estado presentes en el lixiviado.

Nuestras observaciones también califican a las bacterias ácidos lácticos como la segunda población microbiana más importante presente en el lixiviado, a los 120 días de experimentación; y esto, posiblemente debido a que emplean como sustratos alimenticios a los subproductos metabólicos de las levaduras. En efecto, Ramírez (2006), descubrió que las secreciones de las levaduras (*Saccharomyces* spp) son sustratos útiles para las bacterias ácido lácticas, las que, a su vez, producen sustancias que aceleran la descomposición de la materia orgánica (Mauz 2006) por la vía de la fermentación y no de la putrefacción (EMPROTEC 2004), permitiendo, finalmente, retroalimentar la cadena trófica y el incremento de las poblaciones de los microorganismos, en el orden inicialmente descrito.

4.4. Parámetros fisicoquímicos del lixiviado

Las mediciones de los parámetros contemplados en la Tabla 3 del presente estudio, fueron realizados al inicio del experimento (día 1, caracterización inicial), así como a los

40, 80 y 120 días de experimentación, para efectos de análisis de datos se trabajó con promedios. Los resultados se detallan en el Apéndice II.

4.4.1. Potencial hidrógeno (pH)

La Tabla 11, del análisis de variancia (ANOVA) muestra alta significación estadística para el factor dosis, puesto que las F calculadas superan a la F tabulares a la probabilidad del 5% y 1%, lo cual indica que la *dosis* de ME afecta significativamente al pH del lixiviado. Contrariamente, tanto el factor *tiempo*, como la *interacción* de los factores (T*D) no mostraron significación estadística. Esto indica que el factor *dosis* actúa independientemente del factor tiempo, sobre el pH del lixiviado, razón por la cual, se realizó la prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad (Tabla 12, Figura 11) para determinar la mejor *dosis* de ME. El valor del coeficiente de variación (CV = 2,52%), se encuentra dentro del rango recomendable para investigaciones de esta naturaleza y nos indica la variabilidad del material experimental para la variable evaluada (pH).

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) para el pH del lixiviado.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F _{tabular}	
					0,05	0,01
Frecuencia (T)	1	0,0029	0,0029	0,07 NS	4,75	9,33
Dosis (D)	2	1,95	0,97	24,21**	3,89	6,93
T*D	2	0,01	0,003	0,08 NS	3,89	6,93
Error	12	0,48	0,04			
Total	17	2,44				

CV = 2,52%

Tabla 12. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *dosis* de ME en el pH del lixiviado.

Ord. de merito	Niveles	Medias	Significación 5%
1	d ₁ (200 mL)	8,27	A
2	d ₂ (300 mL)	8,09	A
3	d ₀ (0,0 mL)	7,5	B

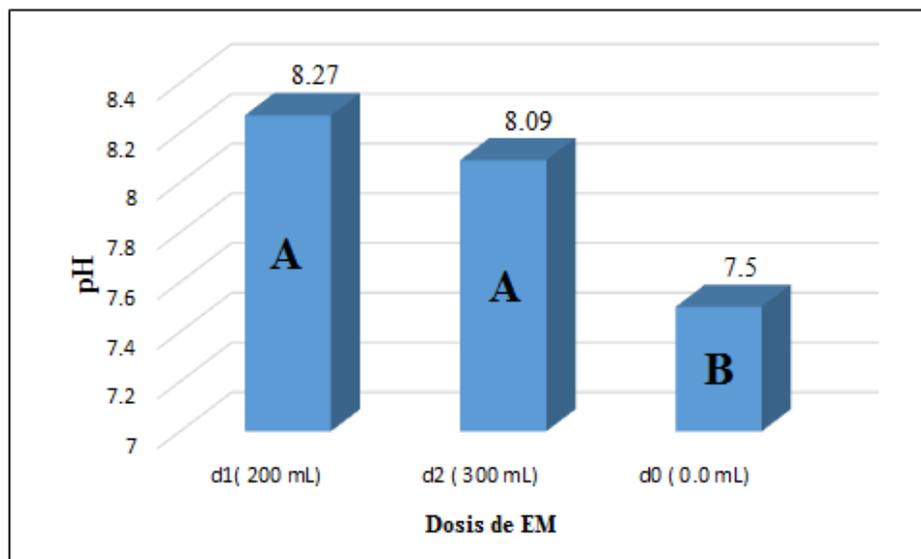


Figura 11. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *dosis* de ME en el pH del lixiviado.

La prueba de Duncan al 5% de probabilidades, para el efecto de la *dosis* de ME sobre el pH del lixiviado, señala que los niveles d₁ (200 mL de ME. L de lixiviado⁻¹) y d₂ (300 mL de ME. L de lixiviado⁻¹) son estadísticamente iguales y superiores al nivel d₀ (0,0 mL de ME. L de lixiviado⁻¹). De esta manera se demuestra que, durante el tiempo de experimentación (120 días), la incorporación de 200 mL de ME por cada litro de lixiviado incrementó el pH del lixiviado de 7,5 a 8,27; esto es, 0,77 unidades más que el tratamiento control, haciendo que la

solución del módulo de experimentación sea más básica. Similar resultado obtuvo Cardona y García (2008), al realizar la evaluación del efecto de los microorganismos eficaces en las aguas residuales domésticas, constatando que el pH pasó de 7,6 a 7,7, en 30 días. Contrario a nuestros resultados, Fioravanti y Vega (2005), en su propósito de determinar la eficiencia de los microorganismos eficaces aplicados en la estabilización de lodos sépticos de aguas residuales, descubrieron que el pH de los lodos generados en las aguas residuales, disminuyó de 6,3 a 4,45 debido a intensas reacciones de fermentación.

En términos generales, Rojas (2012) indica que un lixiviado generado en un relleno sanitario cuya operación se encuentra entre los 5 a 10 años tiene de a incrementar llegando hasta valores de 8; también Atlas y Bartha (2002) aportan que la acidez tiene una importancia crucial en cuanto al combate de microorganismos patogénicos como *Escherichia coli* que se desarrolla óptimamente con pH comprendido entre 6 y 7, siendo a la vez, su mínima exigencia, un pH de 4,4; Haga y Parr (1994) en su estudio de los ME indican que las bacterias fototróficas incrementan su biomasa absorbiendo el CO₂ del medio donde se encuentran. En base a estos resultados sostenemos que el incremento del pH alcanzado en la presente investigación, se debe a las características propias del lixiviado cuya edad es de 8 años; sumado a ello la adaptación y metabolismo de las bacterias fototróficas que consumen el CO₂. Los valores alcanzados durante la investigación benefician a la calidad del lixiviado, en tanto contribuye a la eliminación de microorganismos patógenos, como *E. coli*.

El Estándar de Calidad Ambiental Agua Categoría 4 – E2 Sierra - Decreto Supremo N° 015-2015 MINAM (Anexo 4), nos indica que el pH alcanzado (8,27) se encuentra dentro del rango de 6,5 a 9, que caracteriza a las aguas de lagunas y lagos, así como a los ríos de la costa y sierra del país; sin embargo, debe considerarse que el pH es tan solo uno de muchos parámetros que caracterizan a la calidad del agua.

4.4.2. Temperatura

La *dosis* de ME tiene un efecto estadísticamente significativo en la temperatura de la solución de lixiviados depositada en los módulos experimentales (Tabla 13). Contrariamente, no se encontró significación estadística para la variable *tiempo* ni para la *interacción* de los factores (T*D).

Tabla 13. ANOVA para la variable temperatura (°C) del lixiviado.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F _{tabular}	
					0,05	0,01
Frecuencia (T)	1	5,32	5,32	3,52NS	4,75	9,33
Dosis (D)	2	20,13	10,06	6,65*	3,89	6,93
T*D	2	0,1	0,05	0,03NS	3,89	6,93
Error	12	18,15	1,51			
Total	17	43,71				

$$CV = 5,84\%$$

La prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidades (Tabla 15 y Figura 12), evidencia que las dosis utilizadas (d_2 : 300 mL de ME. L de lixiviado⁻¹; y, d_1 : 200 mL de ME. L de lixiviado⁻¹) tienen el mismo efecto estadístico sobre la

temperatura del lixiviado, el que a su vez, fue superior al tratamiento testigo (d₀: 0,0 mL de ME. L de lixiviado⁻¹), pues la incorporación de ME, en cualquiera de las dosis antes señaladas, favoreció el aumento de la temperatura de la solución del lixiviado de 19,6 a 22,03 °C. Esto es, 2,43 °C en 120 días de experimentación, lo que confirma la acción benéfica de los ME en la calidad del agua. Considerando lo establecido por el Estándar de Calidad Ambiental Agua Categoría 4 – E2 Sierra - Decreto Supremo N° 015-2015 MINAM (Anexo 4).

Tabla 14. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *dosis* de ME en la temperatura (°C) del lixiviado.

Ord. de merito	Niveles	Medias (°C)	Significación 5%
1	d ₂ (300 mL)	22,03	A
2	d ₁ (200 mL)	21,59	A
3	d ₀ (0,0 mL)	19,6	B

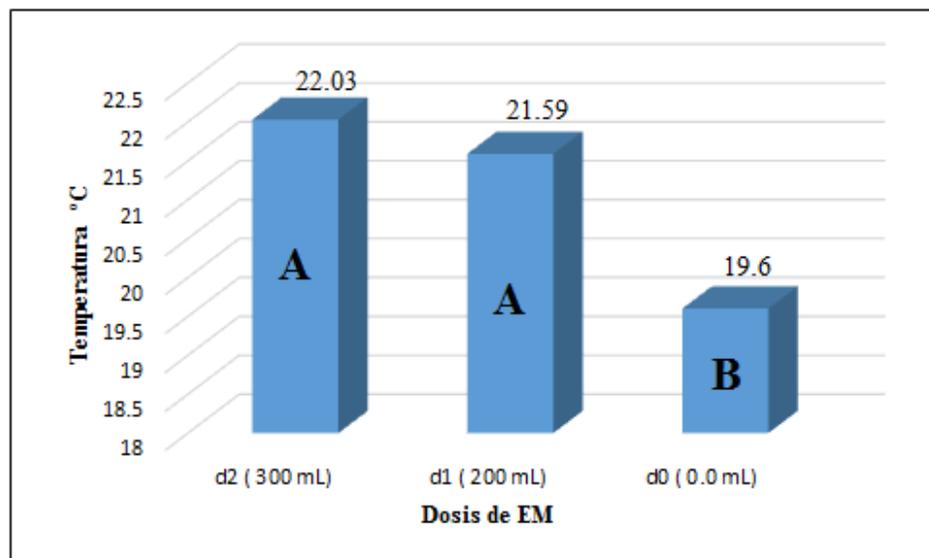


Figura 12. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *dosis* de ME en la temperatura (°C) del lixiviado.

Al respecto, Pantoza (2014), menciona que la temperatura es un indicador de la calidad del agua y de la actividad de los microorganismos eficaces, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. También el Banco Interamericano de Desarrollo (2009) indica que los microorganismos eficaces se inactivan a una temperatura inferior a 6 °C. Afirmamos que las temperaturas logradas en la experimentación favorecieron la adaptación y proliferación de los microorganismos eficaces en el lixiviado tratado.

4.4.3. Sólidos suspendidos totales (SST)

A diferencia de la variable *tiempo e interacción T*D*, la dosis de ME tuvo un efecto altamente significativo en el contenido de SST del lixiviado (Tabla 15).

Tabla 15. ANOVA para la variable SST del lixiviado.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F _{tabular}	
					0,05	0,01
Frecuencia (T)	1	208946,7	208946,7	4 NS	4,75	9,33
Dosis (D)	2	2030349	1015174	19,44 **	3,89	6,93
T*D	2	180214,6	90107,3	1,73 NS	3,89	6,93
Error	12	626764,5	52230,37			
Total	17	3046274				

$$CV = 38,31\%$$

La prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidades (Tabla 16, Figura 13), demuestra que las dos *dosis* de ME (d_1 :200 mL de ME. L de lixiviado⁻¹; y d_2 : 300 mL de ME. L de lixiviado⁻¹) utilizadas en el tratamiento de los lixiviados,

tienen un efecto estadísticamente semejante en el contenido de SST del lixiviado. Sin embargo, este efecto resultó ser superior al alcanzado por el tratamiento testigo (d_0 : 0,0 mL de ME. L de lixiviado⁻¹), pues la adición de ME, incrementó la cantidad de SST del lixiviado de 126 a 887,95 mg.L⁻¹ en el lapso de 120 días de experimentación. Considerando que los sólidos suspendidos totales de una sustancia como el agua, están constituidos por materia orgánica (grasas, pelos, serrín, fibras, etc.) e inorgánica (limos, arena y arcillas) (APHA 2005; Metacalf 2005), los cuales no formaron parte de los tratamientos estudiados, el incremento de su cantidad, estaría asociado al aumento de las poblaciones microbianas de levaduras, bacterias ácido-lácticas y microorganismos fototróficas, que formaron parte de los ME inoculados a los lixiviados.

