



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE SISTEMAS DE BIOFILTRACIÓN EN
AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y
Remediación.

Profesor guía

M.Sc. Ing. Yasser Alejandro González Romero

Autor

Francisco David Cevallos Zurita

Año

2015

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Yasser Alejandro González Romero
Ingeniero Agropecuario
C.I.: 070373762-7

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigente.

Francisco David Cevallos Zurita

C.I.: 171759024-2

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por todas las bondades y bendiciones; a mi familia, que me ha brindado apoyo incondicional; a mis hermanos y mis padres quienes me guiaron en este camino; a los profesores de la Universidad de Las Américas quienes han encaminado y transmitido sus conocimientos y ayuda; a mis amigos quienes han estado presentes a mi lado; a todos ustedes quienes me han acompañado en mis logros más grandes y en mis tristezas más profundas, mis más sinceros agradecimientos.

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a Dios, pilar fundamental en mi vida. A mi padre y mi madre que han hecho los máximos esfuerzos, los máximos sacrificios para verme ahora culminando un escalón más en mi vida. A mi hermana Dayana, la compañera de mi vida, por todos los buenos y malos momentos. A aquella persona especial que Dios me la entregó para que comparta a mi lado una vida, Yess. A todos ustedes por su amor y su comprensión, esto es para ustedes.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo comparar las eficiencias de las variaciones realizadas sobre los estratos filtrantes de un lombrifiltro mediante la caracterización de las condiciones iniciales y finales de parámetros contaminantes a través de análisis físicos y químicos; el afluente proviene de la Empresa de Rastro del Distrito Metropolitano de Quito. Dentro de la Sede Queri de la Universidad de Las Américas, se instalaron seis módulos experimentales con diferentes estratos filtrantes; con el fin de comparar sus eficiencias y encontrar la mejor mezcla para el tratamiento de aguas; los filtros utilizados fueron: piedra pómez, piedra bola de río, piedra grava, aserrín y viruta de pino, hojas de eucalipto (*Eucalyptos globulus*) y lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*). Verificando que el tratamiento 2 y 3 tienen mayores eficiencias. El tratamiento 2 corresponde a la tecnología conocida, mientras que el 3 tiene la variación de utilizar piedra pómez; donde se logró remover entre 90-93% de DBO₅, 84% de DQO, 56-81% de nitrógeno total y 98-99% de sólidos suspendidos. Otro estrato utilizado es el de hojas de eucalipto con lombrices, las hojas no impidieron el desarrollo del ciclo de vida de las lombrices. Se demostró que la piedra pómez y las hojas de eucalipto funcionan como variantes para el sistema de tratamiento.

ABSTRACT

The aims of the present paper is compare the efficiencies of changes made on lombrifiltro filter layers by characterizing initial and final condition of pollutant parameters by physical and chemical analysis. The affluent were from Metropolitan Slaughterhouse of Quito. Six experimental tanks were installed at Universidad de Las Américas installations (Queri building), each one with different stratification for compare their efficiency and find the best mixture for treat wastewater; the filter layer used were: pumice, river stone ball, gravel, pine shavings and sawdust, eucalyptus leaves (*Eucalyptus globulus*) and earthworms (*Eisenia foetida*). The tank 2 (corresponding to the know technology) and tank 3 (used pumice variant) were the most efficient tanks removing between 90-93% BOD, 84% COD, 56-81% TN, 98-99% SS. The eucalyptus leaves did not interfere with the development of the lifecycle of earthworms. It demonstrates that pumice and eucalyptus leaves work as variants for this technology.

ÍNDICE

1. Capítulo I Introducción.....	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	5
1.3. Hipótesis de Investigación	7
1.4. Alcance.....	7
1.5. Justificación	8
1.6. Objetivos	9
1.6.1. Objetivo general	9
1.6.2. Objetivos específicos.....	9
1.7. Marco Teórico	9
1.7.1. Faenadoras de ganado: situación a nivel nacional y local.....	9
1.7.2. Problemática ambiental	12
1.7.3. Agua Contaminada.....	13
1.7.3.1. Agua residual de camales.....	13
1.7.3.2. Caracterización del agua	15
1.7.4. Tratamiento de aguas: Sistema Tohá.....	16
1.7.4.1. Descripción y Características.....	16
1.7.4.2. Partes del Lombrifiltro	17
1.7.4.3. Estratos.....	17
1.7.4.4. Organismos degradadores.....	21
1.7.4.5. Descripción del Proceso	23
1.7.4.6. Condiciones de operación.....	25
2. Capítulo II Metodología	26
2.1. Descripción del Experimento.....	26
2.1.1. Diseño del experimento	30
2.1.2. Materiales y construcción	33
2.2. Proceso Experimental.....	35
2.3. Variables a medir	37

2.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	37
2.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	38
2.3.3. Turbidez.....	39
2.3.4. Conductividad, pH y Temperatura	40
2.3.5. Sólidos Sedimentables	41
2.3.6. Sólidos Totales	41
2.3.7. Fracción de Sólidos Volátiles.....	42
2.3.8. Sólidos Suspendidos Totales	42
2.3.9. Parámetros <i>In situ</i>	43
2.3.10. Caudales	44
2.3.11. Permeabilidad.....	44
2.3.12. Tiempo de residencia	46
2.3.13. Condiciones de las lombrices	46
2.3.14. Carga contaminante	47
2.4. Modelos estadísticos, matemáticos y softwares a utilizar ...	48
3. Capítulo III Resultados	50
3.1. Condiciones Iniciales.....	50
3.2. Agua tratada.....	58
3.2.1. Temperatura y pH.....	59
3.2.2. Turbidez.....	65
3.2.3. Conductividad.....	68
3.2.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	72
3.2.5. Demanda química de oxígeno (DQO)	73
3.2.6. Relación DQO:DBO ₅	73
3.2.7. Sólidos Suspendidos	74
3.2.8. Sólidos Sedimentables	74
3.2.9. Sólidos Totales	75
3.2.10. Fracción fija y volátil de los sólidos totales	75
3.3. Condiciones de Operación.....	76
3.3.1. Caudales	76
3.3.2. Carga contaminante	78
3.3.3. Permeabilidad.....	78

3.3.4. Tiempo de residencia	79
3.3.5. Conteo de lombrices	82
3.3.6. Resultados del Análisis de Correlación Canónica	83
4. Capítulo IV Análisis de Resultados.....	85
4.1. Análisis de la Varianza.....	85
4.2. Comparación de rangos múltiples.....	88
4.3. Comparación con un tratamiento de control o “blanco”	94
4.4. Comparación entre condiciones iniciales y finales.....	96
4.4.1. Eficiencia de la aireación	97
4.4.2. Turbidez y Conductividad	99
4.4.3. Temperatura y pH.....	104
4.4.4. Sólidos Suspendidos	110
4.4.5. Sólidos Sedimentables	112
4.4.6. Sólidos Totales	113
4.4.7. Fracción fija y volátil de los sólidos totales	115
4.4.8. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	118
4.4.9. Demanda química de oxígeno (DQO).....	120
4.4.10. Relación DQO/DBO ₅ y Carga Contaminante.....	122
4.4.11. Nitrógeno total Kjeldahl (NTK).....	124
4.4.12. Fosfatos, aceites y grasas	125
4.5. Condiciones de operación.....	126
4.5.1. Tiempo de residencia	126
4.5.2. Permeabilidad.....	128
4.5.3. Condiciones de las lombrices	129
4.5.4. Análisis de correspondencia canónica.....	132
5. Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones	136
5.1. Conclusiones.....	136
5.2. Recomendaciones	138
REFERENCIAS	139
ANEXOS	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización De Aguas Residuales De Camales.	4
Tabla 2: Eficiencia del Sistema Tohá®	5
Tabla 3: Estimación de desechos de camales.	12
Tabla 4: Contaminante característicos de aguas de camales	14
Tabla 5: Parámetros de diseño planta de tratamiento de aguas camal Metropolitano de Quito	15
Tabla 6: Comparación de costos de diferentes sistemas de tratamiento	16
Tabla 7: Contenido de aceites esenciales de las hojas de eucalipto.....	20
Tabla 8: Contenido de ácido graso en las hojas de eucalipto	21
Tabla 9: Eficiencia de Lombrifiltro	24
Tabla 10: Condiciones principales de operación.....	25
Tabla 11: Estratificación de los módulos experimentales.....	27
Tabla 12: Volúmenes de los estratos por módulo experimental.....	29
Tabla 13: Volúmenes de los estratos por módulo experimental.....	30
Tabla 14: Ficha Técnica Bomba Paolo 1/2 HP	32
Tabla 15: Características del aireador utilizado.....	36
Tabla 16: Características de los micronutrientes empleado.....	36
Tabla 17: Rangos de Medición del equipo OxiTop IS-6	38
Tabla 18: Modos de medición de turbidez.....	40
Tabla 19: Parámetros <i>in situ</i> unidades de operación de la planta de tratamiento de aguas de la EMRAQ-EP	50
Tabla 20: Resultado DBO ₅	52
Tabla 21: Resultados obtenidos de DBO ₅ en diferentes fases.....	53
Tabla 22: Resultados sólidos suspendidos	54
Tabla 23: Resultados sólidos totales.....	55
Tabla 24: Resultados fracción fija y volátil	55
Tabla 25: Resultados expresados en porcentajes de residuos fijo y volátil.....	56
Tabla 26: Resultados solidos sedimentables	56
Tabla 27: Resultados caracterización de aguas crudas por unidad de tratamiento.	57
Tabla 28: Análisis de agua cruda sin aireación.	58

Tabla 29: Análisis de agua cruda con aireación	58
Tabla 30: Resultados de la Concentración de DBO ₅ previa a la aireación del tanque de almacenamiento.....	72
Tabla 31: Resultados de la Concentración de DBO ₅ después de la aireación del tanque de almacenamiento.....	72
Tabla 32: Resultados de DQO de cada tratamiento.....	73
Tabla 33: Relación DQO/DBO ₅	73
Tabla 34: Resultado de sólidos suspendidos por tratamiento	74
Tabla 35: Resultados de sólidos sedimentables por cada tratamiento.....	75
Tabla 36: Resultados de sólidos totales por tratamiento.....	75
Tabla 37: Resultados de la fracción fija de los sólidos totales para cada tratamiento	76
Tabla 38: Resultados en concentración y porcentaje de sólidos fijos y volátiles respecto a los sólidos totales por cada tratamiento.....	76
Tabla 39: Resultados promedios de la prueba de caudales de entrada al sistema realizados <i>in situ</i>	77
Tabla 40: Resultados promedios de la prueba de caudales de salida al sistema realizados <i>in situ</i>	77
Tabla 41: Carga contaminante para cada tratamiento.	78
Tabla 42: Resultados de los ensayos sobre los estratos filtrantes	78
Tabla 43: Conteo inicial de lombrices colocados en sendos tratamientos.	83
Tabla 44: Conteo y caracterización del estadio final de las lombrices.	83
Tabla 45: ANOVA para la Turbidez de los seis tratamientos.....	87
Tabla 46: ANOVA para la conductividad de los seis tratamientos.....	87
Tabla 47: Comparaciones de medias muestrales - Método LSD	90
Tabla 48: Comparaciones de medias muestrales - Método Turkey	91
Tabla 49: Comparación de medias muestrales - Método de Duncan.....	93
Tabla 50: Resumen de significación para cada método.....	93
Tabla 51: Pruebas simultáneas de control de Dunnett.....	95
Tabla 52: Agrupación de información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%	95
Tabla 53: Eficiencia de la aireación sobre los tanques de almacenamiento	99

Tabla 54: Eficiencia de remoción de turbidez en condiciones previa a la aireación.....	100
Tabla 55: Eficiencia de remoción de turbidez en condiciones posteriores a la aireación.....	100
Tabla 56: Diferencia entre las eficiencias de la remoción de turbidez de la etapa pre y con aireación.	101
Tabla 57: Eficiencia de la remoción de conductividad para cada tratamiento.	103
Tabla 58: Eficiencia de la remoción de sólidos totales por cada tratamiento.	111
Tabla 59: Eficiencia de remoción de sólidos sedimentables.	113
Tabla 60: Eficiencia de la remoción de sólidos totales para cada tratamiento.	114
Tabla 61: Composición de la fracción fija y volátil respecto a los sólidos totales.....	115
Tabla 62: Eficiencia de remoción de la fracción fija y volátil de los sólidos totales.....	117
Tabla 63: Eficiencia sobre el DBO ₅ de acuerdo a las condiciones de aireación para cada tratamiento.	120
Tabla 64: Eficiencia de la remoción de DQO para cada tratamiento.....	122
Tabla 65: Eficiencia en la remoción de carga contaminante para cada tratamiento.	123
Tabla 66: Eficiencia en la remoción de DQO para cada tratamiento.....	125
Tabla 67: Tiempo de residencia por cada tratamiento.	127
Tabla 68: Comparación de coeficientes de permeabilidad.....	128
Tabla 69: Densidad poblacional inicial y final de las lombrices	130
Tabla 70: Tasa de incremento de lombrices	131
Tabla 71: Similitudes entre contaminantes ambientales respecto a la concentración final después de los tratamientos.	133
Tabla 72: Similitudes entre contaminantes ambientales respecto a la concentración inicia antes de los tratamientos.	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción de piedra pómez y derivados del Ecuador en el período 2008-2012.	19
Figura 2: Esquema del experimento.....	26
Figura 3: Esquema de funcionamiento del turbidímetro.	39
Figura 4: Medición de pH y Temperatura	40
Figura 5: Medición de conductividad	41
Figura 6: Curvas de Demanda Bioquímica de Oxígeno respecto al tiempo.	52
Figura 7: Resultados de temperatura vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 1 o de Control.....	59
Figura 8: Resultados de temperatura vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 2.	59
Figura 9: Resultados de temperatura vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 3.	60
Figura 10: Resultados de temperatura vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 4.....	60
Figura 11: Resultados de temperatura vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 5.....	61
Figura 12: Resultados de temperatura vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 6.....	61
Figura 13: Resultados de pH vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 1 o de Control.	62
Figura 14: Resultados de pH vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 2.....	62
Figura 15: Resultados de pH vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 3.....	63
Figura 16: Resultados de pH vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 4.....	63
Figura 17: Resultados de pH vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 5.....	64
Figura 18: Resultados de pH vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 6.....	64

Figura 19: Resultados de la medición de turbidez (NTU) vs los días transcurridos del experimento para el tratamiento 1 o de Control.....	65
Figura 20: Resultados de la medición de turbidez (NTU) vs los días transcurridos del experimento para el tratamiento 2.	65
Figura 21: Resultados de la medición de turbidez (NTU) vs los días transcurridos del experimento para el tratamiento 3.	66
Figura 22: Resultados de la medición de turbidez (NTU) vs los días transcurridos del experimento para el tratamiento 4.	66
Figura 23: Resultados de la medición de turbidez (NTU) vs los días transcurridos del experimento para el tratamiento 5.	67
Figura 24: Resultados de la medición de turbidez (NTU) vs los días transcurridos del experimento para el tratamiento 6.	67
Figura 25: Resultados de la medición de turbidez (NTU).	68
Figura 26: Resultados de la medición de conductividad a lo largo de los días transcurridos del experimento en el tratamiento 1 o de Control.....	69
Figura 27: Resultados de la medición de conductividad a lo largo de los días transcurridos del experimento en el tratamiento 2.	69
Figura 28: Resultados de la medición de conductividad a lo largo de los días transcurridos del experimento en el tratamiento 3.	70
Figura 29: Resultados de la medición de conductividad a lo largo de los días transcurridos del experimento en el tratamiento 4.	70
Figura 30: Resultados de la medición de conductividad a lo largo de los días transcurridos del experimento en el tratamiento 5.	71
Figura 31: Resultados de la medición de conductividad a lo largo de los días transcurridos del experimento en el tratamiento 6.	71
Figura 32: Curva del tiempo de residencia correspondiente al tratamiento 1 o control.....	79
Figura 33: Curva del tiempo de residencia para el tratamiento 2.	80
Figura 34: Curva del tiempo de residencia para el tratamiento 3.	80
Figura 35: Curva del tiempo de residencia para el tratamiento 4.	81
Figura 36: Curva del tiempo de residencia para el tratamiento 5.	81

Figura 37: Curva del tiempo de residencia para el tratamiento 6.	82
Figura 38: Intervalos de confianza para la prueba de Dunnett al 95%	96
Figura 39: Comparación entre las condiciones pre y con aireación del tanque de almacenamiento referente a los sólidos sedimentables.	97
Figura 40: Comparación entre las condiciones pre y con aireación del tanque de almacenamiento referente los aceites y grasas, nitrógeno total y fosfatos.	97
Figura 41: Comparación entre las condiciones pre y con aireación del tanque de almacenamiento referente a la carga contaminante.....	98
Figura 42: Comparación entre las condiciones pre y con aireación del tanque de almacenamiento referente al DQO y DBO ₅	98
Figura 43: Diagrama de cajas y bigotes para la remoción de turbidez antes de la aireación por cada tratamiento.	101
Figura 44: Diagrama de cajas y bigotes para la remoción de turbidez después de la aireación por cada tratamiento.....	102
Figura 45: Comportamiento de la conductividad de acuerdo a la condición de aireación para cada tratamiento.....	103
Figura 46: Diagrama de cajas y bigotes para el comportamiento del pH sin aireación para cada tratamiento.	105
Figura 47: Diagrama de cajas y bigotes para el comportamiento del pH con aireación para cada tratamiento.....	106
Figura 48: Comparación del pH de acuerdo a las condiciones de aireación para cada tratamiento.	107
Figura 49: Comportamiento de la temperatura en la etapa de sin aireación para cada tratamiento.....	108
Figura 50: Comportamiento de la temperatura en la etapa de post aireación para cada tratamiento.....	109
Figura 51: Comparación de la temperatura de acuerdo con el estado de aireación para cada tratamiento.	110
Figura 52: Comparaciones de las condiciones iniciales y finales de sólidos suspendidos.	111

Figura 53: Comparación de las condiciones iniciales y finales de los sólidos sedimentables para cada tratamiento.	112
Figura 54: Comparación de las condiciones iniciales y finales de los sólidos totales para cada tratamiento.....	114
Figura 55: Comparación de la remoción de la fracción fija de sólidos totales para cada tratamiento.	116
Figura 56: Comparación de la fracción volátil de los sólidos totales para cada tratamiento.....	117
Figura 57: Diagrama de cajas y bigotes para la remoción de DBO_5 previa a la aireación para cada tratamiento.	118
Figura 58: Diagrama de cajas y bigotes para la remoción de DBO_5 después de la aireación para cada tratamiento.....	119
Figura 59: Comparación de DQO de acuerdo a la condición de aireación para cada tratamiento.	121
Figura 60: Comparación del comportamiento del DQO respecto a cada tratamiento	124
Figura 61: Grafica de correspondencia entre parámetros contaminantes de entrada, salida y estadíos de lombrices	132

1. Capítulo I Introducción

El tratamiento de aguas en el Ecuador ha ido tomando gran importancia en los últimos años. Se ha podido observar que tanto el sector público como el privado se han preocupado por la depuración de sus aguas residuales, debido a la desatención durante los últimos años de los procesos de descontaminación y tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo al Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas en su revista TUNZA (2012) indica que la cantidad de agua dentro del ciclo hidrológico se mantiene de cierta manera estable. El planeta cuenta con 14 millones de km³, dentro de ellos se tiene el 1% de agua dulce de fácil acceso y alrededor del 70% del agua disponible es empleado para irrigación. Esto implica que el 30% del agua disponible sea dirigida para consumo e higiene; sin embargo, cerca de 5000 niños mueren a causa de enfermedades relacionadas con el agua o con la falta de saneamiento del agua; por ello uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio es aumentar a la mitad el acceso a agua potable y saneamiento básico para el 2015 (PNUMA, 2012).

La cobertura de servicios básicos a nivel nacional, de acuerdo a los Resultados del Censo Poblacional 2010 (2011), respecto al abastecimiento de agua por red pública comprende el 72% mientras que el 28% restante cuenta con un abastecimiento por otra fuente, siendo esta por pozos, toma de agua de ríos, recolección de aguas lluvias. Cabe mencionar que el 80% del agua que se abastece no es potable, es decir que no se debería utilizarla para el consumo humano (Cuenca, 2013).

La cobertura de alcantarillado por red pública cubre el 53,6% de los hogares, el 46,4% cuenta con otros sistemas de eliminación de excretas como lo son pozos sépticos o envío directo a los cuerpos de aguas (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2011). Sin embargo, el 92% de las aguas residuales generadas son descargadas en los cuerpos de agua directamente sin ninguna clase de tratamiento (Cuenca, 2013).

Al enviar las aguas sin ningún tratamiento previo sobre cuerpos hídricos se produce la contaminación de los recursos naturales. La contaminación es la adición de sustancias sólidas, líquidas, gaseosas o una mezcla de las anteriores que afecta negativamente las condiciones del medio ambiente (Garzón, 2010). Y de acuerdo a Verdugo y Yunga (2010), la contaminación hídrica es la añadidura de sustancias o energía que de un modo directo o indirecto alteran perjudicialmente la calidad del agua para sus usos o para su función ecológica.

Es por ello que las autoridades ambientales han hecho hincapié en los temas relacionados con el ambiente, la remediación de espacios contaminados y prevención de posibles afectaciones al medio natural. Los esfuerzos se ven reflejados en el marco normativo nacional como lo es el artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador (2008) donde “se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir”.

1.1. Antecedentes

La Secretaría del Agua en su reporte de “*Megaproyectos y metas 2017*” (2014) menciona que al año 2010 la cobertura de tratamiento de agua se acerca al 10% y que se pretende incrementar este valor al 95% para el 2017; sin embargo de acuerdo a un estudio realizado por la CEPAL (2013), informan que existe apenas un 7% de tratamiento de las aguas domésticas e industriales. Por otro lado, de acuerdo al diagnóstico de los recursos hídricos realizado por la Secretaría de Planificación y Desarrollo (2007) menciona que aproximadamente el 92% de descargas de aguas residuales no poseen un tratamiento adecuado.

A pesar de variar en los valores de cobertura de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, todos los estudios concuerdan que no se supera el 10% de tratamiento para las aguas contaminadas. Sin embargo

instituciones como la SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua) tienen dentro de sus proyectos incrementar los valores anteriormente mencionados.

Ciudades como Quito no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales actualmente (una planta se encuentra en construcción), por lo que sus descargas son enviadas directamente a cuerpos de agua y contaminan estos sistemas. El Municipio de Quito, sin embargo, cuenta con un Programa de Descontaminación de Ríos en el que se incluye la construcción de dos plantas de tratamiento de aguas residuales, la Planta de Quitumbe y la de Vindobona; la primera se encuentra en fase de construcción, mientras que la segunda se encuentra en la fase de estudios (Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, 2011).

En el marco nacional la situación no varía en gran medida, pese a ello el país se ha puesto énfasis en el tratamiento de aguas tanto domésticas como industriales; como es el caso de las aguas provenientes del faenamiento del ganado.

Se estima que en el país existen alrededor de 220 camales oficiales; aproximadamente un camal por cada municipio. Referente a los camales clandestinos, no se conoce el número exacto que opera en el país; se considera que el número excedería al de camales oficiales en cada provincia (Teleamazonas, s.f.).

Las bajas condiciones de tecnificación de los camales oficiales y las condiciones insalubres de los camales clandestinos generan un impacto importante al ambiente y a la salud de la población (Teleamazonas, s.f.). Las aguas procedentes de faenadoras evacúan sus aguas sin ningún tipo de tratamiento hacia los cuerpos de agua. Este residuo posee una alta carga orgánica que, al ser enviada a cuerpos de agua, podría disminuir el oxígeno disuelto causando la desaparición de especies (Balladares, 2002).

De acuerdo a varios autores (tabla 1) el agua residual de camales presenta una composición similar. Presentando altas cargas de sólidos y contaminantes orgánicos. Estos valores varían de acuerdo al grado de tecnología implementado y al tamaño del camal. Se presentan caracterizaciones de los camales de Antonio Ante, San Gabriel y Cayambe pertenecientes a las provincias de Imbabura, Carchi y Pichincha, respectivamente (Ecuador) y casos de países tales como Venezuela, Canadá y Congo.

Tabla 1: Caracterización De Aguas Residuales De Camales.

Parámetro	STD (mg/L)	SS (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	T (°C)
Camal de Antonio Ante	422	379	880	1208	9,2	18,0
Camal de San Gabriel	111	42	210	311	8,1	10,3
Camal de Cayambe	88	106	280	329	7,8	8,3
Matadero de aves de Zulia (Venezuela)	619	551	1089	1839	6,7	-
Mataderos provinciales de Ontario	4500	-	2480	5070	6,5	-
Camal ELAKAT	482	-	181,34	219,52	7,5	21,5

Adaptado de: Landeta (2009), Caldera y otros (2010), Wu y Mittal (2011) y Bisimwa (2014).

a) STD corresponde a sólidos totales disueltos, SS corresponde a sólidos suspendidos, T corresponde a temperatura, DBO₅ corresponde a demanda bioquímica de oxígeno al quinto día y DQO corresponde a demanda química de oxígeno.

Con la información anteriormente presentada se puede realizar un mejor entendimiento y contar con una perspectiva de los contaminantes principales que se presentan en las aguas residuales de mataderos.

Una respuesta ante estas aguas contaminadas son los biofiltros, utilizados como una alternativa amigable con el medio ambiente para la depuración de aguas residuales especialmente con carga orgánica como lo es el Sistema Tohá®; tecnología desarrollada en Chile por el Dr. José Tohá la cual emplea el principio de filtración. Las aguas residuales son depositadas en un tratamiento que contiene estratos filtrantes que ayudan en el tratamiento de las aguas contaminadas. Dentro de estos estratos filtrantes se encuentran lombrices las cuales actúan como principales al momento de la remoción de parámetros contaminantes (Sistema Tohá®, s.f.).

El Sistema Tohá® tiene una eficiencia teórica de más del 90% en la remoción de contaminantes como lo son la Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendedos Totales y Coliformes Fecales (tabla 2). Por lo cual se puede decir que tiene una alta eficiencia de remoción de DBO₅.

Tabla 2: Eficiencia del Sistema Tohá®.

Parámetro	Unidad	Eficiencia Esperada Sistema Tohá® (%)
DBO₅	mg/L	95,00
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	90,00
Sólidos Volátiles	mg/L	95,00
Nitrógeno	mg/L	60 a 70
Fósforo	mg/L	60 a 70
Aceites y Grasas	mg/L	80,00
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	99,99

Adaptado de: (COBEX, 2012).

a) Las siglas NMP significa número más probable.

1.2. Planteamiento del problema

De acuerdo a su origen los desechos líquidos se pueden categorizar en municipales, industriales y agroindustriales. La variación de los valores de contaminantes dentro del agua dependen de las características

socioeconómicas de la población, el clima y otros factores típicos de la localidad (Cubillos, 2008).

Según la SENAGUA (2011) de cada 100 litros de agua que se consumen 81,1 litros son destinados para agricultura, 12,3 litros para uso doméstico, 6,3 litros para la industria y 0,3 litros para otros usos. Después de su uso, el agua se convierte en residuo líquido; apenas el 8% de estas aguas negras tienen algún tratamiento de depuración, lo que incrementa los problemas relacionados con la descontaminación de aguas (SENAGUA, 2012). Cabrera *et. al.* (2012), estiman que más del 70% del agua que se encuentra en las cuencas hidrográficas por debajo de los 2800 msnm no es apta para el consumo humano directo; debido a factores como que el más del 80% de las aguas residuales industriales no presentan ningún tipo de tratamiento, los niveles de contaminación por microorganismos patógenos, sustancias tóxicas, desechos sólidos, presencia de hidrocarburos.

Un estudio realizado por la SENAGUA (2011) para establecer la línea base para el monitoreo de la calidad de agua tomo las demarcaciones hidrográficas del Guayas, Puyango, Catamayo y Jubones. Encontrando que todos los cuerpos de agua presentaron un grado de contaminación y en el 67% de los puntos monitoreados presentan contaminación por microorganismos.

Desde un punto de vista económico, los desechos, pueden representar una pérdida de recursos reutilizables. Se explica que al no tratar los desechos y recuperar materias reutilizables se puede considerar dichos desechos como pérdida; adicionalmente, puede convertirse en un pasivo ambiental, teniendo que destinar esfuerzos y recursos para su tratamiento. Desde un punto de vista social el agua contaminada puede provocar afecciones a las poblaciones que consuman esta agua deteriorando la calidad de vida de las personas (Waterwatch Australian Steering Committee, 2002).

Se puede inferir que el país cuenta con un problema en el tratamiento de las aguas servidas. Una de las industrias que contaminan los cauces de agua

corresponde a las faenadoras de ganado o camales. Se desconoce el estado actual de los camales oficiales y clandestinos en cuanto se refiere a condiciones sanitarias y tecnológicas. La Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (2014) consideran que es un punto vital dentro de sus administraciones el mejorar tecnológicamente los camales municipales y eliminar los camales clandestinos.

1.3. Hipótesis de Investigación

El empleo de un tratamiento de un biofiltro con lombrices para las aguas contaminadas provenientes de camales logra descontaminar y disminuir el valor de contaminantes dentro del agua, esto generaría una alternativa para la depuración de aguas residuales de este sector industrial.

1.4. Alcance

El alcance de este trabajo de titulación es realizar una evaluación de la eficiencia de remediación de aguas contaminadas tratadas por sistemas de biofiltración; se empleará la tecnología del Sistema Tohá® para la remediación de las aguas contaminadas.

La comparación se realizará en escala piloto de laboratorio a través de la modificación de la mezcla de los estratos y de organismos. Esto permitirá tener un mejor entendimiento de la remoción de contaminantes y ayudará a obtener la mezcla más eficiente en cuanto se refiere a remediación de las aguas residuales de faenadoras de ganado.

Las aguas residuales serán recolectadas después de un tratamiento primario que incluye la eliminación de material particulado grueso y aceites y grasas. Esto se realizará con el objetivo de simular las mejores condiciones para los tratamientos de biofiltración.

Se realizará una breve descripción del funcionamiento del sistema integral de tratamiento así como una descripción de la especie de lombriz a utilizar (*Eisenia foetida*).

Se realizará una caracterización de las muestras tomadas de aguas residuales provenientes del faenamiento de ganado. Adicionalmente se realizará la fase experimental que consistirá en variar la mezcla de estratos y verificar la depuración de agua. Se comparará los análisis previos al tratamiento y los análisis posteriores a fin de contar con un indicador porcentual que demuestre la eficiencia de remoción de contaminantes.

1.5. Justificación

La problemática de las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, se hace evidente en el país, debido a la cantidad de fuentes hídricas contaminadas que existen. Las aguas son enviadas a cauces de ríos, lagos, lagunas, sin ningún tratamiento previo; lo que ocasiona su inevitable contaminación.

La condición de los camales no ha sido óptima a lo largo del tiempo dentro del territorio nacional. Cabe mencionar que existe un número desconocido, pero representativo, de camales clandestinos; los cuales arrojan sus aguas directamente sobre cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento que prevenga impactos sobre el ambiente.

El país se encuentra en apogeo de las ciencias ambientales y es necesario contar con todas las opciones que sean posibles al momento de optar por un tratamiento de residuos. La biofiltración con lombrices ofrece no sólo una depuración de aguas; además, no presenta un desecho sólido, como lo son los lodos, en su lugar generará humos el cual puede ser aprovechado. Es una alternativa que se puede emplear en aguas con alta carga orgánica como lo son las aguas de los camales. Así como otras aguas residuales provenientes de otras industrias tales como cerveceras, lecheras, queseras y aguas

domiciliarias; es decir aguas residuales que contengan cargas orgánicas y no presente metales pesados, químicos y elementos letales para la vida de los organismos.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de remediación de sistemas de biofiltración con lombrices (*Eisenia foetida*) en aguas contaminadas provenientes de faenamiento de ganado.

1.6.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la composición inicial y final del agua contaminada proveniente del faenamiento de ganado mediante análisis físico/químico/biológico.
- Determinar la mezcla óptima de estratos filtrantes de un biofiltro basados en biomasa y lombrices mediante la eficiencia de remediación del agua contaminada proveniente del faenamiento de ganado.
- Determinar las condiciones de operación del sistema de biofiltración para que se tenga una eficiente remoción de parámetros contaminantes en aguas provenientes del faenamiento de ganado.

1.7. Marco Teórico

1.7.1. Faenadoras de ganado: situación a nivel nacional y local.

Un matadero, de acuerdo con Giménez y Medina (2010), es aquel lugar especialmente diseñado para el sacrificio de los animales, al igual que la preparación de los productos destinados a la alimentación humana. Tomando en cuente dicha definición, Taveras *et. al.* (2011) indica que los mataderos o camales municipales son aquellos establecimientos de administración pública

que se encargan de proveer los productos de consumo humano que cumplan las normativas y de calidad requeridas para que sean de consumo seguro. Adicionalmente se debe contar con inspecciones sobre el adecuado manejo de la carne y desechos producidos por el faenamiento; esto reduciría la potencial contaminación al medio ambiente (Veall, 1997).

El procesamiento del ganado en un camal se divide en tres etapas: procesos ante-mortem, operaciones de matanza y procesos post-mortem. El proceso ante-mortem comprende la recepción de animales, la inspección del estado físico de los animales por parte del veterinario encargado y el reposo de los animales de entre 2 a 4 horas antes del sacrificio (Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito, s.f.). En el proceso de matanza se realiza una insensibilización la cual consiste en el empleo de una pistola neumática la cual noquea al animal para evitarle el sufrimiento (EMRAQ-EP, s.f.); posteriormente se realiza un corte detrás de la mandíbula, en las arterias principales del animal y se espera el desangramiento; pasa a un proceso de desollado en caso de faenado vacuno y de escaldado-depilación en el caso de ganado porcino; finalmente se extraen las vísceras de los animales. En el último proceso, de acuerdo con Tomaselli y Sánchez (2008), el proceso post-mortem se realiza el corte de las partes comestibles para que sea de mayor facilidad el transporte y comercialización; también se realiza una última inspección visual con el fin de que la carne sea higiénica, que se vea limpia y no sanguinolenta.

Como indica Lascano (2011), el aprovechamiento de carne del animal, basado en porcentaje del peso vivo del mismo, es de 31,2% para hembras adultas (bovino), 33,9% para machos adultos (bovinos), 37,21% para bovinos jóvenes y 29,1% para porcinos adultos. En cuanto se refiere a la sangre, tomándolo como uno de sus principales desechos líquidos, se tiene valores entre el 3% al 12,24% de residuos. Cabe mencionar que cuando se habla del rendimiento del faenamiento se hace referencia a los productos cárnicos de consumo humano y a los desechos generados.

No se cuenta con información extensa y/o detallada acerca de la situación de los camales y camales clandestinos en cuanto se refiere a su número, condiciones de operación, condiciones sanitarias tanto a nivel nacional como local; por ende, se acoge y recopila la información proporcionada por diferentes medios de comunicación escritos, de radio y/o televisión. En ellos, indican, una estimación a nivel nacional de 600 mil reses faenadas en mataderos oficiales, cantidad que no abastece al mercado (Diario El Hoy, s.f.). Contando con más de 200 camales el 45% se ubica en la región Sierra, el 38% en la región Costa y el 17% en la región Amazónica y Galápagos (Ruiz S. , 2011). Como se ha mencionada anteriormente, no se conoce a fondo el estado sanitario de estos establecimientos, por ello ha existido una preocupación por la atención a los mataderos, respecto a sus condiciones de tecnificación e higiene. Las cuales llegan a ser mínimas; la tecnificación en los camales es pobre (en la mayoría de casos) y las condiciones de saneamiento e higiene son casi nulas (Teleamazonas, s.f.). Muestra de la preocupación nacional se ha visto un programa de construcción e instalación de centros de faenamiento regionales como lo son el camal regional para la provincia de El Oro el cual cuenta con 13 camales municipales, 2 privados y 1 parroquial (Diario LaHora, s.f.).

Una de las principales problemáticas que tienen las faenadoras oficiales son los camales clandestinos. Estos, no cuentan con ningún tipo de permiso de funcionamiento y violan la normativa legal y ambiental vigente; adicionalmente al no ser inspeccionadas estas reses por un veterinario se generan riesgos de consumir carne contaminada (El Diario, 2013). Por ejemplo en provincias como Zamora Chinchipe se han presentado denuncias acerca de las condiciones sanitarias y de la falta de profesionales con la cual opera los camales municipales de dicha provincia (Diario LaHora, s.f.).

A nivel local, en el Distrito Metropolitano de Quito, se encuentra la Empresa Pública Metropolitana de Rastro (EMRAQ-EP) la cual es la encargada del sistema de faenamiento y comercialización de ganado bovino, ovino y porcino dentro de Quito (EMRAQ-EP, 2014). La empresa en el año 2013 faenó 71476 bovinos, 69173 porcinos y 24210 ovinos (EMRAQ-EP, s.f.); de estos datos se

estima que el 30% de la carne de res provienen de camales clandestinos por lo que no se conoce las condiciones en las que fueron sacrificados los animales (Diario El Hoy, s.f.)

1.7.2. Problemática ambiental

En cuanto se refiere a la problemática ambiental se puede encontrar que los residuos generados por camales pueden impactar a diferentes niveles del medio ambiente. La tecnología empleada para tratar los desechos que se generan en los camales no ha sido implementada a gran escala; por lo que estos residuos y desechos se vuelven una fuente de contaminación del ambiente (Lascano, 2011).

Uno de estos residuos son sólidos grandes, que corresponde cerca del 25% del peso total de animales vivos, estos son contenidos estomacales, estiércoles, sangre, huesos, pezuñas, pelo, tejido graso, tejido conjuntivo y tejido muscular (Ruiz S. , 2011). De acuerdo con Castro y Vinuesa (2011), se estima que entre el 20% y 50% del animal no es apta para el consumo humano y constituyen desechos putrescibles. En la tabla 3, se puede observar las estimaciones de los principales residuos que se generan en un matadero.

Tabla 3: Estimación de desechos de camales.

Especie	Unidad	Porcino	Bovino
Estiércol líquido	kg	2 a 3,5	7,5 a 30
Sangre	L	4 a 6	20 a 35
Huesos	kg	Aprox. 9	Aprox. 66
Contenido Estomacales	kg	0,4 a 1,6	40 a 80

Adaptado de: Moreno y Moral (2011).

a) estos desechos contienen altos porcentajes de proteínas y grasas, al igual que alto contenido de nitrógeno, fosforo, potasio y calcio.

Por otro lado, otros problemas que puede presentarse son la contaminación cruzada entre las especies, carne en mal estado y proliferación de enfermedades (Food and Agriculture Organization, 2008). Uno de los peligros potenciales son la transición de bacterias como lo son *E. Coli* (presente en la materia fecal), *Salmonella* o *Campylobacter*; además se puede provocar la transmisión de enfermedades como la encefalopatía espongiiforme bovina (enfermedad de las vacas locas) (GRACE, 2012). Schlegelová et al (2004) indica la transmisión de enfermedades y bacterias pueden causar una potencial resistencia a medicamentos de agentes patógenos en el cuerpo de los seres humanos.

1.7.3. Agua Contaminada

El agua es uno de los recursos más importantes para la supervivencia del ser humano. El agua es empleada tanto para consumo humano y de animales como para el riego y crecimiento de cultivos; por lo tanto constituye una parte vital para el ser humano y su desarrollo. La disminución de la calidad de agua genera impactos sobre el medio ambiente (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000). Orellana (2009) menciona que las aguas poseen una capacidad de autodepuración mientras sigue su ciclo natural; sin embargo, este sistema de autodepuración tiene un límite el cual, una vez superado, la depuración no logra devolver la calidad al agua. Provocando la contaminación de las aguas.

1.7.3.1. Agua residual de camales

Las aguas de residuales de los mataderos forman parte de las aguas residuales industriales, llamados así por ser los desechos de procesos productivos. Estos procesos productivos emplean grandes cantidades de agua, se estima que en promedio los mataderos utilizan 8,3 litros de agua por cada kilogramo de peso vivo de los animales que son faenados (Landeta, 2009). Los residuos líquidos son generados en las áreas de reposo debido a las aguas de lavado de los animales, materia fecal y orina del gana; en el área de

faenamiento, las aguas pueden contener sangre, grasa, contenido intestinal, pedazos de carne y pelo (Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá, 2005).

Lo que indica que estas aguas presentan una alta concentración de compuestos orgánico; se menciona, según Lara (2011), que los efluentes con altas cargas orgánicas suelen tener una relación DQO: DBO₅: N de 12:4:1.

La sangre, contenido estomacal, estiércol, pelos, restos de carne, aguas utilizadas en el proceso de faenado son las principales fuentes de contaminación que se encuentran en las aguas residuales de mataderos. Los principales parámetros contaminantes se pueden apreciar en la tabla 4, por lo que se observa que los principales contaminantes son materia orgánica y sólidos en suspensión (Andrades, 2010).

Tabla 4: Contaminante característicos de aguas de camales

Parámetro (mg/L)	Valores Máx.	Valores Mín.	Rango Típico	Principales Fuentes
DQO	35000	774	3000 - 6000	La fuente de materia orgánica proviene principalmente de la sangre de los animales; aguas de escaldado, estiércol, contenidos estomacales.
DBO₅	5350	500	500 - 3000	
Sólidos Suspendidos	5000	220	1000 - 2500	Estiércol, contenido estomacal, pelos, resto de carne.
Aceites y grasas	1200	23	500 - 1500	Aguas de escaldado, lavado de reses.
Nitrógeno Total Kjeldahl	750	48	150 - 300	Proviene del estiércol, contenidos estomacales y sangre.
Fósforo	90	10	20 - 25	
pH	8	6	6,8 - 8,0	-

Adaptado de: Andrades (2010).

1.7.3.2. Caracterización del agua

De acuerdo a Landeta (2009), los principales parámetros a tomar en cuenta en la caracterización de un efluente de un camal son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos (SS), aceites y grasas (A&G), nitrógeno total (N) y otros parámetros como lo son turbidez, color, olor, pH, temperatura y caudal. Adicionalmente de acuerdo a la Resolución N° 0002-DMA-2008 (2008), en su Tabla D.1 “Guía de parámetros mínimos por sector productivo”, menciona de acuerdo a la actividad productiva bajo el código CIIU los parámetros que se deben analizar; es decir que para la “matanza de ganado, preparación y conservación de carne” (CIIU D1511) se toma en cuenta el caudal, pH, temperatura, DBO₅, DQO, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales.

Según a estudios realizados por Torres (s.f.), la caracterización de las aguas del camal, con el cual se diseñó la planta actual de tratamiento de agua, presenta parámetros de diseño con carga alta, media y baja. En la tabla 5 se encuentra un resumen de los parámetros promedios que fueron tomados como base para la construcción de la planta de tratamiento.