El tratamiento testigo, tuvo 126 mg de SST. L de lixiviado⁻¹. Esto es 7 veces menos SST que el mejor tratamiento (d_1 : 200 mL de ME. L de lixiviado⁻¹) y 2,5 veces menos que el máximo permitido (500 mg.L⁻¹) por la APHA (2005) para un agua residual. Dada su variada naturaleza, y según lo indicado por Microlab Industrial (s/f), es de esperar que este elevado nivel de SST pueda convertirse en la aportación mayoritaria de ciertos parámetros a medir en la muestra, ya que un fragmento de comida o materia fecal presente en la muestra, puede elevar considerablemente la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tabla 16. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *dosis* de ME en los SST del lixiviado.

Ord. de merito	Niveles	Medias (mg.L ⁻¹)	Significación 5%
1	d ₁ (200 mL)	887,95	A
2	d ₂ (300 mL)	775,61	A
3	d ₀ (0,0 mL)	126	B

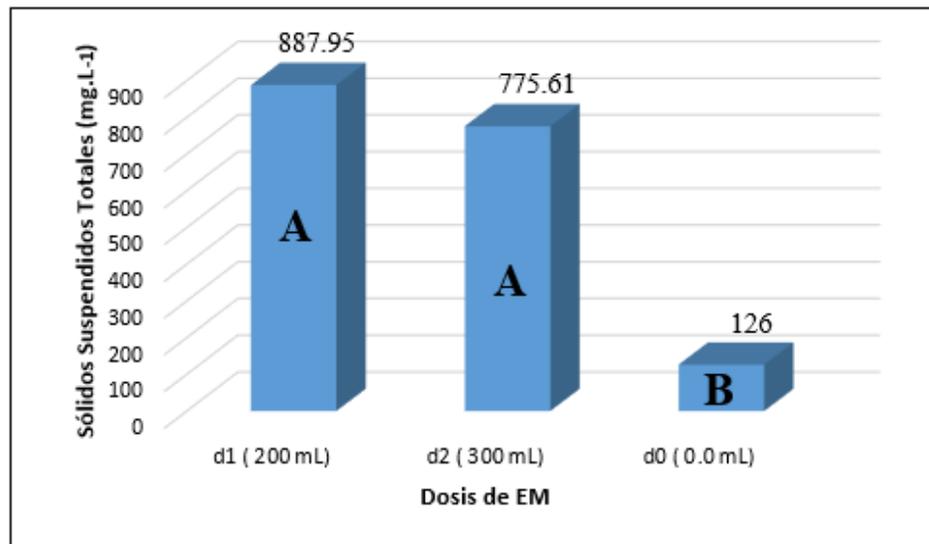


Figura 13. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *dosis* de ME en los SST del lixiviado.

Los resultados obtenidos son opuestos a los de Pontaza (2014), quien en 4 meses de aplicación de ME a una Planta de Tratamiento Aguas Residuales, logró una eficiencia de 9.02% en la cantidad de SST; es decir, que, en la salida del efluente, la cantidad de SST después del tratamiento, se redujo de 37 mg.L⁻¹ a 9 mg.L⁻¹. Para Metacalf (2005) cualquiera sea su origen o tipo, la presencia de sólidos en suspensión incrementa la turbidez e influencia sobre el color del agua

Finalmente, estos resultados distan mucho de lo establecido por el Estándar de Calidad Ambiental del Agua Categoría 4 – E2 Sierra - Decreto Supremo N° 015-2015 MINAM (Anexo 4), pues con ninguno de los tratamientos se ha logrado obtener un agua con una concentración de SST menor a 100 mg.L⁻¹.

4.4.4. Sólidos disueltos totales (SDT)

La *frecuencia* de aplicación de los tratamientos, *dosis* de ME utilizadas en el tratamiento del lixiviado y la interacción de estas variables, no tienen efecto estadístico alguno en la cantidad de SDT del lixiviado (Tabla 17), la cual se mantuvo entre 0,20 (d₀: testigo) y 0.28 mg.L⁻¹ (d₁: 200 mL de ME.L de lixiviado¹) a lo largo del periodo experimental (120 días). Similares resultados fueron obtenidos por Cardona y García (2008), quienes no encontraron diferencias significativas entre el control y los tratamientos durante la aplicación de ME a las aguas residuales domésticas.

En la mayoría de las aguas naturales y las aguas residuales que se originan de ellas, los sólidos disueltos están representados por compuestos orgánicos como los colorantes y azúcares, pero en su mayoría son sales inorgánicas y de estas, las más comunes son los cloruros, sulfatos, sodio y calcio; es decir son iones cargados eléctricamente y por ello su presencia aumenta la conductividad eléctrica de la muestra Microlab Industrial (s/f).

Tabla 17. ANOVA para la variable Solidos Disueltos Totales (SDT) del lixiviado.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F _{tabular}	
					0,05	0,01
Tiempo (A)	1	27818,9	27818,9	0,01 NS	4,75	9,33
Dosis (B)	2	3383491,84	1691746	0,49 NS	3,89	6,93
A*B	2	12240912,97	6120456	1,78 NS	3,89	6,93
Error	12	41357720,01	3446477			
Total	17	57009943,72				

CV = 49,04%

4.4.5. Oxígeno disuelto (OD)

Tabla 18. ANOVA para la variable Oxígeno disuelto (OD) en el lixiviado.

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F _{tabular}	
					0,05	0,01
Frecuencia (T)	1	0,02	0,02	8,46*	4,75	9,33
Dosis (D)	2	0,03	0,01	5,24*	3,89	6,93
T*D	2	0,02	0,01	3,28NS	3,89	6,93
Error	12	0,03	0,0024			
Total	17	0,09				

CV = 19,91%

Existe significación estadística para el efecto de los factores estudiados en la cantidad de OD en el lixiviado; esto significa que tanto la Frecuencia de aplicación como la dosis de ME, afectan la actividad físico-química y microbiológica de este sistema acuoso. Contrariamente, la interacción (T*D) no tuvo significación estadística, indicando que los factores antes citados, actúan de manera independiente (Tabla 18).

En comparación con las frecuencias de aplicación de 20 días, las aplicaciones frecuentes de ME (cada 15 días), a los 120 días de experimentación, disminuyeron la cantidad de OD en el lixiviado en $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabla 19, Figura 14), y con ello, la actividad físico-química y microbiológica del lixiviado, fenómeno que podría deberse al efecto del crecimiento poblacional de los ME, más no, a la proliferación de bacterias patógenas como las coliformes totales y coliformes fecales, pues se conoce que los primeros y específicamente las bacterias ácido lácticas, producen ácido láctico, que reprime el crecimiento poblacional de las coliformes (Rodríguez y Palenzuela 2000), las que a su vez, constituyen un factor determinante del grado de contaminación del agua residual (Metcalf y Eddy 2003).

Tabla 19. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *frecuencia de aplicación* de ME en el OD del lixiviado.

Ord. de merito	Niveles	Medias (mg.L^{-1})	Significación al 5%
1	f_2 (20 días)	0,28	A
2	f_1 (15 días)	0,21	B

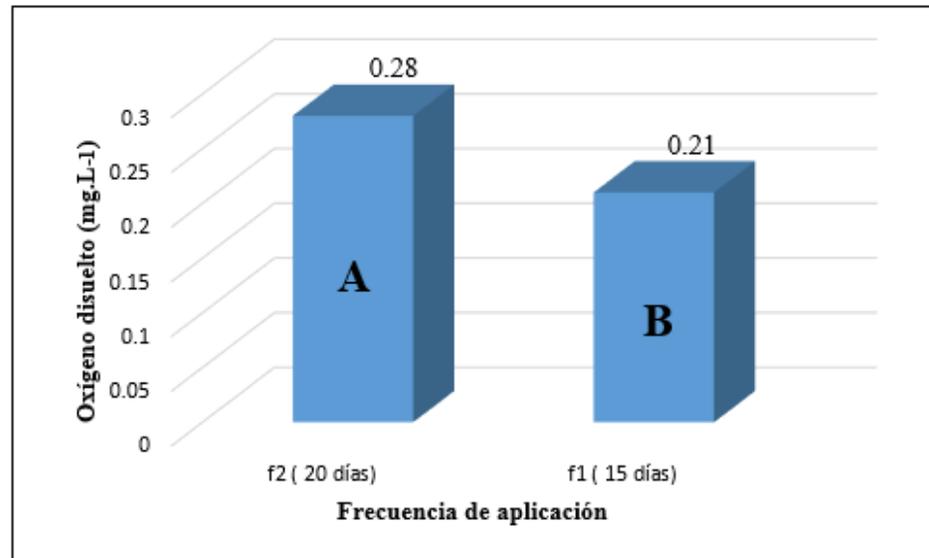


Figura 14. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *frecuencia de aplicación* de ME en el OD del lixiviado

Al analizar el efecto de la dosis de ME en el OD del lixiviado (Tabla 20 y Figura 15), se determinó que los niveles d2 (300 mL de ME. L de lixiviado⁻¹) y d1 (200 mL de ME. L de lixiviado⁻¹) son estadísticamente iguales pero superiores al nivel d₀ (0,0 mL de ME. L de lixiviado⁻¹), demostrándose así que, la incorporación de ME, en cualquiera de las dosis estudiadas, mejora la concentración de oxígeno disuelto en el lixiviado en 0,08 mg.L⁻¹ en el lapso de 120 días.

La tendencia a la recuperación de la calidad del lixiviado es adecuada; sin embargo, al contrastar los niveles de OD en el lixiviado tratado con ME (0.28 mg.L⁻¹) con los niveles mínimos de OD (>4 mg.L⁻¹) establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental del Agua Categoría 4 – E2 Sierra - Decreto Supremo N° 015-2015 MINAM (Anexo 4), se observa que la mejora en la calidad es lenta. La misma tendencia, pero con mayor efectividad ha sido obtenida por Cardona y

García (2008), quienes después de aplicar ME a aguas residuales domésticas, obtuvieron resultados que oscilaron entre 1.6 a 2.0 mg de OD. L de agua residual¹, valor que también resulta ser inferior al requerido por antes citado Estándar de Calidad Ambiental del Agua Categoría 4.

Si bien, la aplicación de los tratamientos ha permitido mejorar la calidad del lixiviado, los niveles de OD alcanzados aún son bajos. En este sentido, adoptamos el criterio de Metcalf y Eddy (2005) y se sostiene que a los 120 de experimentación, el bajo nivel de oxígeno indica contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por lo tanto, consideramos necesario combinar el uso de los ME con otros métodos de recuperación de la calidad del agua a fin de lograr mejores resultados en menores tiempos.

Tabla 20. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *dosis* de ME en el OD del lixiviado.

Ord. de merito	Niveles	Medias (mg.L ⁻¹)	Significación al 5%
1	d ₂ (300 mL)	0,28	A
2	d ₁ (200 mL)	0,28	A
3	d ₀ (0,0 mL)	0,20	B

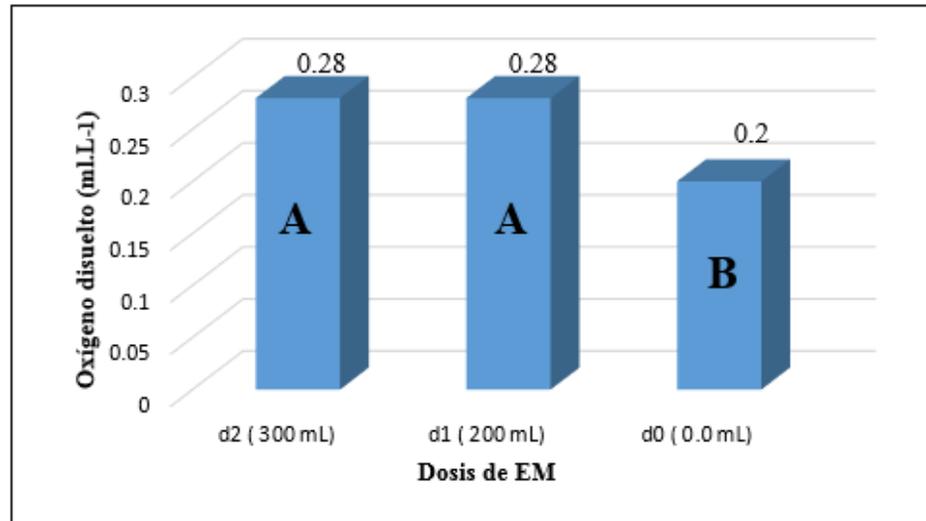


Figura 15. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de la *dosis* de ME en el OD del lixiviado.