Tabla 5: Parámetros de diseño planta de tratamiento de aguas camal
Metropolitano de Quito

PARÁMETRO	CARGA ALTA	CARGA BAJA	CARGA MEDIA
pH	8,06	8,47	8,09
Temperatura (°C)	17,9	17,7	17,7
Sólidos Suspendidos (mg/L)	2270,4	589	1033
Sólidos Sedimentables (mg/L)	40,5	5,7	17
Aceites y Grasas (mg/L)	42,5	35,7	40,7
DBO ₅ (mg/L)	2571,3	808,3	1700
DQO (mg/L)	5494,5	1423,3	3526,7
Nitritos (mg/L)	105,7	11,8	2,7
Nitratos (mg/L)	486,6	95,2	414,3

Adaptado de: Torres (s.f.).

1.7.4. Tratamiento de aguas: Sistema Tohá

Ramos *et. al.* (2010), menciona que los filtros biológicos aeróbicos son aquellos que emplean diversos estratos o medios filtrantes en los cuales las aguas residuales son degradados por organismos y microorganismos que requieren de oxígeno para sobrevivir; estos son capaces de reducir contaminantes orgánicas biodegradables. Estos tratamientos biológicos, indica Dawood *et. al.* (2011), son una alternativa que se prefiere frente a procesos físico-químicos debido a los altos costos de las sustancias químicas y su baja tasa de remoción de materia orgánica. Los lombrifiltros se presenta como una alternava dentro de los filtros biológicos para el tratamiento de aguas residuales que contienen principalmente materia orgánica y debido a sus tiempos de residencia largos no requieren de períodos de estabilización; adicionalmente son sistemas económicos (tabla 6).

Tabla 6: Comparación de costos de diferentes sistemas de tratamiento

Tecnología	Costo Promedio (US\$ / Hab.)
Lombrifiltro	70
Lagunas	90
Emisario submarino	100
Lodos activados – Aeración extendida	130
Lodos activados – Reactores <i>batch</i>	180
Lodos activados convencionales	180
Sistemas de medio fijo	450

Tomado de: Baraño y Tapia (2004)

1.7.4.1. Descripción y Características

El sistema de tratamiento combina, principalmente, la purificación de agua y la degradación de materia orgánica a través de lombrices californianas (*Eisenia foetida*) las que se encargan de digerir la materia orgánica transformándola en humus. De acuerdo con Vallina, Villagra y Fernández (2007) el Sistema presenta una eficiencia de eliminación de DBO₅ de aproximadamente el 95%.

Adicionalmente alrededor de los lechos de piedra bola y piedra grava se genera una capa de microorganismos denominada biopelícula; ésta, metaboliza las sustancias biodegradables que se convierte en su fuente de carbono y nutrientes necesarios para los procesos biológicos de los microorganismos (Lonard, 2009).

1.7.4.2. Partes del Lombrifiltro

El sistema de tratamiento basado en el lombrifiltro, perteneciente a la familia de los percoladores compuesto por una sucesión de estratos filtrantes; en orden ascendente, sus capas son piedra bola, grava, aserrín-viruta y en la parte más superficial una capa de humus y lombrices (Guzmán, 2004). Estos estratos son utilizados como soporte para microorganismos y lombrices los cuales son los organismos encargados de degradar la materia orgánica. Según Wang *et. al.* (2010) la piedra bola se encuentra en un 20% del relleno del filtro (20 cm en una cama de 100 cm de altura) y son de un diámetro aproximado de 10 -15 cm, respecto a la piedra grava se encuentra en un 10% (10 cm en una cama de 100 cm de altura) y corresponde a grava número 6 de un diámetro aproximado 3-6 cm y un estrato de aserrín-viruta que conforma el restante 70% del relleno del filtro (70 cm en una cama de 100 cm de altura).

1.7.4.3. Estratos

Piedra bola y grava

Son piedras que son extraídas de las orillas del río y es de un origen natural, su forma la toma por la erosión del paso constante de agua, dejando su superficie lisa y aparentemente redondeada (Maltre SA de CV, s.f.). De acuerdo con Phillips *et. al.* (2010), la piedra bola y grava son utilizadas tradicionalmente de manera decorativa y para la construcción; sin embargo, en el tratamiento de agua son empleadas como estratos filtrantes. Ya que cuentan con una amplia superficie de contacto, en la cual se genera una biopelícula por la acumulación de microorganismos, a medida que se multiplican las bacterias se adhieren con mayor firmeza a la superficie.

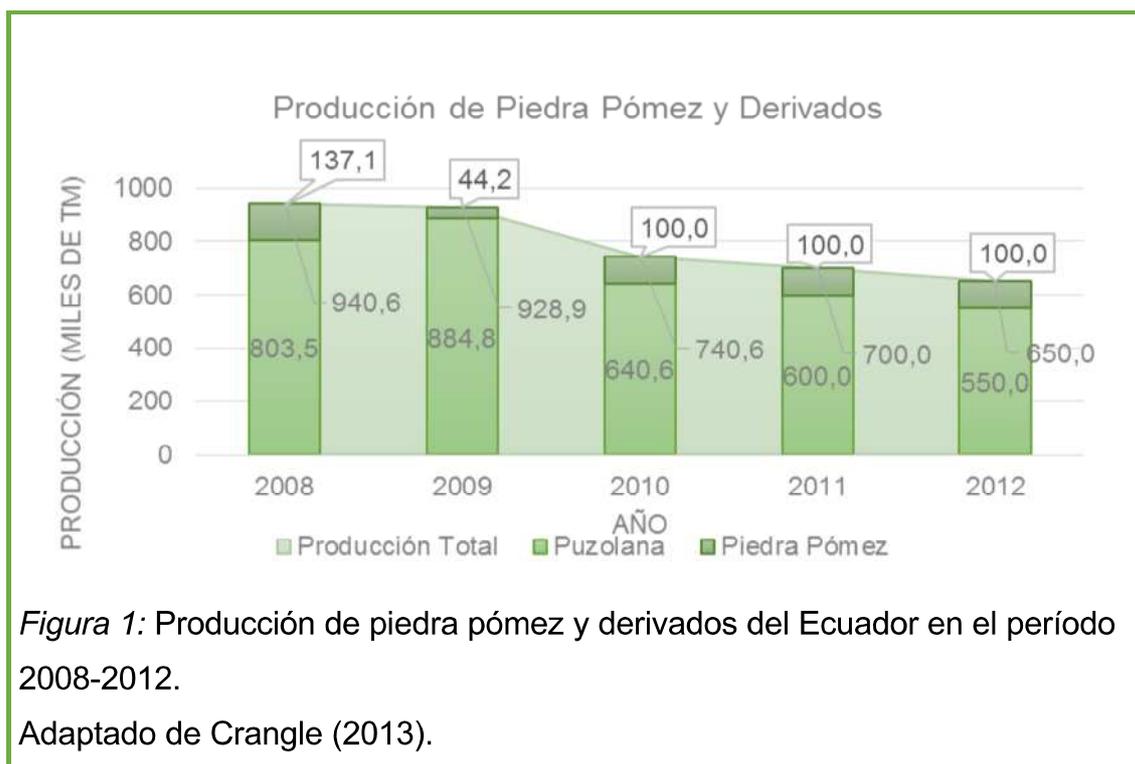
Aserrín-Viruta

El aserrín y la viruta, menciona Pineda y otros (2012) son residuos de la industria de madera, al emplearlos en sistemas de tratamiento se evita un residuo y se tiene una tecnología de impacto ecológico positivo. Prasad, Maher y Raviv (2008) se refieren a las propiedades del aserrín e indican que el tamaño de partícula, por lo general, se encuentra en valores inferiores a 0,8 mm, posee una densidad aparente entre 0,1 a 0,45 g/cm³, una porosidad superior al 80% y una capacidad de absorción de agua de 42%. Mientras que las propiedades para la viruta su densidad se encuentra entre 1,55 a 1,90 g/cm³, su porosidad es de 70 a 90% y su capacidad de retención de agua es de 43% (Unión Europea, 2008).

Este tipo de material es considerado, generalmente, como un residuo de la industria maderera, pudiéndolo obtener a un bajo o nulo costo; conformando una ventaja de la implementación de estos materiales. Adicionalmente, Bonachela y otros (2008), consideran un sustrato inerte a aquel que es capaz de mejorar la capacidad de retención de agua optimizando la distribución de nutrientes y, según Quesada (2011), no altera químicamente las propiedades de sustancias que pasan a través de él.

Piedra pómez

También conocida como pumita o pumicita es una roca de volcánica extrusiva, vítrea y anhidra; en su composición se encuentra principalmente sílice (70% SiO₂) y alúmina (13% Al₂O₂), cuenta con una alta porosidad y es ligera (su densidad varía entre 0,4 a 0,9 g/cm³) (Merchan, 2012). Referente a la producción de piedra pómez (anexo 1) a nivel internacional el mayor productor al año 2012 es Turquía con cerca de 5,5 millones de toneladas de piedra pómez, dentro de los países de la Unión Europea el mayor productor es Italia con más de 3 millones de toneladas; Chile con 820 mil toneladas constituye como el principal productor de pumita de Iberoamérica. El Ecuador ha disminuido su producción como lo indica la figura 1.



Las características de la piedra pómez según Gallegos (2008) menciona que la densidad aparente es de $0,71 \text{ g/cm}^3$ y la densidad real es de $1,6 \text{ g/cm}^3$, la baja densidad aparente indica un alto nivel de porosidad; además posee una capacidad de aireación de 21,5 % y 55,63% de espacio poroso total. Menciona Marinou y otros (2013) que cuenta con un pH de 7,87 y una conductividad eléctrica de 0,45 dS/m. La piedra pómez es utilizada, dentro de la purificación de aguas, para filtración del agua potable, como pre-tratamiento para la ósmosis inversa y desalinización del agua de mar; y finalmente, para el tratamiento de aguas residuales debido a su alto nivel de extracción de partículas, baja densidad y su versatilidad (TECHFIL, s.f.).

Hojas de eucalipto

El eucalipto es un árbol de hojas perennes y coriáceas, es decir que tiene consistencia de cuero y se quiebra con facilidad. Presenta hojas ensiformes (forma de espada) de 15 a 30 cm de largo y 5 cm de ancho, su color es verde azulado (European Medicines Agency, 2013). Una de sus principales características es el contenido de aceites y ácidos grasos, lo que le concede su característico aroma. De acuerdo con Damjanović-Vratnica y otros (2011), el

contenido de aceites esenciales es 1,8% en relación peso-peso basado en hojas maduras, tiene doce aceites principales que componen el 99,77% del contenido de aceites esenciales (tabla 7) siendo el 1,8-cineol el aceite con mayor presencia (85,8%) en las hojas de eucalipto.

Tabla 7: Contenido de aceites esenciales de las hojas de eucalipto

Compuesto	(%)
α -Pinoeno	7,16
Cangeno	Trazas ^(a)
β -Pinoeno	1,1
β -Mirceno	1,52
α -Felandreno	0,55
p-Cimeno	Trazas ^(a)
Limoneno	0,85
1,8 Cineol	85,82
γ -Terpineno	1,16
α -Terpineno	0,11
Linalol	0,43
Pinocarveol	0,44
Terpinen-4-ol	0,49
α -Terpineol	0,14
Hidrocarburos monoterpenos (%)	12,45
Monoterpenos oxigenados (%)	87,32
Total Identificable (%)	99,77

Adaptado de: Damjanović-Vratnica, Đakov, Šuković y Damjanović (2011).

a) Trazas que no han sido posibles de cuantificar.

Referente al contenido de ácidos grasos, Abdel-Moein *et. al.* (2011) menciona que, en las hojas de eucalipto predominan los ácidos saturados con el 73,1% (tabla 8).

Tabla 8: Contenido de ácido graso en las hojas de eucalipto

Ácido Graso	Porcentaje del total de ácidos grasos de las hojas de eucalipto (%)
Caprílico	3,8
Cáprico	20,5
Laúrico	29,6
Mirístico	-
Palmítico	19,2
Palmitoleico	10,1
Esteárico	-
Oleico	-
Linoleico	7,0
Alfa-linoleico	8,7
Gamma-linoleico	0,98
Araquídico	-
Gondoico	-
Total Ácidos Grasos Saturados	73,10
Total Ácidos Grasos Insaturados	26,78

Tomado de: Abdel-Moein, Abdel-Moniem, Mohamed, y Hanfy (2011)

En concordancia a lo anteriormente mencionado Damjanović-Vratnica y otros (2011) menciona que el contenido de aceites esenciales y ácidos grasos son los componentes que otorgan el efecto antimicrobiano a las hojas de eucalipto. La composición química específica de las hojas de eucalipto y sus compuestos son los que impiden la proliferación de vida de ciertos microorganismos.

1.7.4.4. Organismos degradadores

Dentro del sistema de tratamiento, los principales organismos degradadores los conforman microorganismos y lombrices que se encuentran en los estratos de soporte, tanto en las piedras como en la mezcla aserrín-viruta.

Lombrices

En su trabajo Monroy, Aira y Domínguez (2008) señala que las lombrices son capaces de modificar las propiedades físicas del suelo como el estado de agregación de las partículas y la porosidad al realizar excavaciones y formar canales; asimismo, son capaces de modificar las propiedades químicas y biológicas tales como la degradación de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes e inclusive es capaz de regular la actividad de otros microorganismos del suelo. Las lombrices, como manifiesta Domínguez y Gómez-Brandón (2010), corresponden a una especie de epigea, viven en el horizonte orgánico y se alimenta de materia orgánica; son organismos pequeños que poseen una gran capacidad adaptativa a condiciones ambientales variables, son las más utilizadas debido a su alta tasa de consumo, digestión y asimilación de materia orgánica.

De acuerdo a Durán y Henríquez (2009) y a Cajas (2009) la especie de lombriz que es empleada debe cumplir características como: amplio rango de adaptación de temperatura (entre 15°C y 25°C promedio), un pH óptimo para su desarrollo (entre 7 y 8), tasa alta de reproducción, longevidad, tendencia a agruparse en espacios pequeños, capacidad de vivir en altas poblaciones y no sea transmisor de enfermedades. Estas características posee la especie *Eisenia foetida*, siendo apta para ser seleccionada para el tratamiento de aguas.

Las características de las lombrices mencionadas por los autores Durán y Henríquez (2009), Durán y Henríquez (2010) y Salazar (2005) describen a la lombriz roja como un invertebrado que cuenta con un cuerpo alargado conformado por entre 94-96 anillos, su reproducción oscila entre 2 a 21 lombrices por cada una; son hermafroditas, presentando reproducción tanto sexual como asexual. Su coloración varía de acuerdo a los días de desarrollo que cumple dentro de su ciclo biológico, conocido como estadío. Al nacer cuenta con una longitud entre 1 a 5 mm y son de coloración blanca. Entre los 5 y 6 días pasan a una etapa juvenil en la cual su longitud se encuentra entre 2 a 5 cm y su coloración se torna rosada. Finalmente entre los 15 a 20 días llegan a

un estado de maduras o adultas, su coloración cambia a rojo oscuro y llega a un crecimiento de entre 6 a 8 cm; en este estadio se diferencian dos categorías de acuerdo a la presencia de clitelio, una serie de anillos engrosados cerca de la cabeza de la lombriz que las identifica como adultas reproductivas. Su peso varía entre 0,4 a 0,6 gramos en etapas de recién nacidas y juveniles, llegando a alcanzar un adulto 1 gramo. Cabe señalar que estos valores corresponden a promedios aproximados, por lo que es común encontrarse con lombrices de mayor tamaño y/o peso.

Microorganismos

Dentro de los filtros percoladores la comunidad biológica es muy diversa; incluye bacterias aerobias y facultativas, protozoos, hongo y algas. Se asocia comúnmente a las bacterias *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* y *Alcaligenes* presentes con mayor frecuencia en los filtros percoladores. Adicionalmente, se pueden presentar bacterias nitrificantes en bajas cargas orgánicas, mientras que en altas cargas orgánicas bacterias heterotróficas compiten con las bacterias nitrificantes desplazándolas (Metcalf & Eddy, 2014). Uno de los problemas de los sistemas de tratamientos de aguas es que pueden causar la proliferación de enfermedades; Bajsa *et. al.* (2003) indica que en el vermi compostaje (compostaje realizado por la actividad de las lombrices) los hongos y bacterias son fuente importante de alimento para las lombrices *Eisenia Foetida*; además, la especie es capaz de eliminar patógenos, coliformes fecales, *Salmonella spp.* y virus entéricos.

1.7.4.5. Descripción del Proceso

Dentro de los estratos de piedra se genera una película biológica y, como indica Gallego *et. al.* (2006), es la encargada de degradar materia orgánica, esta película se forma al entrar en contacto el agua contaminada y los microorganismos que se encuentran en ella; dichos organismos se adhieren a la superficie de los lechos y lo utilizan como soporte.

De acuerdo a los estudios realizados por Wang y otros (2010) indican que la eficiencia en la remoción de materia orgánica tiene una tasa promedio de 90,2% y un 92,5% de eficiencia en la remoción de sólidos en suspensión (tabla 9). Las altas tasas de remoción de contaminantes lo hace llamativo para tenerlo en cuenta como alternativa para el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica.

Tabla 9: Eficiencia de Lombrifiltro

Parámetro	Afluente (mg/L)			Efluente (mg/L)			Tasa de Remoción (%)		
	Max.	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max	Min	Prom
DQO	248	126	192	54	12	27	94,8	83,9	90,2
Sólidos Suspendidos	193	127	177	19	5	11	94,2	88,6	92,5
Nitrógeno Amoniacal	35,7	21,3	27,4	3,6	0,7	1,9	97,1	85,7	92,1
Nitritos	0,25	0,08	0,12	0,46	0,13	0,38	-	-	-
Nitratos	0,43	0,21	0,37	6,11	2,91	4,53	-	-	-
Fosforo	5,64	2,93	3,47	0,34	0,11	0,27	95,6	89,3	91,4

Adaptado de: Wang et al. (2010)

Según Vallina y otros (2007), el biofiltro las ventajas de ser un sistema eficiente, disminuye en 95% los sólidos suspendidos totales y DBO₅, tiene costos bajo de operación debido a que no requiere de consumo de químicos, no requiere transportes de lodos y el consumo eléctrico es bajo. No se requiere de personal altamente calificado para operar el sistema. Es un sistema resistente, es decir que se adapta a las variaciones de cargas al igual que cambios estacionales. Al generar humus y no residuos que necesiten ser tratados es una alternativa ecológica. El mecanismo por el cual se tratan las aguas residuales se basa en el metabolismo de microorganismos y lombrices que, dentro de sus organismos, realizan reacciones químicas de oxidación y

síntesis catalizadas por enzimas las cuales oxidan la materia orgánica, dando como resultado productos finales tales como gases, agua, humus y liberando energía para la producción de nuevas células, lo que corresponde al ciclo biológico de las lombrices (Salazar, 2005).

1.7.4.6. Condiciones de operación

De acuerdo a Martínez-Trujillo y García-Rivero (2012) la degradación de contaminantes por parte de los microorganismos depende de factores ambientales locales tales como pH, temperatura, humedad; factores como la adaptabilidad de los organismos degradadores y parámetros referentes al contaminante como lo son la concentración y disponibilidad del contaminante. En la tabla 10 se resumen las condiciones de operación para tratamientos biológicos con lombrices (Carmona, 2010).

Tabla 10: Condiciones principales de operación

Parámetro de Operación	Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH
Rango de Resistencia	0 - 42	55 – 85	-
Rango Optimo de Operación	14 – 27	70 a 80	6 – 8
Condición Ideal	22	75	7
Detalles	Las temperaturas superiores a 42°C e inferiores a 0°C son letales para las lombrices.	Sobre el 85% lombrices entran en latencia. Inferiores al 55% se vuelve letal.	El aumento de ácidos orgánicos acidifican las aguas.

Adaptado de: Carmona (2010)

2. Capítulo II Metodología

2.1. Descripción del Experimento

El experimento consistió en el montaje de 6 módulos en los cuales se colocó diferentes tipos de estratos, esto con el objetivo de determinar la mejor mezcla de estratos para el tratamiento de aguas de camales.

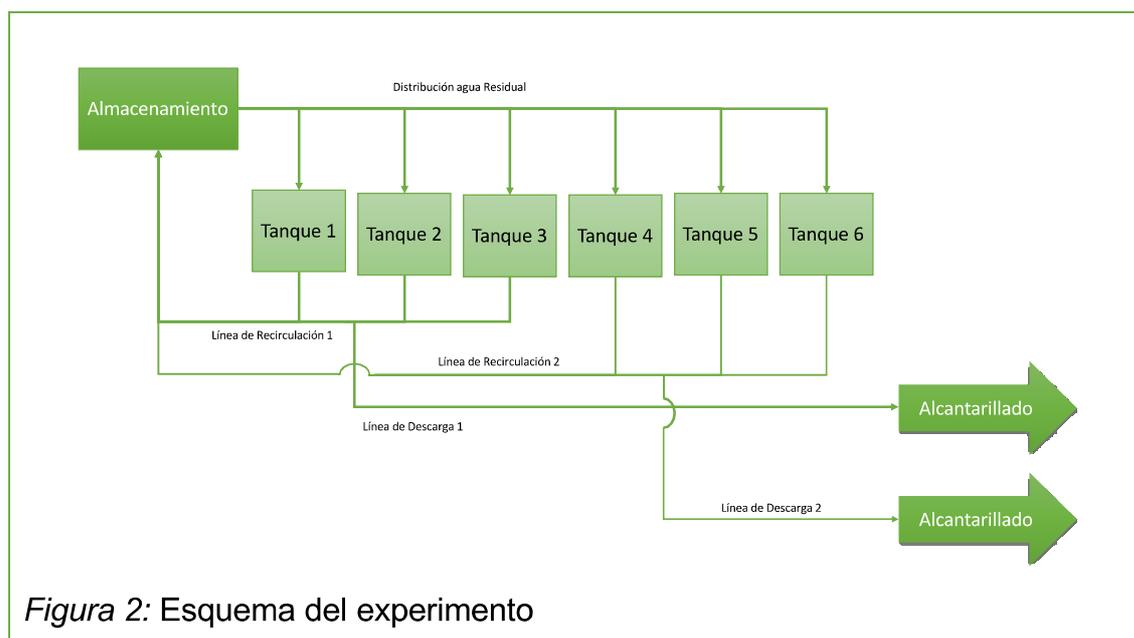


Figura 2: Esquema del experimento

Los módulos experimentales fueron ubicados en un espacio asignado detrás del bloque 7 de la Sede Queri de la Universidad de Las Américas. La ubicación de los módulos responde al plano *Layout* (anexo 2). Los 6 módulos fueron colocados en línea y se alimentaron con una única manguera de distribución que envió el agua residual desde los tanques de almacenamiento a través de una bomba de 0,5 HP. En la manguera de distribución del agua residual se instaló dos microaspersores para cada tratamiento que se encargaron de regar uniformemente el agua residual. Dichos microaspersores no requieren de alta presión para su funcionamiento.

El agua residual que se trató provino de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Empresa Pública de Rastro Quito (EMRAQ-EP) ubicada en el

sector de la ecuatoriana al sur de la ciudad. Específicamente, fue tomada a la salida del tanque homogeneizador con el objetivo de simular las condiciones en las que opera las plantas de tratamiento que emplean la tecnología del Sistema Tohá. El agua que se requirió, fue colocada en dos tanques de almacenamiento de agua con capacidad de 55 galones cada uno, aproximadamente 416,35 L (1 galón = 3,785 L).

Se numeró los tratamientos del 1 al 6 y la estratificación empleada se describe en la tabla 11. Con la variación de los estratos se espera mejorar la eficiencia en el tratamiento de las aguas contaminadas. La piedra pómez posee una mayor porosidad, se esperó que dentro de los poros aumente la cantidad de microorganismos aumentando el tratamiento de aguas; las hojas de eucalipto respondieron a la necesidad de emplear un sustrato que es considerado como residuo, los hojas no son utilizadas para el compostaje debido a su contenido de ácidos grasos y aceites esenciales que lo hacen difícilmente degradable.

Tabla 11: Estratificación de los módulos experimentales.

Tratamiento N°	Descripción de los Estratos ^(a)
1	Tratamiento “blanco” o de control, consta del 20% de piedra bola, 10% de piedra grava número 6 y el 30% restante se encuentra vacío.
2	Estratificación perteneciente al sistema de tratamiento ya conocido; consta del 20% piedra bola, 10% piedra grava número 6 y 70% de mezcla aserrín-viruta (65%aserrín y 5% viruta) con lombrices.
3	Consta del 20% piedra pómez, 10% piedra grava número 6 y 70% de mezcla aserrín-viruta (65%aserrín y 5% viruta) con lombrices; su principal variante es el cambio de piedra bola por piedra pómez. Debido a la porosidad y al área superficial de la piedra pómez, se espera una mayor eficiencia en el tratamiento.

Continuación tabla 11.

Tratamiento N°	Descripción de los Estratos ^(a)
4	Estratificación idéntica al tratamiento número 3; salvo que no contiene lombrices. Se compone por el 20% piedra pómez, 10% piedra grava número 6 y 70% de mezcla aserrín-viruta (65%aserrín y 5% viruta). El objetivo de este cambio es comprobar la eficiencia real de las lombrices en el tratamiento.
5	La variación del estrato de la capa más superficial de mezcla aserrín-viruta a hojas de eucalipto, responde a utilizar un estrato diferente y que sea considerado como desecho como soporte para las lombrices. Consta del 20% piedra pómez, 10% piedra grava número 6 y 70% de hojas de eucalipto con lombrices.
6	Estratificación idéntica al tratamiento número 5; conformado por el 20% piedra pómez, 10% piedra grava número 6 y 70% de hojas de eucalipto. Sin embargo, no contiene lombrices, su objetivo es verificar la eficiencia de las lombrices en el tratamiento de las aguas.

a) Porcentaje basado en una estratificación total de 100 cm, correspondiente al 100% de la altura de los módulos; siendo, por ejemplo, 20% de estrado equivalente a 20 cm del mismo.

De acuerdo a la geometría de los módulos experimentales, los cuales son cilíndricos, se pudo calcular con la (ecuación 1) (volumen para cilindros) los volúmenes que ocupó cada estrato dentro de los módulos. Se tomó en cuenta que los 6 tanques son similares y que el radio de los cilindros es 0,315 m. La altura varió de acuerdo a la cantidad que se colocó de estrato dentro del cilindro. En la tabla 12 se presentan los volúmenes por estrato y por módulo experimental.

$$V = r^2 \pi h$$

(Ecuación 1)

Donde

V = Volumen de los estratos

r = Radio del cilindro

h = Altura de los estratos

Tabla 12: Volúmenes de los estratos por módulo experimental

Tratamiento	Estrato	Volumen (m3)	Volumen (L)
1	Piedra Bola	0,0623	62,34
	Piedra Grava	0,0312	31,17
2	Piedra Bola	0,0623	62,34
	Piedra Grava	0,0312	31,17
	Aserrín	0,2026	202,62
	Mezcla Aserrín-Viruta-Lombrices	0,0156	15,59
3	Piedra Pómez	0,0623	62,34
	Piedra Grava	0,0312	31,17
	Aserrín	0,2026	202,62
	Mezcla Aserrín-Viruta-Lombrices	0,0156	15,59
4	Piedra Pómez	0,0623	62,34
	Piedra Grava	0,0312	31,17
	Aserrín	0,2026	202,62
	Mezcla Aserrín-Viruta	0,0156	15,59
5	Piedra Pómez	0,0623	62,34
	Piedra Grava	0,0312	31,17
	Mezcla Hojas de Eucalipto-Lombrices	0,2182	218,21
6	Piedra Pómez	0,0623	62,34
	Piedra Grava	0,0312	31,17
	Hojas de Eucalipto	0,2182	218,21

En resumen se contó con ocho estratos diferentes los cuales en la tabla 13 se resumen los volúmenes empleados por cada estrato.

Tabla 13: Volúmenes de los estratos por módulo experimental

Resumen	Volumen (m3)	Volumen (L)
Piedra Bola	0,0623	62,34
Piedra Pómez	0,0623	62,34
Piedra Grava	0,0312	31,17
Aserrín	0,2026	202,62
Mezcla Aserrín-Viruta-Lombrices	0,0156	15,59
Mezcla Aserrín-Viruta	0,0156	15,59
Mezcla hojas de eucalipto lombrices	0,2182	218,21
Hojas de eucalipto	0,2182	218,21

2.1.1. Diseño del experimento

El experimento fue diseñado de tal manera que los resultados de cada tratamiento sean comparables, tomando en cuenta ciertas condiciones de operación y diseño.

Caudal de Diseño

Uno de los parámetros que se calculó para el óptimo desempeño del tratamiento es el caudal de ingreso al sistema. Para dicho parámetro de diseño se aplicó un caudal referencial de 80 L/día/m²; esto quiere decir que el caudal de entrada tiene relación con el área superficial que posee los tratamientos. Cabe mencionar que se asumió un caudal idéntico para los 6 módulos experimentales.

$$Q_{in} = 80 \frac{L}{\text{día} \cdot m^2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde

Q_{in} = Caudal de ingreso al sistema.

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde

A = área de los módulos experimentales

r = radio de los módulos experimentales

Los tanques poseen un diámetro de 63 cm, es decir 31,5 cm de radio. Se calculó la cantidad de agua requerida por cada tratamiento y a su vez para la totalidad del sistema. El área para cada módulo experimental es de 0,31 m², considerando el caudal de 80 L/día/m², resultó un caudal de 24,94 L/día para cada tratamiento; es decir que se requirió para el sistema un total de 149,63 L/día (2,49 L/min) de agua residual, distribuidos en 4 partidas al día de 15 minutos, cada partida inició cada seis horas y fueron controlados por un *timer* de 40 A.

Presión mínima requerida

Se tomó en cuenta que los tanques de almacenamiento se situaban en el nivel del suelo; sin embargo, los módulos experimentales se encontraban sobre un muro de gavión a una altura aproximada de 3 m sobre el nivel del suelo; por ello, fue necesario el empleo de una bomba que elevó las aguas residuales hacia los tratamientos. Para el cálculo de la capacidad de la bomba se diseñó, dibujó y empleó el plano de elevaciones (anexo 2) en el cual se puede apreciar la presión en m.c.a. (metro columna de agua) que fue necesaria para llevar el agua desde los tanques de almacenamiento hasta los módulos de tratamiento.

La altura geométrica, la cual es la altura que debe elevar la bomba hasta el punto deseado, corresponde a 4,55 m.c.a. Adicionalmente, se tomó en cuenta la distancia vertical que debe recorrer el agua desde el punto más alto de bombeo hasta el final de la línea de distribución de agua la cual corresponde a 4,6 m.c.a. finalmente se consideró que las pérdidas singulares y de la fricción son 1 m.c.a. por lo que se encontró una presión mínima de operación de 13,35 m.c.a.

La bomba empleada tiene una potencia de 0,5 HP (tabla 14) que es capaz de bombear agua a un máximo caudal de 40 L/min y a una presión máxima de 40 m.c.a. por lo que la bomba no tuvo dificultad para operar con los caudales, distancias y alturas diseñadas para el sistema.

Tabla 14: Ficha Técnica Bomba Paolo 1/2 HP

Ítem	Descripción
Tipo	Electrobomba monofásica con impulsor periférico
Uso	Doméstico, riego de huertos y jardines.
Protector Térmico	Incorporado
Corriente eléctrica que ocupa	110 V
Potencia	0,5 HP
Caudal	40 L/min
Diámetro de descarga	1 pulgada
Diámetro entrada de succión	1 pulgada
Altura máxima de succión	8 m
Presión	40 m.c.a. máxima
Origen	Italiana
Velocidad	2900 rpm
Restricciones	Agua limpia, sin partículas ni líquidos agresivos
Tamaño (largo x ancho x alto)	243 x 152 x 120 mm

a) Información obtenida de la placa incorporada en la bomba por el fabricante.

Recirculación del agua

A la salida de cada tratamiento fueron instaladas puntos de monitoreo para la toma de muestras de agua; al mismo tiempo se conectó las salidas de los módulos dos líneas diferentes de recirculación de la siguiente manera: los primeros tres tratamientos en una línea de recirculación y los siguientes tres tratamientos en una línea independiente a la anterior. Sobre cada línea de

salidas, tanto para la descarga a alcantarillado como para la recirculación, fueron ubicadas válvulas con las que se pueda controlar la cantidad de agua que es enviada a cada parte, es decir el caudal de descarga y de recirculación. Cabe mencionar que la recirculación no influye sobre las características del agua que ingresa al sistema de tratamiento.

2.1.2. Materiales y construcción

Los materiales utilizados para el relleno de los estratos correspondieron a los descritos anteriormente. Referente a la construcción e instalación del sistema se necesitó tanques metálicos y de plástico de alta densidad de 55 galones, manguera de $\frac{3}{4}$ pulgadas para riego, bomba de $\frac{1}{2}$ HP, madera para el armazón y para el techo del recubrimiento del experimento, plástico negro, malla sombra con una luz de 65%, alambre galvanizado y materiales concernientes a la instalaciones hidráulicas tales como conexiones universales, reductores, llaves de paso, codos, neplos, neplo flex tanto como de $\frac{3}{4}$ como de 1 pulgada (imágenes de materiales en anexo 3).

Tantos los tanques metálicos como los tanques de almacenamiento plástico fueron materiales reciclados; con ello, se evitó la compra de materiales nuevos y se utilizó materiales que pudieron convertirse en desechos. Adicionalmente se puede apreciar el proceso constructivo en la secuencia de fotografías del anexo 3.

Los módulos tienen un metro de altura, por lo que se requirió la adaptación de otros módulos para poder realizar la recolección del agua tratada. Esto implicó de un diseño nuevo e inédito para adaptados para dicho propósito. En el fondo del tanque, donde se albergó a los estratos filtrantes, fueron realizadas perforaciones por las cuales atravesó el agua tratada; el agua terminó sobre una lámina metálica inclinada soldada al fondo de otro tanque recortado de aproximadamente 0,33 m finalmente en su punto más bajo se soldó un neplos de 1 pulgada para la recolección del agua residual. Los detalles se contemplan en el anexo 2.

Posteriormente se colocó una capa de impermeabilizante dentro de los módulos para que el agua residual y los estratos no se mezclaran con posibles restos de otros materiales que se encontraban dentro de los tanques. Para ello se utilizó un procesamiento de desoxidamiento a través de un sulfatante, un lavado con detergente de los tanques y finalmente fueron aplicadas dos capas de brea líquida como impermeabilizante.

La adquisición de los diferentes materiales como lo son la piedra bola de río, la piedra grava número tres y la piedra pómez de un depósito y venta de rocas dentro de la ciudad de Quito, con ello se empleó materiales de fácil acceso y que pertenecen al país y a la zona local. Las hojas de eucalipto fueron tomadas del Vivero Municipal del Distrito Metropolitano de Quito en el cual se lo considera un desecho y son enviados a un relleno sanitario periódicamente. El aserrín y viruta de una madera blanca correspondiente al pino, provino de un aserradero privado el cual, al igual que las hojas de eucalipto, considera a estos como un desecho. Las lombrices fueron adquiridas en un establecimiento privado dedicado al compost casero y venta de pies de cría de lombrices pertenecientes a la especie *Eisenia foetida* o lombriz roja californiana.

Al momento del montaje de los módulos experimentales en el lugar designado se construyó un almacén de madera que sostenga un techo de plástico negro para protección de la lluvia y del exceso de radiación solar a la superficie de los tratamientos. De igual manera se fabricó una caseta de madera de 70x70x70 cm para el alojamiento de la bomba, esto evitará que la bomba entre en contacto con la lluvia, evitando posibles desperfectos.

Por último se calibró la salida de la bomba para poder contar con el caudal calculado anteriormente. Así mismo se colocó capuchones, en la salida de los aspersores, de botellas de 5 litros de agua reciclados con ello se evitó que el aspersor arroge agua fuera del tratamiento y evitó flujos preferenciales del agua residual.

2.2. Proceso Experimental

El experimento tuvo una duración de 12 semanas. Dentro de las cuales se planteó un período de 2 semanas, al inicio del experimento, como tiempo de acondicionamiento de los organismos al sistema; posterior a este período se realizó la recolección de información hasta una semana antes de la culminación del experimento. La última semana del experimento se realizaron pruebas acerca de las condiciones de operación del sistema tales como tiempos de retención hidráulicos y caudales.

Durante todo el tiempo que permaneció el experimento fue necesario transportar agua contaminada desde la EMRAQ-EP hasta el emplazamiento del experimento, tarea que se la realizó entre 2 a 3 veces por semana. Esta agua fue almacenada en los tanques destinados para este fin. Las primeras 6 semanas del experimento no se realizó modificaciones al agua que se encontró en el almacenamiento; es decir, que la alimentación de los tratamientos se realizó estrictamente con el agua cruda procedente de la EMRAQ-EP.

Con el objetivo de mejorar el rendimiento de los tratamientos se decidió colocar aireación y micronutrientes dentro de los tanques de almacenamiento. Esto se realizó durante las 6 últimas semanas del experimento.

Cabe mencionar que se realizó un monitoreo diario del funcionamiento correcto del sistema para evitar colmatación de los estratos, taponamiento de microaspersores, cambio de microaspersores, verificación de la cantidad de agua en los tanques de almacenamiento. En cuanto se refiere al aireador se encuentra en la tabla 15 las características encontradas en la ficha técnica del equipo. De igual manera, en la tabla 16 se describe los componentes que se añadieron como micronutrientes.

Tabla 15: Características del aireador utilizado.

Ítem	Descripción
Marca	AQUAEL
Modelo	OxyBoost APR 200
Voltaje (V)	120
Frecuencia (Hz)	60
Máxima salida de aire (L/h)	300
Capacidad máxima de volumen de tanque a airear (L)	350
Número de salidas	2
Regulación de salida	Si
Peso neto (g)	500

Adaptado de: AQUAEL (2006).

Tabla 16: Características de los micronutrientes empleado.

Ítem	Descripción
Marca	ANNQUIMICA S.A.
Modelo	Flor Garden. Fertilizante líquido de uso Agrícola.
Presentación	500 mL
Registro MAGAP	020493548
Contenido	Unidad (g/L)
Nitrógeno	0,18
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,036
Potasio (K ₂ O)	0,13
Calcio (CaO)	0,17
Azufre (S)	0,052
Manganeso (Mn)	0,0012
Contenido	Unidad (g/L)
Boro (B)	0,0007
Zinc (Zn)	0,0013

Adaptado de: Ecuaquimica C.A. (2008).

Levantamiento de las condiciones iniciales

El levantamiento de información para constituir la línea base se realizó tomando muestras de agua de la salida del homogeneizador de la planta de tratamiento de aguas de la EMRAQ-EP. Se caracterizó parámetros físicos de pH, temperatura y conductividad con equipos del laboratorio de la Universidad de Las Américas tanto *in situ* como en el laboratorio de la Universidad. Adicionalmente, se tomaron muestras y fueron enviadas a un laboratorio certificado y acreditado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriana (OAE) y al laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Recolección de datos

La recolección de información se realizó a partir de la segunda semana después del funcionamiento del experimento. La toma de muestras se realizó en vasos de precipitación de 150 ml de cada tratamiento y se los llevó al Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Sede Queri de la Universidad de Las Américas para realizar la caracterización de los parámetros como lo son pH, temperatura, conductividad, turbidez, DBO₅, sólidos (totales, fracción volátil y fija, sedimentables y suspendidos) y DQO.

2.3. Variables a medir

Para poder obtener el valor de la concentración de los diferentes parámetros contaminantes se eligió una metodología para cada uno. Cabe mencionar que los métodos corresponden a técnicas estándar (anexo 8).

2.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Para la medición de este parámetro se utilizó el equipo OxiTop IS-6; este es un equipo que se basa en el principio de respirometría. El método tiene relación con la actividad de respiración celular de microorganismos que se encuentran en el agua, el consumo de oxígeno y en la producción de CO₂ (Barrena, y otros, 2013); el dióxido de carbono producto de la actividad microbiana reacciona con pastillas sólidas de hidróxido de sodio generando una diferencia

de presiones parciales; el equipo, el cual es un manómetro, interpreta dichas diferencias y lo procesa a fin de tener una lectura de la cantidad de concentración de DBO_5 en mg/L. Cabe mencionar que el manómetro del equipo incorpora sensores de presión eléctricos piezoresistentes (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, s.f.).

El equipo tiene rangos de medición (tabla 17), por ello se debe conocer la cantidad estimada de DBO_5 para poder utilizar una cierta cantidad de muestra del agua que es colocada en las botellas de incubación.

Tabla 17: Rangos de Medición del equipo OxiTop IS-6

Volumen de muestra (mL)	Rango de medición (mg/L)	Factor
432	0 - 40	1
365	0 - 80	2
250	0 - 200	5
164	0 - 400	10
97	0 - 800	20
43,5	0 - 2000	50
22,7	0 - 4000	100

Tomado de: WTW GmbH (s.f.).

a) La columna "Factor" hace referencia al factor de multiplicación que se debe aplicar a la lectura de la medición del equipo.

2.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En cuanto se refiere a la Demanda Química de Oxígeno se utilizó el equipo de Fotómetro digital NANOCOLOR® 500 D y los tubos de test 0-29 correspondientes a DQO 1500. El principio de medición del fotómetro es la detección de as de luz que atraviesa los tubos de test en una determinada longitud de onda (620 nm para el tubo test 0-29 correspondiente a DQO); un detector de luz capta este as de luz, lo procesa e interpreta la concentración de DQO en mg/L (NANOCOLOR, s.f.).

Los tubos test contiene una solución de dicromato potásico/ácido sulfúrico/sulfato de plata que reacciona con la muestra oxidándola. El método consiste en la determinación fotométrica, del equipo mencionado anteriormente, de iones de cromo (III) productos de dicha oxidación. El tubo Test 0-20 NANOCOLOR® DQO 1500 tiene un rango de medición de 100 a 1500 mg/L de DQO. Cabe mencionar que el procedimiento para la medición indica que se coloque 2 mL de la solución muestra y se lo coloque en un digestor a 160°C por 30 min, dejar enfriar y medir en el Fotómetro (NANOCOLOR, s.f.).

2.3.3. Turbidez

Se empleó el equipo de Hanna Instruments HI 88713 Turbidímetro ISO. Equipo que cumple la normativa ISO 7027 para la determinación de turbidez; el equipo tiene diferentes rangos de medición (tabla 18); de los cuales se empleó el rango de 0 a 4000 NTU ratio (Unidades Nefelométricas de Turbidez). La detección se basa en una fotocélula de silicio que procesa la cantidad de luz dispersada y absorbida mediante un algoritmo incorporado en un microprocesador (figura 3) (Hanna Instruments, s.f.).