4.4.6. Nitratos

Después de 120 días de experimentación, no se ha determinado la existencia de significación estadística para el efecto de la *frecuencia de aplicación* de ME, de la *dosis* de ME empleada, ni para la interacción de éstos factores (T*D) en el contenido de nitratos del lixiviado (Tabla 21). Esto indica que, la población de microorganismos fotosintéticos, como parte de los ME utilizados en la presente investigación, ha sido insuficiente para bio procesar la enorme cantidad de nitratos contenida en el lixiviado; y que el lixiviado no contuvo bacterias nitrato reductoras, en cantidad suficiente, para transformar nitratos en nitritos (e.g. *E. coli*) o nitratos en nitrógeno molecular (e.g. *Paracoccus denitrificans* y *Pseudomonas stutzeri*) o simplemente que el reducido y lento incremento de oxígeno disuelto contribuyó a limitar el crecimiento poblacional y la actividad reductora de estas bacterias anaeróbicas.

Tabla 21. ANOVA para la variable Nitratos.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F _{tabular}	
					0,05	0,01
Frecuencia (T)	1	42,44	42,44	0,04 NS	4,75	9,33
Dosis (D)	2	5270,81	2635,41	2,56 NS	3,89	6,93
T*D	2	339,29	169,64	0,17 NS	3,89	6,93
Error	12	12332,12	1027,68			
Total	17	17984,66				

CV = 57,48%

Frente a la escasa posibilidad de reducir la contaminación por nitratos, a través de ME, se propone combinar este método con otras tecnologías disponibles, como, electrodiálisis, ósmosis inversa, resinas aniónicas, eliminación biológica y eliminación catalítica del NO₃ del lixiviado (Palomares 2015), pues, la presencia de cantidades excesivas de nitrato en una fuente de agua constituye un factor de riesgo para la salud debido a que éstos, bajo la acción de determinados microorganismos en el estómago se reducen a nitritos, que al ser absorbidos en la sangre, convierten a la hemoglobina en metahemoglobina, la misma que inhibe el transporte de oxígeno (Síndrome de bebé azul). Pero también, los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas compuestos que pueden ser cancerígenos (OMS 1978, Eliano et al. 1995).

4.4.7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) del lixiviado

Los resultados del ANOVA para la variable DBO₅ (Tabla 22), arrojan una alta significación estadística al 5 y 1% de probabilidad para los factores en estudio (*frecuencia* y *dosis*), así como para la *interacción* de dichos factores (T*D), lo

cual indica que estos factores actúan conjuntamente para provocar efectos estadísticos altamente significativos en la variable DBO₅ (Tabla 24).

Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable DBO₅.

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Frecuencia (T)	1	1244870,88	1244871	4209708,27**	4,75	9,33
Dosis (D)	2	39728657,74	19864329	67174058,73**	3,89	6,93
T*D	2	11990717,66	5995359	20274160,23**	3,89	6,93
Error	7	2,07	0,3			
Total	12	67339431,23				

CV = 0,03%

Tabla 23. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para la interacción de los factores en estudio

Ord. de merito	Tratamientos	Medias (mg/L)	Significación al 5%
1	d ₂ f ₂	6569,07	A
2	d ₂ f ₁	2857	B
3	d ₁ f ₁	2580,35	C
4	d ₁ f ₂	853,75	D
5	d ₀ f ₁	81,2	E
6	d ₀ f ₂	81,2	E

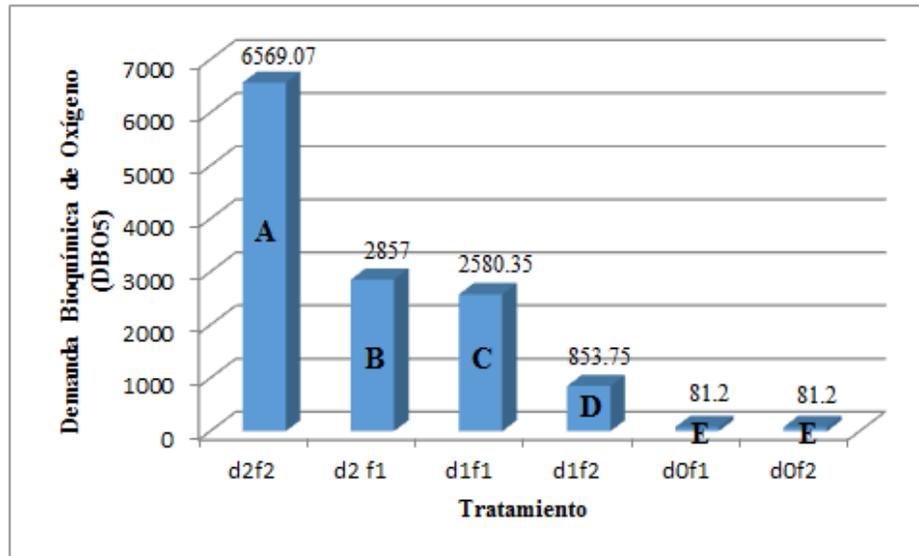


Figura 16. Prueba de Duncan para el mejor tratamiento y cantidad DBO₅

La prueba de rango múltiple de Duncan al 5% de probabilidad (Tabla 23, Figura 16), evidencia que el tratamiento T₆ (d₂f₂), con una media de 6 569,07 mg.L⁻¹, es estadísticamente superior al resto de tratamientos, valor que resulta ser 80,9 veces mayor que el obtenido con el tratamiento control (81,2 mg.L⁻¹), en 120 días de experimentación. Si se toma en cuenta que la única diferencia entre el tratamiento 6 y el control, es la presencia de ME (300 mL de ME. L de lixiviado⁻¹), entonces, el significativo aumento en el valor de la DBO₅, se debe a los incrementos poblacionales de los microorganismos que formaron parte de la solución de ME-activado. En efecto, éstos son microorganismos aerobios y, por lo tanto, demandan de oxígeno para el desarrollo de sus procesos metabólicos, razón por la cual, su crecimiento poblacional queda directamente relacionado con su demanda de oxígeno. Al respecto, Sánchez (2007), refiere que la demanda bioquímica de oxígeno es un indicador del consumo de oxígeno de los microorganismos.

También es considerada como la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos aerobios puedan oxidar metabólicamente la materia orgánica presente en la muestra de agua. Desde ésta perspectiva, la DBO nos da información de la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en una muestra, sin aportar información sobre la naturaleza de la misma. Sin embargo, debe tenerse presente que un bajo DBO no tiene porqué ser indicativo de un bajo nivel de contaminación orgánica, dado que existen sustancias difícilmente biodegradables (sustancias refractarias) o que incluso inhiben al proceso biológico (tóxicos) (Asnar Jimenez 2000), pues, conforme lo afirma Sánchez (2007), la DBO_5 es el resultado de la degradación de tres tipos de materiales: materiales orgánicos carbónicos (microorganismos aerobios), nitrógeno oxidable (Nitrosomas y Nitrobacter), compuestos químicos reductores.

En base a lo expuesto, nuestra solución de lixiviado tratada con ME, al haber sufrido un aumento exponencial el en valor de la BDO_5 , el cual refleja una elevada cantidad de materia orgánica biodegradable, no ha sido beneficiada por la presencia de ME en la recuperación de su calidad; y, por el contrario, el agua sigue presentando riesgos para la salud. En efecto, de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental Agua Categoría 4 – E2 Ríos de la Sierra (Anexo 4), el valor obtenido de DBO_5 ($6\ 569,07\ \text{mg.L}^{-1}$), es muy superior a la cantidad establecida para estos cursos de agua ($10\ \text{mg.L}^{-1}$).

Bajo distintas condiciones de experimentación y con diferente tipo de agua (agua residual de la Planta de Tratamiento de San Cristobal en Guatemala), Pontaza

(2014), utilizó ME a una temperatura comprendida entre 25 a 35 °C y logró un incremento de 19,07% en la eficiencia de remoción de DBO.

4.4.8. Coliformes totales

Tanto la frecuencia de aplicación, como la dosis de ME y la interacción de ambos, tiene un efecto estadístico altamente significativo en la población de Coliformes Totales del lixiviado (Tabla 24).

Tabla 24. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Coliformes Totales.

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Frecuencia (T)	1	14059285,71	14059285,71	14742229577142,8 **	4,75	9,33
Dosis (D)	2	19196350058	9598175029	10064415979418400**	3,89	6,93
T*D	2	25946944000	12973472000	13603671375872000**	3,89	6,93
Error	4	0.0000036	0,00000095			
Total	9	45149855058				

$$CV = 0,00001\%$$

La prueba de rango múltiple de Duncan al 5% de probabilidad (Tabla 25 y Figura 17), muestra que la población de Coliformes Totales en la solución de lixiviado, a los 120 días de experimentación, se incrementó considerablemente de 79 NMP (tratamientos control) a 170 000 NMP (t_3 : 200 ml de ME + 15 días; t_6 : 300 ml ME + 20 días), lo cual indica que los ME no tuvieron el efecto esperado en el tratamiento de lixiviados, pues lejos de reprimir el crecimiento poblacional de Coliformes, facilitó su proliferación y posible formación de biopelícula. Desde este punto de vista, nuestros resultados distan del enunciado de Higa y Chinen (1998), quienes indican que la fermentación con ME, suprime la putrefacción y la

condición antioxidante resultante del metabolismo de algunos de los microorganismos que componen el ME, eliminando la propagación de microorganismos patógenos. También difieren de los resultados de Fioravanti (2005), quien después de realizar un análisis de la eficiencia de los ME en la estabilización de lodos sépticos para uso agrícola, logró eliminar el 99% de Coliformes totales, en 15 días de tratamiento.

Tabla 25. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para la interacción de los factores en estudio (Frecuencia y dosis)

Ord. de Merito	Tratamientos	Medias (NMP)*	Significación al 5%
1	d ₂ f ₂	170000	A
2	d ₁ f ₁	170000	A
3	d ₂ f ₁	13000	B
4	d ₁ f ₂	4900	C
5	d ₀ f ₂	79	D
6	d ₀ f ₂	79	D

*NMP: Número Más Probable. 100 mL de muestra⁻¹

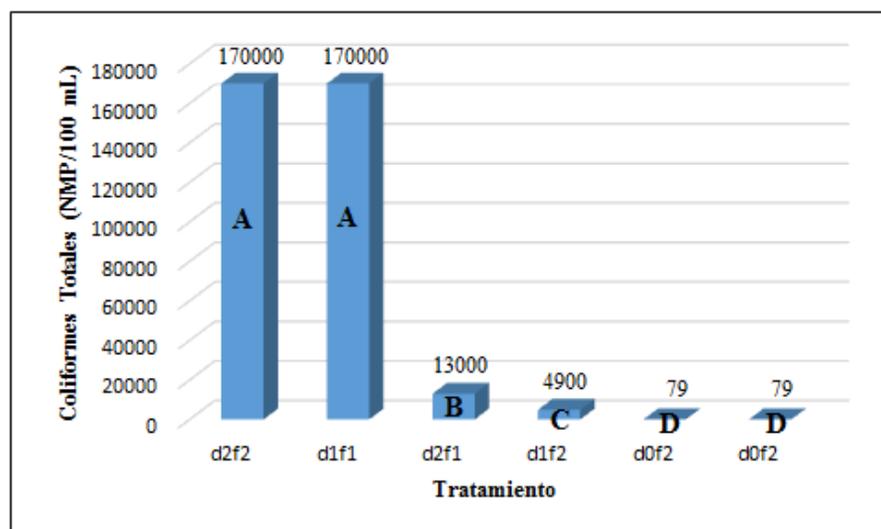


Figura 17. Prueba de Duncan para el mejor tratamiento y cantidad coliformes totales.

4.4.9. Coliformes termotolerantes

Tabla 26. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Coliformes Termotolerantes.

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Frecuencia (T)	1	5140800,86	5140800,86	5519892889169340**	4,75	9,33
Dosis (D)	2	9770900,86	4885450,43	5245712453622300**	3,89	6,93
T*D	2	9224944,6	4612472,3	4952604420551470 **	3,89	6,93
Error	12	3,70E-09	9,30E-10			
Total	17	21394885,86				

$$CV = 0,00001\%$$

El ANOVA para la variable Coliformes Termotolerantes (Tabla 26), refleja una alta significación estadística, al 5 y 1% de probabilidad, para los factores en estudio (*frecuencia* de aplicación y *dosis* de ME), así como para la interacción de dichos factores (T*D), lo cual indica que estos factores actúan conjuntamente para definir el comportamiento del Número Más Probable (NMP) de coliformes termotolerantes en las muestras de lixiviado.

Tabla 27. Prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad para la interacción de los factores en estudio

Ord. de merito	Tratamientos	Medias (NMP)*	Significación al 5%
1	d ₁ f ₂	4900	A
2	d ₂ f ₂	110	B
3	d ₁ f ₁	79	C
4	d ₂ f ₁	33	D
5	d ₀ f ₂	1.8	E
6	d ₀ f ₁	1.8	E

*NMP: Número Más Probable. 100 mL de muestra¹

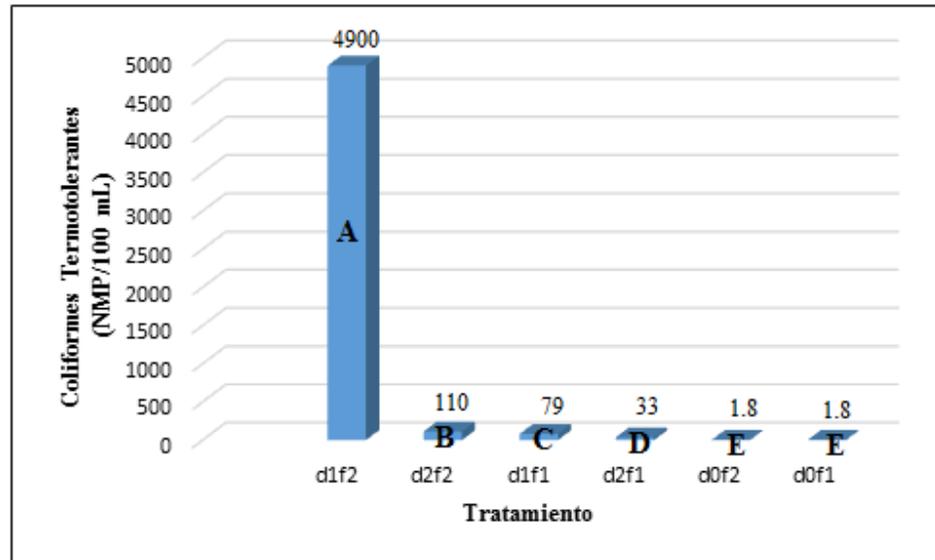


Figura 18. Prueba de Duncan para el mejor tratamiento y cantidad Coliformes Termotolerantes.

La prueba de rango múltiple de Duncan al 5% de probabilidad (Tabla 27 y Figura 18), indica que el tratamiento T₄ (200 mL de ME + 20 días) con un NMP promedio de coliformes termotolerantes de 4 900, es estadísticamente superior al resto de tratamientos y particularmente a los tratamientos testigo en los cuales, el NMP promedio fue de 1,8 coliformes termotolerantes. 100 mL de muestra de lixiviado⁻¹. En consecuencia, el tratamiento de lixiviados con ME ha favorecido el aumento de la población de coliformes termotolerantes hasta en 2 722 veces, comparado con el testigo. A la vez, el NMP obtenido (4 900 Coliformes termotolerantes. 100 mL de muestra⁻¹) es extremadamente superior a la cantidad establecida por el Estándar de Calidad Ambiental Agua Categoría 4 – E2 para ríos de Sierra (2000 NMP/100 mL).

La aplicación de los ME para reducir la población de coliformes termotolerantes a niveles inferiores de 1,8. 100 mL de la muestra⁻¹ (tratamiento testigo) denota que su incorporación en la solución de lixiviado, caracterizado por un adecuado nivel de materia orgánica y pH, entre otros, facilitó el crecimiento poblacional de coliformes termotolerantes, y probablemente, como lo señala la Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (s/f), de otros géneros de microorganismos autóctonos de aguas con residuos vegetales, como hojas en descomposición, capaces de reproducirse en las biopelículas y que incluso pueden ser lactosa-negativas (apareciendo como positivas si se aplica la prueba de B-galactosidasa). Los Termotolerantes diferentes de *Escherichia coli* pueden proceder de aguas orgánicamente enriquecidas, como efluentes industriales, materias vegetales y suelos en descomposición. Resulta, por lo tanto, necesario determinar el tipo y concentración de cada microorganismo termotolerantes presente en el lixiviado a fin de que las instituciones involucradas en el manejo de los residuos sólidos de Cajamarca, puedan tomar las decisiones más apropiadas en relación al tratamiento de lixiviados y la conservación del ecosistema.

4.4.10. Olor

Este parámetro organoléptico se evaluó mediante percepciones sensoriales directas. Para ello, tanto al inicio del experimento, como a los 60 y 120 días después, se retiró cada módulo experimental de la vitrina donde se encontraba instalado experimento y se procedió a percibir el olor del lixiviado, detectándose

una considerable variación del olor en función al tiempo de experimentación (Tabla 28).

Tabla 28. Evaluación sensorial del olor del lixiviado contenido en los módulos (M) de experimentación.

Primera evaluación (Al inicio del experimento)	Segunda evaluación (A 60 días de iniciado el experimento)			Tercera evaluación (A 120 días de iniciado el experimento)		
M0 Testigo	M3	M9	M15	M3	M9	M15
Olor desagradable muy fuerte Valor Escala: 4	Olor desagradable puntual Valor Escala: 2			Leve olor a vinagre Valor Escala: 1		
M0 Testigo	M4	M10	M16	M4	M10	M16
Olor desagradable muy fuerte Valor Escala: 4	Olor desagradable puntual Valor Escala: 2			Leve olor a vinagre Valor Escala: 1		
M0 Testigo	M5	M11	M17	M5	M11	M17
Olor desagradable muy fuerte Valor Escala: 4	Olor desagradable puntual Valor Escala: 2			Leve olor a vinagre Valor Escala: 1		
M0 Testigo	M6	M12	M18	M6	M12	M18
Olor desagradable muy fuerte Valor Escala: 4	Olor desagradable puntual Valor Escala: 2			Leve olor a vinagre Valor Escala: 1		

Al inicio del experimento, el olor de los lixiviados en los módulos de experimentación fue desagradable (putrefacto) con un valor de 4 de acuerdo a la escala Apéndice 1, muy fuerte y perceptible no sólo en el laboratorio sino también en los exteriores del mismo. Este olor putrefacto tuvo un cambio gradual a partir del día 14 de instalado el experimento. A partir del día 33 hasta el día 120 de investigación el olor fue a vinagre obteniendo un valor de 1 (escala contemplada en el Apéndice 1). Estos resultados coinciden con Fioravanti (2005) quien en el análisis de la eficacia de los microorganismos ME para estabilizar lodos sépticos para su uso agrícola, realizados en un periodo de 4 semanas, pudo comprobar que, en la primera semana el olor de los lodos

fue “Muy fuerte a putrefacción” y en la semana 4, la descripción sensorial del olor pasó a “Fuerte a fermentación”. Mauz (2006) aclara que los ME reducen olores porque favorecen el proceso de nitrificación-desnitrificación, que elimina el nitrógeno, incluyendo el amoniacal, el cual es el responsable de malos olores. Además, el ME utiliza sustancias asociadas a los malos olores (putrefacción), dentro de los cuales destacan el sulfhídrico y metilmercaptano, como receptores finales de cargas de la cadena respiratoria.

4.4.11. Color

Este parámetro organoléptico se evaluó mediante percepciones sensoriales utilizando el sentido de la vista. Para tal propósito, se realizó una minuciosa observación del lixiviado contenido en los módulos experimentales (Tabla 29), cada uno de los cuales fue fotográficamente registrado.

Tabla 29. Evaluación sensorial del color del lixiviado contenido en los módulos (M) de experimentación.

Primera evaluación (Al inicio del experimento)	Segunda evaluación (A 60 días de experimentación)			Tercera evaluación (A 120 días de experimentación)		
M0 Testigo Verde amarillento Valor escala: 5	M3	M9	M15	M3	M9	M15
	Verdoso oscuro, con natillas Valor escala: 4			Marrón claro Valor escala: 1		
M0 Testigo Verde amarillento Valor escala: 5	M4	M10	M16	M4	M10	M16
	Verdoso oscuro, con natillas Valor escala: 4			Marrón claro Valor escala: 5		
M0 Testigo Verde amarillento Valor escala: 5	M5	M11	M17	M5	M11	M17
	Verde oscuro, con natillas Valor escala: 5			Marrón oscuro Valor escala: 2		
M0 Testigo Verde amarillento Valor escala: 5	M6	M12	M18	M6	M12	M18
	Verde oscuro, con natillas Valor escala: 5			Marrón oscuro Valor escala: 2		

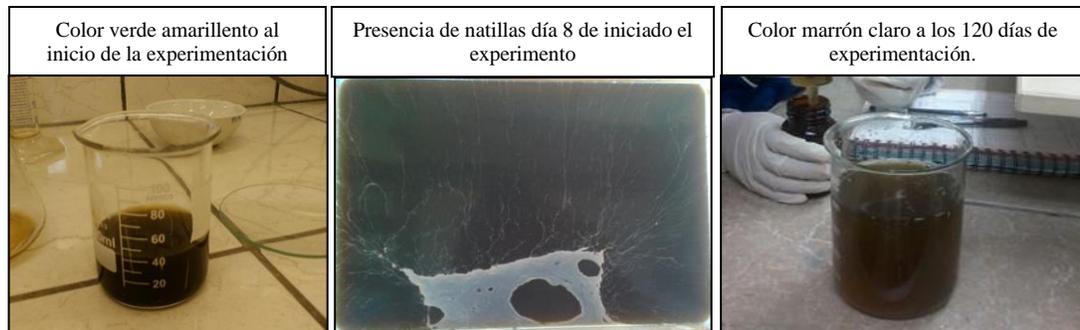


Figura 19. Variación del color del lixiviado del inicio de la experimentación hasta el día 120.

Al término del periodo de investigación (120 días), se determinó que mientras el tratamiento testigo mantuvo un color verde amarillento con un valor de 5 de acuerdo a la escala detallada en el Apéndice 1, en los demás módulos de experimentación el color varió desde un verde oscuro (5) con presencia de natilla (60 días de iniciado el experimento) hasta finalmente a un color marrón claro (1) /oscuro (2) al cabo de 120 días de iniciado el experimento. El manto de natillas denotó la presencia de grasas en la superficie del lixiviado y fue formado a partir del día 8 de iniciado el experimento. Este manto desapareció a los 41 días del tratamiento.

Nuestros resultados son similares a los obtenidos por Fioravanti (2005), quien al tratar lodos sépticos con ME observó que el color durante la primera semana pasó de un color “Café grisáceo” a un color “Café claro/caramelo” en la evaluación realizada en la cuarta semana. De manera semejante, en un experimento con aguas residuales y ME, Wood (2002), explica que el color café rojizo (caramelo) corresponde a colonias de bacterias ácido lácticas y/o levaduras.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Antes de la experimentación, las bacterias ácido lácticas fueron los microorganismos de mayor densidad poblacional promedio ($181,4$ individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$) en la solución activada de microorganismos eficaces ME; a tres horas de iniciado el experimento, la predominancia en el lixiviado tratado con 200 y 300 mL de ME, continuaba siendo por las bacterias ácido lácticas ($16,6$ individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$ y $29,8$ individuos. $0,5 \text{ mL}^{-1}$); al concluir el análisis se evidenció la adaptación de los microorganismos en el lixiviado y el incremento de su densidad poblacional en $48,4\%$ para las levaduras; $67,1\%$ las bacterias ácido lácticas y $19,7\%$ las bacterias fototróficas.
2. En comparación con las *frecuencias* de aplicación de 20 días, las aplicaciones quincenales de ME, inducen una disminución de $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$ en la cantidad de oxígeno disuelto en el lixiviado. En cuanto a los sólidos disueltos totales y nitratos, no se tuvo efecto estadístico alguno para la frecuencia de aplicación de ME, dosis y su interacción de estas variables.
3. La incorporación de 200 mL de ME/L de lixiviado, incrementó: el pH, de $7,5$ a $8,27$; la temperatura, de $19,6$ a $22,03 \text{ }^\circ\text{C}$; la cantidad de sólidos suspendidos totales, de 126 a $887,95 \text{ mg.L}^{-1}$; el oxígeno disuelto, de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,28 \text{ mg.L}^{-1}$; el valor de la DBO_5 , de $81,2 \text{ mg.L}^{-1}$ en el testigo a $6\ 569,07 \text{ mg.L}^{-1}$, la población de Coliformes totales, de 79 NMP (tratamientos control) a $170\ 000 \text{ NMP}$ y la población de Coliformes



termotolerantes, hasta en 2 722 veces comparado con el testigo, lo cual es un claro indicador que los ME no favorecieron la recuperación de la calidad de lixiviados.

RECOMENDACIONES

1. A las instituciones encargadas de la disposición y manejo de residuos sólidos, se les recomienda el uso de los Microorganismos Eficaces EM para el control de olores y mejoramiento del color del lixiviado generado en los rellenos sanitarios.
2. Se deberá evaluar la combinación de esta biotecnología con otros métodos de recuperación de la calidad del lixiviado a fin de lograr mejores resultados en los parámetros: Sólidos suspendidos totales, Sólidos disueltos totales, Oxígeno disuelto, Nitratos, Demanda bioquímica de oxígeno, Coliformes totales y termotolerantes.

LISTA DE REFERENCIAS

APHA. 2005. Progress in Industrial Microbiology. Vol. 23. Editorial Elsevier. United States. 81p.