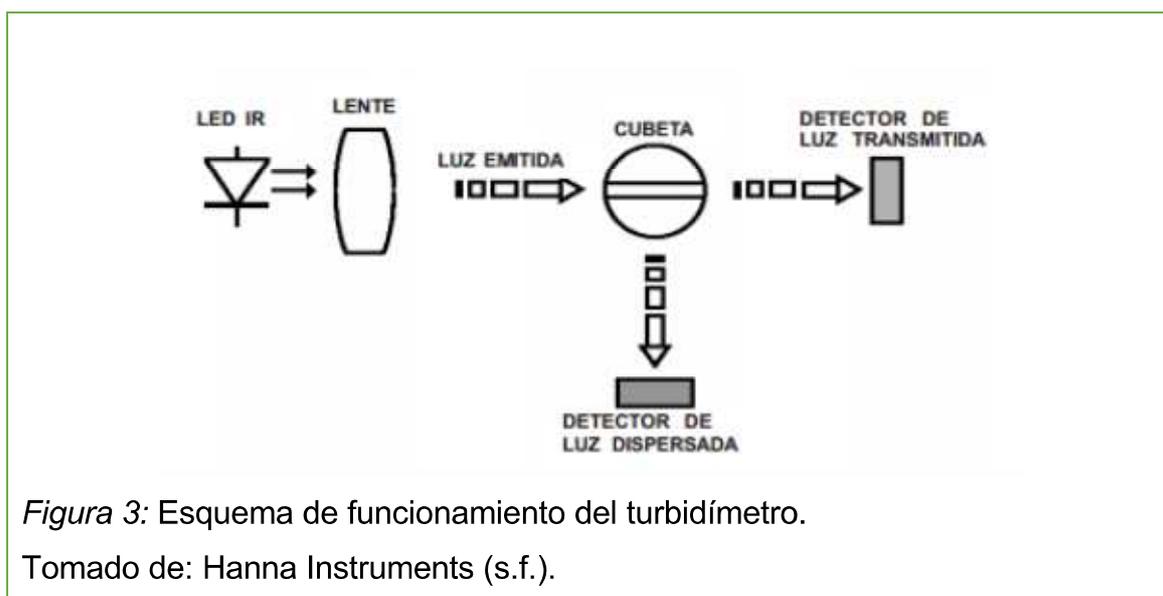


Figura 3: Esquema de funcionamiento del turbidímetro.

Tomado de: Hanna Instruments (s.f.).

Tabla 18: Modos de medición de turbidez

Modo	Rango	Unidad	Precisión
FNU	0 - 1000	FNU	$\pm 2\%$ de la lectura + luz parásita ^(a)
FAU	10 - 4000	FAU	$\pm 10\%$ de la lectura
NTU ratio	0 - 4000	NTU	$\pm 2\%$ de la lectura + luz parásita ^(a)
	0 - 980	EBC	$\pm 5\%$ de la lectura por encima de 1000 NTU
NTU non-ratio	0 - 1000	NTU	$\pm 2\%$ de la lectura
	0 - 245	EBC	$\pm 2\%$ de la lectura

Adaptado de: Hanna Instruments (s.f.).

a) Luz parásita correspondiente a 0,1 NTU (0,05 EBC).

2.3.4. Conductividad, pH y Temperatura

Para estos parámetros físicos se empleó el equipo de Hanna Instruments denominado Multi-parámetro de sobremesa HI 2550 pH/ORP/°C/EC/TDS/NaCl. Este es un equipo cuenta con dos canales que incorporan electrodos que pueden medir los diferentes parámetros; en cuanto se refiere a pH y temperatura se sumerge el electrodo correspondiente y la prueba de temperatura aproximadamente a 3 cm de la muestra, se esperó las estabilización de la lectura (figura 4) (Hanna Instruments, s.f.).



Figura 4: Medición de pH y Temperatura

Tomado de: Hanna Instruments (s.f.).

La conductividad se midió sumergiendo el electrodo correspondiente. Este electrodo cuenta con agujeros, los cuales deben ser sumergidos por completo en la muestra para poder tomar la lectura. De igual manera se esperó la estabilización de la lectura (figura 5).



Figura 5: Medición de conductividad

Tomado de: Hanna Instruments (s.f.).

2.3.5. Sólidos Sedimentables

La determinación de los sólidos sedimentables se la realizó a través de un cono Imhoff. Se colocó un litro de la muestra en un cono, a los 45 minutos de iniciada la prueba se sacudió el cono para facilitar la decantación del material. Después de 60 minutos de haber iniciado la determinación se tomó la lectura del volumen que descendió en mL/L (American Water Works Association, 2012).

2.3.6. Sólidos Totales

El método para la determinación de los sólidos totales corresponde a evaporación y pesaje. Se necesitaron cápsulas de porcelana de 150 mL, estufa, desecador y balanza analítica. La capsula de porcelana se colocó en la estufa y se dejó un mínimo de dos horas a 105°C con el objetivo de que la cápsula llegue a peso constante, una vez realizado esto se lo llevó al desecador y estando frío se tomó la medida del peso. Se vertió 100 mL de la

muestra de agua y se llevó a la estufa a 95°C hasta tener la evaporación por completo del agua. Posterior a la evaporación se elevó la estufa a 105°C y se mantuvo por 4 horas. De igual manera se procedió a dejar las cápsulas en el desecador y una vez frío se procedió a determinar su peso. La diferencia entre el peso de la capsula de porcelana con y sin muestra determina la cantidad de sólidos contenidos en el agua (AWWA, 2012).

2.3.7. Fracción de Sólidos Volátiles

Según los procedimientos de la AWWA (2012) indican que para la determinación de la fracción volátil se requiere previamente de la determinación de los sólidos totales. El método empleado fue la calcinación de los residuos de la cápsula de porcelana en la mufla a una temperatura de 600°C durante 1 hora; temperaturas correspondientes a la descomposición de la materia orgánica en CO₂ y agua. Se tomó el peso de las capsulas de porcelana una vez terminadas de enfriarse en el desecador. La diferencia entre los pesos de las capsulas de porcelana antes y después de la calcinación se conoce como pérdida al fuego y los residuos que quedan en la cápsula de porcelana se conoce como residuo fijo o no volátil.

2.3.8. Sólidos Suspendidos Totales

El método que indica la AWWA (2012) para la determinación de este parámetro se basa en filtración de las muestras de agua; sin embargo, el material que se filtrase puede tomar un tiempo considerable, por lo que es recomendable realizar una filtración bajo presión mediante una bomba de vacío. Para esta determinación se requirió un matraz Kitasato, bomba de vacío, un embudo Buchner, papel de filtración de fibra de vidrio, balanza analítica, estufa, cajas Petri y un desecador.

Se determinó el peso de las cajas Petri, posteriormente se colocó los papeles filtro en las cajas Petri y se llevó a la estufa a 105°C hasta llegar a peso constantes (mínimo dos horas), se retiró de la estufa y se colocó en el

deseCADOR hasta enfriarlo y se pesa. Con la diferencia entre este peso y la caja Petri son papel filtro se determinó el peso del papel filtro.

Se colocaron 100 ml de muestra en el equipo de filtración el cual se conectó a una bomba de vacío. Una vez terminada la filtración se retiró el filtro con pinzas, se colocó en la caja Petri y se llevó a la estufa a 105°C durante una hora. Cumplido el tiempo se retiró las cajas Petri y se colocó en el desecador; ya frías las cajas se pesó. El peso resultante corresponde a la materia en suspensión en conjunto con la caja Petri y el peso del filtro.

2.3.9. Parámetros *In situ*

La determinación de los parámetros *in situ* fueron realizados por diversos equipos portátiles pertenecientes a la Universidad de las Américas. Para el pH y la temperatura fue empleado un equipo de la casa comercial Hanna Instruments, el HI 98127 *Tester* a prueba de agua con electrodos reemplazables. El equipo cuenta con un electrodo que es capaz de medir pH y temperatura, el electrodo de pH es Hanna HI 73127 que reemplaza a los medidores tradicionales, el cual es fácilmente intercambiable. El sensor de acero inoxidable encapsulado mejora las mediciones de temperatura y compensaciones de pH. Cabe mencionar que las mediciones de pH cuentan con una autocorrección por temperatura (ATC, *automatically temperatura compensated*). El rango del pH es de -2,0 a 16,0 con una precisión de 0,1; el rango de temperatura oscila entre los -5,0 a 60 °C con una precisión de 0,1°C (Hanna Instruments, s.f.).

Adicionalmente para el pH y temperatura se utilizaron otros equipos. Uno de ellos fue el Hanna HI98304 DiST[®] 4 EC Tester empleado para la toma de conductividad *in situ* en los casos que fueron necesarios. Su rango de conductividad se encuentra entre 0 a 19,99 mS/cm, posee una corrección automática de compensación de temperatura y es capaz de medir a temperaturas entre 0°C y 55°C (Hanna Instruments, s.f.). Por otro lado, para el pH y a la temperatura fue utilizado el equipo FieldSout SoilStik pH Meter el cual

es utilizado como equipo portátil para medición de dichos parámetros tanto en suelos como muestras de aguas; los rangos de medición de pH son de 0 a 14, mientras que es capaz de medir entre -5°C hasta los 90°C referente a la temperatura (Spectrum Technologies, Inc., s.f.).

Referente al equipo portátil empleado para la obtención de la turbidez, se ocupó el equipo Turbidímetro LaMotte 2020we que cuenta con el estándar de medición EPA 180.1 (Determinación de la turbidez mediante nefelometría) y un rango de medición de 0-4000 NTU. El proceso de medición es similar al anteriormente mencionado (LaMotte, s.f.).

2.3.10. Caudales

Para la medición de los caudales se utilizó el método de aforo volumétrico; un método práctico para caudales pequeños. El agua es recolectada en un recipiente mientras que con un cronómetro se toma la lectura del tiempo. Teniendo así la (ecuación 4); donde indica que el caudal es la relación entre el volumen recolectado y el tiempo que transcurrió.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde

Q = caudal (L/s)

V = volumen (L)

t = tiempo (s)

2.3.11. Permeabilidad

Según Barbecho y Calle (2012) la conductividad hidráulica es una característica de medios porosos dependiendo de la permeabilidad intrínseca (propiedad del medio para transmitir un fluido), de la porosidad y el grado de saturación. Es decir que este parámetro es una característica que depende

únicamente de las propiedades del estrato filtrante. En relación a la denominación de conductividad hidráulica o permeabilidad cabe mencionar que según Carrera y Pacheco (2012) la aplicación de la ley de Darcy conduce a la obtención de la constante de permeabilidad (K); sin embargo, actualmente se le denomina como conductividad hidráulica.

Se recomienda la utilización de parámetros como la permeabilidad en los estudios que se enfocan en el análisis de los estratos.

El mejor método para la obtención de este parámetro es extrayendo muestras y analizarlo bajo estándares (Pedescoll, 2010). Para la toma de muestras se empleó el método ASTM D7015-04 prácticas estándar para obtener muestras de suelos en bloques inalterados (cúbicos y cilíndricos); posteriormente se enviaron al Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador donde se realizaron ensayos de permeabilidad de suelos finos de carga variable y granulares con carga fija bajo el método ASTM D2434-68 prueba estándar para permeabilidad de suelos granulares (carga constante).

La permeabilidad viene dado de acuerdo a la Ley de Darcy descrita por la siguiente ecuación (Sánchez, 2005):

$$q = -K \left(\frac{dh}{dl} \right) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

q = caudal que circula por cada metro cuadrado de sección.

K = conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad

$\left(\frac{dh}{dl} \right)$ = gradiente hidráulico expresado en incrementos infinitesimales

Las limitaciones de la Ley de Darcy recaen en que la constante K (coeficiente de permeabilidad) dependa, además del medio poroso, de las propiedades del fluido. Y que la relación entre el caudal y los parámetros hidráulicos no sea

línea; lo que ocurre con valores de K muy bajos o velocidades de flujo altas (Sánchez, 2005)

2.3.12. Tiempo de residencia

La determinación del tiempo de retención hidráulico se la realizó mediante la utilización de un trazador. El procedimiento, según Ferrer *et. al.* (2013), consiste en emplear una sustancia que se logre diferenciar del agua residual, se toma el tiempo que demora en atravesar la primera gota del trazador hasta la salida del sistema, obteniendo así el tiempo que queda retenida el residuo líquido dentro del sistema de tratamiento.

Se utilizó como trazabilidad la respuesta tipo pulso en el cual se realiza un cambio brusco e instantáneo en la entrada de cada tratamiento con una sustancia que se diferencie visualmente; de esta manera se obtienen curvas de las cuales se procede a realizar el cálculo de las áreas bajo las curvas para la obtención del tiempo medio de residencia del trazador en los tanques.

2.3.13. Condiciones de las lombrices

Las lombrices fueron colocadas en la parte superficial y sobre los estratos soportantes de los tratamientos 2, 3 y 5. En cada uno de ellos se depositaron 108, 81 y 122, respectivamente, lombrices entre juveniles y adultas. Cabe mencionar que en los estratos donde fueron colocados no se encontraban ninguna lombriz.

Según Paco *et. al.* (2011), para poder determinar que las lombrices se encuentran en buenas condiciones se realizó un conteo inicial de las lombrices y un conteo al finalizar el experimento. La evaluación de las condiciones se realizó basados en la dinámica de crecimiento y desarrollo de las lombrices identificando su estadio de acuerdo a su coloración y longitud.

Se realizó una subdivisión de los tratamientos que poseen lombrices y mezcla aserrín-viruta en tres niveles. Desde la parte más superficial hasta la más profunda, el nivel número 1 corresponde a los primeros 20 cm. de estrato, el nivel número dos los siguientes 20 cm. de estrato y el nivel 3 los últimos 30 cm. de estrato. En cuanto se refiere al tratamiento que incorpora hojas de eucalipto y lombrices no se subdividió debido a la compactación de las hojas y al poco volumen que ocupaba.

Las lombrices fueron divididas, en concordancia con Días y otros (2008), en los siguientes estadíos: cocones, recién nacidas, juveniles, maduras no cliteliadas y maduras cliteliadas. Con ello se pudo verificar el crecimiento poblacional, que existió migración vertical y se pudo realizar una descripción de los estadíos de la población. Los resultados obtenidos fueron detallados en las matrices del anexo 7.

2.3.14. Carga contaminante

De acuerdo a la Resolución 0002 de la Ordenanza Municipal 404 del DMQ (2008), indica que el valor de carga contaminante se determina mediante la

$$CC = \left[\frac{2 DBO + DQO}{3} + SS \right] * Q \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde

CC = carga contaminante (kg/h).

DBO₅ = demanda bioquímica de oxígeno (mg/L).

DQO = demanda química de oxígeno (mg/L).

SS = sólidos suspendidos (mg/L)

Q = caudal (L/s)

La carga contaminante indica el grado de contaminación presente en un cuerpo de agua, expresado en unidades de masa sobre tiempo (Corporación Autónoma Regional de Nariño, 2002).

2.4. Modelos estadísticos, matemáticos y softwares a utilizar

El diseño experimental que se adoptó fue el Diseño Completamente Aleatorio (DCA); según Gutiérrez y De La Vara (2009) este modelo es utilizado para comparar dos o más tratamientos, se considera como variabilidad los tratamientos y el error aleatorio. Esto quiere decir que los tratamientos que se encuentran en cada módulo experimental son aleatorios; teniendo 1 blanco y 5 tratamientos diferentes los cuales se deben comparar mediante modelos estadísticos para identificar el mejor tratamiento de entre ellos. Se emplearán diagramas, figuras, ecuaciones y el uso de herramientas informáticas como Microsoft Excel y Minitab 17 para la realización de cálculos y comparaciones.

El análisis de la relación entre las variables ambientales y biológicas se utilizó el software CANOCO (WagenengenUR, s.f.), empleado para el análisis estadístico multivalente usando métodos de ordenación de la información de variables ecológicas y ambientales. De acuerdo a Legendre y Birks (2012), las variables medidas en este estudio no cuentan con simetría en cuanto a unidades y presentan valores extremos altos y bajos. Es necesario un pre procesamiento de estandarización de las variables hacia que permita su comparación.

Se realizó un análisis de tipo unimodal correspondiente a un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). Se enfocó en las distancias entre especies para su escalado de tipo doble parcela (*biplot scaling*). La selección de las mejores variables fue de forma automática por el software, indicando las mejores 38 variables y utilizando las Pruebas de permutación de Monte Carlo máximas.

En cuanto se refiere a los estadíos de las lombrices la distancia entre ellos representa la similitud de la distribución relativa de abundancia. Esto quiere decir que mientras más cerca se encuentre los símbolos de los estadíos, tendrán mayor similitud de abundancia. Respecto a los factores ambientales, representados por flechas y líneas, estas apuntan en dirección a los estadíos que tienen mayor relación; es decir, mientras más cerca se encuentre el factor

ambiental del factor biológico, este tendrá mayor abundancia ante dichas condiciones ambientales, estos factores ambientales son favorables para el desarrollo del estadio de las lombrices.

3. Capítulo III Resultados

3.1. Condiciones Iniciales

Esta es la información sobre la cual se trabaja y se contrasta los resultados de los diferentes tratamientos. La planta de tratamiento de aguas residuales de la EMRAQ-EP cuenta con diferentes procesos y unidades de tratamiento, por lo que fue necesario realizar una caracterización de cada unidad para poder seleccionar las aguas que mejor se adapten y simulen las condiciones en las que opera el sistema de tratamiento empleado. Se tomó muestras del tanque homogeneizador, tanque de aireación y el sedimentador secundario. Estos análisis se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Las Américas.

In situ se realizó la toma de parámetros de pH y temperatura. En la tabla 19 se encuentran los resultados de estas mediciones. Se tomó 3 réplicas del sedimentador secundario y del tanque de aireación; mientras que del tanque de homogeneización se tomó 3 réplicas de datos y 3 muestras del homogeneizador de la planta de tratamiento de aguas de la EMRAQ-EP.

Tabla 19: Parámetros *in situ* unidades de operación de la planta de tratamiento de aguas de la EMRAQ-EP

Punto de muestreo	Hora de muestreo	pH Replicas	pH Promedio	T (°C) Replicas	T (°C) Promedio
Sedimentador secundario	6:41	7,50	7,53	20,70	20,67
		7,20		21,00	
		7,90		20,30	
Tanque de Aireación	8:25	7,10	7,07	22,60	22,57
		6,80		23,00	
		7,30		22,10	

Continuación tabla 19.

Punto de muestreo	Hora de muestreo	pH Replicas	pH Promedio	T (°C) Replicas	T (°C) Promedio
Tanque Homogeneizador Muestra 1	8:13	7,30	7,20	20,60	20,97
		6,90		21,00	
		7,40		21,30	
Tanque Homogeneizador Muestra 2	10:15	7,40	7,30	19,70	20,00
		7,40		20,00	
		7,10		20,30	
Tanque Homogeneizador Muestra 3	12:02	7,50	7,40	19,30	19,17
		7,60		19,00	
		7,10		19,20	

a) El promedio general de pH para el tanque homogeneizador es 7,30 y la temperatura es de 20,04°C. Los datos son correspondientes al día cero del experimento.

En cuanto se refiere a la concentración de DBO₅ se observa en la figura 6 el comportamiento de la prueba que se aplicó a las muestras. De ello se obtuvo (tabla 20) los resultados reportados y promediados de los análisis de DBO₅.

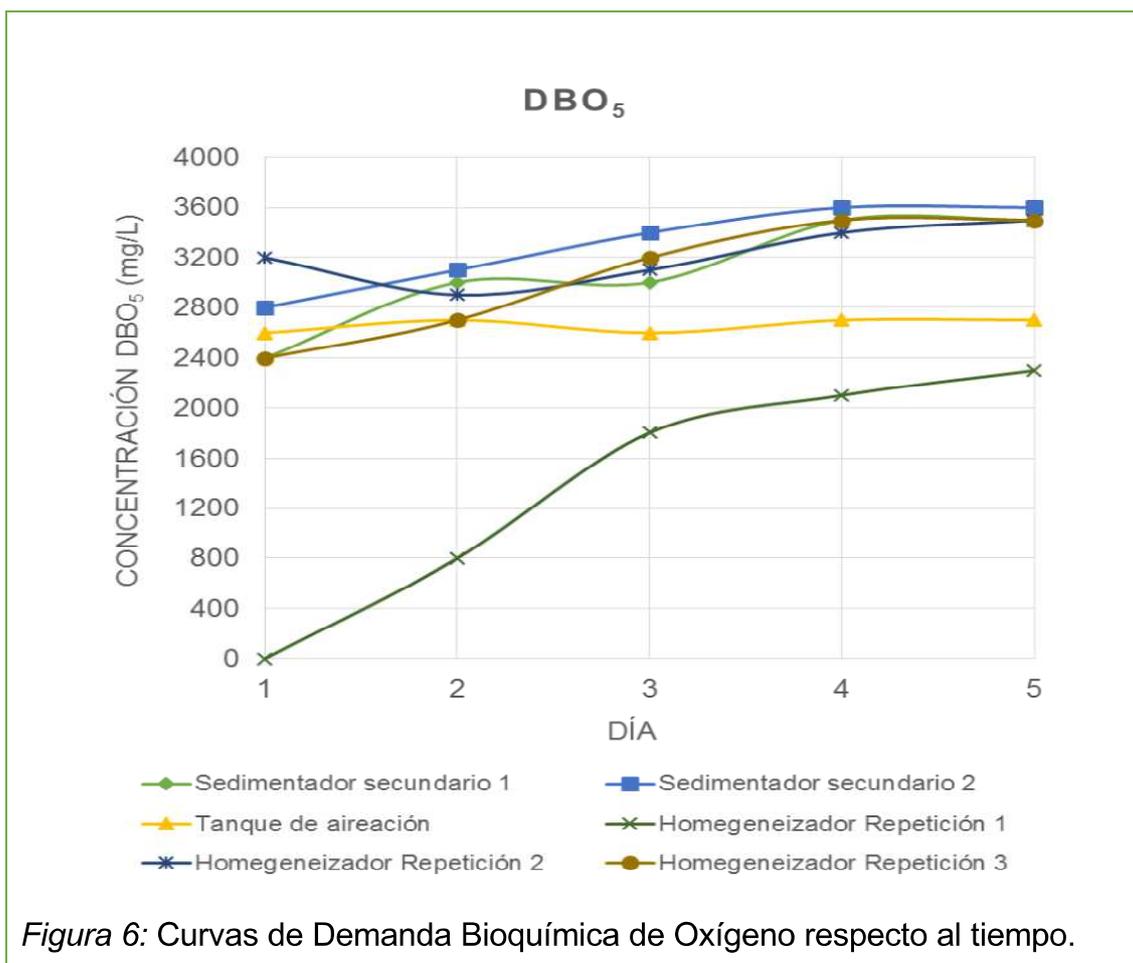


Figura 6: Curvas de Demanda Bioquímica de Oxígeno respecto al tiempo.

Tabla 20: Resultado DBO₅

Muestra	DBO ₅ (mg/L)
Sedimentador secundario 1	3550
Tanque de aireación	2700
Homogeneizador	3100

Adicionalmente se tiene los resultados enviados a laboratorios certificados, así como información obtenida del análisis de aguas realizada por la EMRAQ-EP (tabla 21).

Tabla 21: Resultados obtenidos de DBO₅ en diferentes fases

Fecha	Laboratorio	DBO ₅ (mg/L)	Descripción
30/05/2014	CESAQ-PUCE	1998	Agua cruda de ingreso al sistema. Información procedente de la EMRAQ-EP
22/09/2014	CORLAB	2128	Agua cruda proveniente del tanque de homogeneizador de la planta de tratamiento de la EMRAQ-EP. Información generada en el desarrollo de la tesis por parte del autor.
10/08/2014	LABORATORIO ING. AMBIENTAL - UDLA	3100	Agua cruda proveniente del tanque de homogeneizador de la planta de tratamiento de la EMRAQ-EP. Información generada en el desarrollo de la tesis por parte del autor.
10/12/2014	CORLAB	237	Agua proveniente del tanque de almacenamiento del experimente con 10 días de aireación; demuestra el efecto del tratamiento por la aireación. Información generada en el desarrollo de la tesis por parte del autor.

Para la determinación de los sólidos suspendidos se emplea la siguiente expresión:

$$U = \frac{\text{masa sólido suspendido}}{\text{volumen de muestra}} = \frac{(A-B-C)*1000}{\text{volumen de muestra}} \text{ (mg/mL)} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde

- A = Peso del papel filtro + caja Petri + muestra de agua (mg).
 B = Peso de la caja Petri (mg).
 C = Peso del papel filtro (mg).
 U = Sólidos en suspensión (mg/mL).

Tomando en cuenta lo anterior mencionado se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 22: Resultados sólidos suspendidos

Muestra	A (mg)	B (mg)	C (mg)	U (mg/L)
Sedimentador secundario	88,0753	87,6099	0,4296	358,0
Tanque de aireación	93,9464	93,5723	0,3227	514,0
Homogeneizador Repetición 1	85,8921	85,4809	0,3283	829,0
Homogeneizador Repetición 2	88,4692	88,0591	0,3296	805,0
Homogeneizador Repetición 3	90,7894	90,2409	0,466	825,0

a) promedio de sólidos suspendidos del homogeneizador 819,67 mg/L.

La determinación de los sólidos totales y su fracción volátil y fija (no volátil) se la realizó mediante las expresiones que se presentan a continuación.

$$Y = \frac{\text{peso sólidos totales}}{\text{volumen de muestra}} = \frac{(A-B) \cdot 1000}{\text{ml muestra}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde

- Y = sólidos totales (mg/L).
 A = peso de residuo seco más cápsula de porcelana (mg).
 B = Peso del papel filtro (mg).

$$X = \frac{\text{masa sólidos fijos o no volátiles}}{\text{volumen de muestra}} = \frac{(D-B) \cdot 1000}{\text{ml de muestra}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde

- X = cantidad de sólidos fijos o no volátiles (mg/L).

D = peso de residuo fijo de los sólidos totales más cápsula de porcelana (mg).

B = Peso del papel filtro (mg).

Adicionalmente la proporción de sólidos fijos y volátiles se puede expresar en porcentaje. La cantidad de residuos volátiles se lo obtiene por la diferencia del 100% y el porcentaje del residuo fijo.

$$\text{Residuo fijo (\%)} = \frac{Y}{X} * 100 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde

X = cantidad de sólidos fijos o no volátiles (mg/L).

Y = sólidos totales (mg/L).

Los resultados obtenidos de este procedimiento se encuentran en las Tablas tabla 23, tabla 24 y tabla 25.

Tabla 23: Resultados sólidos totales

Muestra	A (g)	B (g)	Y (mg/L)
Sedimentador secundario	81,2487	81,1787	700
Tanque de aireación	93,0934	92,6035	4899
Homogeneizador Repetición 1	88,526	88,2096	3164
Homogeneizador Repetición 2	302,80	302,60	2000
Homogeneizador Repetición 3	305,20	304,90	3000

Tabla 24: Resultados fracción fija y volátil

Muestra	D (g)	B (g)	X (mg/L)
Sedimentador secundario	81,2176	81,1787	389
Tanque de aireación	92,688	92,6035	845
Homogeneizador Repetición 1	88,2807	88,2096	711
Homogeneizador Repetición 2	302,69	302,60	900
Homogeneizador Repetición 3	305,00	304,90	1000

Tabla 25: Resultados expresados en porcentajes de residuos fijo y volátil.

Muestra	X (mg/L)	Y (mg/L)	Residuo fijo (%)	Residuo volátil (%)
Sedimentador secundario	389	700	55,571	44,429
Tanque de aireación	845	4899	17,248	82,752
Homogeneizador Repetición 1	711	3164	22,472	77,528
Homogeneizador Repetición 2	900	2000	45,000	55,000
Homogeneizador Repetición 3	1000	3000	33,333	66,667

En cuanto se refiere a los sólidos sedimentables la determinación se la realiza con la expresión que se menciona a continuación. Los resultados de esta determinación se encuentran en la tabla 26.

$$S = \frac{\text{volumen decantado}}{\text{volumen de muestra}} = \frac{G}{1 \text{ Litro de muestra}} \text{ (mL/L)} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde

G = cantidad de sólidos que se sedimentaron en un tiempo determinado (mL).

S = cantidad de sólidos sedimentables en un litro de muestra (mL/L).

Tabla 26: Resultados sólidos sedimentables

Muestra	G (mL)	S (mL/L)
Sedimentador secundario	0,1	0,1
Tanque de aireación	58	58
Homogeneizador Repetición 1	2,1	2,1
Homogeneizador Repetición 2	0,3	0,3
Homogeneizador Repetición 3	0,8	0,8

Una vez que se ha obtenido todos los parámetros anteriormente mencionados, se puede describir la caracterización de las aguas procedentes del agua de camal de acuerdo a la unidad de tanque (tabla 27).

Tabla 27: Resultados caracterización de aguas crudas por unidad de tratamiento.

Parámetro	Unidad	Sedimentador secundario	Aireación	Homogeneizador
Temperatura	°C	20,67	22,57	20,04
pH		7,53	7,07	7,3
Sólidos Suspendidos	mg/L	358	514	819,67
Sólidos totales	mg/L	700	4899	2721,33
Fracción volátil	%	44,43	82,75	66,4
Fracción fija	%	55,57	17,25	33,6
Sólido sedimentable	mg/L	0,1	58	1,07
DBO ₅	mg/L	3550	2700	3100

De acuerdo a la caracterización de las aguas se eligió tomar las aguas residuales que salen del homogeneizador con el propósito de simular las condiciones de tratamiento secundario y/o terciario de los sistemas de biofiltración empleados. Una vez que se selecciona a las aguas del tanque de homogeneizador; se realizó dos líneas base; la primera sobre el agua cruda procedente del camal de la EMRAQ-EP que se encontraba en los tanques de almacenamiento del experimento sin aplicar aireación. Y una segunda línea base sobre las aguas de dichos tratamientos, con la diferencia que se aplicó aireación y micronutrientes a los tratamientos.

Los análisis de aguas fueron enviados al laboratorio ALS CORLAB que cuenta con la acreditación del Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE) (anexo 4). Los cuales se resumen en la tabla 28 y tabla 29.

Tabla 28: Análisis de agua cruda sin aireación.

Parámetro	Unidad	Valor
Aceites y Grasas	mg/L	39,6
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	mg/L	2128
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	5108
Sólidos Sedimentables	mg/L	10,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	810,0
Fosfatos	mg/L	82,0
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	57,0

Tabla 29: Análisis de agua cruda con aireación

Parámetro	Unidad	Valor
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	mg/L	707
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	1732
Sólidos Sedimentables	mg/L	380
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	1356
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	135

3.2. Agua tratada

A continuación se presenta los resultados de los seis módulos experimentales, cabe señalar que se contó con dos etapas del experimento; la primera en la cual el agua cruda fue bombeada sin ninguna alteración, período que conto con 25 días; una segunda etapa en la cual, con el fin de aumentar la eficiencia del sistema, se agregó aireación y micronutrientes, etapa que tuvo una duración de 34 días.

3.2.1. Temperatura y pH

Se presenta el comportamiento a través del tiempo de la temperatura, en dos series de datos correspondientes a la etapa sin aireación y con aireación.

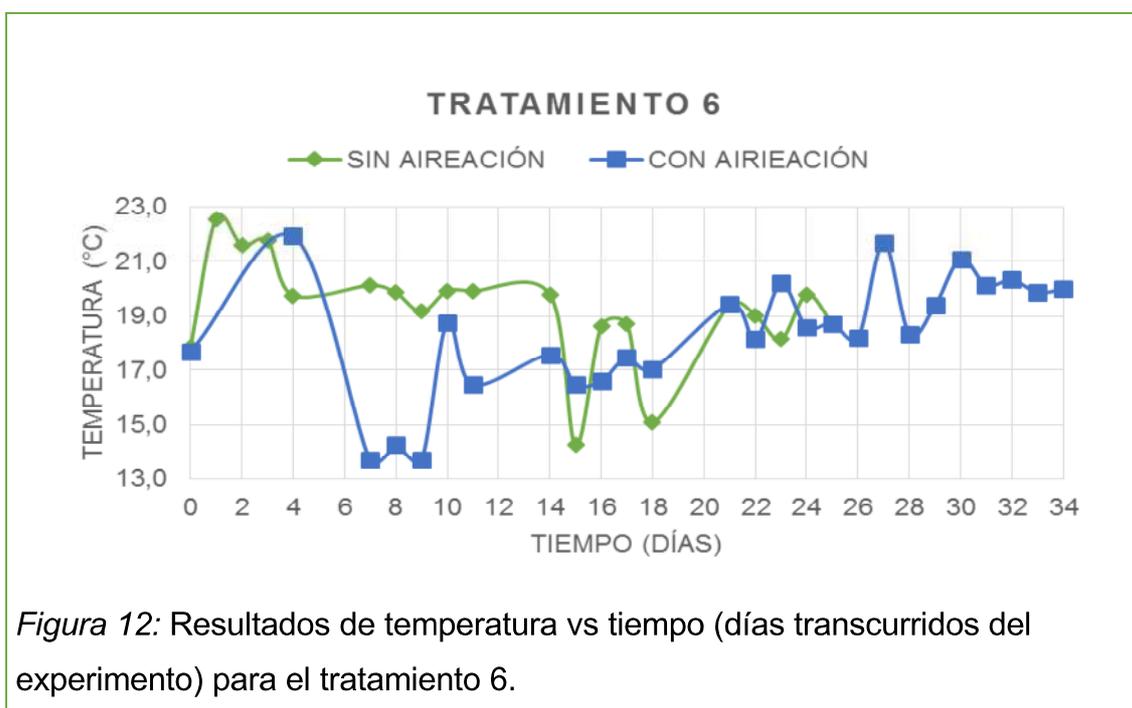
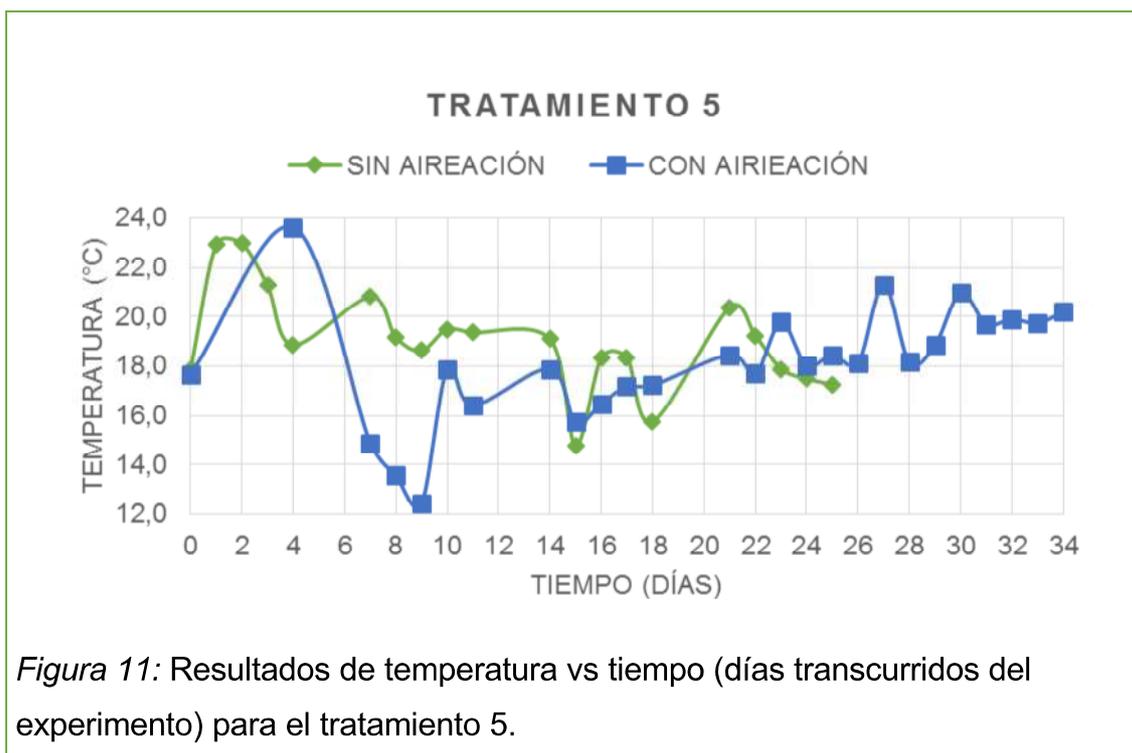


Figura 7: Resultados de temperatura vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 1 o de Control.

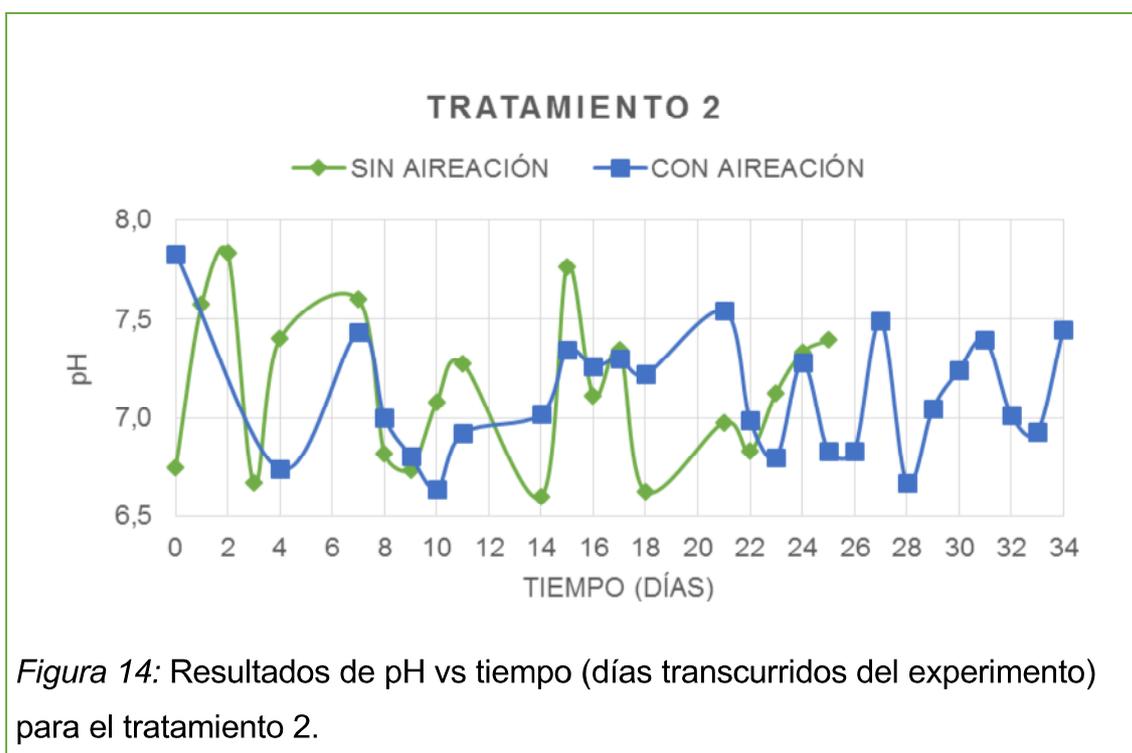


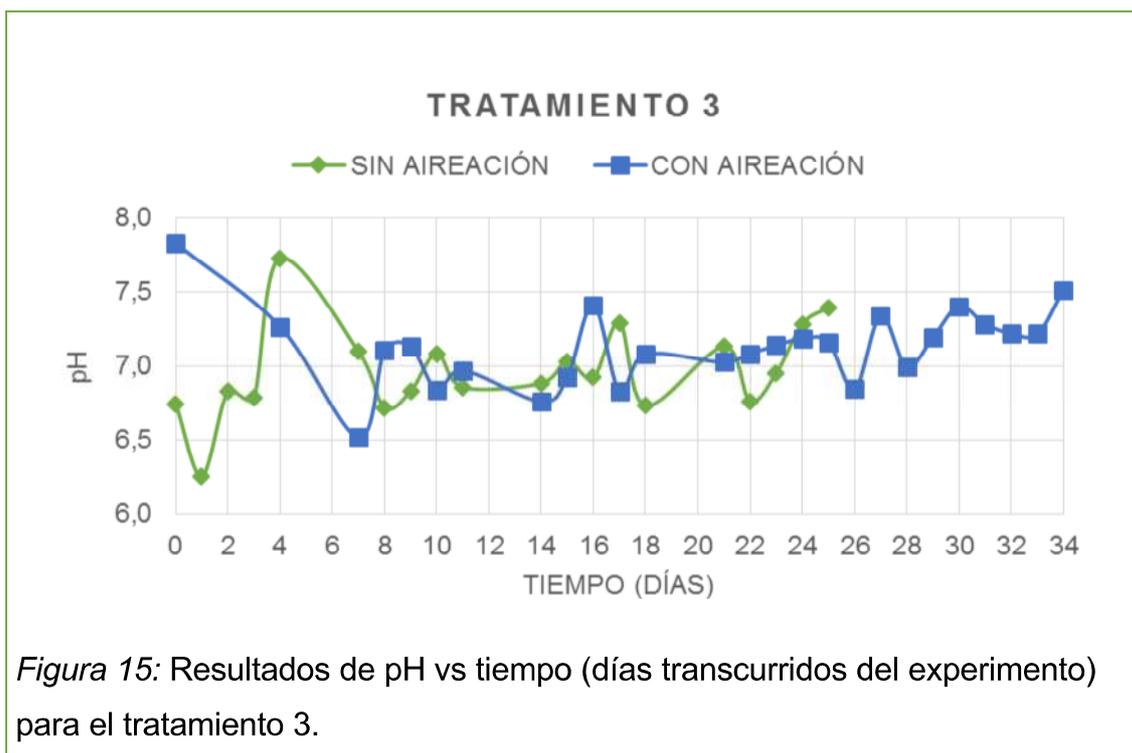
Figura 8: Resultados de temperatura vs tiempo (días transcurridos del experimento) para el tratamiento 2.





De la misma manera se presenta el comportamiento de acuerdo al pH a través de los días transcurridos del experimento, tomando en cuenta la etapa sin aireación y la etapa con aireación.