APHA-AWWA-WEF 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 813p.

Asnar Jimenez, Antonio. 2000. Determinación de los parámetros físico-químicos de la calidad de las aguas. Instituto Tecnológico de Química y Materiales “Álvaro Alonso Barba”. Universidad Carlos III. Leganes, Madrid-España. En: Gestión Ambiental 2000, vol. 2, 232p.

Atlas, R.; Bartha, R. 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Cuarta edición. Editorial Pearson Educación S.A, Madrid, España. 696 p.

Atlas, R; Bartha, R. 1998. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Tercera edición. Editorial Addison Wesley, España. 677p.

Banco Interamericano de Desarrollo. 2009. Manual Práctico del Uso de EM. Primera Edición. Editorial OISCA, Uruguay. 37p.

Barrenechea, A. 2005. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Lima, PE. UNALM. 56p.

Cardona, J.; García, L. 2008. Aplicación de Microorganismos para Tratar Aguas Residuales Domésticas. Colombia. 158p.

Chavarro, M. 2006. Evaluación de la tratabilidad de los lixiviados en el relleno sanitario de Pereira mediante filtros anaeróbicos de flujo ascendente a escala piloto. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/6587/3713>

CONAM. 2006. Curso Virtual de Residuos Sólidos Municipales - Módulo I, 35p.

Congreso de la República del Perú. 2000. Ley 27314. Ley General de Residuos Sólidos. 10 de julio.

Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). Gesta Agua 2007. 145p.

EMPROTEC. 2004. Guía de la Tecnología EM – EM Producción y Tecnología S.A. 36p.

Fioravanti, M; Vega. N. 2005. Eficiencia de los Microorganismos Eficaces (EM) En la Estabilización de Lodos Sépticos para su Uso Agrícola. Revista de la Universidad Earth, Costa Rica. 76p.

García, J. 2006. Comparación de la fertilización orgánica y convencional a partir del uso de microorganismos eficaces y químicos tradicionales sobre la producción de biomasa durante un ciclo de cosecha en un cultivo de rábano gordo (*Rhapanus sativus L.*). Investigación Educativa (Revista Latinoamericana de Microbiología) 82p.

Giraldo, E. 2002. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes. Universidad de los Andes, 119p.

Gonzales, E.; 2008. Análisis comparativo por zonas de la calidad de lixiviado respecto al tiempo de residencia en el relleno sanitario Doña Juana, Bogotá. 124p.

Harvey, W.B., Dreus, S., Wang, D. 1985. Comprehensive biotechnology, the practice of biology: Current commodity products. Third Edition. Pergamon press. United States. 250p.

Higa, T.; Chinen, M. 1998. Una Revolución para Salvar la Tierra. Traducción Ma. Del Mar Riera. EM 3. Research Organization. Okinawa. Japón. Versión en español 352 p.

Higa, T.; Parr, J. 1994. Beneficial y Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture y Environment. International Nature Farming Venter. Japan. 17p.

Holt, J. 2000. Bergey`s manual of determinative bacteriology. Novena edición. Editorial Lippincott Williams y Wikins Eds. Estados Unidos. 78p.

Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2011. Análisis Sectorial de Municipalidades. 123p.

Jaramillo, J. 2002. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales: Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. CEPIS/OPS/OMS, Lima. 287p.

Lara Porras A.M. 2001. Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS. Ed. Proyecto Sur. 150p.

Mauz, Franz Peter 2006. Microorganismos Efectivos. La solución ideal para el medio ambiente. Traducción Marie Luise Schicht. RBA libros Barcelona. 235 p.

Mendoza, P. 2004. Estudio de la calidad del lixiviado del relleno sanitario La Esmeralda y su respuesta bajo tratamiento en filtro anaerobio piloto de flujo ascendente. Universidad Nacional de Colombia 125p.

Merck, 2003. Manual de medios de cultivo. Agar para Lactobacillus. Según de Mann, Rogosa y Sharpe. España. 126p.

Metcalf, E. 2005. Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill/ Interamericana S.A. 1819 p.

Metrohm 2012. Manual de uso del equipo 826 pH Mobile. 36p.

Microlab Industrial (s/f). Los sólidos en el agua; maneje sus sólidos y mejore su efluente. Disponible en: <http://www.aguasresiduales.info/revista/blog/los-solidos-en-el-agua-maneje-sus-solidos-y-mejore-su-efluente>

Ministerio del Ambiente Decreto Supremo N° 015-2015 MINAM. Estándar de Calidad Ambiental Agua Categoría 4

Ministerio del Ambiente 2011. Guía de: Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. 87p.

Mironel C. 2008. Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Universidad de Sucre. 105p.

Montes C. 2009. Régimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos. Universidad Externado de Colombia. 261p.

Municipalidad Provincial Cajamarca, 2008. Expediente Técnico de la Infraestructura de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Ciudad de Cajamarca. 108 p.

Multi-Thermometer (s/f). Manual de uso termómetro digital tipo martillo, modelo ST-9265. 30p.

Muñoz, K.; Bedoya, A. 2009. El papel de los residuos sólidos, en la solución de problemas ambientales. Economía Autónoma. 175p.

Netzaj, E., Kacprzak, M., Kamizela, T., Lach, J. 2008. Sequencing batch reactor system for the co-treatment of landfill leachate and dairy wastewater. Desalination 409p.

OMS-World Health Organization. 1978. Nitrates, nitrites and Nitroso compounds. En: Environmental Health Criteria 5. Genova.

Palomares, Antonio E. 2015. Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento. Instituto de Tecnología Química (UPV-CSIC). Ministerio de Economía y Competitividad-Gobierno de España. Disponible en: www.esferadelagua.es/agua-y-tecnología/contaminación-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento

Pontaza, J. 2014. Eficiencia de Microorganismos Efectivos (EM) aplicados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Cristóbal. Universidad de San Carlos, Guatemala. 123p.

Ramírez, M. 2006. Tecnología de los Microorganismos Efectivos aplicada a la agricultura y el medio ambiente sostenible. Universidad Industrial Santander. 42p.

Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (s/f). Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas.

Disponible en: http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf

Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassoyan, F. 2007. Leachate treatment: Review and opportunity. Hazardous Material 493 p.

Roben, E. 2002. Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. DED/Municipalidad de Loja. Ecuador. 151p.

Rojas, M. 2012. Efecto de la concentración de los “Microorganismos Eficaces” (EM) en la degradación de materia orgánica de aguas residuales domesticas de las lagunas de oxidación del distrito de Moche-Región La Libertad.

Rodríguez, P. 2000. Los ácidos orgánicos como agentes antimicrobianos. XVI Curso de especialización FEDNA. Departamento de Biotecnología. Universidad Politécnica de Madrid. España 11p.

Ruíz, L. 2008. Rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas residuales utilizando microorganismos eficaces, en el distrito La Grama San Marcos. Universidad Nacional de Cajamarca 97p.

Sánchez, Ó; Herzig, M; Peters, E; Márquez, R; Zambrano, L. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología, San Nicolás de Hidalgo, México. 287p.

Tchobanoglous, G.; Theisen, H. y Vigil, S. 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw-Hill/Interamericana, España. 1607 p.

Torres, L.; Bárbara-Ho, L.; Ojeda, C.; Martínez, J.; Castaño, Y. 2014. Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad.

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a27.pdf>

Valles, A. 2014. Tratamiento fisicoquímico y biológico del lixiviado del relleno sanitario de la ciudad de Chihuahua. México. 95p.

Vernier Software y Tecnología (s/f). Lab Pro Manual del Usuario. Séptima edición. 25p.

Vivanco, A. 2003. Elaboración de EM Bokashi y su evaluación en el cultivo de maíz, bajo riego en Zapotillo. Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuario y de Recursos Naturales Renovables, Carrera de Ingeniería Agronómica. Ecuador 75p.

Wood, M.; Higa, T.; Farrelly, P.; Simpson, B. 2002. EM projects in USA. Seventh International Conference on Kyusei Nature Farming. Proceedings of the Conference on Nature Farming for the 21 Century. EM Research Organization, Okinawa, JP. 243p.



APÉNDICE

APÉNDICE I

PROTOCOLOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

1. Procedimiento para el conteo de Microorganismos Eficaces (ME)

- **Primero:** Colocar 0,05 mL (02 gotas) de muestra en la Cámara Neubauer, colocar el cubreobjetos y llevar a la observación en el microscópico.
- **Segundo:** Enfocar el microscópico en toda la parte marcada de la Cámara de Neubauer.
- **Tercero:** Iniciar el conteo de microorganismos por separado (ácido lácticos, levaduras y fototróficas).
- **Cuarto:** Se saca un promedio de las poblaciones de microorganismos por cada grupo y se va repitiendo el procedimiento para las muestras de los módulos de experimentación con volúmenes de 300 mL y 200 mL de EM activado aplicado.

El conteo de las poblaciones de microorganismos se realizó en cinco repeticiones por cada grupo de microorganismos evaluados, entre repeticiones se tiene que lavar el gotero con agua destilada para evitar cualquier contaminación o error en el procedimiento.

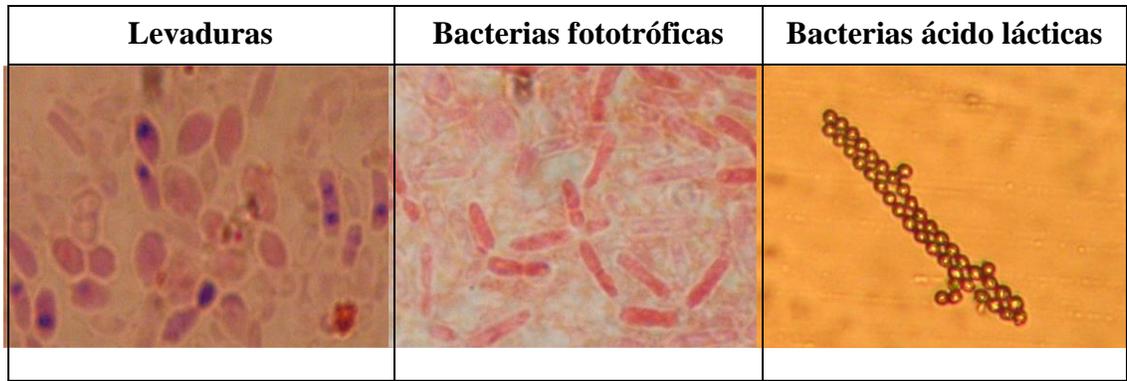
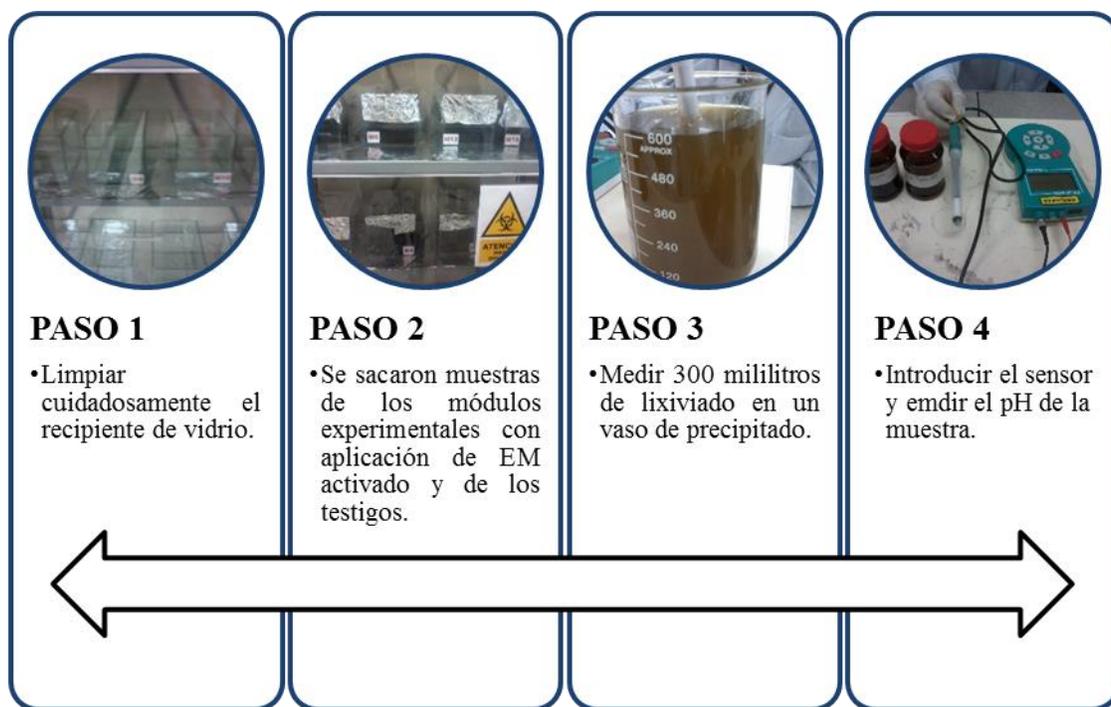


Figura 1. Poblaciones de microorganismo presentes en el ME

2. Procedimientos de análisis para parámetros fisicoquímicos

2.1 Análisis de pH

Se realizó la calibración del sensor para obtener resultados más precisos. Luego se procedió a sacar una pequeña muestra de la solución de lixiviado y EM de los módulos experimentales y se colocó en un vaso de precipitado; finalmente se introdujo el sensor del pH-metro digital portátil.