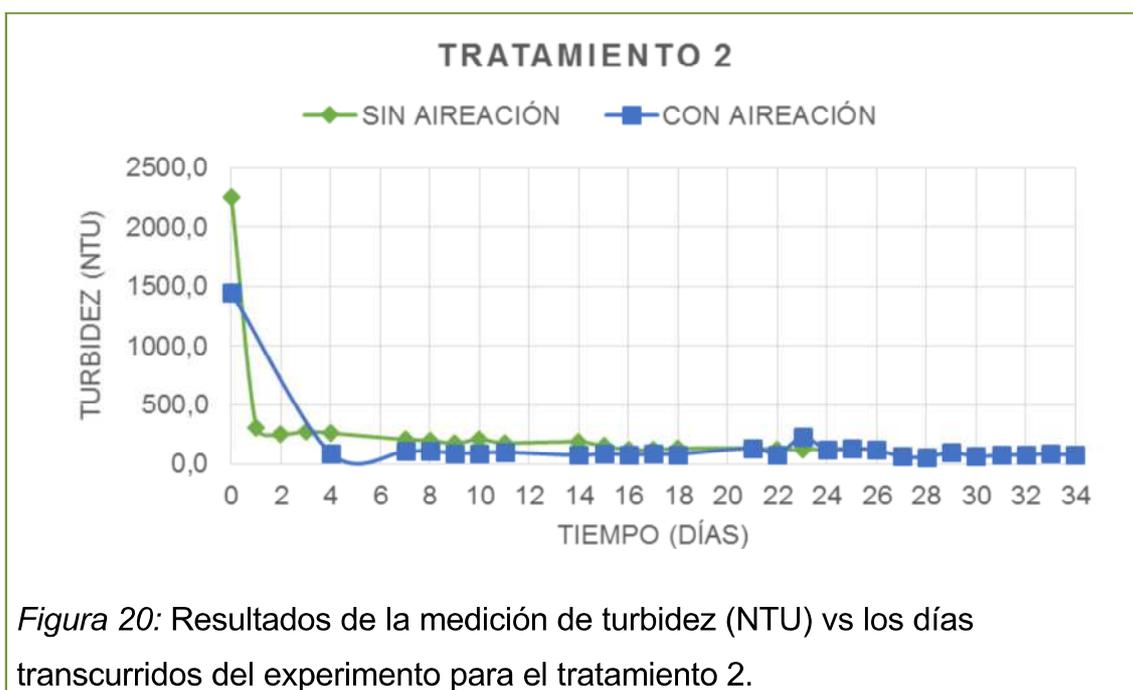


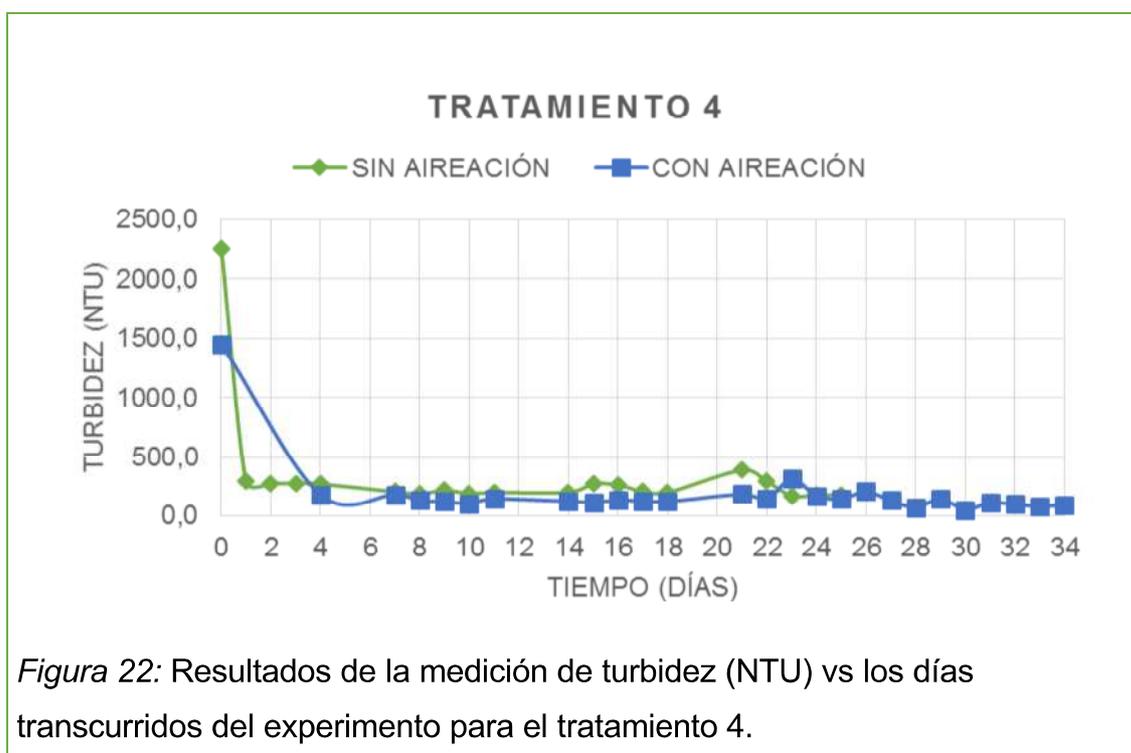
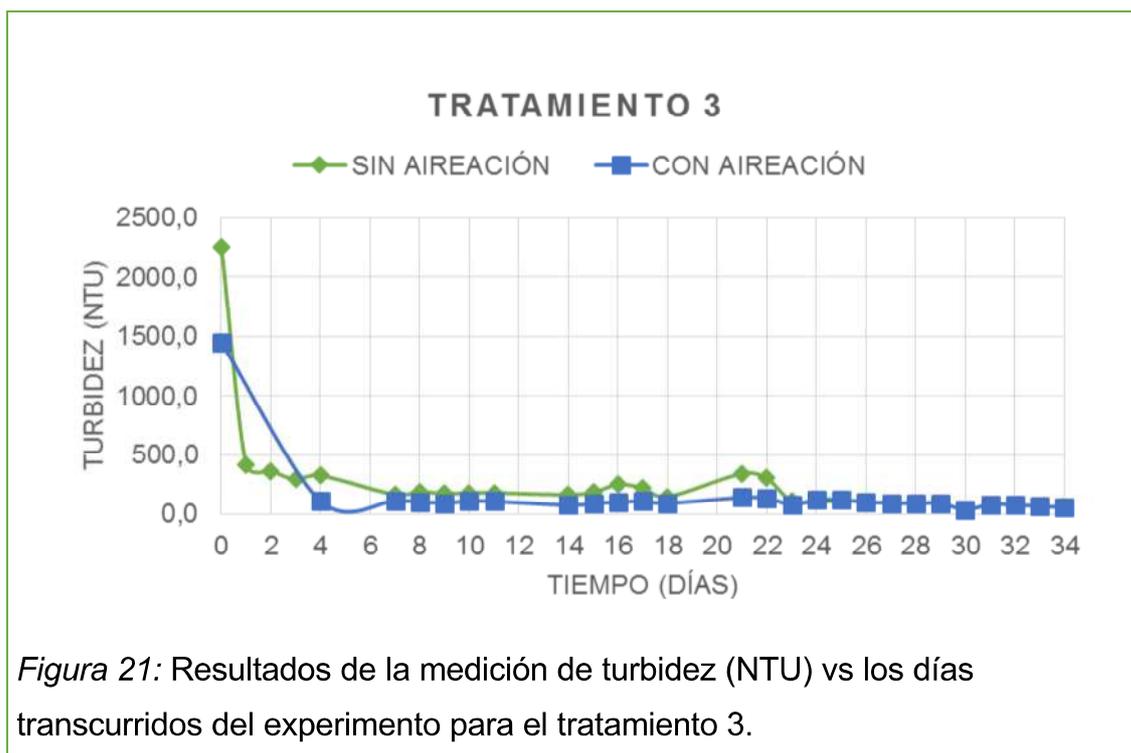


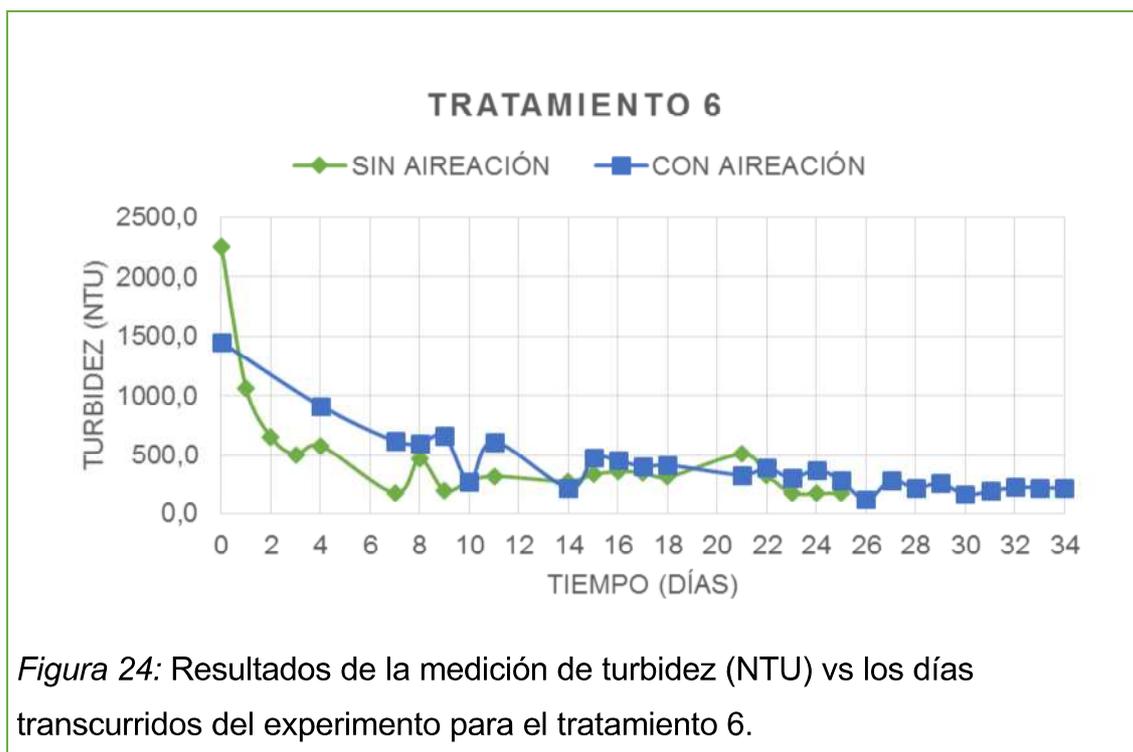
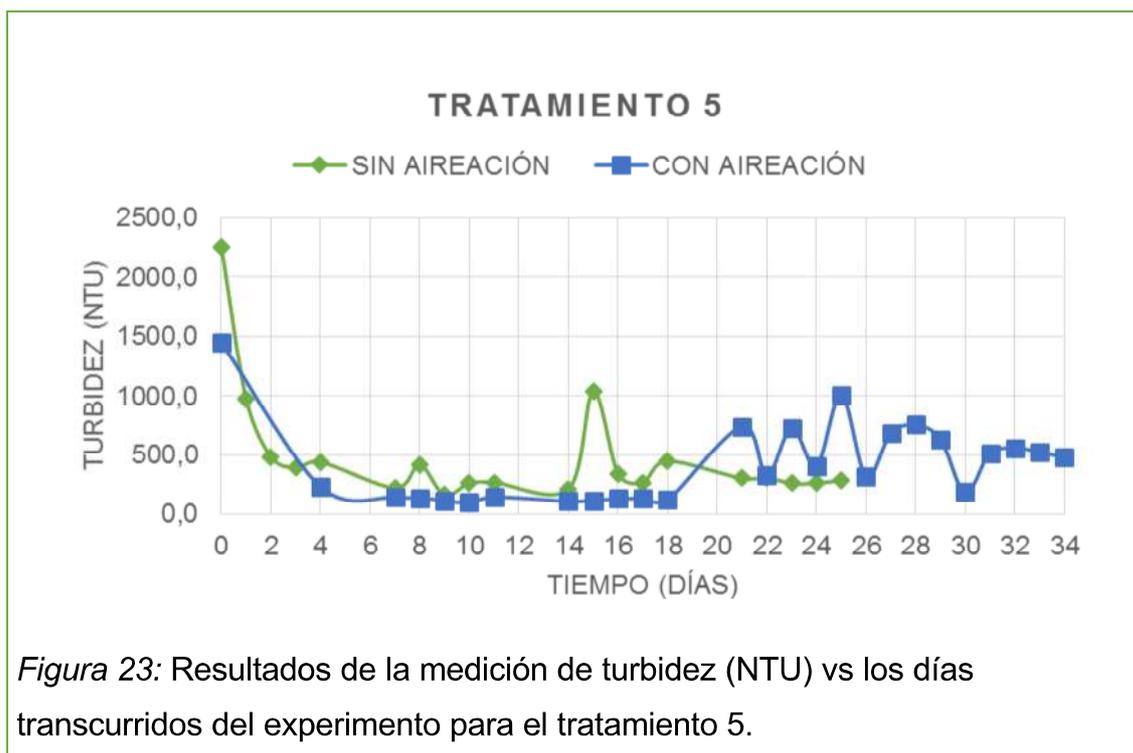


3.2.2. Turbidez

Las siguientes figuras muestran el comportamiento de la turbidez a través de la duración del experimento en días. La turbidez fue expresada, de acuerdo a los equipos, en NTU (Unidades Nefelométricas de turbidez) o FNU (Unidades de atenuación de Formazina); sin embargo la equivalencia entre NTU y FNU es 1:1, por lo que en las figuras únicamente se expresa en NTU.

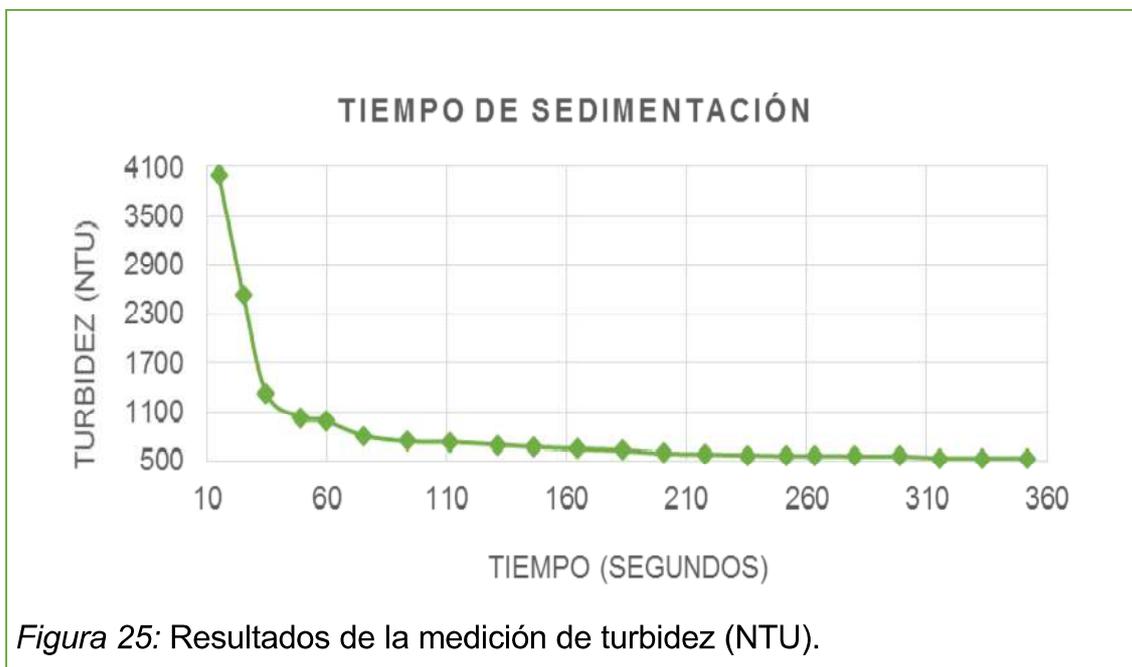






Adicionalmente se realizó un ensayo en el cual se colocó una muestra y se realizó la medición de turbidez, inmediatamente después se volvió a tomar la lectura de la turbidez. Los datos que se obtuvieron de esta prueba fueron la

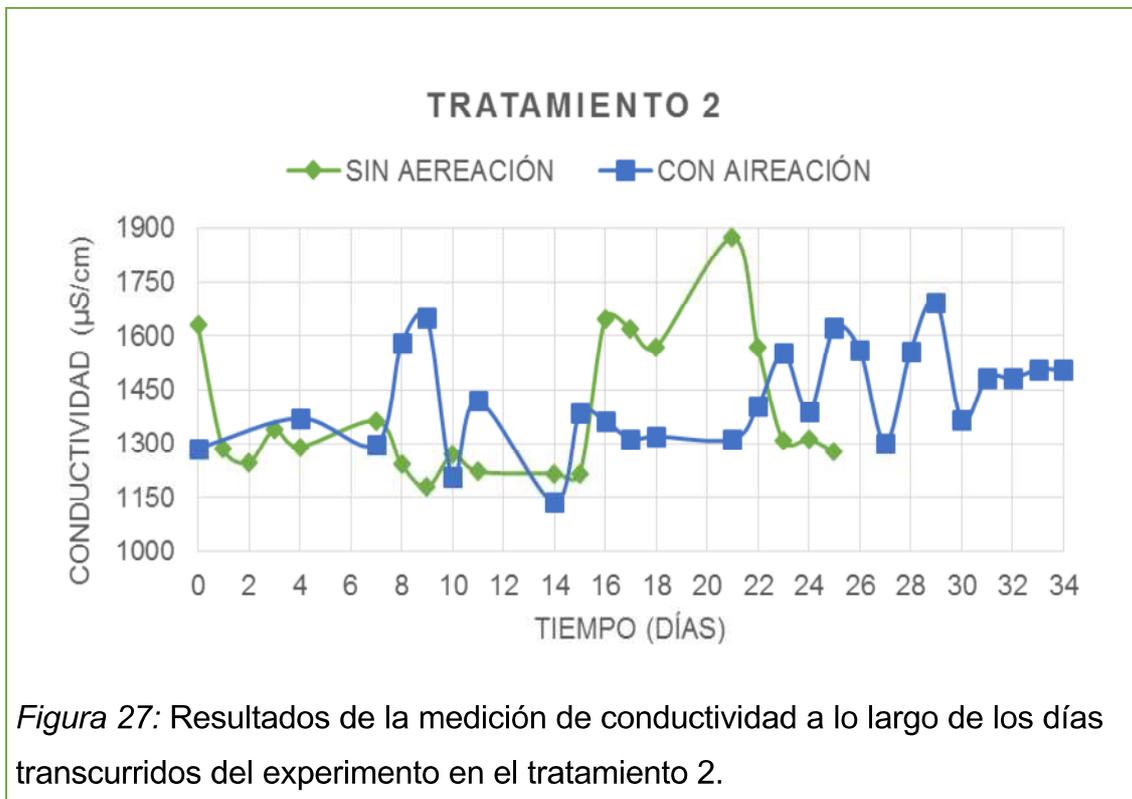
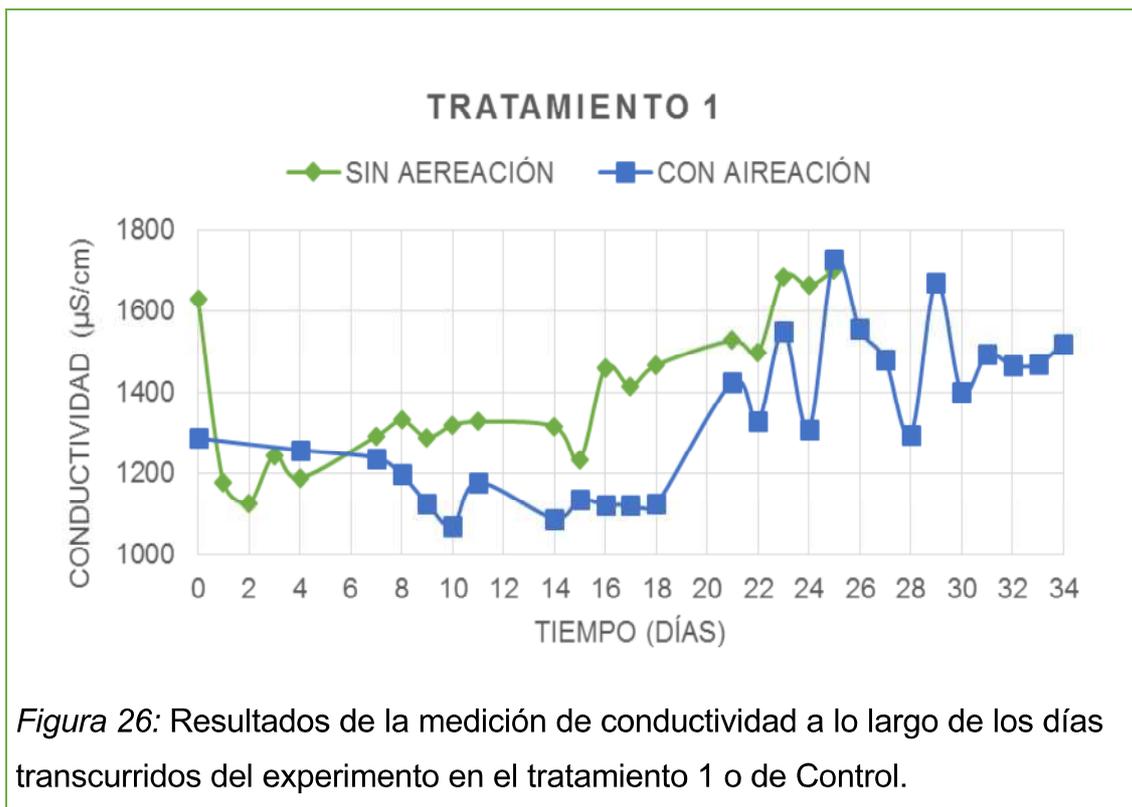
turbidez y el tiempo que transcurre entre una medición y otra. De esta manera se pudo conocer el tiempo total de sedimentación.

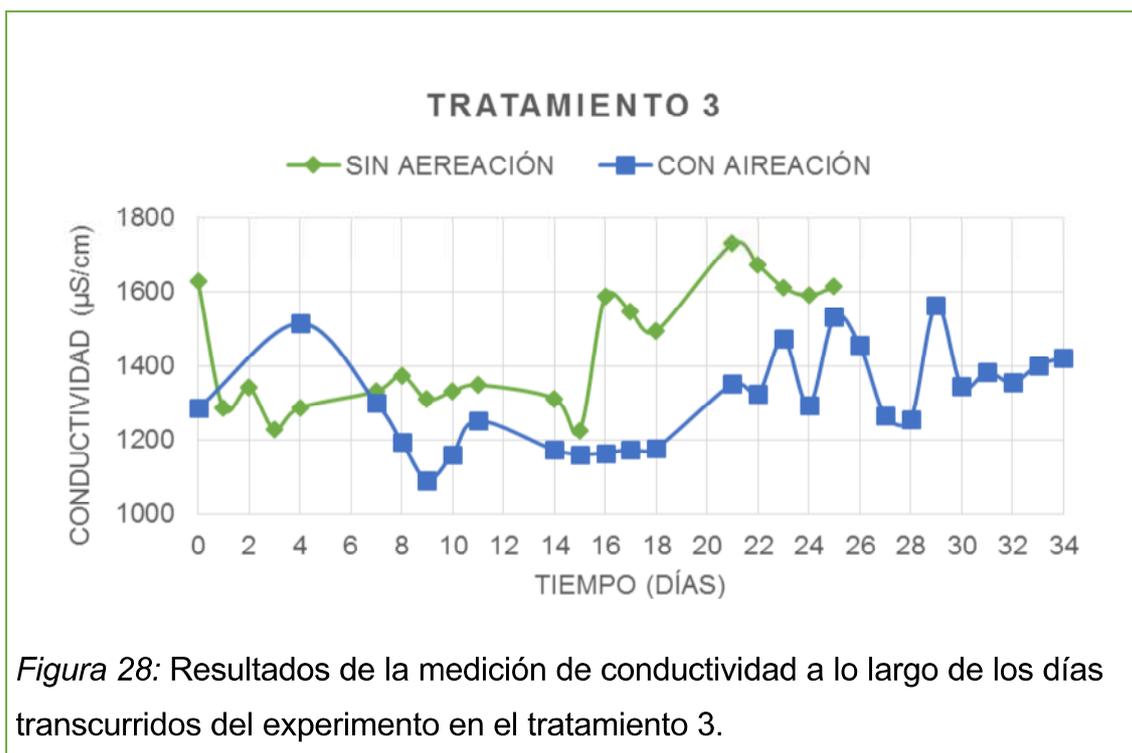


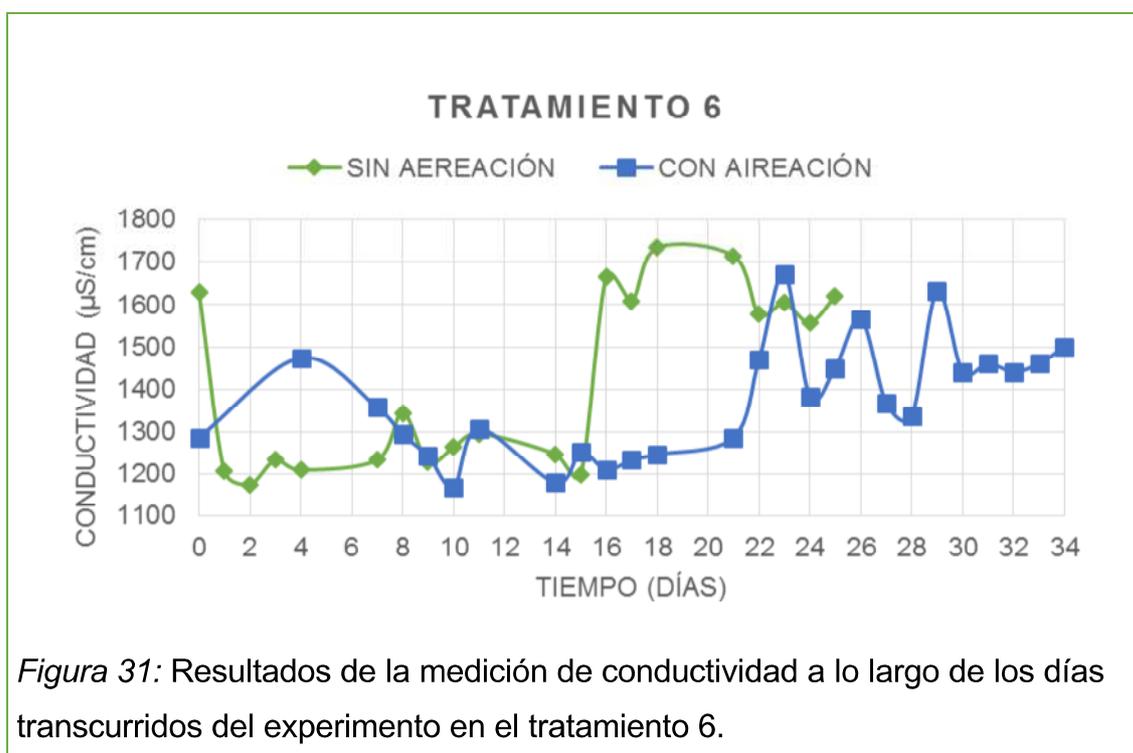
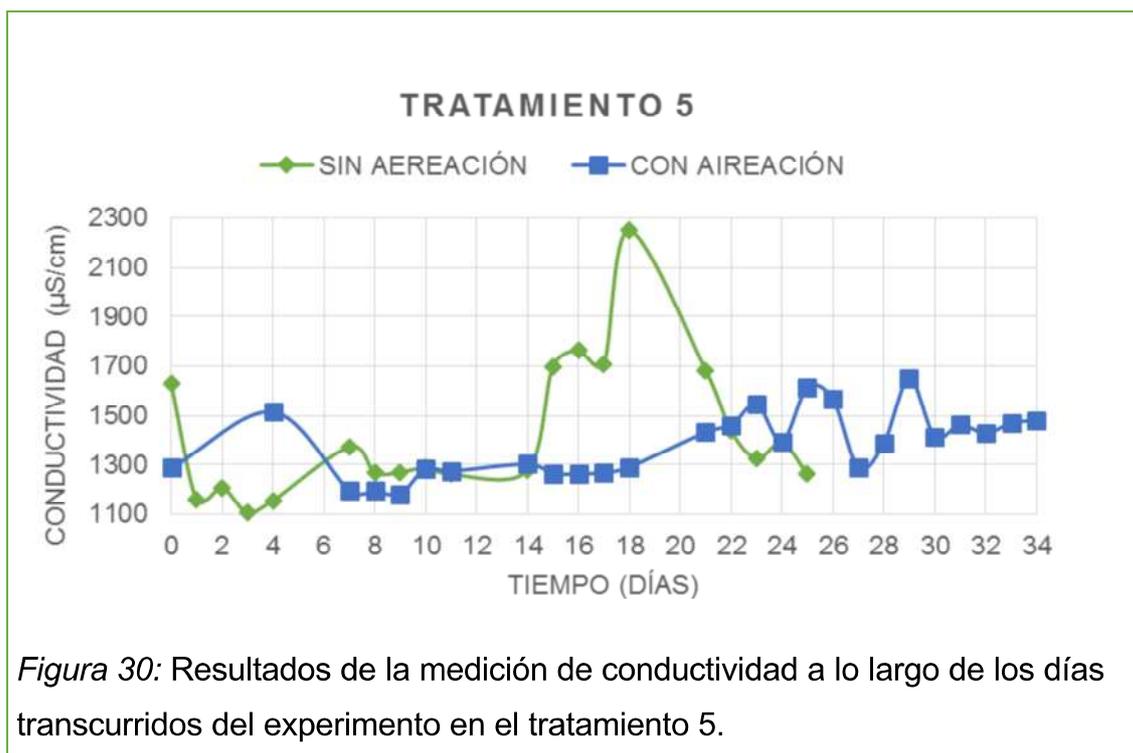
Las mediciones provienen de una misma muestra a lo largo del tiempo. El promedio de las mediciones es 16,00 segundos, mientras que el tiempo acumulado es de 5 minutos 52,1 segundos.

3.2.3. Conductividad

El comportamiento de este parámetro se presenta a continuación separando los resultados por cada tratamiento y contando con dos series de datos que contemplan la etapa pre y con aireación.







3.2.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno se presenta en las fases del experimento; es decir, pre y con aireación de los tanques de almacenamiento.

Tabla 30: Resultados de la Concentración de DBO₅ previa a la aireación del tanque de almacenamiento.

Concentración de DBO ₅ (mg/L)	Tratamiento					
	1	2	3	4	5	6
Muestra 1	750,0	100,0	800,0	1200,0	900,0	700,0
Muestra 2	600,0	200,0	750,0	900,0	800,0	600,0
Muestra 3	500,0	200,0	600,0	700,0	700,0	500,0
Promedio De Tratamiento	616,7	166,7	716,7	933,3	800,0	600,0
Máxima Remoción	500,0	100,0	600,0	700,0	700,0	500,0
Mínima Remoción	750,0	200,0	800,0	1200,0	900,0	700,0

Tabla 31: Resultados de la Concentración de DBO₅ después de la aireación del tanque de almacenamiento.

Concentración de DBO ₅ (mg/L)	Tratamiento					
	1	2	3	4	5	6
Muestra 1	500,0	200,0	200,0	500,0	500,0	800,0
Muestra 2	900,0	100,0	200,0	500,0	500,0	400,0
Muestra 3	500,0	200,0	300,0	400,0	500,0	600,0
Muestra 4	500,0	100,0	200,0	300,0	500,0	300,0
Promedio De Tratamiento	600,0	150,0	225,0	425,0	500,0	525,0
Máxima Remoción	500,0	100,0	200,0	300,0	500,0	300,0
Mínima Remoción	900,0	200,0	300,0	500,0	500,0	800,0

3.2.5. Demanda química de oxígeno (DQO)

Se realizaron dos muestreos del cada tratamiento tomando en cuenta el punto previo y posterior a la aireación del tanque de almacenamiento. En la tabla 32 se encuentra los resultados de este parámetro.

Tabla 32: Resultados de DQO de cada tratamiento.

Tratamiento	DQO (sin aireación) (mg/L)	DQO (con aireación) (mg/L)
1	1306	1355
2	1432	621
3	1684	615
4	1428	840
5	1545	1022
6	2104	1535

3.2.6. Relación DQO:DBO₅

Parar obtener la relación se tomó en cuenta los monitoreos realizados sobre cada tratamiento; los resultados obtenidos, tanto de DQO como de DBO₅ corresponden al mismo muestreo con el fin de poder realizar la relación.

Tabla 33: Relación DQO/DBO₅.

Tratamiento	DQO	DBO ₅	DQO/DBO ₅
Previa aireación del tanque de almacenamiento			
1	1306	616,7	2,12
2	1432	166,7	8,59
3	1684	483,3	3,48
4	1428	933,3	1,53
5	1545	800,0	1,93
6	2104	600,0	3,51

Continuación de la tabla 33.

Tratamiento	DQO	DBO ₅	DQO/DBO ₅
Con aireación del tanque de almacenamiento			
1	1355	500,0	2,71
2	621	150,0	4,14
3	615	150,0	4,10
4	840	425,0	1,98
5	1022	500,0	2,04
6	1535	525,0	2,92

3.2.7. Sólidos Suspendidos

Para obtener la cantidad de sólidos suspendidos se utilizó la ecuación 7. Con ello se obtuvieron los resultados del tratamiento final de cada módulo. Los resultados corresponden a la última semana del experimento.

Tabla 34: Resultado de sólidos suspendidos por tratamiento

Tratamiento	A (g)	B (g)	C (g)	U (mg/L)
1	91,2858	91,1141	0,161	356,7
2	94,2723	94,1134	0,1576	6,0
3	87,3137	87,1562	0,1559	16,0
4	85,2582	85,0979	0,1581	22,0
5	89,5325	89,3635	0,1616	92,5
6	90,698	90,5216	0,157	388,0

3.2.8. Sólidos Sedimentables

En el caso de los sólidos sedimentables se utilizó la (ecuación 11) para su cálculo y determinación, obteniendo los resultados presentados en la tabla 35.

Tabla 35: Resultados de sólidos sedimentables por cada tratamiento

Tratamiento	G - Volumen Decantado (ml)	S - Sólido Sedimentable (mL/L)
1	6,0	6,0
2	0,5	0,5
3	0,1	0,1
4	1	1
5	3,7	3,7
6	13	13

3.2.9. Sólidos Totales

Para la determinación de sólidos totales se empleó la (ecuación 8) de donde se consiguieron los resultados presentados en la tabla 36.

Tabla 36: Resultados de sólidos totales por tratamiento.

Tratamiento	A (g)	B (g)	Sólidos totales (mg/L)
1	82,7725	82,7281	2220
2	85,3057	85,2755	1510
3	88,5884	88,5586	1490
4	81,4769	81,4437	1660
5	98,7851	98,7478	1865
6	105,1678	105,1220	2290

3.2.10. Fracción fija y volátil de los sólidos totales

En cuanto se refiere a estos parámetros se empleó la (ecuación 9) para determinar la concentración de sólidos fijos y volátiles, para el cálculo en porcentaje de residuos fijos y volátiles. Cabe mencionar que la fracción fija se determinó luego de someter las muestras a una mufla a 550°C por el período de una hora.

Tabla 37: Resultados de la fracción fija de los sólidos totales para cada tratamiento

Tratamiento	B (g)	D (g)	X (mg/L)
1	82,7281	82,7432	755
2	85,2755	85,2879	620
3	88,5586	88,5709	615
4	81,4437	81,4513	380
5	98,7478	98,7506	140
6	105,1220	105,1402	910

Tabla 38: Resultados en concentración y porcentaje de sólidos fijos y volátiles respecto a los sólidos totales por cada tratamiento.

Tratamiento	Sólidos fijos (mg/L)	Residuo fijo (%)	Sólidos volátiles (mg/L)	Residuo volátil (%)
1	755	34,01	1465	65,99
2	620	41,06	890	58,94
3	615	41,28	875	58,72
4	380	22,89	1280	77,11
5	140	7,51	1725	92,49
6	910	39,74	1380	60,26

3.3. Condiciones de Operación

3.3.1. Caudales

Para los caudales se tomó en cuenta los volúmenes de entrada y salida del sistema; siendo el valor de entrada el caudal que se bombea desde los tanques de almacenamiento hacia los tratamientos y los caudales de salidas se tomaron en los puntos de monitoreo incorporado en cada tratamiento. Se tomó en cuenta las líneas de alcantarillado y retorno para el cálculo de caudales.

Tabla 39: Resultados promedios de la prueba de caudales de entrada al sistema realizados *in situ*.

	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Promedios (L/día)
Tratamiento 1	59,83	199,47	26,03
Tratamiento 2	61,35	192,49	27,91
Tratamiento 3	71,28	224,33	27,97
Tratamiento 4	61,42	210,61	25,80
Tratamiento 5	58,22	186,44	26,98
Tratamiento 6	60,42	195,72	27,50
Retorno 1	24,67	118,10	18,04
Retorno 2	84,33	95,27	77,76
Alcantarillado 1	39,33	209,86	16,00
Alcantarillado 2	76,80	108,88	61,22
Sumatoria Caudales de los Tratamientos			162,17
Sumatoria Caudales de Retorno			95,81
Sumatoria Caudales de Alcantarillado			77,22

Los primeros 3 tratamientos estaban conectados a una línea de retorno y alcantarillado en el cual su caudal fue de 18,04 L/s. Mientras que los siguientes 3 tratamientos se conectaron a otra línea de retorno y alcantarillado con un caudal de 77,76 L/s.

Los resultados de los caudales individuales para cada tratamiento se describen en la tabla 40. Estos valores corresponden a los promedios de las réplicas realizadas en las prueba de caudales.

Tabla 40: Resultados promedios de la prueba de caudales de salida al sistema realizados *in situ*.

Tratamiento	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Promedios (L/día)
1	24,00	96,91	22,47
2	14,00	196,95	6,47
Tratamiento	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Promedios (L/día)
3	13,77	246,05	5,11
4	12,97	136,06	8,34
5	27,37	34,43	69,51
6	27,57	39,53	61,16

3.3.2. Carga contaminante

Para este parámetro se tomó en cuenta el valor de DBO₅, DQO y sólidos suspendidos promedios de ingreso al sistema de 2408,7 mg/L, 4028 mg/L y 876,6 mg/L respectivamente. Así como un caudal promedio de entrada de los 6 tratamientos de 27,03 L.

Tabla 41: Carga contaminante para cada tratamiento.

Tratamiento	DBO ₅	DQO	SS	Q	CC
Inicial	2408,67	4028,00	876,60	27,03	0,1034
1	600,00	1355,00	356,67	22,47	0,0272
2	150,00	621,00	6,00	6,47	0,0020
3	150,00	615,00	16,00	5,11	0,0016
4	425,00	840,00	22,00	8,34	0,0049
5	500,00	1022,00	92,50	69,51	0,0533
6	525,00	1535,00	388,00	61,16	0,0764

Nota: Las unidades de los parámetros de DBO₅, DQO y Sólidos Suspendidos (SS) vienen dados en mg/L; el caudal (Q) viene dado en L/día y la carga contaminante (CC) en kg/día.

3.3.3. Permeabilidad

De acuerdo a los informes de ensayos del Laboratorio de Materiales de Construcción (PUCE) se obtuvo la información de la tabla 42 (anexo 4).

Tabla 42: Resultados de los ensayos sobre los estratos filtrantes

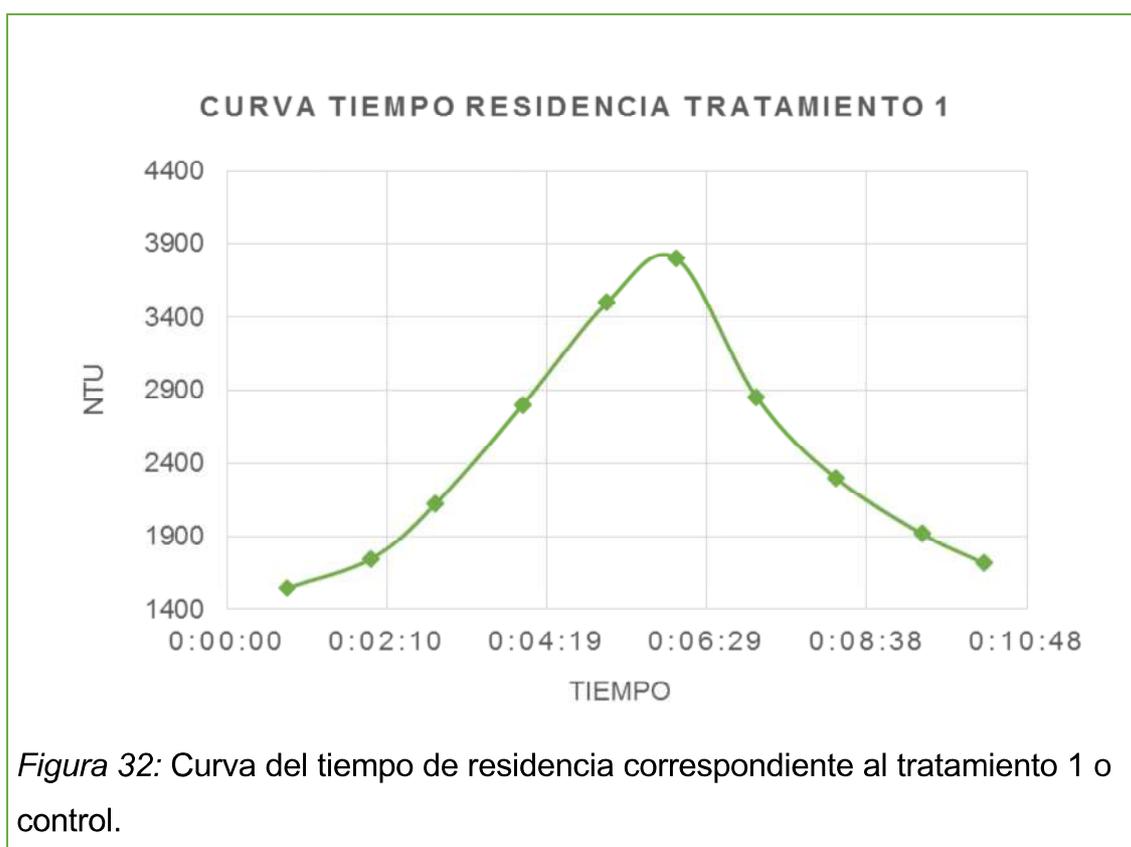
Parámetro	Unidad	Estrato			
		Aserrín-Viruta	Piedra grava	Piedra pómez	Hojas de eucalipto
Densidad Húmeda	g/cm ³	0,509	1,001	0,56	0,28
Densidad Seca	g/cm ³	0,125	0,969	0,365	0,111
Volumen Sólidos	cm ³	35,16	234,63	81,28	39,35
Volumen Vacíos	cm ³	471,4	322,55	475,9	456,29
Valúen total de la muestra	cm ³	506,56	557,18	557,18	495,64
Porcentaje de sólidos	%	6,94	42,11	14,59	7,94

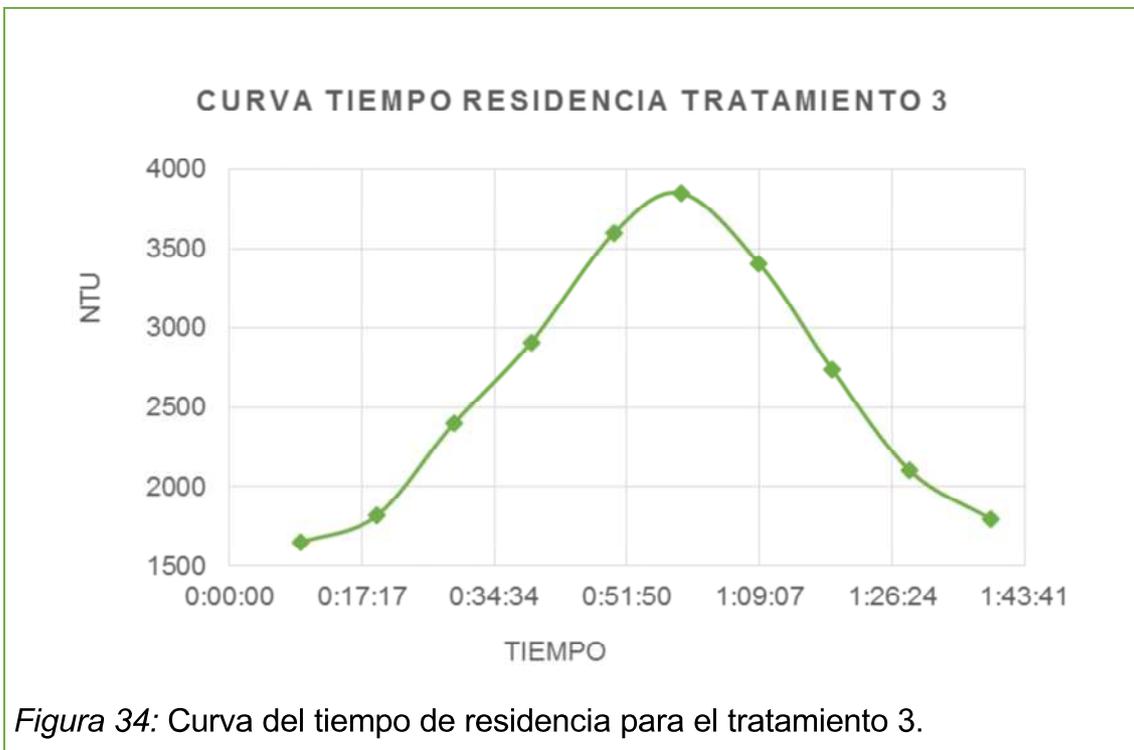
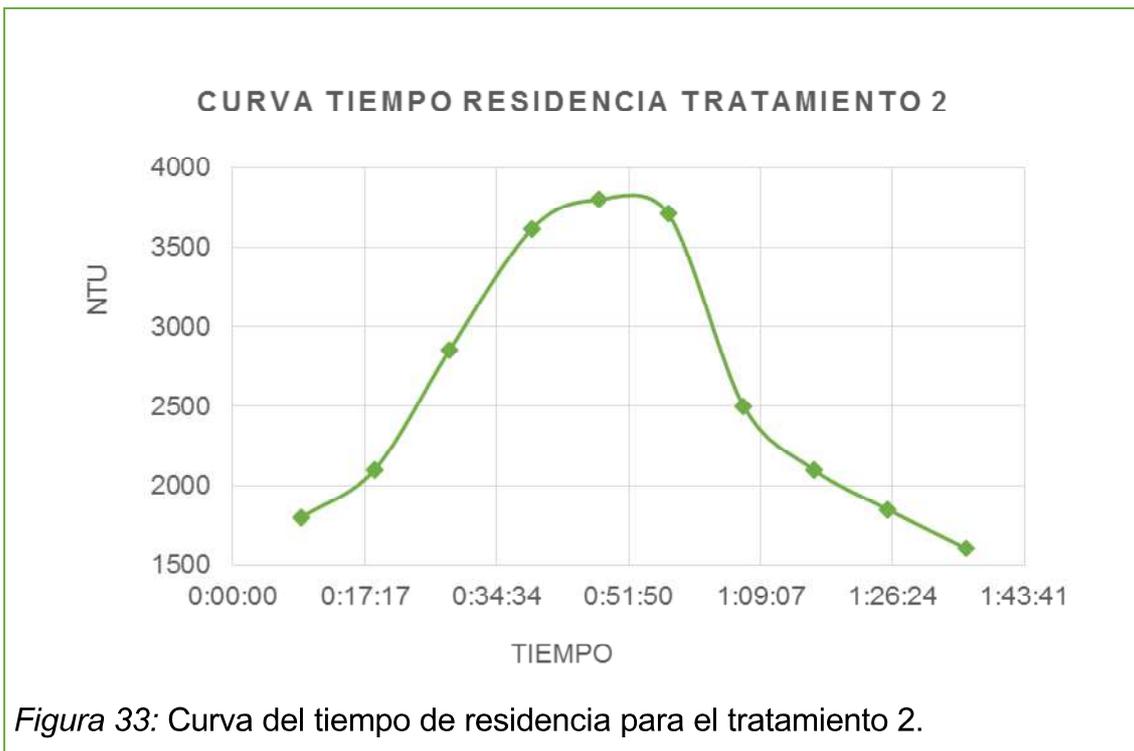
Continuación de la tabla 42.

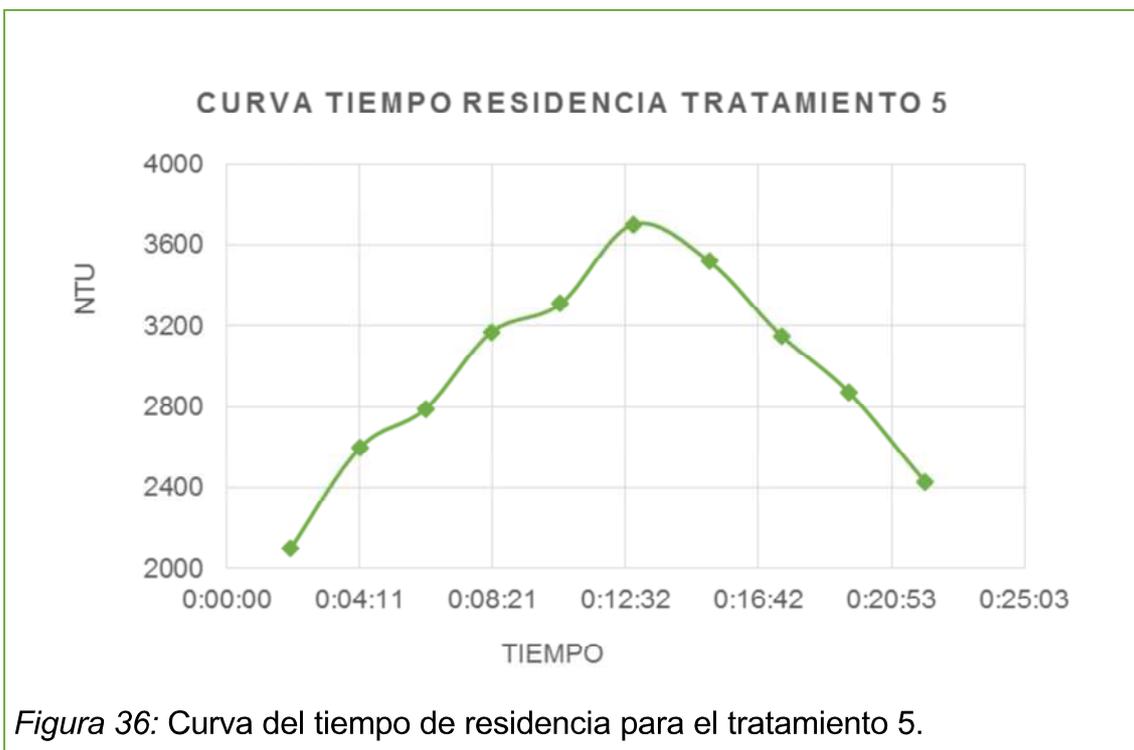
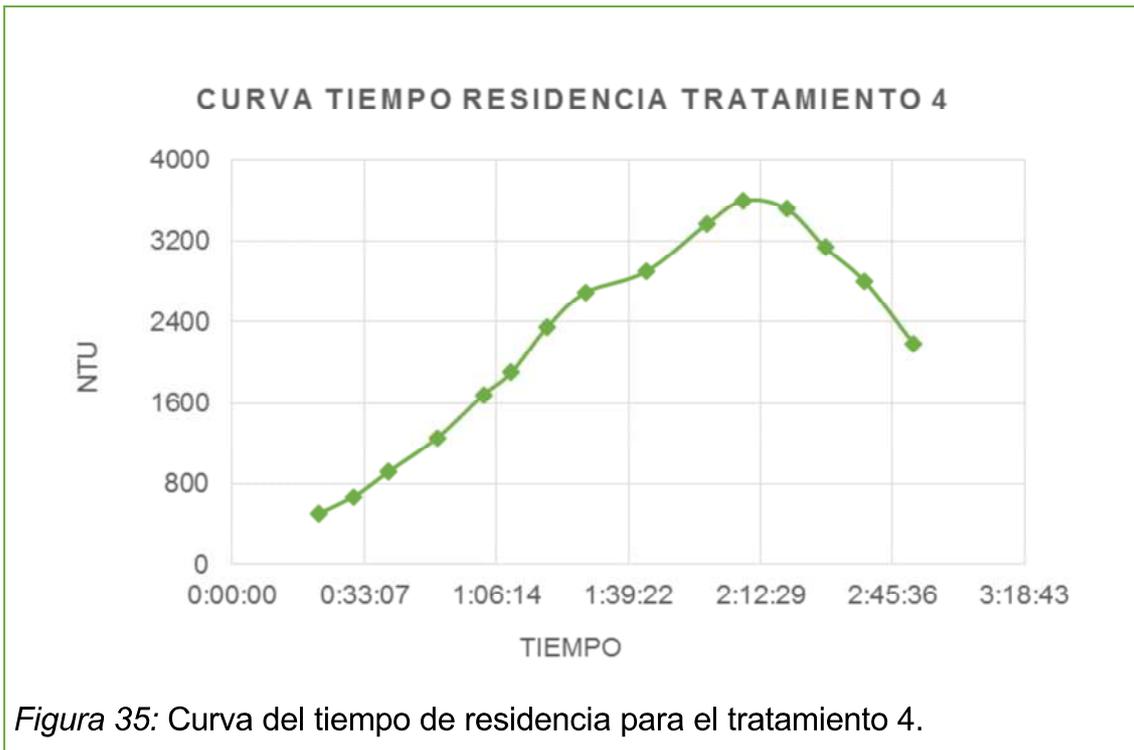
Porcentaje de vacíos	%	93,06	57,89	85,41	92,06
Relación de Vacíos		13,4072 81	1,37471 764	5,855068 9	11,5956798
Grado de Saturación (%)	%	41,17	5,56	22,84	18,29
Coefficiente de permeabilidad (K)	cm/s	13,191	6,8243	14,7987	15,2543

3.3.4. Tiempo de residencia

Se elaboraron las curvas de concentración a través del tiempo luego de la inyección del trazador. La concentración viene dada por la turbidez (NTU) y el tiempo en formato horas: minutos: segundos.









Se presenta, a continuación, en la tabla 67 el tiempo medio de residencia para cada tratamiento a modo de resumen.

3.3.5. Conteo de lombrices

Se realizó el conteo inicial de la cantidad de lombrices que se colocaron en el día cero del experimento. En su mayoría las lombrices fueron juveniles y adultas. Cabe mencionar que dentro de los estratos soportantes de las lombrices, anterior al día cero del experimento no contenían lombrices; los sustratos fueron aserrín-viruta de pino y hojas de eucalipto que no contenían huevos.

Posteriormente, luego de 78 días de experimento, se caracterizó tanto el número de lombrices como el estadio de su desarrollo que se encontraron en cada tratamiento; se dividió en 3 niveles desde la parte más superficial hacia el fondo: nivel 1 los primeros 20 cm, nivel 2 los siguientes 20 cm y el nivel 3 los últimos 30 cm de los estratos soportantes de las lombrices.

Tabla 43: Cuento inicial de lombrices colocados en sendos tratamientos.

Tratamiento	Número de lombrices
2	108,00
3	81,00
5	122,00

Tabla 44: Cuento y caracterización del estadio final de las lombrices.

Tratamiento	2	2	3	3	5
Nivel	1	2	1	2	-
Cocones	265	3	34	1	189
Recién Nacidas	15	4	2	1	46
Juveniles	19	10	10	24	168
Maduras no cliteliadas	15	46	5	15	113
Maduras cliteliadas	27	64	10	18	134
Total	468		120		650

a) En el tratamiento 5 no se realizó una división por niveles, se realizó un conteo de todo el estrato en conjunto.

3.3.6. Resultados del Análisis de Correlación Canónica

De acuerdo a Leps y Smilauer (2008) para las variables biológicas, uno de los métodos de ordenación más utilizado es la transformación logarítmica (ecuación 12), ésta permite predecir la mejor respuesta frente a las variables ambientales.

$$y' = \log(A.y + C) \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde

y' = el valor de la variable transformada.

y = valor de la variable antes del pre procesamiento.

A y C = constantes

El valor de A y C son constantes equivalentes a 1. Esto con el objetivo de procesar información que contenga valores de cero, donde se calcularía el $\log(0+1)$ equivalente a cero. Cabe mencionar que los valores que se encuentren entre 0 y 1 resultarán negativos.

La transformación de las variables ambientales se realizó mediante un método general conocido como Box-Cox, este es un método de transformación potente que aplica una función determinista a los datos brutos mediante la estimación del parámetro de transformación λ . Cabe mencionar que, según Asar, Ilk y Dag (2015), este procesamiento es similar a la transformación de logaritmo natural, sin embargo es más potente. El procesamiento y cálculo de este método se realizó a través del software MINITAB 17.

Los resultados generados por el software se pueden visualizar en el anexo 6 en su totalidad. Este presenta las correlaciones entre las variables y los cálculos realizados.

4. Capítulo IV Análisis de Resultados

Para el análisis de resultados se empleó el Software computacional MINITAB 17 y se eligió como modelo un Diseño Completamente Aleatorio (DCA), el cual es apropiado cuando se tiene unidades experimentales similares; tiene ventajas como ser un diseño flexible que admite cualquier cantidad de tratamientos y replicas, dependiendo del énfasis que se desee hacer. Es fácil de analizar y el método de análisis minimiza los errores producidos por pérdida de información (Schwarz, 2014).

Se empleó Microsoft Excel como hoja de cálculo para la realización de gráficos y tablas que faciliten el entendimiento y análisis de los resultados. Y por último, se empleó el software CANOCO para el análisis de correlación entre parámetros ambientales y biológicos.

4.1. Análisis de la Varianza

De acuerdo con el Diseño Complemente Aleatorio las observaciones siguen el siguiente modelo; el cual asume que los errores son variables aleatorias que siguen una distribución normal, sus varianzas son homogéneas y que los datos son independientes, supuestos que requieren de verificación para la validación del modelo.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde

Y_{ij} = observación ij-ésima; denotada como es la respuesta de la variable de interés.

μ = conocida como la media global del experimento.

τ_i = es conocido como el efecto del tratamiento i-ésimo.

ε_{ij} = es el error aleatorio que compone todos los procesos experimentales, es asociado a la respuesta de Y_{ij}

Para la utilización de este análisis se requiere realizar un muestreo para recolectar la información que se ingresará en el modelo y se procesará estadísticamente. Para encontrar el número de muestra y que esta fuera representativa se aplicó la (ecuación 14). Suponiendo una desviación estándar equivalente a 0,5. Un valor Z de 1,96 correspondiente a una confiabilidad del 95%, un error estimado de 9% y tomando en cuenta que el experimento se realizó por 78 días y que cada día se tenía un promedio de las mediciones de los parámetros medidos, los mismos que conformarían un dato.

$$n = \frac{N\sigma^2 Z_{\alpha/2}^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z_{\alpha/2}^2} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde

n = tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población

σ = desviación estándar (σ^2 = varianza de la población)

$Z_{\alpha/2}^2$ = nivel de confianza.

e = error muestral o estándar.

Tomando en cuenta los datos anteriormente mencionados se calculó un número de muestreo de 44 días. Dentro del muestreo realizado se recolectó la información de turbidez durante el tiempo establecido y con los datos obtenidos se realizó una prueba ANOVA con el fin de verificar las hipótesis del modelo.

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = 0$$

$$H_A = \tau_i \neq 0 \text{ para algún } i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Tabla 45: ANOVA para la Turbidez de los seis tratamientos.

Fuente De Variación	Tipo De Tratamiento	Error	Total
Suma De Los Cuadrados	3967733,08	7166474,82	11134207,9
Grados De Libertad	5	258	263
Cuadrados Medios	793546,616	27777,0342	
F0	28,57		
F (Valor Crítico)	2,249		

De acuerdo a la tabla 45, el valor de F_0 es mayor a F ($F_0 > F$) la hipótesis nula se rechaza, lo que quiere decir que los tratamientos al menos uno produce un efecto diferente. Indicando claramente que existe una diferencia entre los módulos experimentales en cuanto se refiere a la disminución de la turbidez como parámetro contaminante.

Adicionalmente se realizó un ANOVA con los datos de conductividad a fin de comprobar si los tratamientos son significativamente diferentes (tabla 46). En este caso el estadístico F_0 es menor al valor crítico de F lo que indica que se acepta la hipótesis nula; es decir que los tratamientos no son significativos. Indiferente de cual sea el tratamiento estos no provocan un efecto sobre la conductividad lo que indica que no se trata este parámetro con los diferentes estratos utilizados.

Tabla 46: ANOVA para la conductividad de los seis tratamientos.

Fuente De Variación	Tipo De Tratamiento	Error	Total
Suma De Los Cuadrados	210694,84	8808227,88	9018922,72
Grados De Libertad	5	258	263
Cuadrados Medios	42138,97	34140,42	
F0	1,23		
F (Valor Crítico)	2,249		

Teniendo en cuenta que el ANOVA para la conductividad acepta la hipótesis nula, se eligió no continuar con el análisis tomando los datos de conductividad. Se realizó los análisis en base a la turbidez ya que su ANOVA indica que existe un real tratamiento diferente para cada módulo, con lo cual se puede realizar comparaciones de rangos múltiples para determinar que tratamientos tiene significancia y cuales no los tienen; es decir que módulos difieren unos de otros.

4.2. Comparación de rangos múltiples

Los diferentes métodos tales como la prueba LSD, Turkey, Duncan y Dunnett contemplan las comparaciones de las medias (μ_i) de cada tratamiento bajo la hipótesis general que se desea probar, la misma que se describe a continuación; así como las pruebas entre los tratamientos.

Prueba General

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_A: \mu_i \neq \mu_j \quad ; \quad \text{Para todo } i \neq j$$

Pruebas entre los tratamientos

Para un número determinado de tratamientos denominados k tratamientos, se tiene un total de $k \frac{k-1}{2}$ pares de medias que son comparados; para este caso sería $6 \frac{6-1}{2}$, dando un total de 15 comparaciones diferentes entre las medias de los diferentes tratamientos.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad / \quad H_A: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_3 \quad / \quad H_A: \mu_1 \neq \mu_3$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_4 \quad / \quad H_A: \mu_1 \neq \mu_4$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_5 \quad / \quad H_A: \mu_1 \neq \mu_5$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_6 \quad / \quad H_A: \mu_1 \neq \mu_6$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_3 \quad / \quad H_A: \mu_2 \neq \mu_3$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_4 \quad / \quad H_A: \mu_2 \neq \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_5 \quad / \quad H_A: \mu_2 \neq \mu_5$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_6 \quad / \quad H_A: \mu_2 \neq \mu_6$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_4 \quad / \quad H_A: \mu_3 \neq \mu_4$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_5 \quad / \quad H_A: \mu_3 \neq \mu_5$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_6 \quad / \quad H_A: \mu_3 \neq \mu_6$$

$$H_0: \mu_4 = \mu_5 \quad / \quad H_A: \mu_4 \neq \mu_5$$

$$H_0: \mu_4 = \mu_6 \quad / \quad H_A: \mu_4 \neq \mu_6$$

$$H_0: \mu_5 = \mu_6 \quad / \quad H_A: \mu_5 \neq \mu_6$$

Como se ha mencionado anteriormente, para las comparaciones se tienen diferentes métodos, los cuales cuentan con su propio estadístico de prueba; esto es, un valor al cual se compara las medias con el objetivo de aceptar o rechazar las hipótesis nulas presentadas.

Para el método **LSD (Diferencia mínima significativa)** el estadístico de prueba corresponde a la siguiente expresión.

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{\frac{2 CM_E}{n}} = LSD \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde

\bar{Y}_i = media muestral del i-ésimo valor.

\bar{Y}_j = media muestral del j-ésimo valor.

$t_{\alpha/2, N-k}$ = valor de la prueba T de Student con N-k grados de libertad.

N - k = grados de libertad del error de la ANOVA.

CM_E = cuadrado medio del error.

n = número de observaciones para cada tratamiento.

$$LSD = t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{\frac{2 CM_E}{n}}$$

$$LSD = (1,96) \sqrt{\frac{2 (27777,03)}{44}}$$

$$LSD = 68,8665$$

Este valor se compara con las diferencias de las medias de los tratamientos y se decide su significancia o no.

Tabla 47: Comparaciones de medias muestrales - Método LSD

Diferencia poblacional	Diferencia muestral valor absoluto			Decisión
$\mu_1 - \mu_2$	299,4197	>	68,8665	SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_3$	282,3379	>	68,8665	SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_4$	254,7242	>	68,8665	SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_5$	55,5439	<	68,8665	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_6$	58,4985	<	68,8665	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_2 - \mu_3$	17,0818	<	68,8665	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_2 - \mu_4$	44,6955	<	68,8665	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_2 - \mu_5$	243,8758	>	68,8665	SIGNIFICATIVA
$\mu_2 - \mu_6$	240,9212	>	68,8665	SIGNIFICATIVA
$\mu_3 - \mu_4$	27,6136	<	68,8665	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_3 - \mu_5$	226,7939	>	68,8665	SIGNIFICATIVA
$\mu_3 - \mu_6$	223,8394	>	68,8665	SIGNIFICATIVA
$\mu_4 - \mu_5$	199,1803	>	68,8665	SIGNIFICATIVA
$\mu_4 - \mu_6$	196,2258	>	68,8665	SIGNIFICATIVA
$\mu_5 - \mu_6$	2,9545	<	68,8665	NO SIGNIFICATIVA

Se aplicó el método comparativo de **Turkey** y su estadístico de prueba corresponde a la siguiente expresión.

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(k, N - k) \sqrt{\frac{CM_{\bar{E}}}{n}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

T_{α} = estadístico de prueba de Turkey.

q_{α} = punto porcentual de la distribución del rango estudentizado con los grados de libertad correspondientes al error de la ANOVA.

$N - k$ = grados de libertad del error de la ANOVA.

$CM_{\bar{E}}$ = cuadrado medio del error.

n = número de observaciones para cada tratamiento.

$$T_{\alpha} = (4,03) \sqrt{\frac{27777,03}{44}}$$

$$T_{\alpha} = 101,2562045$$

Este valor se compara con las diferencias de las medias de los tratamientos y se decide su significancia o no.

Tabla 48: Comparaciones de medias muestrales - Método Turkey

Diferencia poblacional	Diferencia muestral valor absoluto			Decisión
$\mu_1 - \mu_2$	299,4197	>	101,2562	SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_3$	282,3379	>	101,2562	SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_4$	254,7242	>	101,2562	SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_5$	55,5439	<	101,2562	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_6$	58,4985	<	101,2562	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_2 - \mu_3$	17,0818	<	101,2562	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_2 - \mu_4$	44,6955	<	101,2562	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_2 - \mu_5$	243,8758	>	101,2562	SIGNIFICATIVA
$\mu_2 - \mu_6$	240,9212	>	101,2562	SIGNIFICATIVA
$\mu_3 - \mu_4$	27,6136	<	101,2562	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_3 - \mu_5$	226,7939	>	101,2562	SIGNIFICATIVA
$\mu_3 - \mu_6$	223,8394	>	101,2562	SIGNIFICATIVA
$\mu_4 - \mu_5$	199,1803	>	101,2562	SIGNIFICATIVA
$\mu_4 - \mu_6$	196,2258	>	101,2562	SIGNIFICATIVA
$\mu_5 - \mu_6$	2,9545	<	101,2562	NO SIGNIFICATIVA

De acuerdo al método de **Duncan** se debe ordenar las medias de cada tratamiento; una vez ordenadas las comparaciones se las realiza entre la medias más grande y la más pequeña; después la más grande con la segunda más pequeña; y así, sucesivamente. Cada comparación se la debe contrastar con el coeficiente R_p del método y el error estándar de los promedios, el cual se estima con la siguiente expresión.

$$S_{\bar{Y}_i} = \sqrt{\frac{CM_E}{n}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Y los diferentes coeficientes R_p se calculan con la siguiente expresión. Donde el valor crítico $r_\alpha(p, l)$ corresponde a valores de la tabla de la prueba de Duncan. El valor de α corresponde al nivel de significancia de la prueba, el valor de $p = 2, 3, \dots, k$ con $k-1$, mientras que l son los grados de libertad del error.

$$R_p = r_{\alpha}(p, l) S_{\bar{y}_i} \quad : \quad p = 2, 3 \dots k \quad \text{(Ecuación 18)}$$

Con esto se puede calcular los R_p para cada tratamiento.

Medias ordenadas

$$\begin{array}{ll} \bar{Y}_1 = 436,15 & Y_4 = 181,43 \\ \bar{Y}_5 = 380,61 & \bar{Y}_3 = 153,81 \\ \bar{Y}_6 = 377,65 & \bar{Y}_2 = 136,73 \end{array}$$

Error estándar de los promedios

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{CM_E}{n}} = \sqrt{\frac{27777,03}{44}} = 25,1246$$

Rangos de significancia mínima

$$\begin{array}{l} R_2 = r_{0,05}(2,40) S_{\bar{y}_i} = (2,8580)(25,1246) = 71,8090 \\ R_3 = r_{0,05}(3,40) S_{\bar{y}_i} = (3,0050)(25,1246) = 75,5025 \\ R_4 = r_{0,05}(4,40) S_{\bar{y}_i} = (3,1020)(25,1246) = 77,9396 \\ R_5 = r_{0,05}(5,40) S_{\bar{y}_i} = (3,1710)(25,1246) = 79,6733 \\ R_6 = r_{0,05}(6,40) S_{\bar{y}_i} = (3,2240)(25,1246) = 81,0050 \end{array}$$

Cabe mencionar que debido que no se encuentran los datos exactos para los valores críticos con 44 datos para la prueba de Duncan (5%), por lo que se adoptó los valores correspondientes a 40 datos. Las diferencias entre estos dos valores no son altas, esto nos indica que el coeficiente R_p para la prueba de Duncan no varía en gran medida y se puede utilizarlo.

Con los datos anteriores obtenidos se construye la tabla de diferencias y decisiones para cada comparación.

Tabla 49: Comparación de medias muestrales - Método de Duncan

Diferencia poblacional	Diferencia muestral comparada con su rango R_p		Decisión
$\mu_1 - \mu_2$	299,4197	> 81,0050	SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_3$	282,3379	> 79,6733	SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_4$	254,7242	> 77,9396	SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_6$	58,4985	< 75,5025	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_1 - \mu_5$	55,5439	< 71,8090	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_5 - \mu_2$	243,8758	> 79,6733	SIGNIFICATIVA
$\mu_5 - \mu_3$	226,7939	> 77,9396	SIGNIFICATIVA
$\mu_5 - \mu_4$	199,1803	> 75,5025	SIGNIFICATIVA
$\mu_5 - \mu_6$	2,9545	< 71,8090	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_6 - \mu_2$	240,9212	> 77,9396	SIGNIFICATIVA
$\mu_6 - \mu_3$	223,8394	> 75,5025	SIGNIFICATIVA
$\mu_6 - \mu_4$	196,2258	> 71,8090	SIGNIFICATIVA
$\mu_4 - \mu_2$	44,6955	< 75,5025	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_4 - \mu_3$	27,6136	< 71,8090	NO SIGNIFICATIVA
$\mu_3 - \mu_2$	17,0818	< 71,8090	NO SIGNIFICATIVA

En resumen de las pruebas se puede observar en la tabla 50.

Tabla 50: Resumen de significación para cada método.

HIPÓTESIS DE PRUEBA	MÉTODO		
	LSD	TURKEY	DUNCAN
$H_0: \mu_1 = \mu_2$ / $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$	SIG.	SIG.	SIG.
$H_0: \mu_1 = \mu_3$ / $H_a: \mu_1 \neq \mu_3$	SIG.	SIG.	SIG.
$H_0: \mu_1 = \mu_4$ / $H_a: \mu_1 \neq \mu_4$	SIG.	SIG.	SIG.
$H_0: \mu_1 = \mu_5$ / $H_a: \mu_1 \neq \mu_5$	NO SIG.	NO SIG.	NO SIG.
$H_0: \mu_1 = \mu_6$ / $H_a: \mu_1 \neq \mu_6$	NO SIG.	NO SIG.	NO SIG.
$H_0: \mu_2 = \mu_3$ / $H_a: \mu_2 \neq \mu_3$	NO SIG.	NO SIG.	NO SIG.
$H_0: \mu_2 = \mu_4$ / $H_a: \mu_2 \neq \mu_4$	NO SIG.	NO SIG.	NO SIG.
$H_0: \mu_2 = \mu_5$ / $H_a: \mu_2 \neq \mu_5$	SIG.	SIG.	SIG.
$H_0: \mu_2 = \mu_6$ / $H_a: \mu_2 \neq \mu_6$	SIG.	SIG.	SIG.
$H_0: \mu_3 = \mu_4$ / $H_a: \mu_3 \neq \mu_4$	NO SIG.	NO SIG.	NO SIG.
$H_0: \mu_3 = \mu_5$ / $H_a: \mu_3 \neq \mu_5$	SIG.	SIG.	SIG.
$H_0: \mu_3 = \mu_6$ / $H_a: \mu_3 \neq \mu_6$	SIG.	SIG.	SIG.
$H_0: \mu_4 = \mu_5$ / $H_a: \mu_4 \neq \mu_5$	SIG.	SIG.	SIG.
$H_0: \mu_4 = \mu_6$ / $H_a: \mu_4 \neq \mu_6$	SIG.	SIG.	SIG.
$H_0: \mu_5 = \mu_6$ / $H_a: \mu_5 \neq \mu_6$	NO SIG.	NO SIG.	NO SIG.

a) Las siglas *SIG.* Representa que se encuentra una diferencia significativa entre los tratamientos. Las siglas *NO SIG.* Representa una diferencia no significativa.

Las pruebas que tiene una diferencia significativa indican que existe una diferencia entre los tratamientos; mientras que las que indican una diferencia no significativa indica que los módulos son similares. Las comparación entre los tratamientos 2, 3 y 4 con el tratamiento 1 indican que existe una diferencia entre el tratamiento realizado por el módulo 1. Esto no sucede con las comparaciones de los tratamientos 5 y 6 y el control; que indican que realizan el mismo tratamiento. De igual manera las comparaciones entre los tratamientos los tratamientos 2, 3 y 4 son similares; siendo diferentes los tratamientos 5 y 6, que son similares entre sí.

De ello inferimos que los tratamiento 2, 3 y 4 realizan un efectivo tratamiento de la turbidez, se evidencia que existe una disminución de los parámetros contaminantes. Se puede utilizar cualquiera de las tres mezclas de los tratamientos para que realicen el tratamiento. En cuanto se refiere a los tratamientos 5 y 6, al ser similares (no tener significancia) respecto al tratamiento de control indica que no existe un mayor tratamiento de las aguas contaminadas.

4.3. Comparación con un tratamiento de control o “blanco”

Una de las pruebas que se realizó fue la prueba de Dunnett para las comparaciones con un tratamiento de control o “blanco”; para este caso el tratamiento 1 es el control; para el procesamiento de esta prueba se utilizó el procesador estadístico MINITAB 17. En la tabla 51 se muestra el resultado de la prueba de Dunnett.

Tabla 51: Pruebas simultáneas de control de Dunnett.

Dif. de niveles	Dif. de las medias	Error Estándar Diferencia	IC (95%)		Valor T	Valor p ajustado
			Límite inferior	Límite superior		
2 – 1	-299,4	35,5	-388,7	-210,2	-8,43	0,000
3 – 1	-282,3	35,5	-371,6	-193,1	-7,95	0,000
4 – 1	-254,7	35,5	-344,0	-165,5	-7,17	0,000
5 – 1	-55,5	35,5	-144,8	33,7	-1,56	0,380
6 - 1	-58,5	35,5	-147,7	30,7	-1,65	0,331

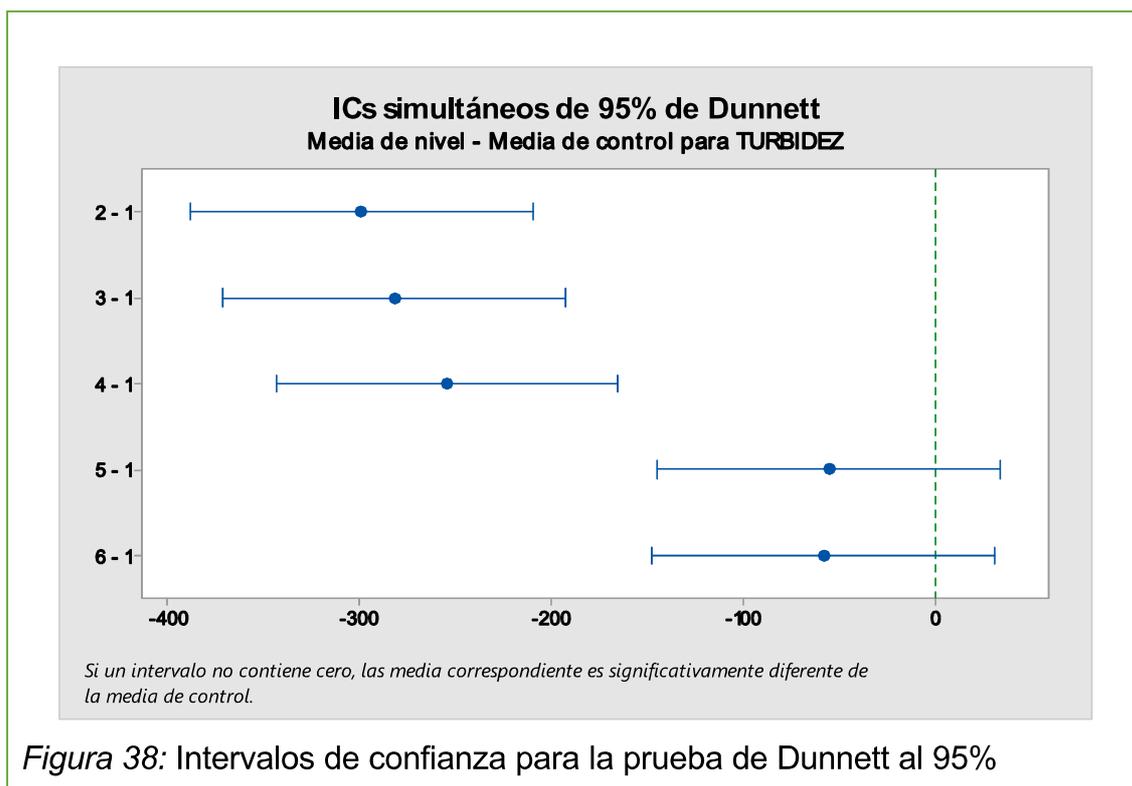
a) Nivel de confianza individual = 98,74%

De acuerdo al “valor p ajustado” indica que los tratamientos números 2, 3 y 4 son significativamente diferentes; lo que quiere decir que en comparación con el control, estos realizan un tratamiento. Sin embargo los tratamiento 5 y 6 no tienen una diferencia respecto al control.

Tabla 52: Agrupación de información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

Tratamiento	Número de datos	Media	Agrupación
1 (control)	44	436,2	A
5	44	380,6	A
6	44	377,7	A
4	44	181,4	
3	44	153,8	
2	44	136,73	

a) Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.



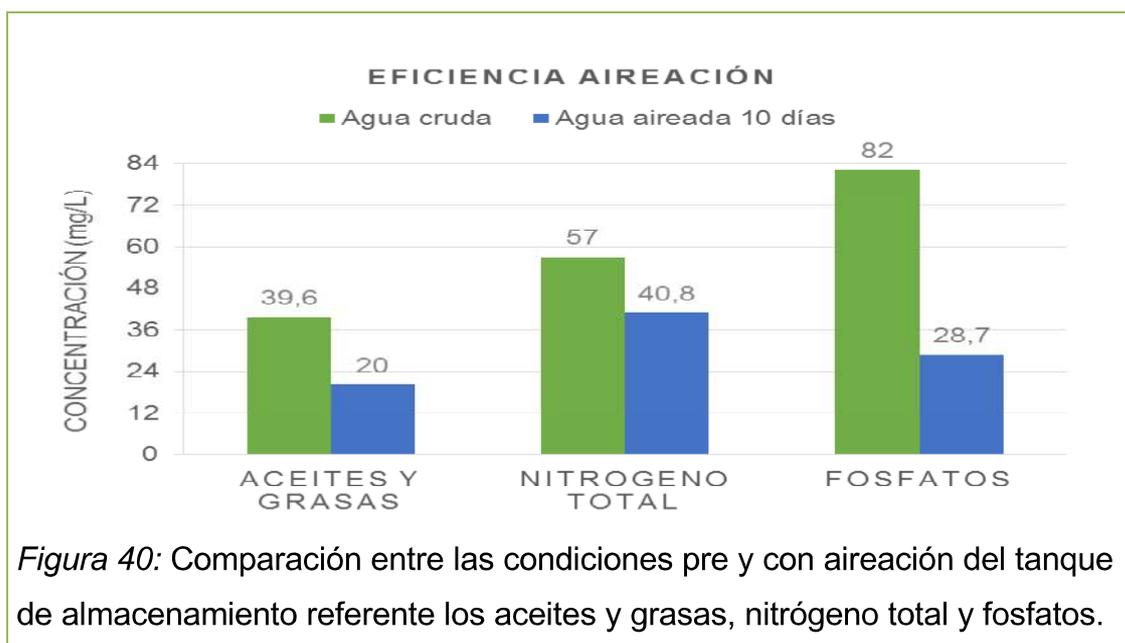
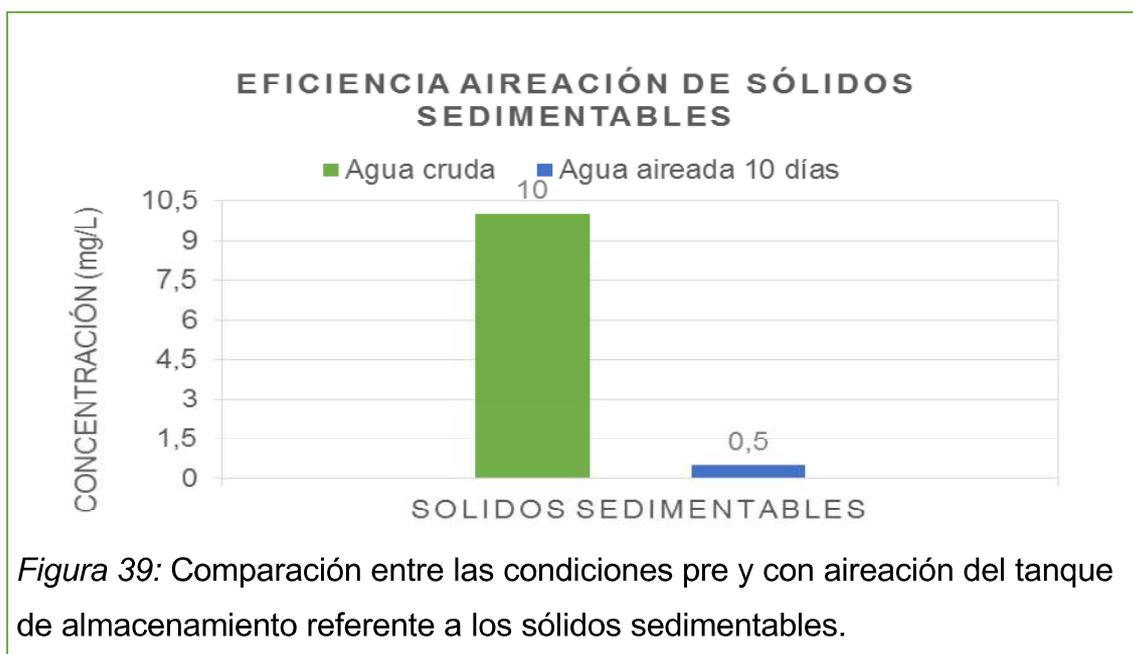
De las comparaciones ante un tratamiento de control los resultados de la prueba de Dunnett demuestran que los tratamientos 2, 3 y 4 son diferentes respecto al control. Esto quiere decir que en esos tratamientos se efectúa un mayor tratamiento, corroborando lo indicado en las comparaciones de rangos múltiples. Adicionalmente revela que, en contraste, con los tratamientos 5 y 6 no existe una diferencia con el tratamiento de control; los tres tratamientos (1, 5 y 6) realizan el mismo efecto, siendo este inferior a los otros tratamientos. La mezcla de los estratos en estos tratamientos no se recomienda para su utilización en el tratamiento de aguas

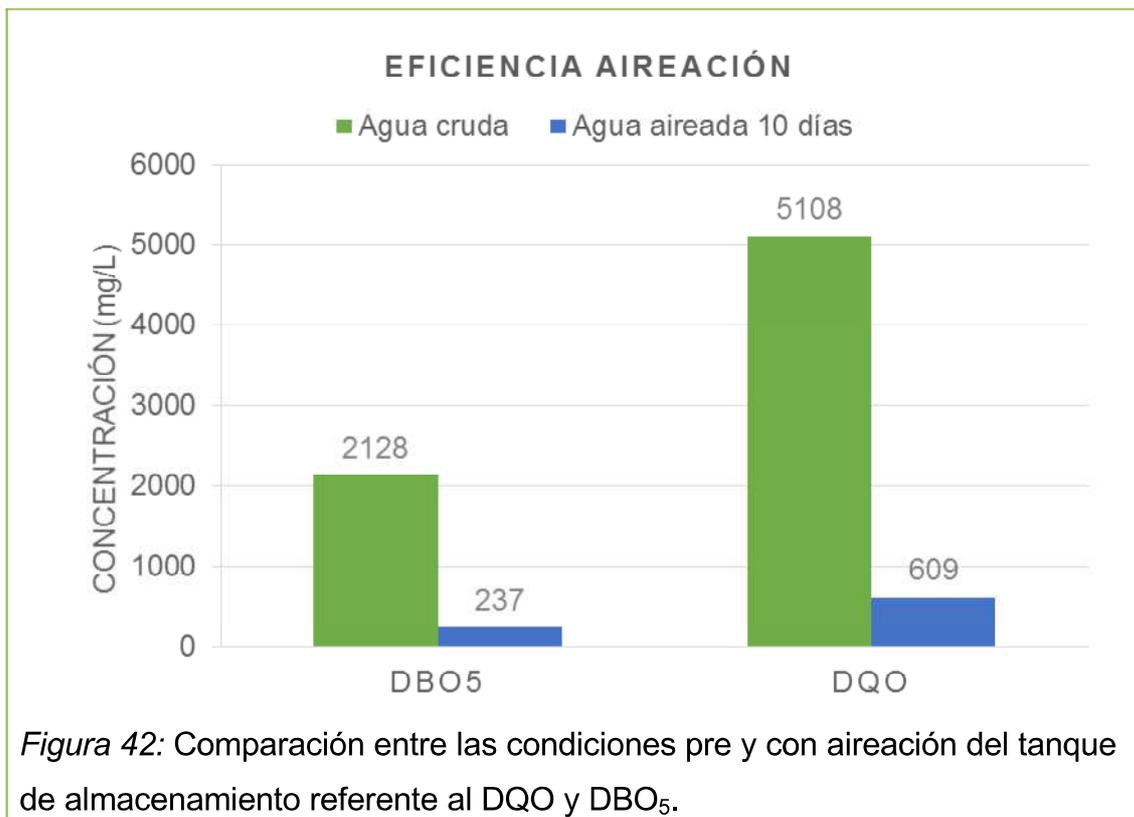
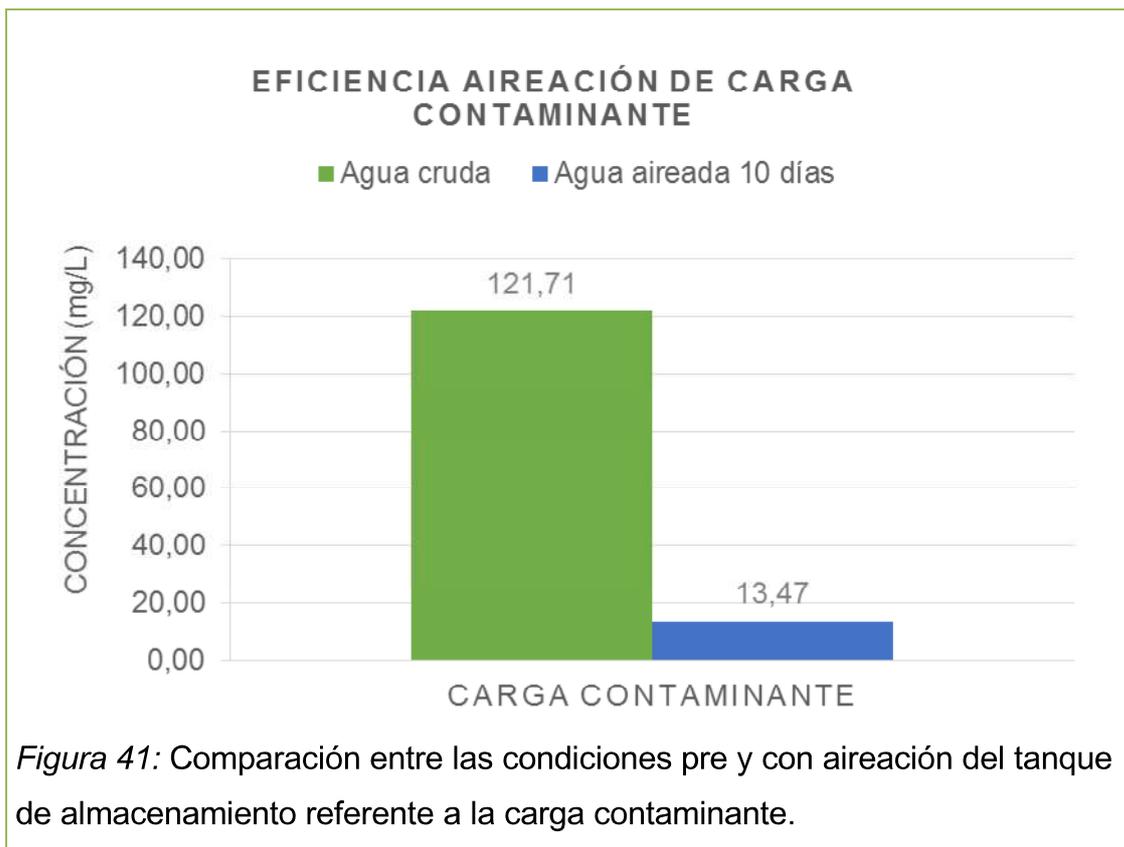
4.4. Comparación entre condiciones iniciales y finales

Las comparaciones entre las condiciones iniciales y finales de los parámetros se realizaron con el fin de determinar la eficiencia de cada tratamiento.