Fuente: Adaptado del manual de uso pH-metro digital portátil, marca Metrohn.

2.2 Medición de la Temperatura

Se realizó una calibración del termómetro digital. Luego se sacó una muestra de la solución de lixiviado y EM de los módulos experimentales y se colocó en tubos de ensayo, para posteriormente introducir el termómetro y registrar la temperatura.



Fuente: Adaptado del manual de uso termómetro digital tipo martillo, marca Multi-Thermometer.

2.3 Análisis de sólidos suspendidos totales (SST)

Este parámetro se realizó experimentalmente: Primero se midió 100 mL de muestra en una probeta graduada, se pesó el papel filtro y se lo dobló para colocarlo al embudo. Posteriormente se sacó el papel filtro después de filtrarse la solución (lixiviado y EM) a una capsula de porcelana (luna de reloj) y se llevó a secado en estufa de 100 °C ± 5°C durante una hora.

	PASO 1 <ul style="list-style-type: none">• Medir 100mL de la muestra de lixiviado.
	PASO 2 <ul style="list-style-type: none">• Pesar el papel filtro en la balanza analítica. A
	PASO 3 <ul style="list-style-type: none">• Colocar el papel filtro en el embudo y filtrar la solución.
	PASO 4 <ul style="list-style-type: none">• Al finalizar el paso 3 colocar el papel filtro en una cápsula de porcelana y se secó por una hora a 100 C°.
	PASO 5 <ul style="list-style-type: none">• Se procedió finalmente a enfriar el papel filtro más la solución y pesar en la balanza analítica. B

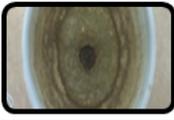
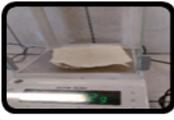
Fórmula para el cálculo de SST (mg.L⁻¹)

$$\frac{mg}{l} = SST = \frac{(B - A) * 1000}{V (mL)}$$

Fuente: Método APHA-AWWA-WEF – 2540 D.

2.4 Análisis de sólidos disueltos totales (SDT)

Este parámetro se realizó experimentalmente: Primero se midió 100 mL de muestra (solución lixiviado y EM) en una probeta graduada, se procedió a pesar el papel filtro; seguidamente el papel filtro fue colocado en el embudo, y se agregó poco a poco de muestra del lixiviado. Luego de haberse filtrado el lixiviado, el papel filtro fue colocado en una luna de reloj para ser pesado. Por último el papel filtro fue llevado a la plancha para su secado a una temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por tiempo de una hora.

	PASO 1 <ul style="list-style-type: none">• Pesarse la capsula de porcelana.	A
	PASO 2 <ul style="list-style-type: none">• Agregar 100mL de solución filtrada inicialmente.	
	PASO 3 <ul style="list-style-type: none">• Llevar a secar por 1 hora en la plancha de calentamiento a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.	
	PASO 4 <ul style="list-style-type: none">• Luego de secar enfriar aproximadamente media hora.	
	PASO 5 <ul style="list-style-type: none">• Pesarse la capsula con los residuos.	B

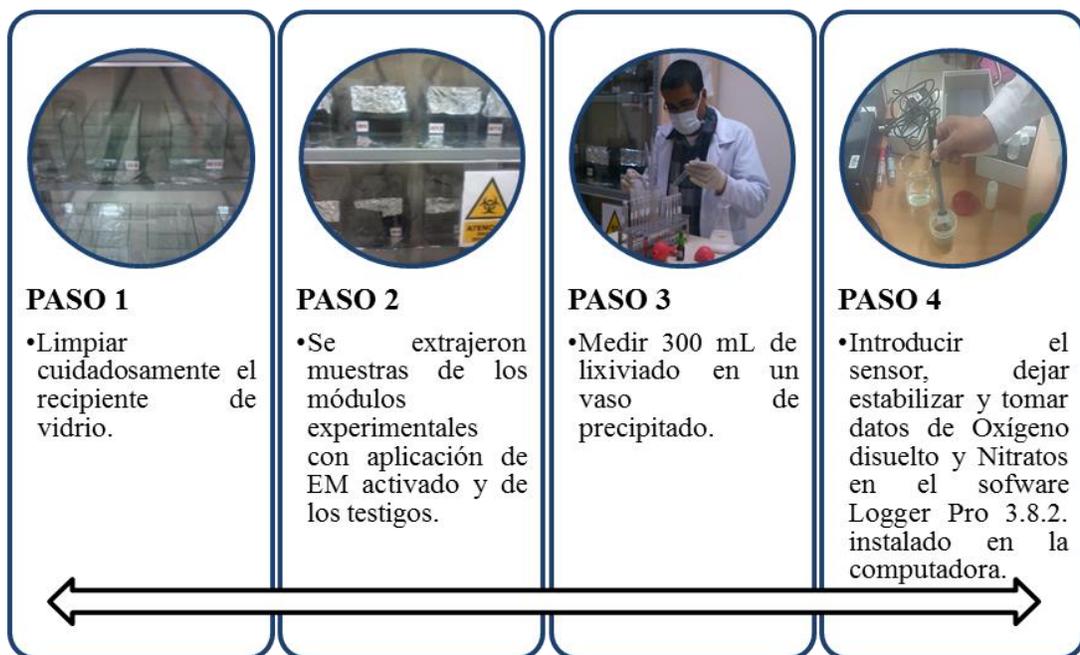
Fórmula para el cálculo de SDT ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

$$\frac{\text{mg}}{\text{l}} = \text{SDT} = \frac{(B - A) * 1000}{V (\text{mL})}$$

Fuente: Método APHA-AWWA-WEF – 2540 C.

2.5 Oxígeno Disuelto y Nitratos

Se realizó la calibración de los sensores para obtener resultados más precisos. Seguidamente se sacó una muestra de solución de lixiviado y EM de los módulos experimentales y se colocó cada uno en un respectivo tubo de ensayo, para luego introducir el sensor y determinar la cantidad de Oxígeno Disuelto y Nitratos.



Fuente: Adaptado del manual de usuario LabPro, marca Vernier Logger Pro.

2.6 Parámetros evaluados en el laboratorio NKAP

Parámetro	Norma - Método	Límite de detección	Tiempo de conservación recomendado/obligado
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	SMEWW, APHA, AWWA. WEF. Parte 5210 A,B 22nd Ed. 2012	<2.0 mg.L ⁻¹	-
Numeración de coliformes totales	SMEWW, APHA, AWWA. WEF. Parte 9221 B 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24 horas
Numeración de coliformes termotolerantes	SMEWW, APHA, AWWA. WEF. Parte 9221 E1 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24 horas

Fuente: Informes de ensayo de Laboratorio NKAP

2.7 Escala elaborada para comparación del parámetro olor

Para poder comparar los niveles de olor en los módulos de experimentación y de acuerdo a los tratamientos en estudio, el autor de la presente investigación elaboró una escala cuyo principio estuvo basado en sensaciones olfativas.

Descripción olfativa del olor	Valor
Sin Olor	0
Leve olor (vinagre)	1
Olor desagradable puntual	2
Olor desagradable fuerte	3
Olor desagradable muy fuerte (Putrefacto)	4

2.8 Escala elaborada para comparación del parámetro color

Para determinar niveles de comparación visual del color se elaboró una escala de las coloraciones registradas en los módulos de experimentación a los largo de los 120 días de experimentación.

Descripción visual del olor	Valor
Marrón claro	1
Marrón oscuro	2
Verde claro	3
Verde oscuro	4
Verde amarillento	5

APÉNDICE II

RESULTADO DE LOS ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LOS LIXIVIADOS EN LOS MÓDULOS EXPERIMENTALES

1. Caracterización inicial de las muestras de lixiviado antes del tratamiento (Testigo)

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADO
pH	-	7,50
Temperatura	°C	20,20
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	126
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	4326
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,19
Nitratos	mg.L ⁻¹	31,30
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg.L ⁻¹	81,20
Coliformes totales	NMP	79
Coliformes termotolerantes	NMP	<1,80

2. Resultados de análisis a los 40 días de aplicación de EM activado

2.1 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 15 días – 200 mL

PARAMETRO	U.M.	M 3	M 9	M 15	PROMEDIO
pH	-	8,35	8,39	8,36	8,36
Temperatura	°C	23,30	23,10	23,5	23,30
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	720	804	528	684
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	4232	5486	5720	5146
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,25	0,20	0,28	0,24
Nitratos	mg.L ⁻¹	62,79	61,90	90,40	71,70

2.2 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 20 días – 200 mL

PARAMETRO	U.M.	M 4	M 10	M 16	PROMEDIO
pH	-	8,17	8,37	8,32	8,28
Temperatura	°C	20,6	20,7	20,9	20,73
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	514	461	503	492,67
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	4032	4026	4020	4026
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,34	0,37	0,31	0,34
Nitratos	mg.L ⁻¹	80,2	101	102	94,4

2.3 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 15 días – 300 mL

PARAMETRO	U.M.	M 5	M 11	M 17	PROMEDIO
pH	-	8,32	7,90	8,12	8,11
Temperatura	°C	23,2	23,10	23,50	23,27
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	432	437	441	437
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	4286	4366	4446	4366
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,21	0,20	0,20	0,20
Nitratos	mg.L ⁻¹	23	32	41	32

2.4 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 20 días – 300 mL

PARAMETRO	U.M.	M 6	M 12	M 18	PROMEDIO
pH	-	7,58	7,64	7,62	7,61
Temperatura	°C	21,8	23,6	21,7	23,37
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	750	800	600	716,67
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	4982	4800	4618	4800

Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,32	0,41	0,42	0,38
Nitratos	mg.L ⁻¹	40,7	91,67	32,90	55,90

3. Resultados de análisis a los 80 días de aplicación de EM activado

3.1 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 15 días – 200 mL

PARAMETRO	U.M.	M 3	M 9	M 15	PROMEDIO
pH	-	8,07	8,25	8,30	8,21
Temperatura	°C	23,40	22,80	22,0	22,73
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	1000	1200	1000	1066,67
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	4232	6720	5486	5479,33
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,18	0,18	0,17	0,18
Nitratos	mg.L ⁻¹	75,45	63,2	69,35	69,32

3.2 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 20 días – 200 mL

PARAMETRO	U.M.	M 4	M 10	M 16	PROMEDIO
pH	-	8,07	8,32	8,24	8,21
Temperatura	°C	20,6	20,40	21,50	20,83
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	1300	1280	1240	1273,33
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	1723	1881	1904	1836
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,34	0,37	0,46	0,39
Nitratos	mg.L ⁻¹	57,9	88,1	101	82,33

3.3 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 15 días – 300 mL

PARAMETRO	U.M.	M 5	M 11	M 17	PROMEDIO
pH	-	8,32	8,55	8,41	8,43
Temperatura	°C	23,2	23,9	24,3	23,8
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	600	800	500	633,33
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	1962	1980	1979	1973,67
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,27	0,38	0,38	0,34
Nitratos	mg.L ⁻¹	139	144	124	135,67

3.4 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 20 días – 300 mL

PARAMETRO	U.M.	M 6	M 12	M 18	PROMEDIO
pH	-	8,24	8,34	8,31	8,30
Temperatura	°C	20,91	19,16	19,16	19,74
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	1000	1200	1600	1266,67
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	7600	9000	8600	8400
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,22	0,22	0,20	0,22
Nitratos	mg.L ⁻¹	114	150	78,33	114,11

4. Resultados de análisis a los 120 días de aplicación de EM activado

4.1 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 15 días – 200 mL

PARAMETRO	U.M.	M 3	M 9	M 15	PROMEDIO
pH	-	8,52	8,17	8,03	8,24
Temperatura	°C	19,4	20,8	21,4	20,53
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	600	800	600	666,67
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	2197	1644	2218	2019,67
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,18	0,17	0,20	0,18
Nitratos	mg.L ⁻¹	34,57	33,5	34,5	34,2
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg.L ⁻¹	2581,2	-	-	2581,2
Coliformes totales	NMP	170000	-	-	170000
Coliformes termotolerantes	NMP	79	-	-	79