4.4.1. Eficiencia de la aireación

Se cuenta con dos monitoreos realizados a las condiciones que se encuentran dentro del tanque de almacenamiento. Una muestra las condiciones del agua cruda, mientras que el segundo indica las condiciones luego de 10 días de aireación (tabla 53). Con ello se puede comprobar la eficiencia de la remoción de contaminantes por parte de la aireación.





Para el cálculo de la eficiencia se utilizó la (ecuación 19). Donde muestra la relación respecto a condiciones iniciales y las compara con las finales. En la tabla 53 se encuentra las eficiencias de la aireación.

$$E = \frac{C_0 - C_f}{C_0} * 100 \quad \text{(Ecuación 19)}$$

Donde

E = Eficiencia de remoción

C₀ = Concentración inicial

C_f = Concentración final

Tabla 53: Eficiencia de la aireación sobre los tanques de almacenamiento

Parámetro	Eficiencia (%)
Aceites y Grasas	49,49
DBO₅	88,86
Parámetro	Eficiencia (%)
DQO	88,08
Fosfatos	65,00
Nitrógeno Total	28,42
Sólidos Sedimentables	95,00
Sólidos Suspendidos	90,86

Esto nos indica que, en términos globales, al emplear la aireación en los tanques de almacenamiento aumentará la eficiencia en los diferentes tratamientos que se aplican en cada módulo experimental.

4.4.2. Turbidez y Conductividad

De acuerdo al análisis de la turbidez (tabla 54, Tabla 55 y Tabla 56) y en cuanto se refiere a la diferencia entre estas condiciones, se tuvo un 35,9% de eficiencia de la aireación sobre el agua que ingresa al sistema. La diferencia entre las eficiencias entre las dos condiciones no es mayor al 10%, por lo que

se puede decir que indiferente de las condiciones de aireación la eficiencia del sistema de biofiltros es la misma. En el tratamiento de control ocurre una mayor eficiencia en un 17,8% de remoción en la condición sin aireación que con aireación. Esto puede deberse a que al momento de airear se alteró las condiciones del tamaño de partícula y del grado de solubilidad que tienen los sólidos; por este motivo, los sólidos en el tratamiento de la aireación se encuentran más disgregados y es difícil que queden atrapados dentro del lecho de roca. Otro factor que puede influir es el diámetro de las rocas que conforman el lecho filtrante que facilitan el paso de estos sólidos disgregados.

Tabla 54: Eficiencia de remoción de turbidez en condiciones previa a la aireación.

Tratamiento	Condiciones iniciales sin aireación (mg/L)	Condiciones finales sin aireación (mg/L)	Eficiencia (%)
1	2259,17	363,53	83,91
2	2259,17	183,44	91,88
3	2259,17	224,89	90,05
4	2259,17	237,16	89,50
5	2259,17	388,02	82,82
6	2259,17	384,04	83,00

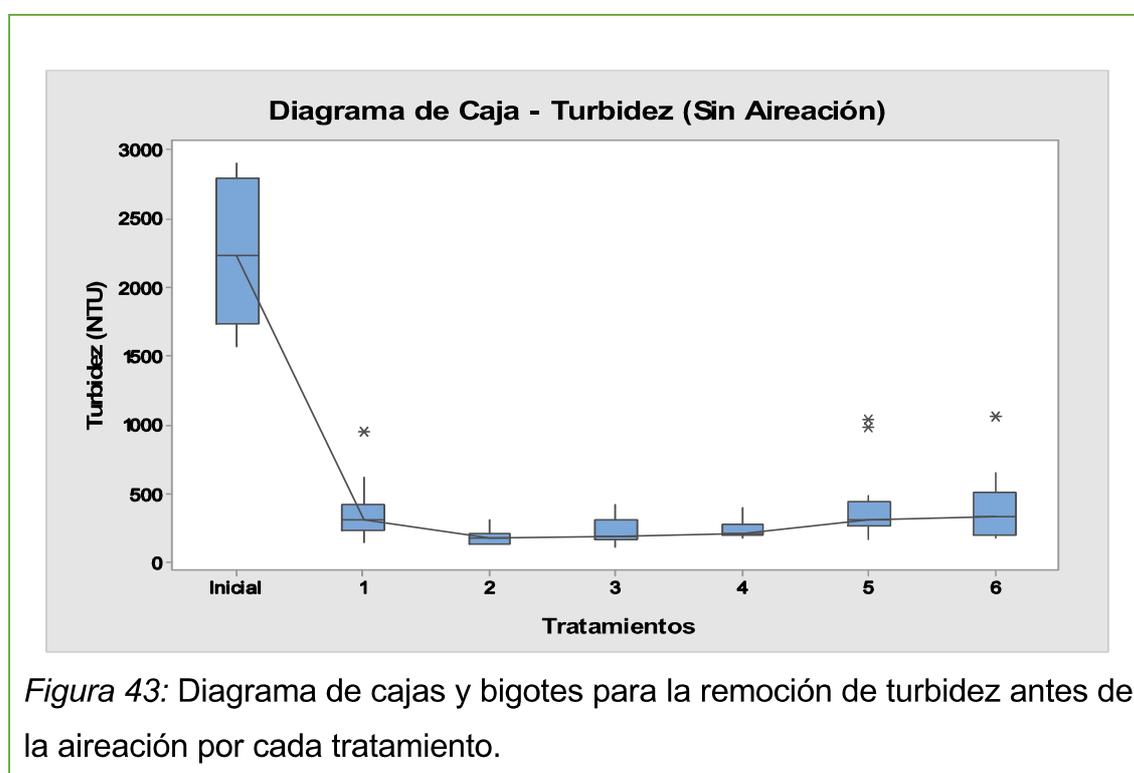
Tabla 55: Eficiencia de remoción de turbidez en condiciones posteriores a la aireación.

Tratamiento	Condiciones inicial con aireación (mg/L)	Condiciones finales con aireación (mg/L)	Eficiencia (%)
1	1448,70	491,34	66,08
2	1448,70	101,23	93,01
3	1448,70	99,79	93,11
4	1448,70	139,07	90,40
5	1448,70	374,97	74,12
6	1448,70	372,80	74,27

Tabla 56: Diferencia entre las eficiencias de la remoción de turbidez de la etapa pre y con aireación.

Tratamiento	Diferencia entre eficiencias (%)
1	17,83
2	1,13
3	3,07
4	0,90
5	8,71
6	8,73

En las figura 43 y figura 44 se presentan los diagramas de cajas y bigotes en donde se puede apreciar la comparación de los tratamientos frente al parámetro de turbidez respecto a cada módulo experimental y a la fase pre y con aireación. El análisis de estas figuras indica una clara remoción de contaminante respecto a los parámetros iniciales. Las menores remociones se presentan en el tratamiento de control, el cual presenta una eficiencia entre el 66,1% y el 83,9% señalando que los estratos de rocas presentan una remoción de más de la mitad de los sólidos que se encuentran en el agua.



Se presenta una gran remoción de la turbidez en el módulo de control, la tendencia es disminuir la turbidez en los tratamientos 2, 3 y 4; sin embargo, posterior al tratamiento 4 la tendencia es aumentar el valor de turbidez. Los módulos 5 y 6 no presentan diferencia alguna con el módulo de control. Se sugiere que en los tratamientos 5 y 6 no se realiza un buen trabajo de filtración ya que no cuentan con el tiempo de retención hidráulico suficiente y los materiales utilizados no capturan las partículas sólidas del agua.

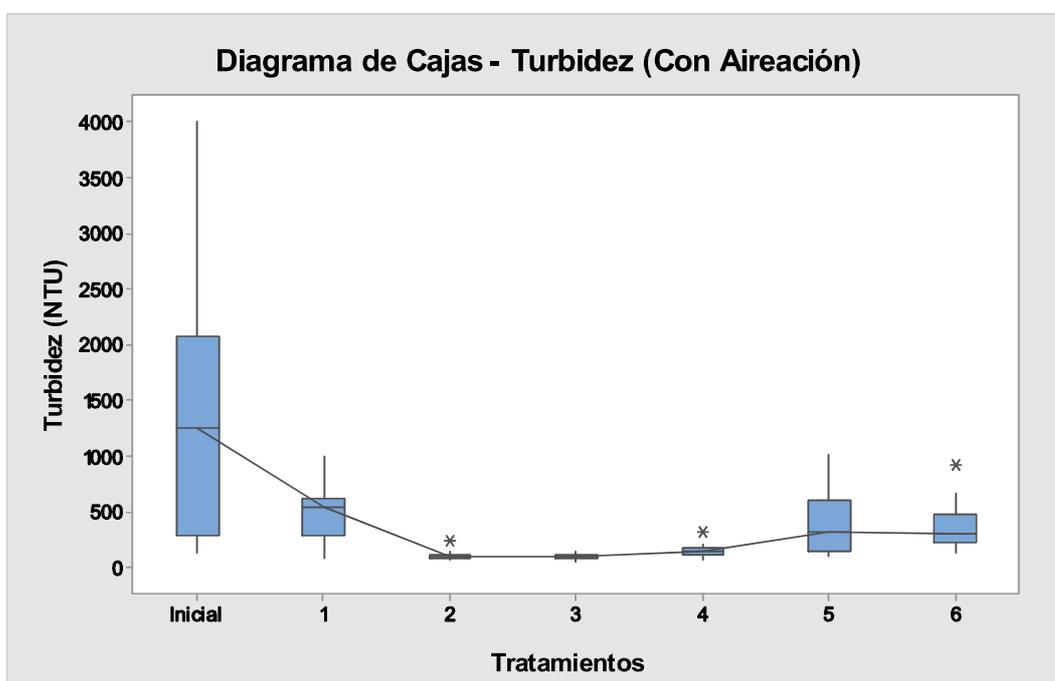
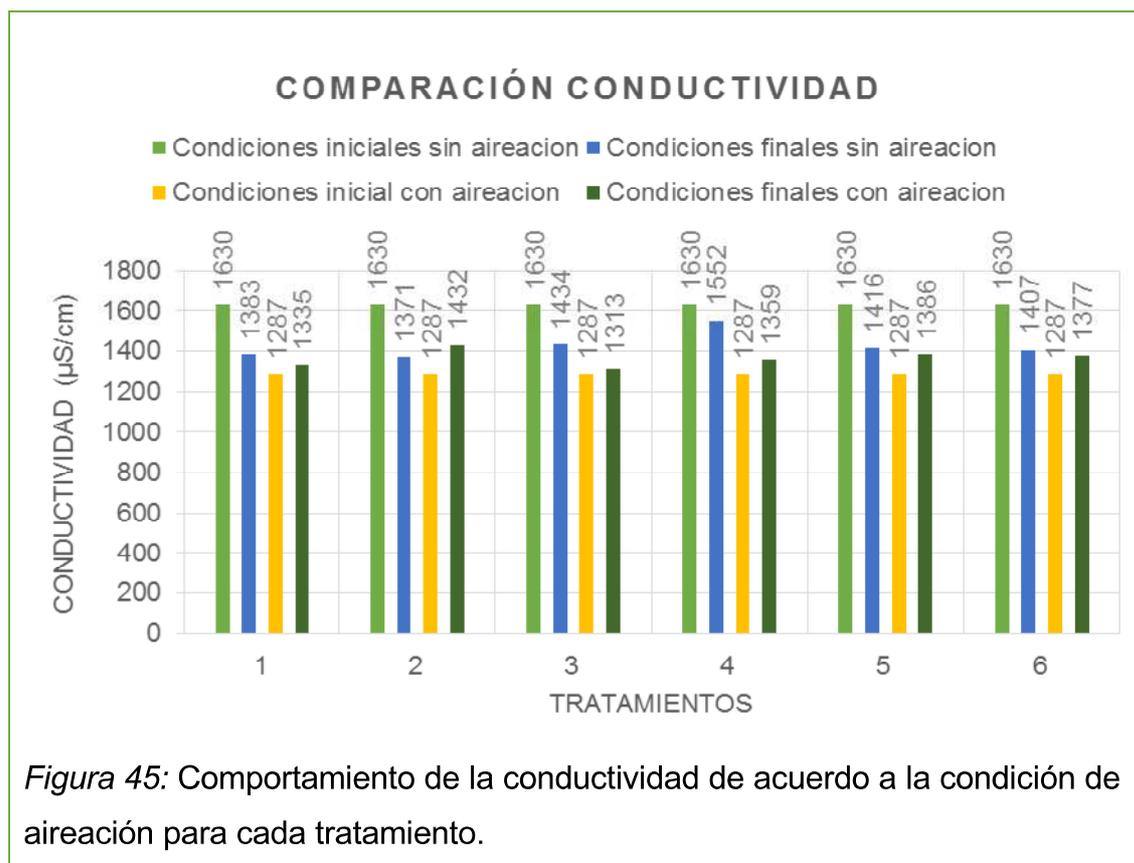


Figura 44: Diagrama de cajas y bigotes para la remoción de turbidez después de la aireación por cada tratamiento.

Las mayores eficiencias de los tratamientos lo presentan los módulos 2 y 3; los cuales presentan un tratamiento entre el 90% y el 93% de remoción de turbidez. El tratamiento 4 presenta una leve disminución de eficiencia situándose entre el 89% y 90% de remoción de turbidez. Esto se debe a que el tratamiento 4 al no tener lombrices se colmata y su tiempo de retención hidráulico aumenta, haciendo más lento el paso del agua, su estrato podría estar saturado de partículas sólidas por lo que no captura más sólidos, estos son lavados e interfiere con la eficiencia de la remoción de turbidez.



En cuanto se refiere a la conductividad la diferencia entre la etapa sin aireación y la etapa con aireación no es representativa; la diferencia es de 21 % menos conductividad en las condiciones aireadas, lo que significa $342,3 \mu\text{S}/\text{cm}$. Esto indica que la aireación no es un buen tratamiento para la remoción de conductividad de estas aguas contaminadas.

Tabla 57: Eficiencia de la remoción de conductividad para cada tratamiento.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Condiciones iniciales (SA)	1630	1630	1630	1630	1630	1630
Condiciones finales (SA)	1383	1371	1434	1552	1416	1407
Eficiencia (%)	15,15	15,87	11,99	4,78	13,12	13,67
Condiciones inicial (CA)	1287	1287	1287	1287	1287	1287
Condiciones finales (CA)	1335	1432	1313	1359	1386	1377
Eficiencia (%)	0	0	0	0	0	0

a) Las unidades de las condiciones iniciales y finales son mg/L . Las siglas SA significa Sin Aireación; mientras que las siglas CA significa Con Aireación.

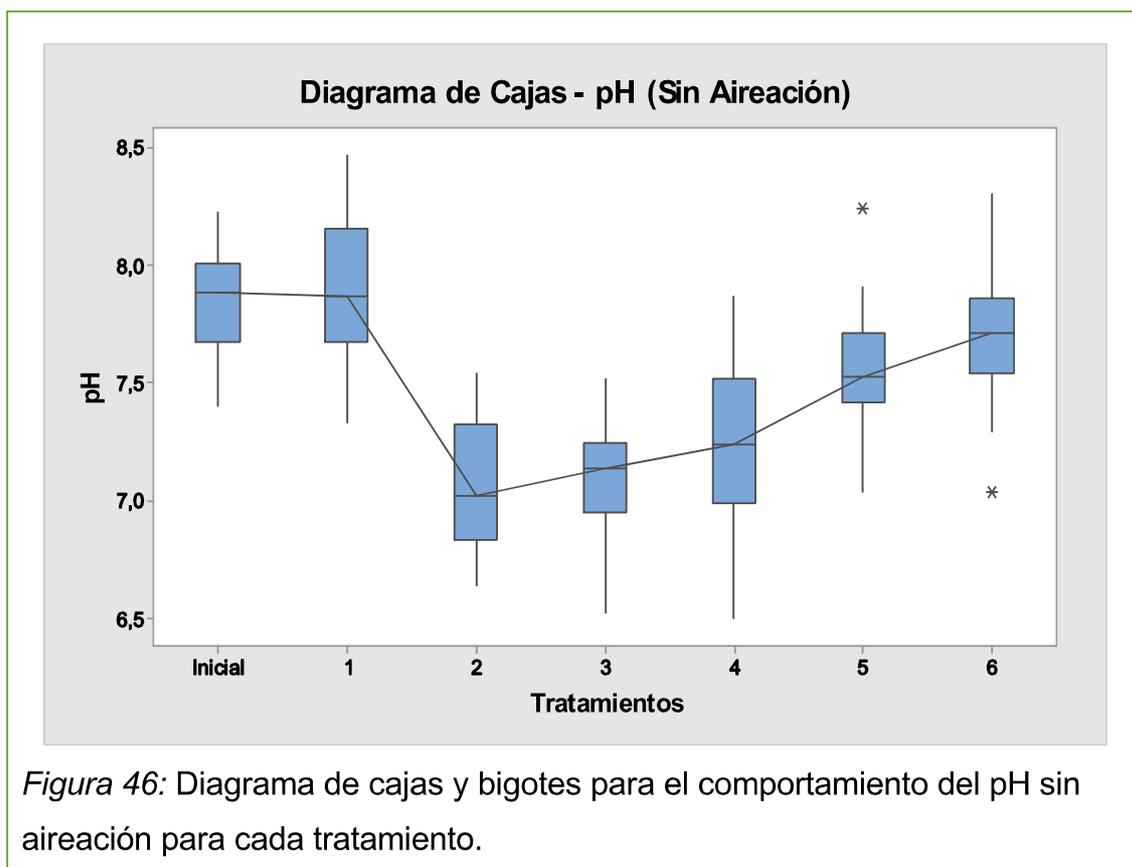
Los módulos experimentales respondieron de manera singular al tratamiento de la conductividad, manteniéndose estables entre 1312 y 1551 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En las condiciones sin aireación los módulos presentaron una eficiencia de tratamiento entre el 4% y el 15%, siendo el tratamiento 4 el menos eficiente y los tratamientos 1 y 2 más eficientes.

En las condiciones con aireación no se presenta eficiencia debido a que los valores resultantes del tratamiento son mayores a la línea base. Estos valores se encuentran entre el 1% y el 10%. Esto puede deberse a que los diferentes módulos de tratamiento mantienen un equilibrio en el nivel de minerales, por ello los valores de conductividad se mantienen estables dentro de un rango y no toma en cuenta las condiciones de pre y con aireación.

Cabe señalar que el análisis ANOVA para la conductividad arrojó resultados que indican que no se realiza un real tratamiento de la conductividad; es decir, los diferentes módulos, sin importar la estratificación, no son buenos sistemas para remover la conductividad.

4.4.3. Temperatura y pH

Estos parámetros son considerados condiciones de operación del sistema; sin embargo, por la ubicación geográfica, los resultados de estos parámetros corresponden a valores cercanos al tiempo y clima de la zona.



En cuanto se refiere al tratamiento sin aireación (figura 46) el pH inicial es ligeramente alcalino. Los tratamientos se encargan de estabilizar los pH y acercarlos al pH óptimo de desarrollo de las lombrices (entre 7 y 8) (Cajas, 2009). Los tratamientos 2, 3 y 4 son los que más se dicho valor; mientras que el tratamiento 5 y 6 no presentan una mayor diferencia respecto al módulo de control y la línea base. Esto puede deberse al tiempo de residencia que ayuda a que los microorganismos y las lombrices desempeñen su función y estabilicen el pH.

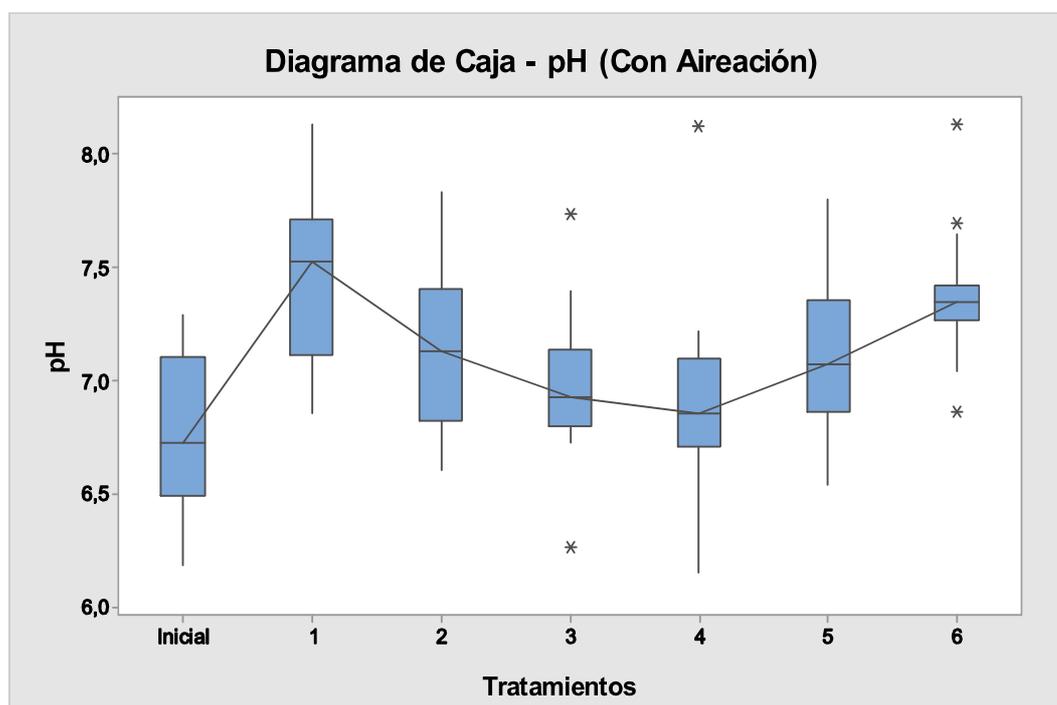
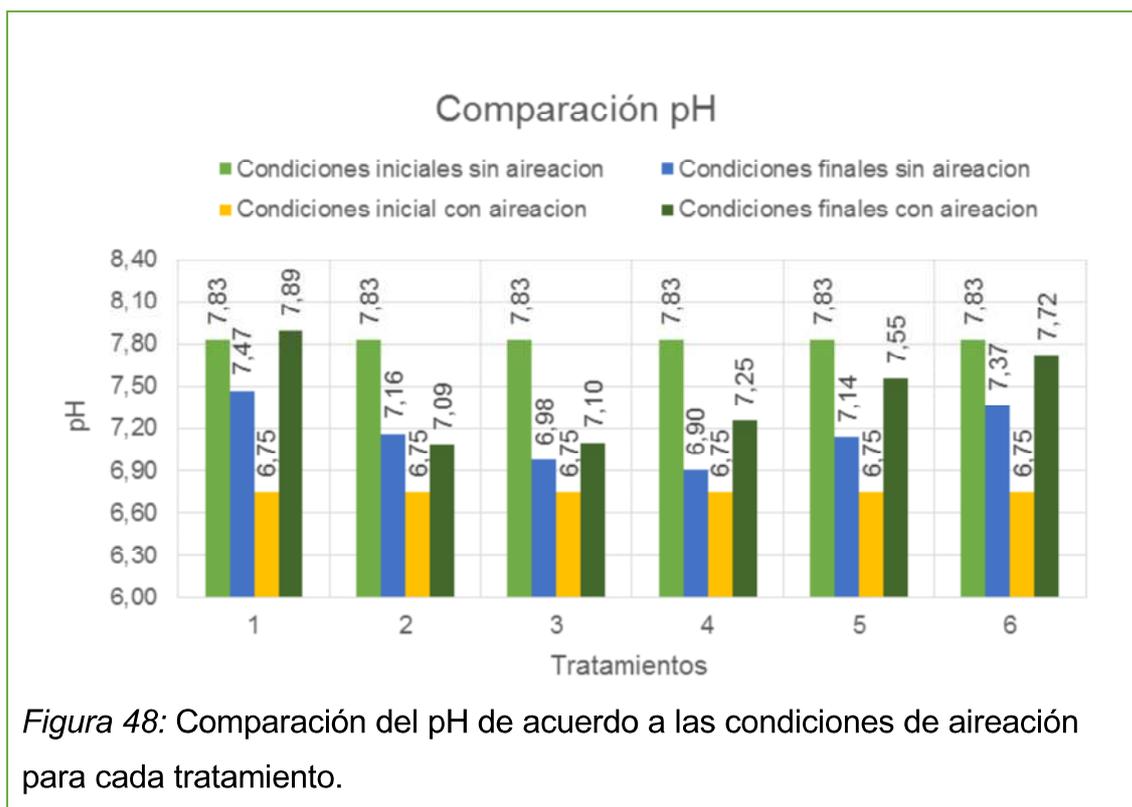


Figura 47: Diagrama de cajas y bigotes para el comportamiento del pH con aireación para cada tratamiento.

De acuerdo a la figura 47, el comportamiento del pH después de la aireación es de acercarse más a la neutralidad (pH igual a 7), la línea base revela un pH promedio de 6,8 ligeramente ácido respecto a la neutralidad; sin embargo, durante el tratamiento, debido a la actividad microbiana y de las lombrices, este pH se estabiliza acercándose a pH igual a 7. Esto ocurre en los tratamientos 2 y 3 que tienen un pH de 7,1.



En la figura 48 se encuentra que los tratamientos 2 y 3, a pesar de las condiciones de aireación, sus valores se acercan más al pH óptimo. Esto puede deberse a que la estratificación influye en la estabilización del pH, actúa de manera que regula el pH en línea sin necesidad de bombas dosificadoras. Otro aspecto que puede afectar el pH es la liberación de mineras de las piedras de río y/o la piedra pómez; así como el lavado de materia orgánica que se puede producir por la actividad de las lombrices.

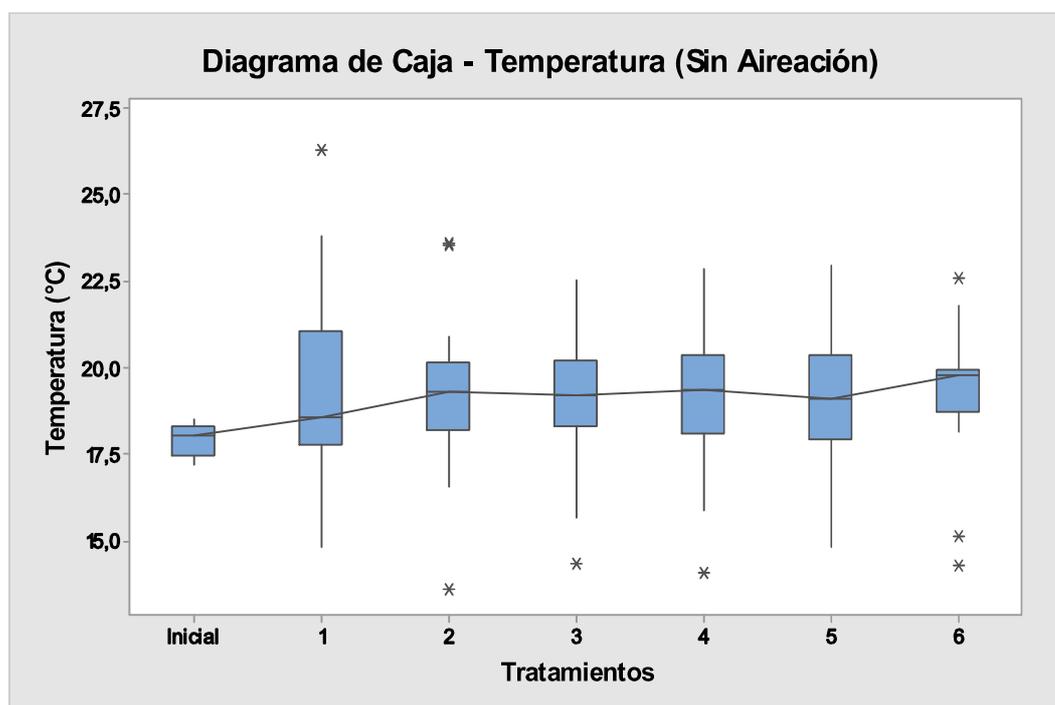


Figura 49: Comportamiento de la temperatura en la etapa de sin aireación para cada tratamiento.

En cuanto se refiere a la temperatura, según Durán y Henríquez (2009), se busca que la misma se encuentre entre los rangos óptimos de desarrollo de las lombrices; es decir, entre los 15°C hasta los 25°C. En el tratamiento sin aireación (figura 49) la temperatura de ingreso al sistema se encuentra dentro de dicho rango; sin embargo, durante el paso del agua residual a través de los estratos filtrantes la temperatura se eleva, esto es debido a la actividad microbiana presente que, por efecto de su actividad biológica, requieren de temperaturas más altas y por ende aumenta la temperatura de agua del efluente. Esto ayuda al desarrollo de las lombrices que al tener una mayor temperatura pueden cumplir con su ciclo biológico de mejor manera.

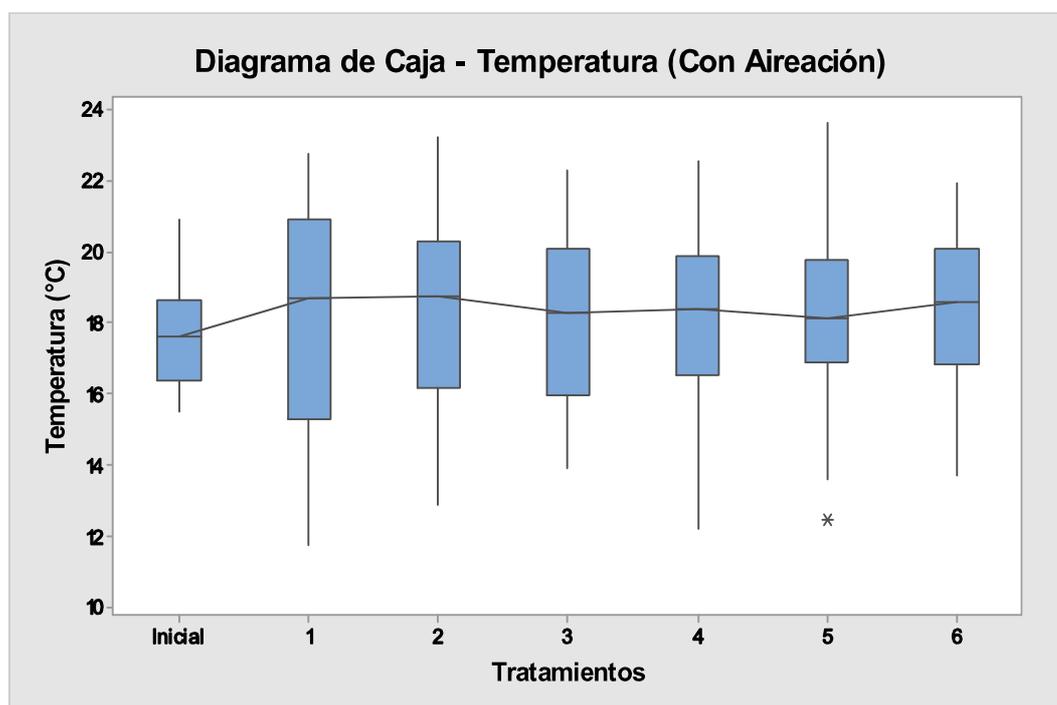
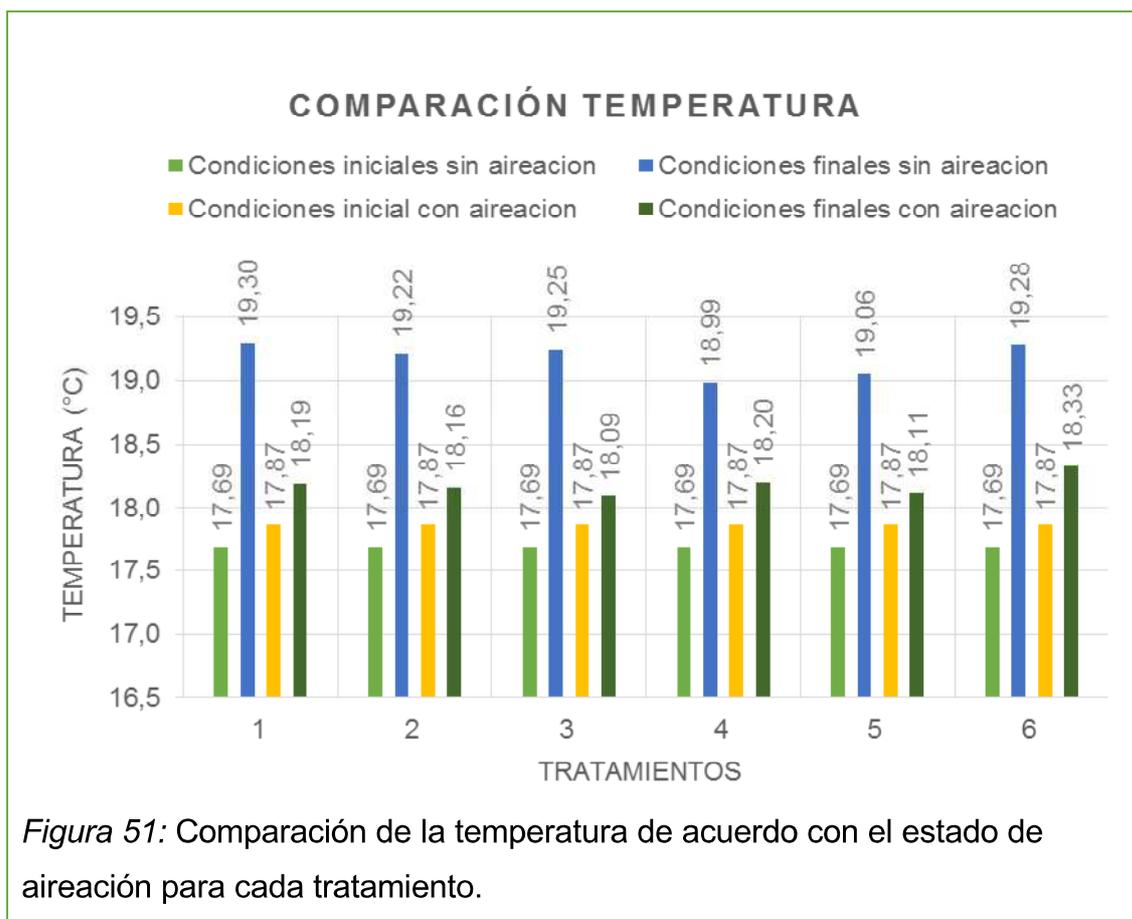


Figura 50: Comportamiento de la temperatura en la etapa de post aireación para cada tratamiento

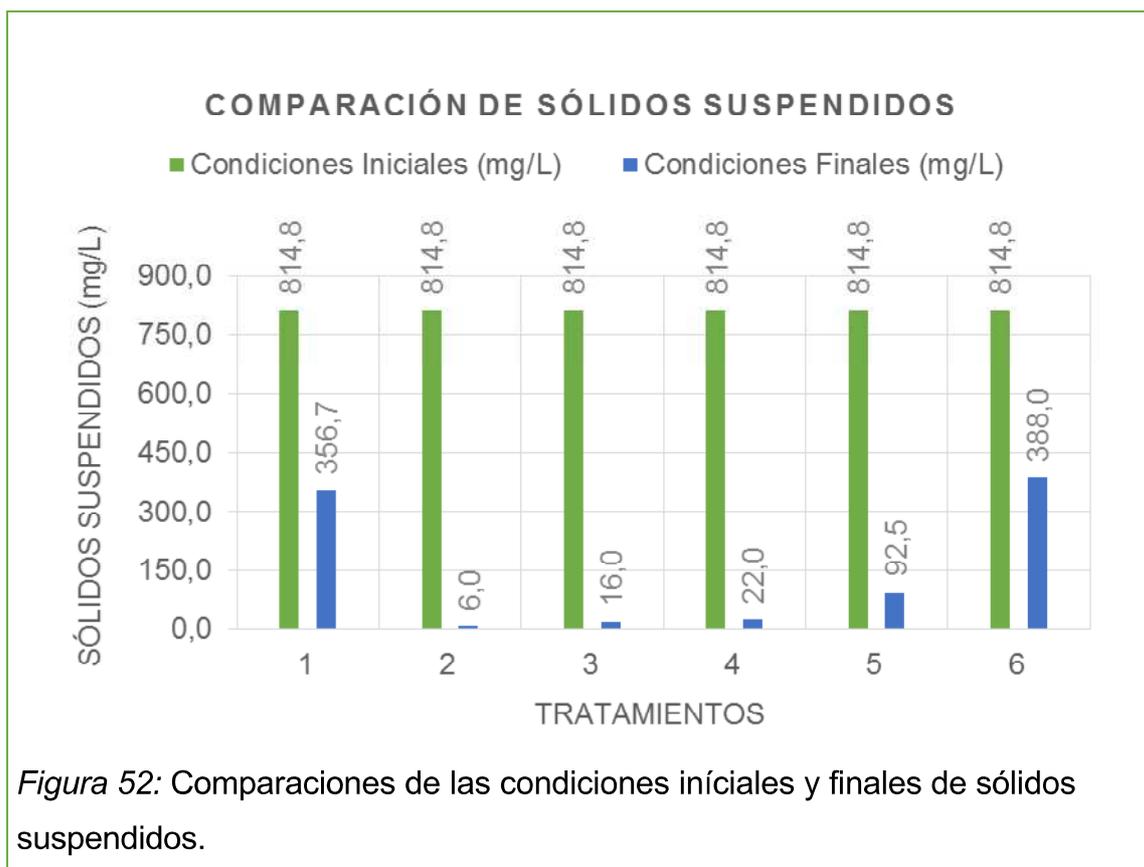
En la etapa después de la aireación, los valores de entrada de temperatura son similares a los valores de la etapa de sin aireación; sin embargo, el aumento de temperatura fue menor, por lo que en la figura 50 se puede ver una línea de tendencia estable que fluctúa entre los 17°C y los 18°C.



Las temperaturas iniciales en ambas etapas difieren en un rango de $\pm 0,2$ °C esto indica que la aireación no tiene un efecto sobre la temperatura de ingreso al sistema de tratamiento. En cuanto se refiere a las condiciones sin aireación las temperaturas se sitúan en los 19°C, mientras que en las condiciones de aireación se encuentran en los 18°C. A pesar de estas diferencias, el agua residual, se encuentra dentro del rango óptimo para el desarrollo de las lombrices y de microorganismos; esto, garantiza que los diferentes organismos degradadores puedan cumplir con sus actividades metabólicas y puedan remover contaminantes (principalmente orgánicos) del agua.

4.4.4. Sólidos Suspendidos

En cuanto se refiere a los sólidos suspendidos se tiene una concentración de sólidos iniciales con promedios del agua de entrada que se encontraba en los tanques de almacenamiento obteniendo un valor de 876,6 mg/L.



De acuerdo a la figura 52 la remoción de los sólidos suspendidos en el módulo de control y el módulo 6 es similar; en comparación en el tratamiento 5 (contiene lombrices) reduce los sólidos sedimentables, demostrando que las lombrices capturan los sólidos suspendidos para su actividad metabólica. Las lombrices son necesarias para la remoción de este parámetro contaminante.

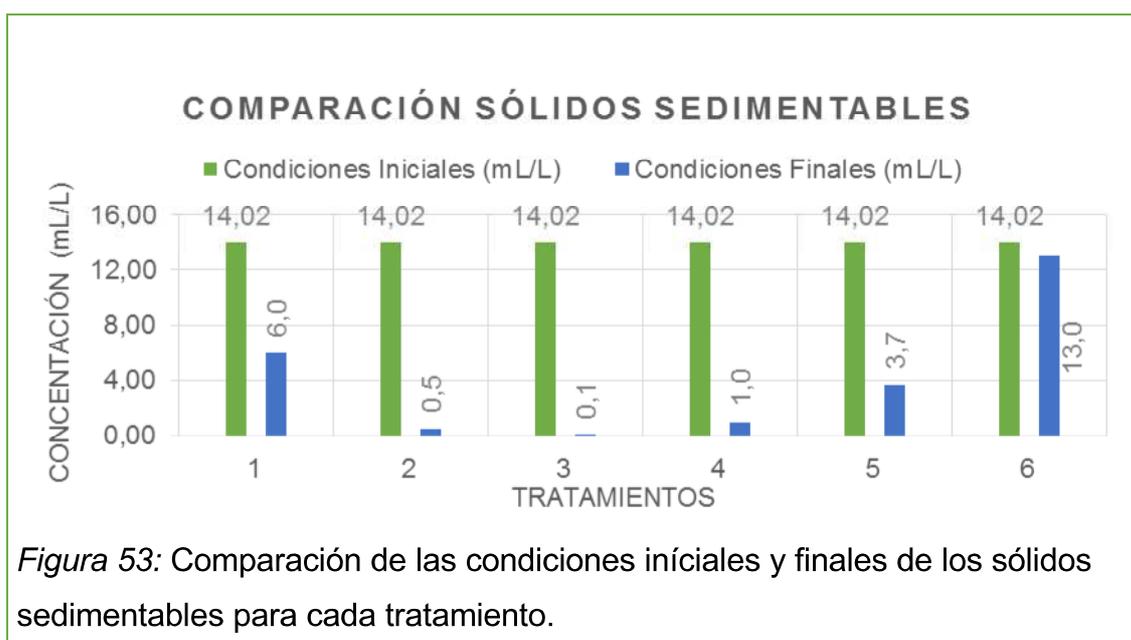
Tabla 58: Eficiencia de la remoción de sólidos totales por cada tratamiento.

Tratamiento	Eficiencia (%)
1	59,31
2	99,32
3	98,17
4	97,49
5	89,45
6	55,74

Las eficiencias más altas se encuentran en los tratamientos 2, 3 y 4. Comparativamente entre los tratamientos 3 y 4 se observa que es más eficiente el tratamiento 3, lo que indica, una vez más, que las lombrices ayudan a aumentar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales. Al ser las lombrices las que actúan para la remoción de los sólidos suspendidos no interviene mayormente el cambio de estratificación de piedra bola a piedra pómez.

4.4.5. Sólidos Sedimentables

En cuanto se refiere a los sólidos sedimentables (figura 53) el tratamiento número 6 no realiza ningún efecto teniendo un valor cercano a la línea base. Se demuestra que el tratamiento de control y el tratamiento número 5 poseen un cierto tratamiento; los módulos que cuentan con mayor remoción son los 2,3 y 4. Sugiriendo que los estratos filtrantes retienen este tipos de sólidos debido al tamaño de partícula del aserrín; por otro lado los tratamientos que no cuentan con un tiempo de retención hidráulico extenso las partículas sedimentables percolan y no son retenidas, en gran medida, por los estratos filtrantes.



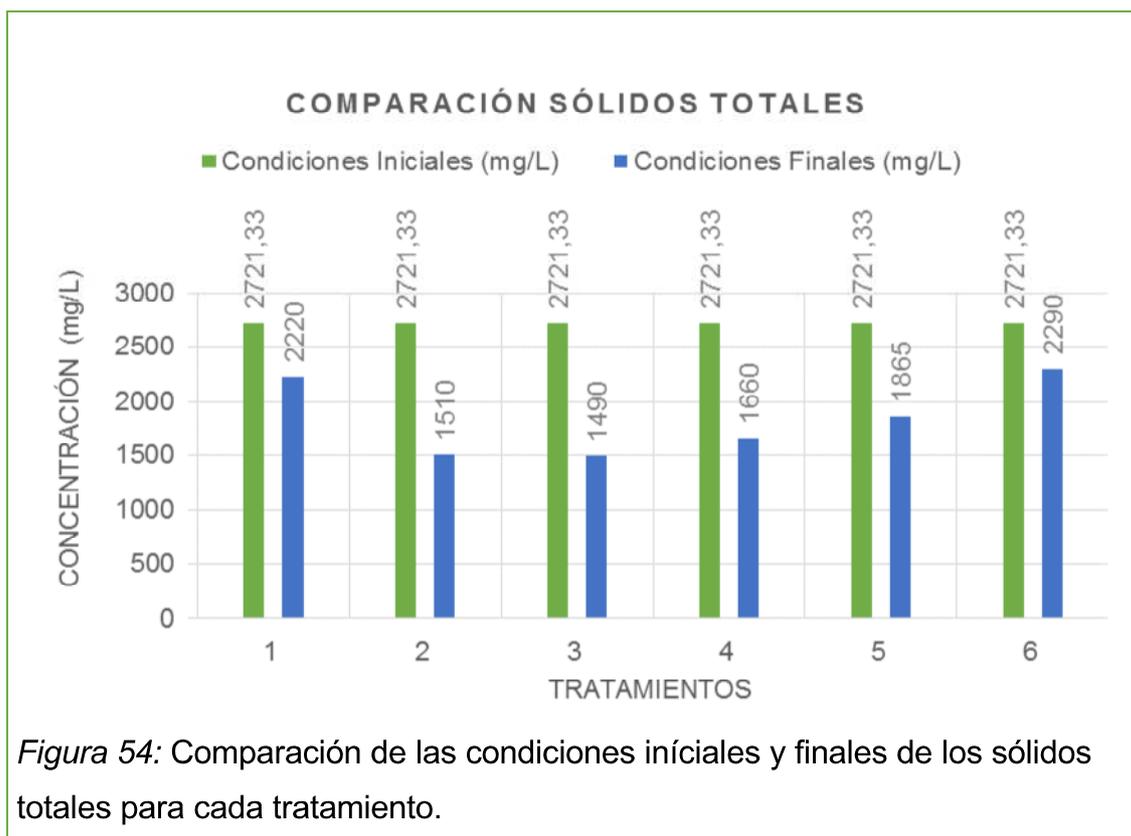
El tratamiento más eficiente es el número 3 teniendo una eficiencia del 99,3% en comparación con el tratamiento 2 con una eficiencia del 96,4%, los tratamientos más eficientes para la remoción de este parámetro. Se sugiere que al ser la piedra pómez la única variante entre los dos tratamientos, ésta retiene de mejor manera los sólidos sedimentables debido a su mayor nivel de porosidad. A pesar de que el tratamiento número 4 no contiene lombrices obtiene una eficiencia del 92,9%. Al no contar con lombrices y al colmatarse el tratamiento aumenta la capacidad de sedimentación en la parte superficial de los estratos, evitando que estos sólidos atraviesen a los otros estratos filtrantes.

Tabla 59: Eficiencia de remoción de sólidos sedimentables.

Tratamiento	Eficiencia (%)
1	57,21
2	96,43
3	99,29
4	92,87
5	73,62
6	7,30

4.4.6. Sólidos Totales

En cuanto se refiere a los sólidos totales (figura 54) se puede apreciar que el tratamiento del módulo 1 y el tratamiento 6 son similares; es decir, ambos realizan el mismo trabajo de remoción. En el módulo número 5 se ve un mayor tratamiento de los sólidos totales. Esto indica que las hojas de eucalipto por sí solas no realizan un tratamiento eficiente de este contaminante; sin embargo al ocupar las lombrices dentro de las hojas de eucalipto como estrato soportante la eficiencia aumenta. Los tratamientos 2 y 3 cuentan con la mayor remoción de contaminante obteniendo valores de 1510 mg/L y 1490 mg/L, respectivamente.



El tratamiento número 3 es el más eficiente (45,3%) llegando a remover cerca de la mitad de los sólidos totales que se encuentran en el agua. Le sigue el tratamiento 2 con una eficiencia del 44,5% de remoción. En la tabla 60 se observa que las eficiencias entre el tratamiento de control y el tratamiento 6 no difieren en gran medida ($\pm 3\%$). El tratamiento 5 cuenta con una mayor eficiencia debido a la actividad de las lombrices que se encuentran entre las hojas de eucalipto.

Tabla 60: Eficiencia de la remoción de sólidos totales para cada tratamiento.

Tratamiento	Eficiencia (%)
1	18,42
2	44,51
3	45,25
4	39,00
5	31,47
6	15,85

4.4.7. Fracción fija y volátil de los sólidos totales

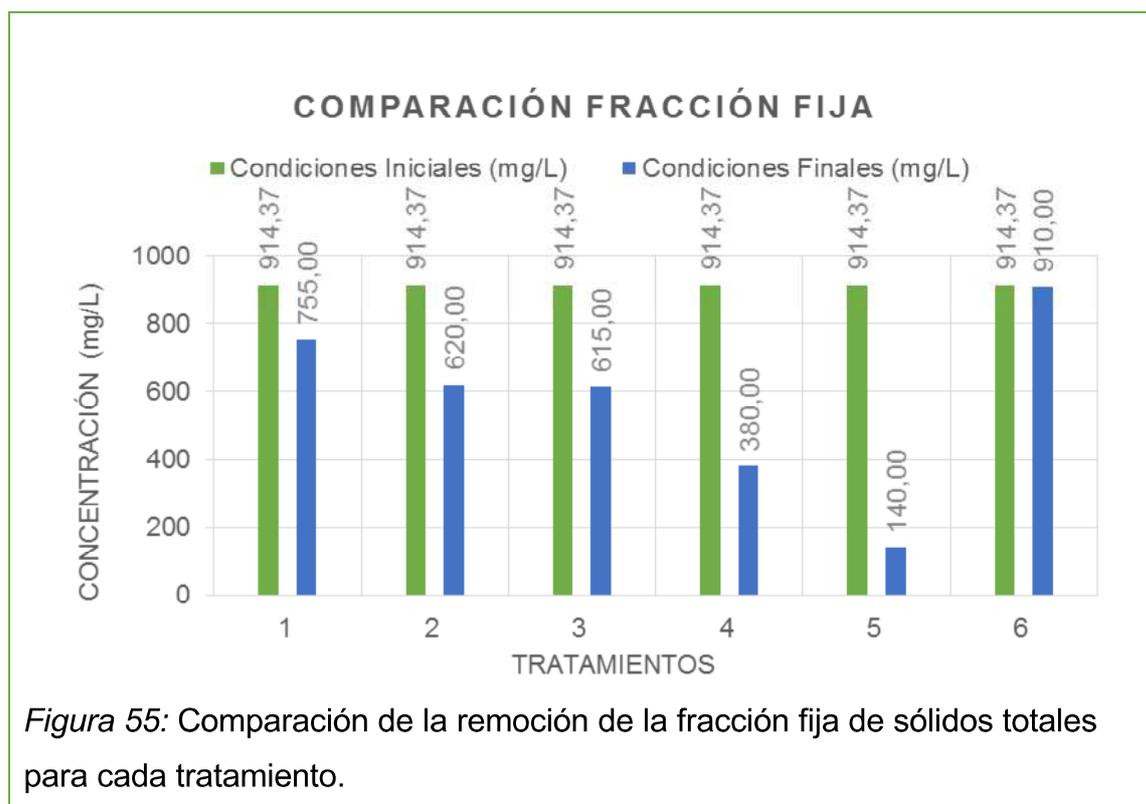
Los sólidos totales se pueden descomponer en sus fracciones fijas y volátiles, representando por aquellos sólidos que quedan luego de calcinación y los sólidos que pueden vaporizar y ser enviados a la atmósfera. En la tabla 61 se encuentran los porcentajes de sólidos fijos y volátiles de acuerdo a la concentración de sólidos totales; en la misma, se identifica que la composición es mayormente de sólidos volátiles entre el 60% al 92% de sólidos. Mientras que los sólidos fijos se encuentran entre el 7% y el 41%. La baja concentración de sólidos fijos indican la cantidad de sólidos que aún quedarán dentro del agua pese al tratamiento; el aumento de sólidos volátiles puede deberse al efecto de la aireación.

Tabla 61: Composición de la fracción fija y volátil respecto a los sólidos totales.

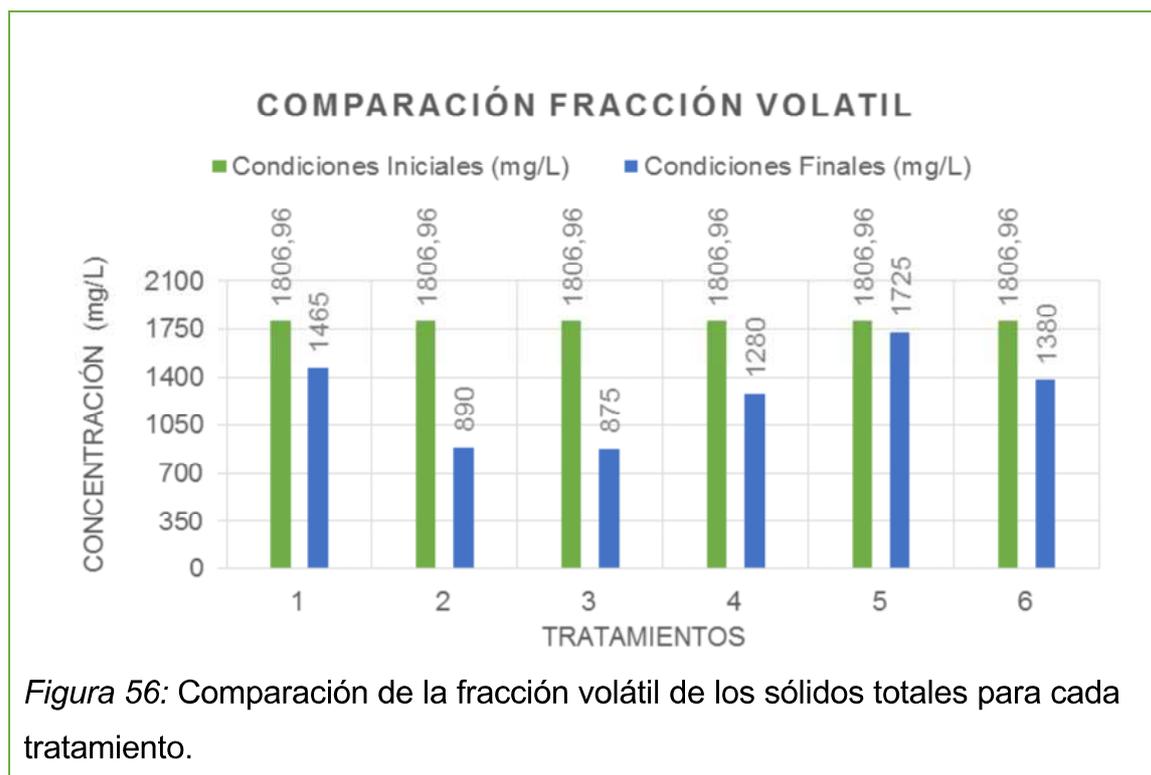
Tratamiento	Sólidos Totales (mg/L)	Porcentaje sólidos fijos (%)	Porcentaje sólidos volátiles (%)
Inicial	2721,33	33,60	66,40
1	2220,00	34,01	65,99
2	1510,00	41,06	58,94
3	1490,00	41,28	58,72
4	1660,00	22,89	77,11
5	1865,00	7,51	92,49
6	2290,00	39,74	60,26

En cuanto se refiere a las comparaciones (figura 55) de la fracción fija. En el tratamiento de control presenta una ligera remoción de estos contaminantes que pueden quedarse atrapados entre los espacios generados de la piedra grava, piedra bola o en el fondo del tanque. El tratamiento 2 y 3 poseen una concentración similar demostrando que el tratamiento 3 es igual y ligeramente más eficiente que el tratamiento 2. El módulo 4 presenta una mayor remoción de los sólidos fijos; esto puede deberse, como se ha mencionado anteriormente, que la colmatación del sistema hace que estos sólidos se queden en la superficie del estrato filtrante reteniéndolo. En cuanto se refiere al tratamiento

número 5 presenta la menor concentración de sólidos fijos; se sugiere que este fenómeno sea por la actividad de las lombrices; estas retienen la mayor cantidad de materia posible para unirla al sustrato soportante inicial el cual consiste en un poco de tierra y humos dentro de las hojas de eucalipto. Finalmente el tratamiento número 6 no presenta ningún efecto sobre la fracción fija que ingresa; esto puede deberse a que las hojas de eucalipto impiden que se retengan estos sólidos.



El comportamiento de la fracción volátil (figura 56) se vuelve inversa respecto a la fracción fija. Esto quiere decir, por ejemplo, que en el tratamiento número 5 se presenta una alta remoción de la fracción fija, el tratamiento no logra remover la fracción volátil. Los tratamientos 2 y 3 presentan una remoción cerca del 50% para cada fracción lo que hace que sea la mejor elección debido a que remueve ambos parámetros por igual evitando tratamientos posteriores. El resto de los tratamientos no presentan una remoción representativa de la fracción volátil.



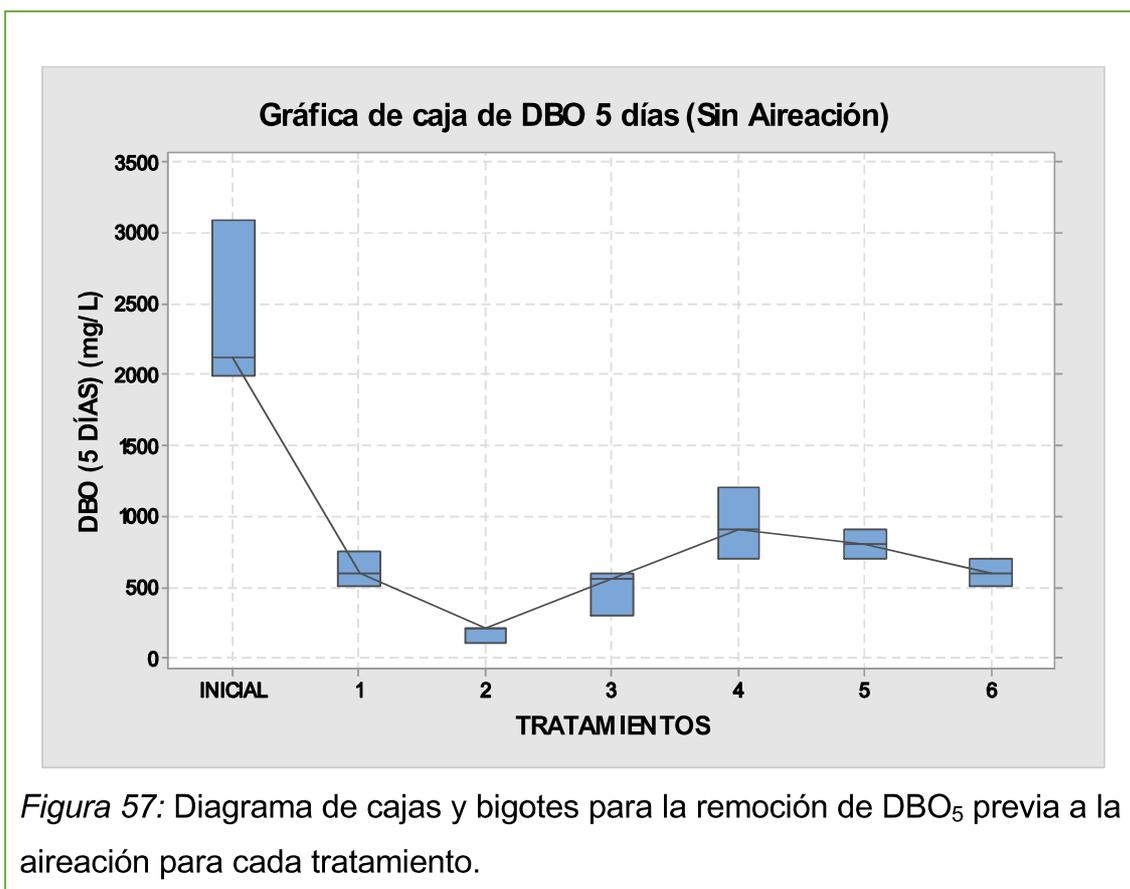
Se presentan en detalle los porcentajes de la eficiencia de la remoción de cada fracción para cada tratamiento. Para la fracción fija el tratamiento más eficiente es el número 5 teniendo un 84,7% de eficiente frente al 0,5% del tratamiento número 6 el cual no realiza ningún efecto. El tratamiento 3 es el más eficiente para la remoción de la fracción volátil (51,6%) mientras que el tratamiento 5 no realiza ningún efecto sobre la fracción volátil.

Tabla 62: Eficiencia de remoción de la fracción fija y volátil de los sólidos totales.

Tratamiento	Eficiencia (%)	
	Fracción Fija	Fracción Volátil
1	17,43	18,92
2	32,19	50,75
3	32,74	51,58
4	58,44	29,16
5	84,69	4,54
6	0,48	23,63

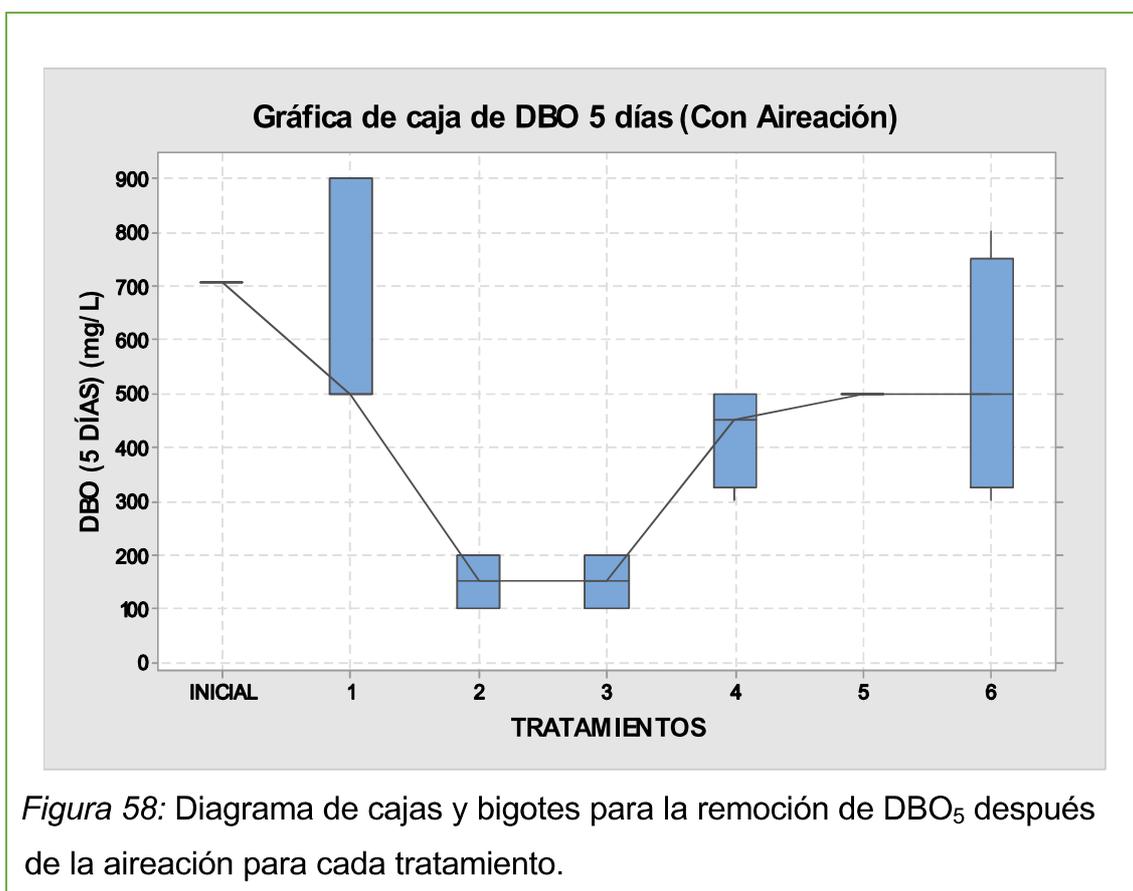
4.4.8. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

En cuanto se refiere a este parámetro contaminante la disminución respecto al agua residual inicial previa a la aireación (figura 57) es notorio. La línea de tendencia en el diagrama de cajas demuestra que disminuye la concentración de DBO₅ en el tratamiento de control y continúa hasta el tratamiento 2; posterior a ello la tendencia aumenta en el tratamiento 3 y 4. Finalmente disminuye en el módulo 5 y 6. Esto indica que el tratamiento con mayor remoción de este parámetro es el número 2; a pesar que en los parámetros anteriores se demuestra que tanto el tratamiento número 2 como el 3 son igual de eficientes, respecto al DBO₅ no sucede lo mismo. Esto puede deberse al contenido de lombrices que se presentan en cada tratamiento; dentro del módulo 2 existe mayor presencia que en el módulo 3.



Luego de la con aireación la entrada inicial del DBO₅ disminuye en un 70%, sugiriendo una eficiencia de la aireación. En cuanto al tratamiento de cada

módulo disminuye la eficiencia de cada uno; sin embargo, los valores de salida para este parámetro son iguales o inferiores a un tratamiento sin aireación. Cabe mencionar que en el diagrama de cajas para la con aireación (figura 58) el valor del DBO₅ inicial es una línea debido a que no se cuenta con suficiente información para generar un diagrama. La tendencia de la mediana es disminuir en el tratamiento de control y posteriormente tener una disminución considerable en el tratamiento 2 que se mantiene hasta el tratamiento 3. Finalmente la tendencia sube y se mantiene en los últimos módulos. Esto indica que junto con la aireación las tratamientos 2 y 3 alcanzan su máxima eficiencia de tratamiento mientras que los tratamientos 5 y 6 no difieren en gran medida del módulo de control.



En cuanto se refiere a la eficiencia (tabla 63 Tabla 63: **Eficiencia sobre el DBO5 de acuerdo a las condiciones de aireación para cada tratamiento.**) se puede verificar que en las condiciones sin aireación esta es mayor que en las condiciones después de la aireación. Esto se debe a que la disminución en concentración

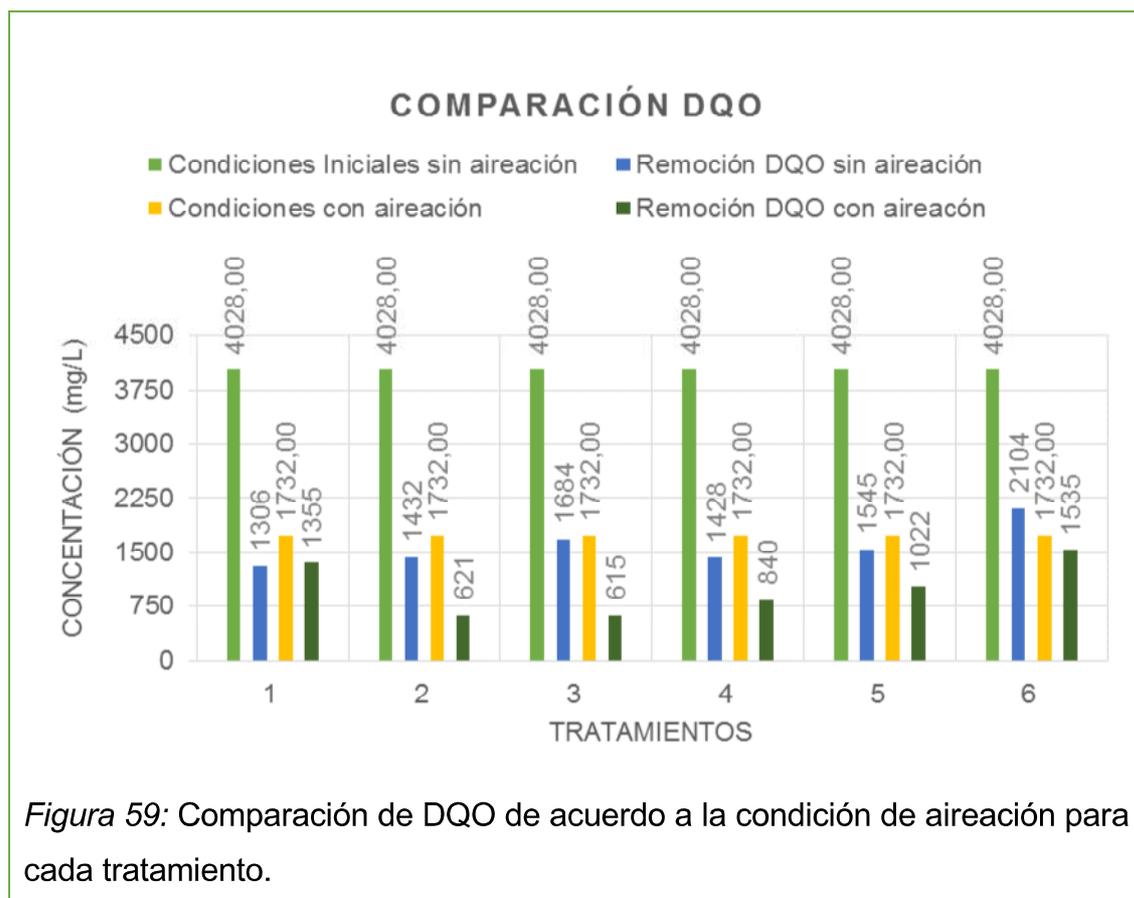
es similar en ambos casos; la diferencia se encuentra en la concentración inicial que en la segunda etapa disminuye aparentando tener una menor eficiencia. En este caso la aireación ayuda a la remoción de contaminantes.

Tabla 63: Eficiencia sobre el DBO₅ de acuerdo a las condiciones de aireación para cada tratamiento.

Tratamiento	Condiciones iniciales sin aireación (mg/L)	Condiciones finales Sin aireación (mg/L)	Eficiencia (%)	Condiciones iniciales con aireación (mg/L)	Condiciones finales aireación (mg/L)	Eficiencia (%)
1	2408,67	616,67	74,40	707,00	500,00	29,28
2	2408,67	166,67	93,08	707,00	150,00	78,78
3	2408,67	483,33	79,93	707,00	150,00	78,78
4	2408,67	933,33	61,25	707,00	425,00	39,89
5	2408,67	800,00	66,79	707,00	500,00	29,28
6	2408,67	600,00	75,09	707,00	525,00	25,74

4.4.9. Demanda química de oxígeno (DQO)

La aireación presenta un efecto de más de la mitad de disminución de la concentración de este parámetro. En cuanto se refiere al tratamiento de control no presenta mayores diferencias en la remoción de DQO en las etapas pre y con aireación. En el tratamiento 2 y 3 la remoción es más alta en los tratamientos después de la aireación, más de la mitad de concentración que en el tratamiento sin aireación. En cuanto a los otros tratamientos las concentraciones disminuyen en menor cantidad, entre 20% al 40% respecto al tratamiento sin aireación. Esto indica que la aireación ayuda a la remoción de DQO; sin embargo al tener una alta carga de DQO se requerirían procesos adicionales para su total remoción.



La variabilidad en las cargas de ingreso al sistema no implican una variación en la eficiencia de la remoción de este contaminante; la aireación remueve el 57% de DQO; mientras que, los tratamientos 2 y 3 son los más eficientes contando con un porcentaje del 64% de eficiencia, encontrando en el módulo número 3 la concentración más baja de DQO siendo esta 615 mg/L. En cuanto se refiere al módulo de control la concentración de salida del tratamiento no varía respecto a la concentración de entrada; lo que hace que la eficiencia en el tratamiento con aireación disminuya.

Para los tratamientos 3, 4 y 5 se presenta una diferencia entre el 13% y el 36% siendo más eficientes los tratamientos antes de la aireación. Sin embargo la concentración es menor en los tratamientos después de la aireación. Los módulos 1, 5 y 6 presentan un similar efecto, por lo que las hojas de eucalipto no significan un tratamiento; las lombrices dentro del módulo 5 presentan una mayor remoción respecto a los otros tratamientos. Lo que demuestra que las

lombrices realizan un mayor trabajo de remediación de los parámetros contaminantes.

Tabla 64: Eficiencia de la remoción de DQO para cada tratamiento.

Tratamiento	Condiciones iniciales sin aireación (mg/L)	Condiciones finales Sin aireación (mg/L)	Eficiencia (%)	Condiciones iniciales con aireación (mg/L)	Condiciones finales aireación (mg/L)	Eficiencia (%)
1	4028,00	1306	67,58	1732,00	1355	21,77
2	4028,00	1432	64,45	1732,00	621	64,15
3	4028,00	1684	58,19	1732,00	615	64,49
4	4028,00	1428	64,55	1732,00	840	51,50
5	4028,00	1545	61,64	1732,00	1022	40,99
6	4028,00	2104	47,77	1732,00	1535	11,37

4.4.10. Relación DQO/DBO₅ y Carga Contaminante

La relación DQO/DBO₅ indica el grado de biodegradabilidad que tiene un agua residual; es decir, la cantidad de materia orgánica que puede ser sometida a tratamientos biológicos por ser biodegradable frente a la cantidad total de materia orgánica que se encuentra dentro del agua residual. Esta relación mientras más alta sea, el agua residual será menos biodegradable y viceversa; por lo contrario, a medida que se acerca a 1, su totalidad o la mayor parte de materia orgánica presente en el agua residual es biodegradable.

A una relación mayor que 0,6 se considera que los contaminantes son de naturaleza orgánica; teniendo que en relaciones DQO/DBO₅ iguales a 1,5 la materia orgánica es muy degradable, iguales a 2 moderadamente degradables y mayores a 10 poco degradables.

La relación DQO/DBO₅ del agua de ingreso es 1,67 previa a la aireación; mientras que después de la aireación esta relación es 2,45. Tomando en consideración de la aireación la relación DQO/DBO₅ de los tratamientos se sitúa entre 1 y 3 lo que indica que son aguas biodegradables y pueden

emplearse en otros procesos biológicos adicionales. Esta relación para el tratamiento 2 es de más de 8 lo que indica que es un agua poco biodegradable y sería necesario emplear otro tipo de tratamiento.

Después de la aireación el tratamiento número 2 presenta una relación de 4,14, esto significa que la cantidad de materia biodegradable es más abundante que antes de la aireación. Los otros tratamientos se encuentran en el rango de 1 a 4, significando que la condición de biodegradabilidad se mantiene.

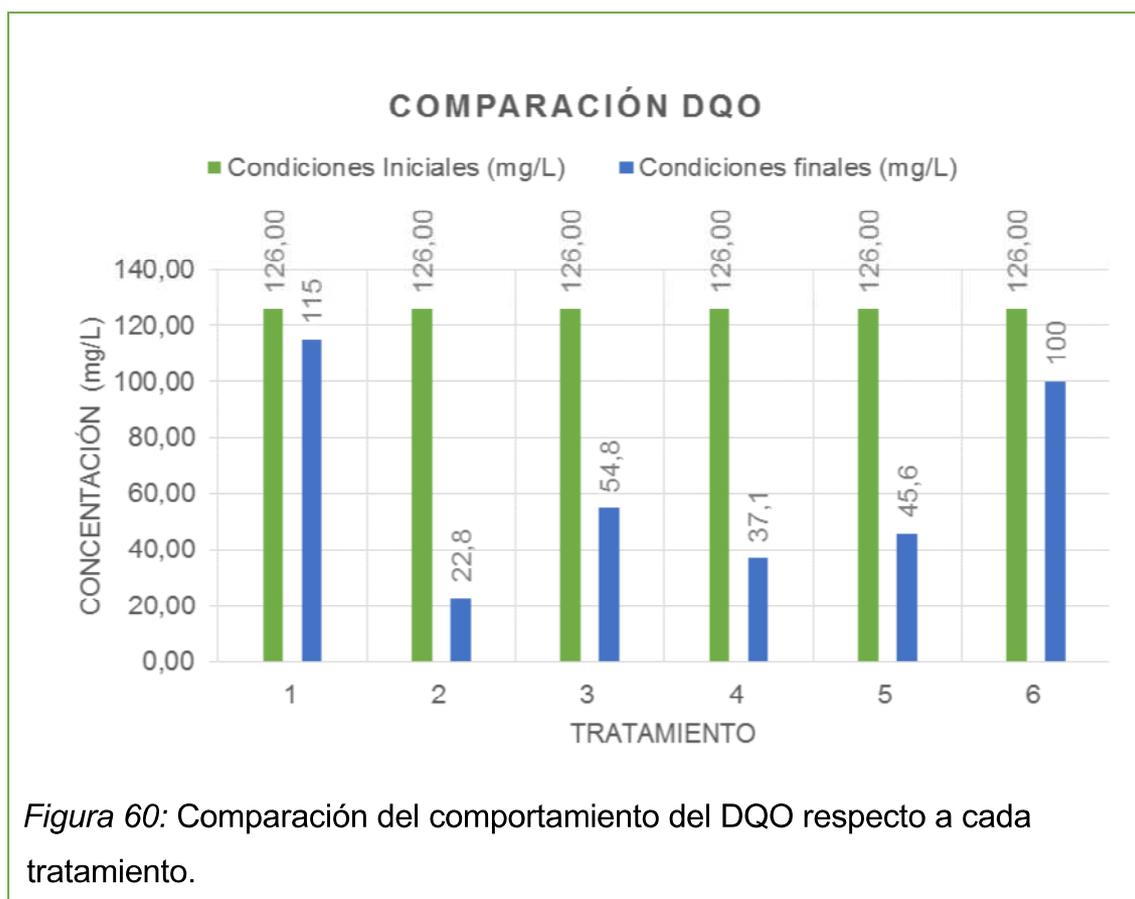
En cuanto se refiere a la carga contaminante (tabla 65) los tratamientos que cuentan con el estrato de aserrín son los más eficientes. El tratamiento con mayor remoción de carga contaminante es el número 3; esto puede deberse a las piedras pómez que remueven ciertos contaminantes que influyen en la carga contaminante. Algo que cabe destacar es la eficiencia de la remoción de carga contaminante del tratamiento de control que es del 73,6% siendo una alta remoción de contaminantes.

Tabla 65: Eficiencia en la remoción de carga contaminante para cada tratamiento.

Tratamiento	Eficiencia (%)
1	73,74
2	98,04
3	98,41
4	95,28
5	48,48
6	26,08

4.4.11. Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)

Respecto al Nitrógeno total el módulo 1 y 6 presentan una remoción similar. El tratamiento número 2 presenta la menor concentración de nitrógeno total, siendo el más eficiente.



El tratamiento número 3 presenta una menor eficiencia y esto puede ser debido a la menor cantidad de lombrices, o a un mayor grado de descomposición de la materia que se convierte en humus y los nutrientes que contiene son lavados por el agua residual aumentando la concentración de nitrógeno total a la salida del tratamiento; esta suposición se puede corroborar al verificar el comportamiento del tratamiento 5 que al no tener las lombrices mayor sustrato que el inicial, estas pueden convertir el sustrato en humus y el agua residual lixiviar el contenido de este sustrato hacia la salida del tratamiento.

Sobre el tratamiento número 4 se puede verificar un remoción del 70% lo que correspondería a la remoción de los estratos filtrantes sin las lombrices.

Tabla 66: Eficiencia en la remoción de DQO para cada tratamiento.

Tratamiento	Condiciones Iniciales (mg/L)	Condiciones Finales (mg/L)	Eficiencia (%)
1	126,00	115	8,73
2	126,00	22,8	81,90
3	126,00	54,8	56,51
4	126,00	37,1	70,56
5	126,00	45,6	63,81
6	126,00	100	20,63

Cabe mencionar que es indispensable el cambio de humus por aserrín debido a que los componentes del humus se pueden lixiviar y aumentar ciertos parámetros contaminantes en el agua ya tratada.

4.4.12. Fosfatos, aceites y grasas

En los últimos años y de acuerdo a la información con la cual se diseñó la planta de tratamiento de la EMRAQ-EP indica que los promedios de los aceites y grasas no superar lo estipulado en la normativa ambiental. No fue necesario realizar comparación y otros monitoreos; sin embargo, se realizaron análisis de las muestras de ingreso a la planta de tratamiento de la EMRAQ-EP con el fin de comprobar lo anteriormente mencionado. Se presenta en promedio una concentración de 19,9 mg/L (promedio realizado en base a resultado de análisis descritos en el anexo 4) lo que es inferior a la concentración de 70 mg/L que se encuentra normado para la descarga en alcantarillado según la Tabla N°1 de la Resolución 00002 de la Ordenanza Metropolitana N° 404 (anexo 5).

En cuanto se refiere a los fosfatos, como se ha mencionado en la tabla 53, la eficiencia de la aireación es del 65% por lo que no es necesario comprobar la

reducción de este parámetro. Adicionalmente de acuerdo a la normativa (Ordenanza Metropolitana N° 404) no se tiene su límite permisible para este parámetro.

4.5. Condiciones de operación

A continuación se presentan las principales condiciones de operación que influyen en el sistema de tratamiento. Estas condiciones tienen relación con parámetros hidráulicos y el comportamiento biológico de las lombrices.

4.5.1. Tiempo de residencia

Para poder realizar el cálculo con los datos obtenidos a partir de la prueba de trazadores se aplica la ecuación 20. Esta expresión representa la sumatoria de los cambios de concentración a través del tiempo; es decir las áreas bajo las curvas de tiempo de residencia para cada tratamiento.

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t C(t) dt}{\int_0^{\infty} C(t) dt} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Desarrollando la ecuación con el fin de poder calcular se tienen la siguiente expresión.

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i C(t_i) + t_{i+1} C(t_{i+1})) (t_{i+1} - t_i)}{\sum_{i=1}^n (C(t_i) + C(t_{i+1})) (t_{i+1} - t_i)} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Los cálculos desarrollados se encuentran en el anexo 12; mientras que en la tabla 67 se presenta el resumen del tiempo de retención medio para poder realizar el análisis respectivo.