4.2 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 20 días – 200 mL

PARAMETRO	U.M.	M 4	M 10	M 16	PROMEDIO
pH	-	8,33	8,35	8,31	8,33
Temperatura	°C	21,8	21,5	21	21,43
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	1200	1115	1118	1144,33
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	1075	1049	1117	1080,33
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,34	0,37	0,26	0,32
Nitratos	mg.L ⁻¹	47,7	57,1	24,8	43,20
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg.L ⁻¹	-	854	-	854
Coliformes totales	NMP	-	4900	-	4900
Coliformes termotolerantes	NMP	-	4900	-	4900

4.3 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 15 días – 300 mL

PARAMETRO	U.M.	M 5	M 11	M 17	PROMEDIO
pH	-	7,66	7,84	8,01	7,84
Temperatura	°C	21,0	19,5	20,5	20,33
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	600	600	400	533,33
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	1708	1740	1809	1752,33
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,22	0,22	0,21	0,22
Nitratos	mg.L ⁻¹	41,4	47,68	55,6	48,23
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg.L ⁻¹	-	2857	-	2857
Coliformes totales	NMP	-	13000	-	13000
Coliformes termotolerantes	NMP	-	33	-	33

4.4 Módulos con aplicación de EM con frecuencia de 20 días – 300 mL

PARAMETRO	U.M.	M 6	M 12	M 18	PROMEDIO
pH	-	8,35	8,47	7,88	8,23
Temperatura	°C	22	21	22	21,67
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	1000	800	1400	1066,67
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	1296	1304	1307	1302,33
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,35	0,29	0,23	0,29
Nitratos	mg.L ⁻¹	27,4	27,56	34,49	28,82
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg.L ⁻¹	-	6568,57	-	6568,57
Coliformes totales	NMP	-	170000	-	170000
Coliformes termotolerantes	NMP	-	110	-	110

5. Caracterización Final de las muestras de lixiviado (Testigo)

PARAMETRO	U.M.	RESULTADO
pH	-	7,5
Temperatura	°C	19
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg.L ⁻¹	126
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg.L ⁻¹	4326
Oxígeno disuelto (OD)	mg.L ⁻¹	0,20
Nitratos	mg.L ⁻¹	31,3
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg.L ⁻¹	81,2
Coliformes totales	NMP	79
Coliformes termotolerantes	NMP	<1,8

APÉNDICE III

RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS POR CADA TRATAMIENTO EN ESTUDIO

1. Potencial hidrógeno pH

Frecuencias Dosis de EM	f ₁ : 15 días			f ₂ : 20 días		
	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
R I	7,5	8,36	8,11	7,5	8,28	7,61
R II	7,5	8,21	8,43	7,5	8,21	8,3
R III	7,5	8,24	7,84	7,5	8,33	8,23
Total	22,5	24,81	24,38	22,5	24,82	24,14
Media	7,5	8,27	8,126667	7,5	8,273333	8,046667

Análisis de Variancia ANOVA

F.V.	GI	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Tiempo (T)	1	2,90E-03	2,90E-03	0,07 NS	4,75	9,33
Dosis (D)	2	1,95	0,97	24,21**	3,89	6,93
T*D	2	0,01	3,30E-03	0,08 NS	3,89	6,93
Error	12	0,48	0,04			
Total	17	2,44				

CV = 2,52%

2. Temperatura

Frecuencias Dosis de EM	f ₁ : 15 días			f ₂ : 20 días		
	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
R I	20,2	23,3	23,27	19	20,73	23,37
R II	20,2	22,73	23,8	19	20,83	19,74
R III	20,2	20,53	20,33	19	21,43	21,67
Total	60,6	66,56	67,4	57	62,99	64,78
Media	20,2	22,18667	22,46667	19	20,99667	21,59333

Análisis de Variancia ANOVA

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Tiempo (T)	1	5,32	5,32	3,52NS	4,75	9,33
Dosis (D)	2	20,13	10,06	6,65*	3,89	6,93
T*D	2	0,1	0,05	0,03NS	3,89	6,93
Error	12	18,15	1,51			
Total	17	43,71				

CV = 5,84%

3. Sólidos suspendidos totales (SST)

Frecuencias Dosis de EM	f ₁ : 15 días			f ₂ : 20 días		
	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
R I	126	684	437	126	492,67	716,67
R II	126	1066,67	633,33	126	1273,33	1266,67
R III	126	666,67	533,33	126	1144,33	1066,67
Total	378	2417,34	1603,66	378	2910,33	3050,01
Media	126	805,78	534,5533	126	970,11	1016,67

Análisis de Variancia ANOVA

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Tiempo (T)	1	208946,7	208946,7	4 NS	4,75	9,33
Dosis (D)	2	2030349	1015174	19,44 **	3,89	6,93
T*D	2	180214,6	90107,3	1,73 NS	3,89	6,93
Error	12	626764,5	52230,37			
Total	17	3046274				

CV = 38,31%

4. Sólidos disueltos totales (SDT)

Frecuencias Dosis de EM	f1: 15 días			f2: 20 días		
	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
R I	4326	5146	4366	4326	4026	4800
R II	4326	5479,33	1973,67	4326	1836	8400
R III	4326	2019,67	1752,33	4326	1080,33	1302,3
Total	12978	12645	8092	12978	6942,33	14502,3
Media	4326	4215	2697,333	4326	2314,11	4834,1

Análisis de Variancia ANOVA

F.V.	gl	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Tiempo (T)	1	27818,9	27818,9	0,01 NS	4,75	9,33
Dosis (D)	2	3383491,84	1691746	0,49 NS	3,89	6,93
T*D	2	12240912,97	6120456	1,78 NS	3,89	6,93
Error	12	41357720,01	3446477			
Total	17	57009943,72				

CV = 49,04%

5. Oxígeno disuelto (OD)

Frecuencias Dosis de EM	f1: 15 días			f2: 20 días		
	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
R I	0,19	0,24	0,2	0,2	0,34	0,38
R II	0,19	0,18	0,34	0,2	0,39	0,22
R III	0,19	0,18	0,22	0,2	0,32	0,29
Total	0,57	0,6	0,76	0,6	1,05	0,89
Media	0,19	0,2	0,253333	0,2	0,35	0,296667

Análisis de Variancia ANOVA

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Tiempo (T)	1	0,02	0,02	8,46*	4,75	9,33
Dosis (D)	2	0,03	0,01	5,24*	3,89	6,93
T*D	2	0,02	0,01	3,28NS	3,89	6,93
Error	12	0,03	2,40E-03			
Total	17	0,09				

CV = 19,91%

6. Nitratos

Frecuencias Dosis de EM	f ₁ : 15 días			f ₂ : 20 días		
	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
R I	31,3	71,7	32	31,3	94,4	55,9
R II	31,3	69,32	135,67	31,3	82,33	114,11
R III	31,3	34,2	48,23	31,3	43,2	28,82
Total	93,9	175,22	215,9	93,9	219,93	198,83
Media	31,3	58,40667	71,96667	31,3	73,31	66,27667

Análisis de Variancia ANOVA

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Tiempo (T)	1	42,44	42,44	0,04 NS	4,75	9,33
Dosis (D)	2	5270,81	2635,41	2,56 NS	3,89	6,93
T*D	2	339,29	169,64	0,17 NS	3,89	6,93
Error	12	12332,12	1027,68			
Total	17	17984,66				

CV = 57,48

7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Frecuencias Dosis de EM	f ₁ : 15 días			f ₂ : 20 días		
	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
R I	81,2	2579,5		81,2	853,5	6569,57
R II	81,2			81,2		
R III	81,2	2581,2	2857	81,2	854	6568,57
Total	243,6	5160,7	2857	243,6	1707,5	13138,14
Media	81,2	2580,35	2857	81,2	853,75	6569,07

Análisis de Variancia ANOVA

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Tiempo (T)	1	1244871	1244871	4209708,27**	4,75	9,33
Dosis (D)	2	39728658	19864329	67174058,73**	3,89	6,93
T*D	2	11990718	5995359	20274160,23**	3,89	6,93
Error	7	2,07	0,3			
Total	12	67339431				

CV = 0,03

8. Coliformes totales

Frecuencias Dosis de EM	f ₁ : 15 días			f ₂ : 20 días		
	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
R I	79			79		
R II	79			79		
R III	79	170000	13000	79	4900	170000
Total	237	170000	13000	237	4900	170000
Media	79	170000	13000	79	4900	170000

9. Coliformes termotolerantes

Frecuencias Dosis de EM	f ₁ : 15 días			f ₂ : 20 días		
	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
R I	>1,80			>1,80		
R II	>1,80			>1,80		
R III	>1,80	79	33	>1,80	4900	110
Total	5,4	79	33	5,4	4900	110
Media	1,8	79	33	1,8	4900	110

Análisis de Variancia ANOVA

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0,05	0,01
Tiempo (T)	1	5140800,86	5140800,86	5519892889169340**	4,75	9,33
Dosis (D)	2	9770900,86	4885450,43	5245712453622300**	3,89	6,93
T*D	2	9224944,6	4612472,3	4952604420551470 **	3,89	6,93
Error	12	3,70E-09	9,30E-10			
Total	17	21394885,86				

CV = 0,00001%



ANEXOS

Anexo 1: Formato para el rotulado de muestras de lixiviado y ME

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA DE LIXIVIADO Y EM
<p>FACTORES</p> <p>Código del Módulo Experimental:.....</p> <p>Fecha y Hora de muestreo:.....</p> <p>Volumen de la muestra :.....</p> <p>Parámetro:.....</p> <p>Conservación:.....</p> <p>Observaciones:.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

Anexo 2: Cartilla de registro para cada parámetro evaluado

Frecuencias	f ₁ : 15 días			f ₂ : 20 días		
Dosis de EM	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL	d ₀ : 0 mL	d ₁ : 200 mL	d ₂ : 300 mL
Repetición I						
Repetición II						
Repetición III						

Anexo 3: Formato para controlar la aplicación de ME activado

Código Módulo Experimental	N° de Tratamiento	Fecha y Hora	Volumen de aplicación de EM activado	Observaciones
M1				
M2				
M3				
M4				
M5				
M6				
M7				
M8				
M9				
M10				
M11				
M12				
M13				
M14				
M15				
M16				
M17				
M18				

Anexo 4: Estándar de Calidad Ambiental Agua Categoría 4 – E2 Sierra

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS - QUÍMICOS						
Ácidos y grasa (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Total	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(uS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo Total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,082
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco	mg/L	1,9	1,9	1,9	0,4	0,55
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,61	1,6	0,61	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
I. Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos totales de petróleo HTTP	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
PLAGUICIDAS						
Organofosforados:						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Parathión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
ORGANOCLORADOS						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de <i>p,p'</i> - DDD y <i>p,p'</i> -DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfan	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,0000036	0,0000036
Heptacloro epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
CARBAMATO:						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,00015	0,00015	0,00015
POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES						
(PCB's)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 mL	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2015 MINAM

Anexo 5: Resultados de análisis de laboratorio



INFORME DE ENSAYO
C-094-D215-UPN-LWV

Pág 01 de 08

CUENTE : Lorena Walter Villegas
: J. Miguel Iglesias N°132

ATENCIÓN : Lorena Walter Villegas

MÉTODOS DE ENSAYO : Químico, Microbiológico

ITEM DE ENSAYO : Agua de Lixiviado

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : 01 botellas de vidrio de 300ml., 01 winiker

MUESTREO : Preservadas
: Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 9 de Abril de 2015
Hora: 17:00

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 9 de Abril de 2015

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendada (días)
Orígeno Disuelto	DS2001/APHA,AWWA,WEF, Cap 9, Parte 4320-D A.B.C 20th Ed. 2012	<0.17 mg/L	8h
Numeración de Coliformes Fecales	SM9131/APHA,AWWA,WEF, Parte 9221 E1 12th Ed. 2012	<1.8 NMP/100 mL	24h
Numeración de Coliformes Totales	SM9130/APHA,AWWA,WEF, Parte 9221 E 12th Ed. 2012	<1.8 NMP/100 mL	24h
Bacterias-Heterotróficas	APHA,AWWA,WEF, Cap 9, Parte 9210 A.B.C 20th Ed. 2012	<1 UFC/mL	24h

Sello:  Fecha Emisión: 16/04/2015

Supervisor Administrativo: 
Alexandra Autazo Rodríguez

Supervisor del Laboratorio de Química: 
Edder Neyra Jaico
CIP 147028

Supervisor del Laboratorio de Microbiología: 
Karen Ahumada León
CBP 8083

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ÍTEM DE ENSAYO RECIBIDOS.
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.
*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.
* Las muestras serán eliminadas al término del tiempo máximo de conservación recomendador obligado, salvo requerimiento expreso del cliente.
.....
sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Oficina Principal: Flor de la Escuela 700 – Urbanización Palmeras del Golf
Teléfono : 51-44-280426
Sucursal Cajamarca: Jr. Cinco Esquinas 651 – Cajamarca
Teléfono : 51-76-352873
Dirección Electrónica : info@nkap.com.pe

web: www.nkap.com.pe



INFORME DE ENSAYO

C-094-D215-UPN-LWV

Pág. 03 de 06

Código de Laboratorio		C-094-01
Código de Cliente		M-01
Item de Ensayo		Agua de Lixiviación
Fecha de Muestreo		08/04/2015
Hora de Muestreo		08:00
Parámetro	Símbolo	Unidad
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	2
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100 mL	79
Bacterias-Heterotróficas	UFC/mL	15 x 10 ⁴





INFORME DE ENSAYO

C-101-D215-UPN-LWV

Pág 01 de 02

CLIENTE : Lorena Walter Villegas
 ATENCIÓN : Lorena Walter Villegas
 MÉTODOS DE ENSAYO : Químico, Microbiológico
 ITEM DE ENSAYO : Agua de Lixiviado
 PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : 01 Botella de plástico de 01L.
 MUESTREO : Preservadas
 : Muestras tomadas por el cliente
 LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 14 de Abril de 2015
 Hora: 09:30
 LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 14 de Abril de 2015

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW APHA,WWWA,WEF, Part 5210 A,B 22h Ed. 2012	<2.0 mg/L	48h

Sello Fecha Emisión Supervisor Administrativo Supervisor del Laboratorio de Química

21/04/2015 Alexandra Aurazo Rodríguez Edder Neyra Jaico CIP 147028

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

* Las muestras serán eliminadas al término del tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado, salvo requerimiento expreso del cliente.

certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



INFORME DE ENSAYO

C-101-D215-UPN-LWV

Pág. 02 de 02

Código de Laboratorio	C-101-01		
Código de Cliente	M-02		
Item de Ensayo	Agua de Lixiviación		
Fecha de Muestreo	14/04/2015		
Hora de Muestreo	09:00		
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	81.2





INFORME DE ENSAYO

C-201-F215-UPN-LWV

Pág 01 de 03

CLIENTE : UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
AV. VIA DE EVITAMIENTO NRO. SIN SAN ANTONIO (CDRA 15) CAJAMARCA

ATENCIÓN : Lorena Walter Villegas

MÉTODOS DE ENSAYO : Químico, Microbiológico

ITEM DE ENSAYO : Agua lixiviación

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : 02 frascos de vidrio de 300ml, 01 winkler de vidrio, 01 botella de plástico de 1L.

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 9 de Junio de 2015
Hora: 11:30

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 9 de Junio de 2015

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo mínimo de conservación requerido/obligado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEIWA APHA, 1918A, 1920F, Parte 5213, A.8 22nd Ed. 2012	<2.0 mg/L	-
Oxígeno Disuelto	SMEIWA APHA, 1918A, 1920F, Cap 9, Parte 4640-A.8.C 22nd Ed. 2012	<0.17 mg/L	8h
Numeración de Coliformes Totales	SMEIWA APHA, 1918A, 1920F, Parte 9211 9 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24h
Numeración de Coliformes Fecales	SMEIWA APHA, 1918A, 1920F, Parte 9211 11 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24h

Sello Fecha Emisión Supervisor Administrativo Supervisor del Laboratorio de Química Supervisor del Laboratorio de Microbiología

[Signature] *[Signature]* *[Signature]*

Alexandra Aurazo Rodríguez Edder Neyra Jalco CIP 147028 Karen Ahumada León CBP 0083

16/06/2015

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ÍTEM DE ENSAYO RECEBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

*Las muestras serán eliminadas al término del tiempo de almacenamiento, salvo requerimiento expreso del cliente.

* Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

NKAP
S.R.L.

INFORME DE ENSAYO

C-201-F215-UPN-LWV

Pág. 02 de 03

Código de Laboratorio			C-201-01
Código de Cliente			M-001
Item de Ensayo			Agua Lixiviación
Fecha de Muestreo			09/06/2015
Hora de Muestreo			10:00
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	2857.34
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	0.22





INFORME DE ENSAYO

C-201-F215-UPN-LWV

Pág. 03 de 03

Código de Laboratorio		C-201-01
Código de Cliente		M-001
Item de Ensayo		Agua Lixiviación
Fecha de Muestreo		09/06/2015
Hora de Muestreo		10:00
Parámetro	Símbolo	Unidad
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100 mL	13 x 10 ³
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	33





INFORME DE ENSAYO

C-210-F215-UPN-KCC

Pág 01 de 03

CLIENTE : UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
 AV. VIA DE EVITAMIENTO NRO. S/N SAN ANTONIO (CDRA 15) CAJAMARCA
ATENCIÓN : Katherine Cusquisiban Castillo
MÉTODOS DE ENSAYO : Químico, Microbiológico
ITEM DE ENSAYO : Agua lixiviación
PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : 02 frascos de vidrio de 300ml, 01 winker de vidrio, 01 botella de plástico de 1L.
MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente
LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 11 de Junio de 2015
 Hora: 12:00
LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 11 de Junio de 2015

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo mínimo de observación recomendado/obligado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW/APHA/WWA/WEF, Part 5219 A.B 22nd Ed. 2012	<2.0 mg/L	-
Oxígeno Disuelto	SMEWW/APHA/WWA/WEF, Cap 9, Parte 4500-O A.B.C 22nd Ed. 2012	<0.17 mg/L	6h
Numeración de Coliformes Totales	SMEWW/APHA/WWA/WEF, Parte 9221 B 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24h
Numeración de Coliformes Fecales (A.S)	SMEWW/APHA/WWA/WEF, Parte 9221 B 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24h

Sello	Fecha Emisión	Supervisor Administrativo	Supervisor del Laboratorio de Química	Supervisor del Laboratorio de Microbiología
	18/06/2015	 Alexandra Aurazo Rodríguez	 Edder Neyra Jaico CIP 147028	 Karen Ahumada León CBP 8083

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RESCIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

*Las muestras serán eliminadas al término del tiempo de almacenamiento, salvo requerimiento expreso del cliente.

* Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



INFORME DE ENSAYO

C-210-F215-UPN-KCC

Pág. 02 de 03

Código de Laboratorio			C-210-01	C-210-03
Código de Cliente			M-001	M-003
Item de Ensayo			Agua Lixiviación	Agua Lixiviación
Fecha de Muestreo			11/06/2015	11/06/2015
Hora de Muestreo			09:30	09:40
Parámetro	Símbolo	Unidad		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	853.82	NSC
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	NSC	0.32





INFORME DE ENSAYO

C-210-F215-UPN-KCC

Pág. 03 de 03

Código de Laboratorio	C-210-02	
Código de Cliente	M-002	
Item de Ensayo	Agua Lixiviación	
Fecha de Muestreo	11/06/2015	
Hora de Muestreo	10:00	
Parámetro	Símbolo	Unidad
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100 mL	49 x 10 ²
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	49 x 10 ²





INFORME DE ENSAYO

C-200-F215-UPN-VBV

Pág 01 de 03

CLIENTE : UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
 AV. VIA DE EVITAMIENTO NRO. S/N SAN ANTONIO (CDRA 15) CAJAMARCA

ATENCIÓN : Vanesa Becerra Vásquez

MÉTODOS DE ENSAYO : Químico, Microbiológico

ITEM DE ENSAYO : Agua de lixiviación

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : 02 frascos de vidrio de 300ml, 01 winkler de vidrio, 01 botella de plástico de 1L

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 9 de Junio de 2015
 Hora: 10:30

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 9 de Junio de 2015

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendada (días)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SIEMW/APHA/WWA/WSP, Parte 1910 A.9.22nd Ed. 2012	<2.0 mg/L	-
Oxígeno Disuelto	SIEMW/APHA/WWA/WSP, Cap. 19 Parte 400-D.4.1, B. C 22nd Ed. 2012	<0.17 mg/L	8h
Numeración de Coliformes Totales	SIEMW/APHA/WWA/WSP, Parte 921 B 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24h
Numeración de Coliformas Fecales	SIEMW/APHA/WWA/WSP, Parte 921 B.1 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24h

Sello Fecha Emisión Supervisor Administrativo Supervisor del Laboratorio de Química Supervisor del Laboratorio de Microbiología

16/06/2015

Alexandra Aurazo Rodríguez Edder Neyra Jaico CIP 147028 Karen Ahumada León CBP 8083

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

*Las muestras serán eliminadas al término del tiempo de almacenamiento, salvo requerimiento expreso del cliente.

* Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



INFORME DE ENSAYO

C-200-F215-UPN-VBV

Pág. 02 de 03

Código de Laboratorio		C-200-01	
Código de Cliente		UPNDBO01	
Item de Ensayo		Agua Lixiviación	
Fecha de Muestreo		09/06/2015	
Hora de Muestreo		09:21	
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	2581.21
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	0.18





INFORME DE ENSAYO

C-200-F215-UPN-VBV

Pág. 03 de 03

Código de Laboratorio	C-200-01	
Código de Cliente	UPNDB001	
Item de Ensayo	Agua Lixiviación	
Fecha de Muestreo	09/06/2015	
Hora de Muestreo	09:21	
Parámetro	Símbolo	Unidad
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100 mL	17 x 10 ⁴
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	79



Anexo 6: Panel Fotográfico



Figura 1. Reconocimiento del Relleno Sanitario de Cajamarca – Poza de lixiviado generados en la celda de residuos municipales



Figura 2. Obtención de las muestras de lixiviado del Relleno Sanitario Municipal de Cajamarca.



Figura 3. Módulos de experimentación de vidrio y cultivo de ME.



Figura 4. Activación del ME con agua y melaza.



Figura 5. Estante de vidrio donde se colocaron los módulos de experimentación y aplicación de microorganismos activados



Figura 6. Conteo microscópico de poblaciones de microorganismos.



Figura 7. Medición del pH



Figura 8. Filtrado y secado de muestras para el análisis de Sólidos Suspendedos Totales.

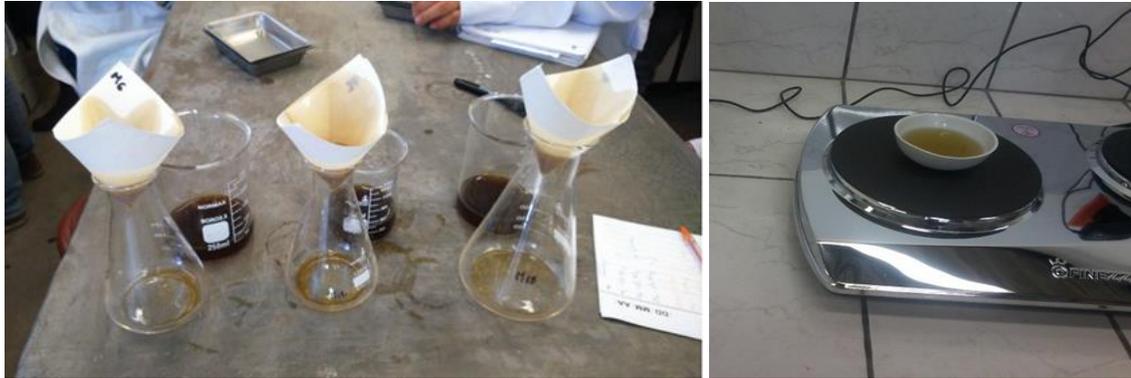


Figura 9. Análisis y resultados para Sólidos Disueltos Totales SDT.

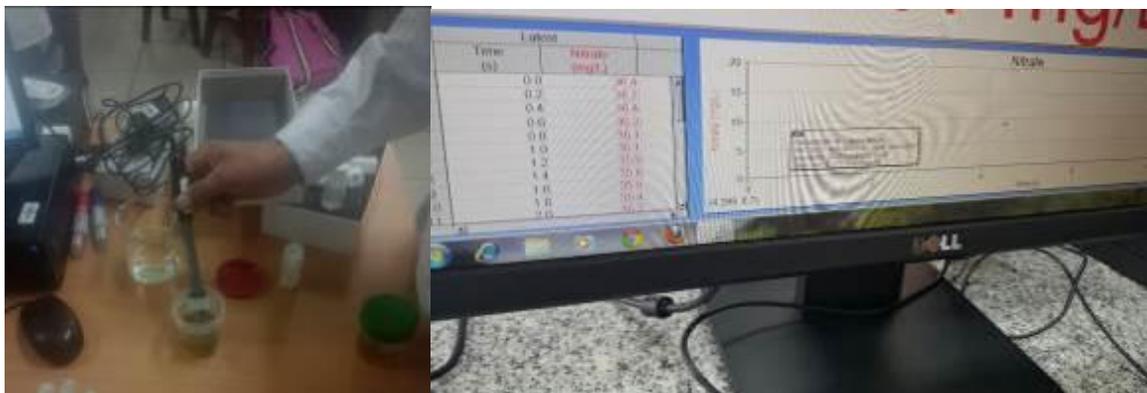


Figura 10. Análisis y resultados para Oxígeno Disuelto y Nitratos.



Figura 11. Obtención y conservación de muestras para análisis de parámetros microbiológicos en el laboratorio NKAP SRL.