Tabla 67: Tiempo de residencia por cada tratamiento.

Tratamiento	Tiempo de residencia
1	0:05:37
2	0:50:32
3	0:55:25
4	1:51:03
5	0:12:25
6	0:15:18

a) el tiempo de retención hidráulico o residencia viene en formato horas: minutos: segundos (h: m: s).

Los cálculos realizados indican que para los tratamientos 1, 5 y 6 tienen menor tiempo de residencia dentro del tratamiento. Esto indica que en estos tratamientos actúa como un filtro común, no se puede afirmar que se aplique algún tratamiento biológico debido al poco tiempo que tendría los microorganismos en degradar las sustancias contaminantes presentes en el agua residual.

En el módulo de control al contener únicamente piedras como estratos filtrantes el tiempo de retención es muy bajo; siendo este en promedio de 5 minutos y medio. Este tiempo varía ligeramente para los tratamientos 5 y 6 en donde el valor alcanza entre los 12 y los 15 minutos; esto indica que las hojas de eucalipto y las lombrices retienen más de 10 minutos adicionales al tratamiento de control, para tratar las aguas residuales.

Adicionalmente de estos resultados se puede inferir que la eficiencia en cada tratamiento tiene relación con el tiempo de residencia en cada módulo experimental. Es decir a mayor tiempo de retención, mayor será el tratamiento realizado por cada módulo experimental. En promedio del tratamiento 2 y 3 se tiene un tiempo de retención entre 50 a 55 minutos; contando con un tiempo cercano a una hora, tiempo en el que se espera que los microorganismos y organismos degradadores puedan actuar y tratar las aguas residuales.

El tratamiento 4 aumenta este tiempo a 1 hora 55 minutos. Esta variación implica que el módulo 4 se colmate y se inunde, provocando alteraciones en la condición normal de operación del sistema. Por otro lado, debido a la colmatación del tratamiento 4, se puede decir que la actividad de las lombrices creando surcos y canales (aumentando la porosidad del estrato filtrante) ayuda al paso y percolación del agua residual ayudando al tratamiento de la misma.

4.5.2. Permeabilidad

En el anexo 9 se encuentra una tabla comparativa de diversos autores en donde se indica los límites inferiores, superiores y categorizaciones de acuerdo a la velocidad, tipo de suelo y permeabilidad relativa. En la tabla 68 se encuentra la conversión de los resultados en diversas unidades para que sean comparables; estos resultados demuestran que los estratos cuentan con una velocidad muy rápida, una permeabilidad relativa muy permeable, pertenecientes a gravas y/o arena densas.

Tabla 68: Comparación de coeficientes de permeabilidad.

Coeficiente de permeabilidad (K)	Unidad	Valor Máximos	Estrato			
			Aserrín-Viruta	Piedra grava	Piedra pómez	Hojas de eucalipto
	cm/s	> 0,1	13,191	6,824	14,799	15,254
	cm/h	>18	54,963	28,435	61,661	63,560
	cm/h	> 25	54,963	28,435	61,661	63,560
	m/s	0,2	0,132	0,068	0,148	0,153
	m/s	1	0,132	0,068	0,148	0,153
	m/d	>4,5	11397,0	5896,2	12786,1	13179,7
Velocidad	Muy rápida					
Permeabilidad Relativa	Muy permeable					
Suelo Típico	Grava gruesa					
Tipo de Suelo 4	Arena densa y grava					

Adaptado de: United States Departemt of Agriculture. Soil Conservation Service (2009); Ruiz y Gonzáles (2014); Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (s.f.); Robertson (2010) y Cisneros (2003).

A pesar de ser iguales dentro de las clasificaciones antes mencionadas se puede ver que los estratos de aserrín-viruta son tan permeable como la piedra grava, esto se debe a la creación de canales y surcos por parte de las lombrices. Al aumentar la porosidad del estrato facilita el paso del agua. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración. La permeabilidad será lenta si se encuentra un estrato fino, por lo contrario será rápida si es un estrato grueso; por ello, la permeabilidad tiene relación con la condición de los sustratos.

En cuanto a la relación de vacíos el estrato de aserrín-viruta y hojas de eucalipto poseen relaciones más altas (13,4 y 11,6 respectivamente) lo que indica que cuentan con más espacios por donde circula el agua; por ende facilitan el paso del agua residual. Las hojas de eucaliptos poseen una alta permeabilidad por su bajo nivel de compactación, es decir, dentro de las hojas de eucalipto existen espacios vacíos que facilitan el paso del agua. Las hojas no se compactan de tal manera que se colmate su sistema.

La piedra pómez se aglomera de manera diferente que la piedra grava de tal manera que ayuda al paso del agua, mientras que la piedra grava retiene por mayor tiempo el agua. Viéndose reflejado en la relación de vacíos y al volumen ocupado por el mismo. De acuerdo a Feria y otros (2011) las condiciones hidráulicas pueden influir en el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en la forma de como ingresan en el sistema; es decir que las condiciones de permeabilidad pueden afectar en cómo se trata el agua residual, si el agua residual atraviesa demasiado rápido los estratos filtrantes no cuentan con el tiempo suficiente para tratarse; por lo contrario si el agua es incapaz de filtrarse, los estratos pueden colmatarse e inundar el sistema.

4.5.3. Condiciones de las lombrices

Las lombrices que se colocaron en el día cero del experimento fue una población, en su mayor parte, de adultas y juveniles. No se encontró la presencia de recién nacidas ni cocones, esto se realizó con el fin de verificar

que las lombrices sean capaces de reproducirse en el ambiente que fueron colocados y soportar las cargas contaminantes.

Los tratamientos que contenían lombrices fueron el número 2, 3 y 5. En los dos primeros el estrato soportante fue aserrín con viruta; mientras que en el tratamiento 5 las hojas de eucalipto son el estrato de soporte para las lombrices.

La determinación de la densidad poblacional se realizó mediante la ecuación 22. Teniendo en cuenta el número de lombrices y que la superficie del tratamiento es de 0,3117 m².

$$Densidad = \frac{\text{Número de Individuos}}{\text{Superficie}} \text{ (individuos/m}^2\text{)} \quad \text{(Ecuación 22)}$$

En la tabla 69 se encuentra la densidad poblacional. Inicialmente la densidad fluctúa entre 260 a 391 individuos por cada metro cuadrado, siendo una densidad homogénea. La respuesta de cada tratamiento se incrementó, sin embargo, fue diferente el grado de aumento que se presentó. En el módulo 2 la densidad poblacional se incrementó a 1501 individuos/m², para el tratamiento 2 fue de 385 individuos/m² y del tratamiento 5 fue de 2085 individuos/m². Este último siendo el mayor incremento de individuos demostrando, así, que las hojas de eucalipto son capaces de albergar y dar las condiciones adecuadas para que las lombrices puedan cumplir con su ciclo de vida. Se sugiere que al estrato de hojas de eucalipto se coloque una capa intermedia de aserrín con lombrices.

Tabla 69: Densidad poblacional inicial y final de las lombrices

Tratamiento	Densidad poblacional inicial (individuos/m ²)	Densidad poblacional final (individuos/m ²)
2	346,46	1501,33
3	259,84	384,96
5	391,37	2085,17

En cuanto se refiere a la tasa de incremento de las lombrices (tabla 70) cabe mencionar que se compararon los estadíos de juveniles hasta maduras debido que estos fueron los estadíos colocados en tiempo cero del experimento.

El tratamiento número 2 el incremento de lombrices fue del 67,5% aumentando de 108 a 181 lombrices. La mayor cantidad de lombrices se registró en el nivel 2 del tratamiento 2 (20 a 40 cm de estrato aserrín viruta) contando con 120 lombrices siendo 64 de ellas maduras cliteliadas con capacidad reproductiva.

En el nivel 1 (0 a 20 cm del estrato aserrín viruta) se contabilizaron 61 lombrices; esto puede deberse a que en la parte central del tratamiento la temperatura y humedad se acercan de mejor manera a los rangos óptimos para el desarrollo de las lombrices.

En cuanto se refiere a cocones del tratamiento 2, en el nivel 1 se presentó 265 cocones mientras que en el nivel 2 se presentó 3 cocones. Esto indica que la población aumentará en gran medida debido a la abundante presencia de cocones.

Tabla 70: Tasa de incremento de lombrices

Tratamiento	Tasa incremento (%)
2	67,59
3	1,23
5	240,16

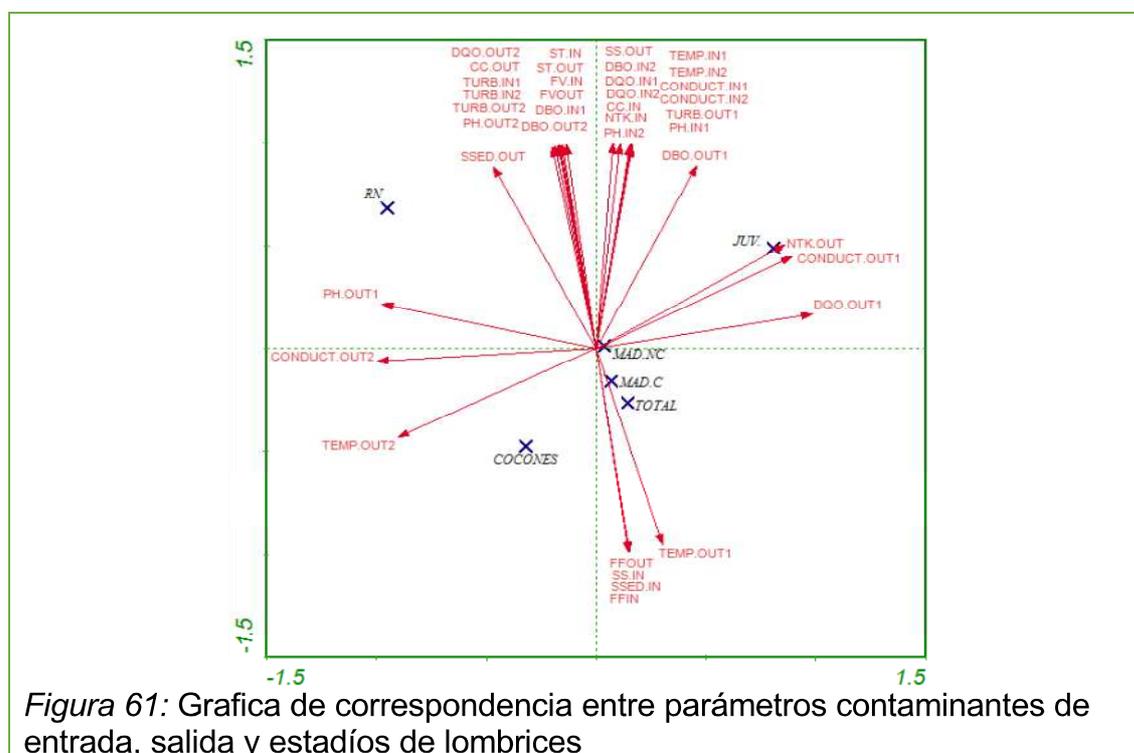
En contraste, el tratamiento número 3 presenta una tasa de incremento de 1,23%, aumentando de 81 a 82 individuos; esta diferencia con el tratamiento 2 puede deberse a un posible exceso o falta de humedad durante el desarrollo del experimento que no pudo ser detectado ya que el experimento operaba 24 horas del día. En el nivel 2 se contabilizó 57 individuos y en el nivel 1 se contó 25 individuos, sin contar con cocones. Esto refuerza la sugerencia de que entre los 20 cm a 40 cm se encuentran mejores condiciones de temperatura y humedad; por ello las lombrices migran a este nivel y se desarrollan mayormente que en los otros niveles. En cuanto se refiere al número de

cocones es de 35 en los dos niveles lo que sugiere que el número de individuos de la población del tratamiento 3 se mantenga o disminuya.

Finalmente dentro del tratamiento 5 se presentó la mayor tasa de incremento teniendo un 240%. Se contabilizó 415 lombrices de las cuales 134 son maduras cliteliadas; el número de cocones es de 189, lo que sugiere que la población aumentará al igual que en el tratamiento 2. La alta tasa de incremento de las lombrices en este tratamiento demuestra que las hojas de eucalipto más un sustrato soportante dan mejores condiciones para la reproducción de las lombrices. Esto puede deberse a que la humedad y el grado de descomposición del sustrato que albergaba a las lombrices contenga nutrientes suficientes para su reproducción.

4.5.4. Análisis de correspondencia canónica

Se presenta la figura 61, en la cual muestra cómo se correlacionan las variables ambientales y biológicas. Las lombrices fueron subdivididas de acuerdo a su estadio y se tomó en cuenta la totalidad de individuos.



Las lombrices pertenecientes al estadio de juveniles se encuentran en mayor abundancia a las condiciones finales de nitrógeno total y conductividad sin aireación; las condiciones ambientales de dichos parámetros son óptimos para el desarrollo de este estadio. Las lombrices recién nacidas tienden a encontrarse en condiciones de salida de pH sin aireación, sólidos sedimentables y aquellas descritas en la tabla 71 tabla 72 con la letra A. Los cocones se encuentran mayormente relacionados con una temperatura y conductividad de las condiciones finales con aireación. Finalmente las maduras no cliteliadas, maduras cliteliadas y el total de los individuos son capaces de soportar, desarrollarse en cualquier condición de contaminación que se ha descrito en el experimento, debido a su cercanía con la intersección de los ejes.

En las siguientes tablas las siglas significan CC: carga contaminante, ST: sólidos totales, FV: fracción volátil, SSed: sólidos sedimentables, NT: nitrógeno total, FF: fracción fija, Turb: turbidez, Cond: conductividad, DQO: demanda química de oxígeno, T: temperatura, DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno 5 días, SS: sólidos suspendidos.

Tabla 71: Similitudes entre contaminantes ambientales respecto a la concentración final después de los tratamientos.

Comparación	Final	Final sin aireación	Final con aireación	Rango de relación ^(a)
A	CC		DQO	0,8 - 1,0
	ST		Turb.	
	FV		pH	
B			DBO ₅	
B	SSed	Turb.		0,8 - 1,0
C	NT	Cond.		0,7-0,9
		DQO		
D	FF	T		0,6-0,8
E		pH	Cond	0,5-0,8
			T	

a) Rangos tomados del procesamiento del software CANOCO, anexo 6.

Tabla 72: Similitudes entre contaminantes ambientales respecto a la concentración inicial antes de los tratamientos.

Comparación	Inicial	Inicial sin aireación	Inicial con aireación	Rango de relación ^(a)
A	ST	Turb.	Turb.	0,8 - 1,0
	FV	DBO ₅		
B	CC	DQO	DBO ₅	0,8 - 1,0
		T	DQO	
	NT	Cond.	pH	
		pH	T	
		Cond.		
D	SSed			0,6-0,8
	SS			
	FF			

a) Rangos tomados del procesamiento del software CANOCO, anexo 6.

Los parámetros que se indican, en las tablas descritas anteriormente, con la letra A tienen una correlación alta que indica que tales contaminantes se encuentran en mayor concentración en presencia uno de los otros; así, como los asignados con la letra B. La relación entre los parámetros asignados con la letra A y B cuentan con una relación. Esto indica que la mayor parte de los contaminantes se encuentran relacionados entre sí; a medida que el agua es tratada y disminuye la concentración de estos contaminantes, el grupo disminuirá su concentración proporcionalmente. En cuanto se refiere a la condición final de los sólidos sedimentables y DBO₅ (sin aireación) tienen una relación respecto a la mayoría de contaminantes (grupo A y B); a pesar que la relación es más débil, tienen a tener el mismo comportamiento antes mencionado.

Dentro de los otros parámetros guardan relación en 3 grupos siendo las siguientes: el parámetro final de nitrógeno total tiene una relación estrecha con la conductividad de salida en la etapa con aireación. Ambos parámetros tiene una relación con la condición final de DQO sin aireación. Los parámetros

finales de fracción volátil y temperatura sin aireación tienen correlación con los parámetros iniciales de sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y fracción fija. Finalmente las condiciones finales de pH (sin aireación), conductividad y temperatura con aireación presentan una relación en menor proporción.

5. Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El agua residual, provino del tratamiento de homogeneización de la planta de tratamiento de la EMRAQ-EP. La caracterización de esta agua residual cuenta con una alta carga orgánica y gran cantidad de sólidos teniendo 2721,33 mg/L de sólidos totales, 2408,67 mg/L de DBO₅, 4028 mg/L de DQO y 126 mg/L de Nitrógeno Total (NTK).

De acuerdo a la caracterización final del agua tratada para cada tratamiento se pudo obtener que el comportamiento de la turbidez cuenta con una remoción drástica luego del ingreso del agua residual; posterior a ello se mantiene estable y alcanza la máxima eficiencia luego de entre 20-25 días. Los valores picos en la turbidez pueden deberse a que se están lixiviando contaminantes del insipiente humus generado.

El comportamiento de la conductividad es homogéneo en todos los tratamientos, sin importar la condición de aireación, teniendo valores promedios del agua ya tratada de entre 1300 μ S hasta los 1550 μ S.

La temperatura mínima fue de 11,73°C y la máxima de 26,27°C; sin embargo el promedio de temperatura de todos los tratamientos se encuentra entre 18°C y 19°C lo que significa que la condición ambiental de temperatura para que las lombrices se desarrollen se cumple.

Al emplear el tratamiento de la aireación se realiza un efecto sobre los parámetros contaminantes. A medida que la aireación se realiza por más tiempo, la concentración de los parámetros disminuirá; cuenta con una relación inversamente proporcional. La eficiencia de la aireación, dependiendo del parámetro contaminante, varía entre 28,42% a 95%, valores correspondientes a la eficiencia de la remoción del nitrógeno y de los sólidos sedimentables respectivamente.

En una de las pruebas que se realizó se obtuvo que el tiempo de sedimentación de las partículas del agua residual es de aproximadamente un minuto, posterior a ello las partículas quedan sedimentadas. Este valor ayudaría al diseño de tratamientos de sedimentación.

De acuerdo al análisis ANOVA los módulos que tienen diferencia respecto al resto son los correspondientes a los tratamientos 2 y 3. Por lo que estos dos tratamientos realizan un tratamiento similar, se puede emplear la variación del módulo 3 esperando la misma efectividad que el tratamiento 2, ya probado. Estos serían las mezclas óptimas y las más eficientes para el tratamiento de estas aguas residuales.

En cuanto se refiere a las condiciones de operación, específicamente al tiempo de retención. Se pudo observar que este parámetro está relacionado con una mayor eficiencia en los sistemas de tratamiento biológicos; mientras el tiempo de residencia aumente, los organismos degradadores podrán actuar mayormente y depurar las aguas residuales. En el caso de los tratamientos 1, 5 y 6 el tiempo de residencia es bajo; sin embargo en algunos parámetros contaminantes se presentó una disminución, lo que implicaría que estos tratamientos funcionan como filtros percoladores comunes, reteniendo la materia orgánica insoluble en agua. En los tratamientos 2 y 3 se puede evidenciar un tiempo de retención cercano a una hora, con ello se sugiere que la actividad microbiana y las lombrices consumirán la materia orgánica disuelta en el agua y los demás estratos filtrantes retendrán la materia orgánica insoluble. El tanque 4 retiene la mayor cantidad de sólidos insolubles en la primera capa debido a la colmatación del sistema.

Por otro lado, se pudo observar que las hojas de eucalipto fueron un buen estrato de soporte para el desarrollo y crecimiento de las lombrices; sin embargo estas no pudieron crecer en gran medida debido al poco estrato que tenían para distribuirse.

Al no contener lombrices el tratamiento número 4, éste se colmata, acumulando agua que se tarda en filtrar. Esta agua se acumula debido a que la capa más superficial de la mezcla aserrín y viruta se compacta disminuyendo los canales por donde puede atravesar el agua. Las lombrices realizan surcos y canales, los cuales aumentan la porosidad y facilitan la filtración del agua residual; por lo tanto, el sistema no se colmata.

5.2. Recomendaciones

Dentro del presente estudio se observó, controló y/o monitoreo la mayor cantidad de variables que tengan relación con el sistema de tratamiento. Sin embargo, no está exento de factores que no se hayan tomado en cuenta por lo que se recomienda continuar con la investigación de esta tecnología con el fin de verificar otras variables que puedan afectar a la operación del sistema de tratamiento e influyan en la remoción de contaminantes. Así como el tratamiento de otro tipo de aguas residuales industriales y/o domésticas que cuenten con cargas orgánicas y no presenten metales pesados, químicos inorgánicos y elementos que puedan afectar al desarrollo de vida como lo son tóxicos ambientales.

REFERENCIAS

- Abdel-Moein, N., Abdel-Moniem, E., Mohamed, D., y Hanfy, E. (2011). Evaluation of the anti-inflammatory and anti-arthritic effects of some plant extracts. *Grasas y Aceites*, 62(4), 365-374.
- Alcázar, J. (2007). Tesis doctoral. *El método del caudal básico para la determinación de caudales de mantenimiento. Aplicación a la Cuenca del Ebro*. Lleida, España. Recuperado el 26 de enero de 2015, de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8236/Tjam1d1.pdf;jsessionid=876BCA6FB3921EE9D1CE2D718487033F.tdx1?sequence=1>
- American Water Works Association. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: Water Environment Federation.
- Andrades, J. (2010). *Los vertidos de los mataderos e industrias cárnicas*. Recuperado el 22 de octubre de 2014, de <http://www.eoi.es/savia/documento/eoi-48153/los-vertidos-de-los-mataderos-e-industrias-carnicas>
- AQUAEL. (2006). *Manual de Instrucciones OxyBoost*.
- Asar, O., Ilk, O., y Dag, O. (2015). Estimating Box-Cox power transformation parameter via goodness of fit test. *Communication in Statistics-Simulation and Computation*.
- Asociación de Municipalidades Ecuatorianas. (2014). *AME busca mejorar camales municipales*. Recuperado el 2 de septiembre de 2014, de <http://asogansd.com/ame-busca-mejorar-camales-municipales/>
- Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá. (2005). *Programa Ambiental Nacional ANAM-PAN-BID. Producción más limpia para el sector de beneficio de ganado bovino y porcino*. Recuperado el 17 de octubre de 2014, de <http://www.anam.gob.pa/index.php/cnip-ly-cs>
- Bajsa, O., Nair, J., Mathew, K., y Ho, G. (2003). Vermiculture as a tool for Domestic Wastewater management. *Water Science and Technology*, (48), 125-132.
- Balladares, M. (2002). *Publicaciones CEPIS. Rellenos sanitarios y tratamietnos de residuos líquidos de mataderos municipale*. Recuperado el 11 de

- noviembre de 2014, de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/resisoli/rellenos/rellenos.html>
- Baraño, P., y Tapia, L. (2004). Tratamiento de las Aguas Servidas: Situación en Chile. *Revista Ciencia y Trabajo*, (13), 111-117.
- Barbecho, J., y Calle, J. (2012). *Proyecto de graduación previo la obtención del grado de Ingenieros Civiles. Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la subcuenca del Río Tarqui*. Recuperado el 27 de febrero de 2015, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/771/1/ti897.pdf>
- Barrena, R., Artola, A., Font, X., Gea, T., Pognani, M., Ponsá, S., Colón, J., Ruggieru, L., y Sáncenz, A. (2013). *La respirometría como herramienta para la clasificación de la biodegradabilidad de residuos orgánicos. Resultados de la experiencia de 10 años*. V Simposio Iberoamericano de Residuos Sólidos.
- Bisimwa, D. (2014). Caractérisation Physico-Chimique Des Eaux Usées D'abattoir En Vue de La Mise En Oeuvre D'un Traitement Adéquat : Cas De "Elakat" Bukavurd Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 12(2), 491-498.
- Bonachela, S., Acuña, R., y Cañadas, M. (2008). *Capítulo II. Sustratos Inertes. Caracterización Física. Oxigenación de los Sustratos*. Recuperado el 2 de noviembre de 2014, de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/sustratos-inertes-caracterizacion.pdf>
- Cabrera, H., Garcés, M., y Paredes, P. (2012). *Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas. Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en el Ecuador*. Recuperado el 2 de septiembre de 2014, de http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/ECUADOR_producci%C3%B3n_de_aguas_servidas_tratamiento_y_uso.pdf
- Cajas, S. (2009). *Tesis de Grado para la obtención del título de Ingeniero Zootecnista. Efecto de la utilización de aserrín en combinación con estiércol bovino como sustrato en la producción de humus de lombriz*

- eisenia foétida (lombriz roja californiana)*. Recuperado el 28 de noviembre de 2014, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2397/1/17T1013.pdf>
- Caldera, Y., Gutiérrez, E., Ruesga, L., Fuenmayor, M., Quiroz, C., y Oñate, H. (2010). Sistema de flotación para aguas residuales de un matadero de aves. *Multiciencias*, 10(1) 55-60.
- Carmona, C. (2010). *Memorias presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Licenciado en Ciencia de los Alimentos. Estudio del comportamiento de una mezcla de aserrín y grasa láctea de desecho*. Recuperado el 30 de octubre de 2014, de : <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fac287e/doc/fac287e.pdf>
- Carrera, M., y Pacheco, J. (2012). *Estudio experimental de permeabilidad en medios porosos gruesos previa a la obtención del título de: Ingeniero Civil*. Recuperado el 3 de marzo de 2015, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4980/1/T-ESPE-033028.pdf>
- Castro, M., y Vinueza, M. (2011). *Tesis de Grado Previa a la obtención del título de Licenciado en Educación Ambiental. Manual para el manejo adecuado de los residuos sólidos generados por el camal Municipal de Riobamba*. Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1294/1/26T00003.pdf>
- Cisneros, R. (2003). *Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. Apuntes de la materia de Riego y Drenaje*. Recuperado el 23 de diciembre de 2014, de <http://ingenieria.uaslp.mx/web2010/Estudiantes/apuntes/Apuntes%20de%20Riego%20y%20Drenaje%20v.2.pdf>
- COBEX. (2012). *Sistema Tohá. Tratamiento de Aguas Residuales, Industriales y Domiciliarias. Estudio de Caso: Vacuno*. Recuperado el 30 de octubre de 2014, de http://cobexonline.com/wp-content/uploads/2012/11/02_Sistema_To%C3%A1_Vacunos_Espa%C3%B1ol_Final1.pdf

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2013). *Diagnóstico de las Estadísticas del Agua del Ecuador*. Recuperado el 30 de junio de 2014, de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Ilic%202012-2.pdf>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial N° 449.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2002). *Glosario de Términos. Carga Contaminante (Cc)*. Recuperado el enero de 26 de 2015, de <http://corponarino.gov.co/modules/wordbook/entry.php?entryID=78>
- Crangle, R. (2013). *U.S. Geological Survey. 2012 Minerals Yearbook. Pumice and Pumicite (Advance Release)*. Recuperado el 9 de noviembre de 2014, de <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/pumice/myb1-2012-pumic.pdf>
- Cubillos, A. (2008). *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del Ambiente. Decisión de Protección de la Salud Ambiental. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. Parámetros y características de las aguas residuales*. Lima-Perú. Recuperado el 5 de agosto de 2014, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>
- Cuenca, N. (2013). *Secretaría Nacional del Agua. Gestión de Recursos Hídricos en el Ecuador*. Recuperado el 1 de septiembre de 2014, de <http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/periodismo2013/utpl-Gestion-Recursos-Hidricos-Ecuador.pdf>
- Damjanović-Vratnica, B., Đakov, T., Šuković, D., y Damjanović, J. (2011). Antimicrobial effect of essential oil isolated from *Eucalyptus globulus* Labill. from Montenegro. *Czech Journal Food Sciences*, 29(3), 277-284.
- Dawood, A., Kumar, A., y Sambhi, S. (2011). Study on Anaerobic Treatment of Synthetic Milk Wastewater under Variable Experimental Conditions. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2(1), 17-23.

- Diario El Hoy. (s.f.). *Carne ilegal, aún en su mesa*. Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/carne-ilegal-aun-en-su-mesa-395201.html>
- Diario LaHora. (s.f.). *Noticias El Oro. Analizaron situación de camales de la Provincia*. Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de <http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101552259#.VAZMSf15OSo>
- Diario LaHora. (s.f.). *Noticias Zamora. Asambleísta pide control de camales*. Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101544634/-1/Asamble%C3%ADsta_pide_control_de_camales_.html#.VAZMS_I5OSo
- Díaz, D., Cova, L., Castro, A., García, D., y Perea, F. (2008). Dinámica del crecimiento y producción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Sav.) en cuatro sustratos a base de estiércol bovino. *Agrucultura Andina*, 15(1), 39-55.
- Dirección Metropolitana Ambiental. (2008). *Resolución N° 0002-DMA-2008. Normas Técnicas para la Aplicación de la Codificación del Título V, "De la prevención y control del medio ambiente"*. Obtenido de www.quitoambiente.gob.ec/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=229&Itemid=59&lang=es
- Domínguez, J., y Gómez-Brandón, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(SPE 2), 309-320.
- Durán, L., y Henríquez, C. (2009). *Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (Eisenia Foetida) en cinco sustratos orgánicos*. *Agronomía Costarricense*. Recuperado el 28 de octubre de 2014, de http://www.mag.go.cr/rev_agr/v33n02_275.pdf
- Durán, L., y Henríquez, C. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía Mesoamericana*, 21(1), 85-93.
- Ecuaquímica C.A. (2008). *Productos Industriales y Agrícolas*. Obtenido de *Vademécum Agrícola 2008*.

- El Diario. (2013). *Los Camales Clandestinos*. Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/283377-los-camales-clandestinos/>
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento. (2011). *Programa de Descontaminación de Ríos*. Recuperado el 30 de julio de 2014, de <http://www.aguaquito.gob.ec/descontaminacion-de-rios-del-dmq/programa-para-la-descontaminacion-de-los-rios-de-quito>
- Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito. (s.f.). *Faenamiento Porcinos*. Recuperado el 13 de octubre de 2014, de <http://www.epmrq.gob.ec/index.php/servicios/faenamiento/faenamiento-porcinos>
- EMRAQ-EP. (2014). *Plan Estratégico 2014-2018*. Recuperado el 3 de septiembre de 2013, de http://www.epmrq.gob.ec/images/lotaip/2014/k/PLAN_ESTRATEGICO_2014_2018.pdf
- EMRAQ-EP. (s.f.). *Faenamiento Bovinos*. Recuperado el 13 de octubre de 2014, de <http://www.epmrq.gob.ec/index.php/servicios/faenamiento/faenamiento-bovinos>
- European Medicines Agency. (2013). *Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC). Assessment report on Eucalyptus globulus Labill., folium*. Recuperado el 10 de noviembre de 2014, de http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Herbal_-_HMPC_assessment_report/2013/04/WC500142241.pdf
- Feria, J., Blanco, I., Villadiego, L., Tavera, H., y Rueda, B. (2011). Comportamiento fisicoquímico e hidráulico del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Montería - Colombia. *Avances en Ciencia e Ingeniería*, 2(1), 1-8.
- Ferrer, G., Morán, C., Aldana, G., y Pérez, J. (2013). Determination of the mean hydraulic retention time at the constructed horizontal flow wetlands using a chemical tracer. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 36(3), 262-271.

- Food and Agriculture Organization. (2008). *Slaughterhouse hygiene problems and solutions*. Recuperado el 25 de octubre de 2014, de www.fao.org/docrep/010/ai410e/AI410E05.htm
- Gallego, A., Gemini, V., y Korol, S. (2006). Sistemas aerobios de película biológica fija para la biodegradación de aguas residuales. *Revista Argentina de Microbiología*, 38(3), 143-143.
- Gallegos, D. (2008). *Tesis como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Volumen óptimo de piedra pómez y tenzontle como sustratos para la producción de jitomate en hidroponía*. Recuperado el 9 de noviembre de 2014, de <http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/5550/1/VOLUMENOPTIMODEPIEDRAPOMEZYTEZONTLECOMOSUSTRATOSPARELAPRODUCCIONDEJITOMATEENHIDROPONIA.pdf>
- Garzón, I. (2010). Tratado de titulación previa a la obtención del título de Ingeniería Civil y Ambiental. *Diagnóstico ambiental del camal Municipal de la Ciudad de Santo Domingo y mejora de su gestión*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 1 de septiembre de 2014, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2480/1/CD-3184.pdf>
- Giménez, D., y Medina, J. (2010). *Funcionamiento del matadero: Legislación y función del veterinario en el matadero de ganado porcino*. Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de http://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2010/80103/funcionamiento_del_matadero.pdf
- GRACE. (2012). *Food Program. Food Processing & Slaughterhouses*. Recuperado el 25 de octubre de 2014, de <http://www.sustainabletable.org/279/food-processing-slaughterhouses>
- Gutiérrez, H., y De La Vara, R. (2009). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw Hill.
- Guzmán, M. (2004). *Tesis para optar al título de: Ingeniero Civil en Obras Civiles. Estudio de Factibilidad de la Aplicación del Sistema Tohá en la Planta de Tratamiento de aguas servidas de Valdivia*. Recuperado el 28 de octubre de 2014, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/bmficg993e/doc/bmficg993e.pdf>

- Hanna Instruments. (s.f.). *HI98304 DiST(R) 4 EC Tester*. Recuperado el 20 de diciembre de 2014, de <http://shop.hannainst.com/hi98304-dist-4-ec-tester.html>
- Hanna Instruments. (s.f.). *Instruction Manual HI 2550 Multiparameter pH/ORP/°C/EC/TDS/NaCl Bench Meter*. Recuperado el 20 de noviembre de 2014, de http://www.hannainst.com/manuals/man2550_23_04_2009.pdf
- Hanna Instruments. (s.f.). *Intruccion Manual HI 98127/HI 98128 Waterproof pH Testers with Replaceable Electrode*. Recuperado el 23 de noviembre de 2014, de http://www.hannainst.com/manuals/IST98127_04_13.pdf
- Hanna Instruments. (s.f.). *Manual de Intrcciones HI 88713 Turbidímetro ISO*. Recuperado el 18 de noviembre de 2014, de http://www.pce-iberica.es/manuales/manual-HI_88713.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2011). *Resultados del Censo de Población y Vivienda 2010*. Recuperado el 2 de septiembre de 2014, de <http://es.slideshare.net/PresidenciaEc/1-resultados-censo-de-poblacin-y-vivienda-2010-ok>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2002). *Hoja informativa para el sector agropecuaria. Medición del caudal del agua de riego*. Recuperado el 3 de enero de 2015, de <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210655.pdf>
- LaMotte. (s.f.). *Manual LaMotte 2020we/wi Turbidimeter*. Recuperado el 20 de diciembre de 2014, de <http://www.lamotte.com/images/pdf/instructions/1970-MN.pdf>
- Landeta, M. (2009). *Informe Final del Proyecto, Previo a la Obtención del Título de Licenciatura en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo. Diseño de estrategias para mitigar el impacto ambiental negativo causado por los desechos sólidos y líquidos generados en los procesos de recepción y faenamiento en camales municipales de Carchi, Imbabura y norte de Pichincha*. Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra. Recuperado el 14 de octubre de 2014, de <http://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/240/1/T72199.pdf>
- Lara, L. (2011). *Seminario de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil. Las aguas residuales del camal municipal del cantón*

- Baños y su incidencia en la contaminación del Río Pastaza en la Provincia de Tungurahua*. Recuperado el 17 de octubre de 2014, de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1611/Tesis%20587%20-%20Lara%20Villac%C3%ADs%20Ligia%20Elena.pdf?sequence=1>
- Lascano, J. F. (2011). *Elaboración de Cuatro Tipos de Harinas a Base de Subproductos de Matadero en el Camal Frigorífico Municipal de Riobamba*. Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/853>
- Legendre, P., y Birks, J. (2012). *Chapter 8. From classical to canonical ordination*. Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- Leps, J., y Similauer, P. (2008). *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge University Press. Nueva York, Estados Unidos.
- Lonard, M. (2009). *Biotransformation of sewage in a trickling filter*. Recuperado el 26 de octubre de 2014, de <http://www.envirolink.govt.nz/PageFiles/65/826-GSDC66.pdf>
- Maltre SA de CV. (s.f.). *Piedra Bola Clasificada*. Recuperado el 31 de octubre de 2014, de <http://www.maltrepiedraytierra.com/ProductosA2.html>
- Marinou, E., Chrysargyris, A., y Tzortzakis, N. (2013). Use of sawdust, coco soil and pumice in hydroponically grown strawberry. *Plant Soil Environ*, 452-459.
- Martínez-Trujillo, M., y García-Rivero, M. (2012). Revisión: Aplicaciones Ambientales de Microorganismos Inmovilizados. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1) 55-73.
- Merchan, C. (2012). *Piedra Pómez*. Recuperado el 9 de noviembre de 2014, de <http://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/PPOMEZ%2012.pdf>
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering. Treatment and Resource Recovery* (Quinta ed.). Singapore: McGraw Hill.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-200. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Pluviales*. Recuperado el 14 de octubre de 2014, de http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/6._Sistemas_de_recoleccion_de_aguas.pdf

- Monroy, F., Aira, M., y Domínguez, J. (2008). Change in desity of nematodes, protozoa and total coliform after transit through the gut of four epigeic earthworms (*Oligochaeta*). *Applied Soil Ecology*, 39(2), 127-132.
- Moreno, J., y Moral, R. (2011). *Compostaje*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Nanocolor. (s.f.). *Manual 500D*. Recuperado el 18 de noviembre de 2014, de <ftp://ftp.mnnet.com/english/User%20manuals/Wateranalysis/500D%20User%20Manual%20EN/500D%20general%20%20EN.pdf>
- NANOCOLOR. (s.f.). *Procedimiento Test 0-29. NANOCOLOR DQO 1500. REF 985 029*. Recuperado el 18 de noviembre de 2014, de ftp://ftp.mnnet.com/espanol/hoja_de_instrucciones/NANOCOLOR/985029es.PDF
- Orellana, J. (2009). *Contaminación. Apuntes de Clase, Unidad Temática N° 2*. Recuperado el 14 de octubre de 2014, de http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_02_Contaminacion.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (s.f.). *Colección FAO para Capacitación: 9. Permeabilidad del suelo*. Obtenido de ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm
- Paco, G., Loza-Murguía, M., Mamani, F., y Sainz, H. (2011). Effect of the californian red worm (*Eisenia foetida*) during the composteo and vermicomposteo in properties of the Experimental Station of the Academic Rural Unit Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2), 24-39.
- Pedescoll, A. (2010). *PhD Thesis. Clogging in horizontal subsurface flow constructed wetlands. Measures, design factors and prevention strategies*. Recuperado el 21 de diciembre de 2014, de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/108721/TAPA1de1.pdf?sequence=1>
- Phillips, P., Wolcott, R., Fletcher, J., y Schultz, G. (2010). Biofilms made easy. *Wounds International*, 1(3), 1-6.
- Pineda, J., Sánchez, F., Ramírez, A., Castillo, A., Valdés, L., y Moreno, E. (2012). Pine sawdust as hydroponic substrate. I: Variation in physical

- properties during five crop cycles. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 18(1), 95-111.
- Prasad, M., Maher, M., y Raviv, M. (2008). *Organic Soiless Media Components. In Soiless Culture: Theory and Practice*. Elsevier . Estados Unidos.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2012). *TUNZA, revista para los jóvenes. Agua Dulce*. Recuperado el 28 de agosto de 2014, de http://www.unep.org/pdf/Tunza_10.4-Spa-SMLR.pdf
- Quesada, P. (2011). *Trabajo final de graduación requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. Uso de compost y arena volcánica como sustratos en un sistema hidropónico abierto para cultivo protegido de tomate (Lycopersicon esculentum Mill)*. Recuperado el 2 de noviembre de 2014, de [http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/2780/Uso%20de%20compost%20y%20arena%20volc%C3%A1nica%20como%20sustratos%20en%20un%20sistema%20hidrop%C3%B3nico%20abierto%20para%20cultivo%20protegido%20de%20tomate%20\(Lycopersicon%20esculentum%20](http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/2780/Uso%20de%20compost%20y%20arena%20volc%C3%A1nica%20como%20sustratos%20en%20un%20sistema%20hidrop%C3%B3nico%20abierto%20para%20cultivo%20protegido%20de%20tomate%20(Lycopersicon%20esculentum%20)
- Ramos, C., Agramonte, M., Rodríguez, X., y Rodríguez, X. (2010). Filtro biológico en el tratamiento de lixiviados. *CENIC - Ciencias Biológicas*, 41(1), 1 - 11.
- Robertson, P. (2010). Estimating in-situ soil permeability from CPT & CPTu. *2nd international symposium on cone penetration testing, Huntington Beach*, 2, 3.
- Ruiz, M., y González, S. (2014). *Geología aplicada a la ingeniería civil*. México: Limusa.
- Ruiz, S. (2011). *Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Plan de Gestión de Residuos del Camal del Cantón Antonio Ante*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Recuperado el 14 de octubre de 2014, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3743/1/CD-3437.pdf>
- Salazar, P. (2005). *Tesis para optar al título de Constructor Civil. Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. Recuperado el 28 de octubre de 2014, de

<http://cobexonline.com/wp-content/uploads/2012/12/Tesis-Sistema-Toh%C3%A1-U.-Austral-de-Chile.pdf>

Sánchez, F. (2005). *Departamento de Geología, Universidad de Salamanca-España Flujo en medios porosos: Ley de Darcy*. Recuperado el 2 de marzo de 2015, de http://www.agua.org.py/images/stories/biblioteca/subterranas/javier-sanchez_flujo-en-medios-porosos---ley-de-darcy.pdf

Schlegelová, J., Nápravníková, E., Mendis, M., Horváth, R., Benédik, J., Babák, V., Klímovád, E., Navrátilová, P. y Šustáčková, A. (2004). Beef carcass contamination in a slaughterhouse and prevalence of resistance to antimicrobial drugs in isolates of selected microbial species. *Meat Science*, 66(3), 557-565.

Schwarz, C. (2014). *Single Factor - Completely Randomized Designs (a.k.a One-design)*. *Course Notes for Beginning and Intermediate Statistics*. Recuperado el 28 de enero de 2015, de <http://people.stat.sfu.ca/~cschwarz/CourseNotes/>

Secretaría del Agua. (2014). *MEGAPROYECTOS Y METAS 2007*. Recuperado el 31 de julio de 2014, de <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/PROYECTOS-EMBLEM%C3%81TICOS.pdf>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010. Resumen Recursos Hídricos*. Recuperado el 30 de junio de 2014, de <http://plan.senplades.gob.ec/web/guest/resumen22>

SENAGUA. (2011). *Subsecretaría Técnica de los Recursos Hídricos*. Recuperado el 2 de septiembre de 2014, de *Calidad del Agua en el Ecuador*: http://www.cepal.org/deype/noticias/noticias/1/44071/senagua_calidad-agua.pdf

SENAGUA. (2012). *Política Nacional del Agua*. Quito, Ecuador.

Sistema Tohá®. (s.f.). *02. Inventor*. Recuperado el 13 de julio de 2014, de http://www.sistematoha.cl/?page_id=2

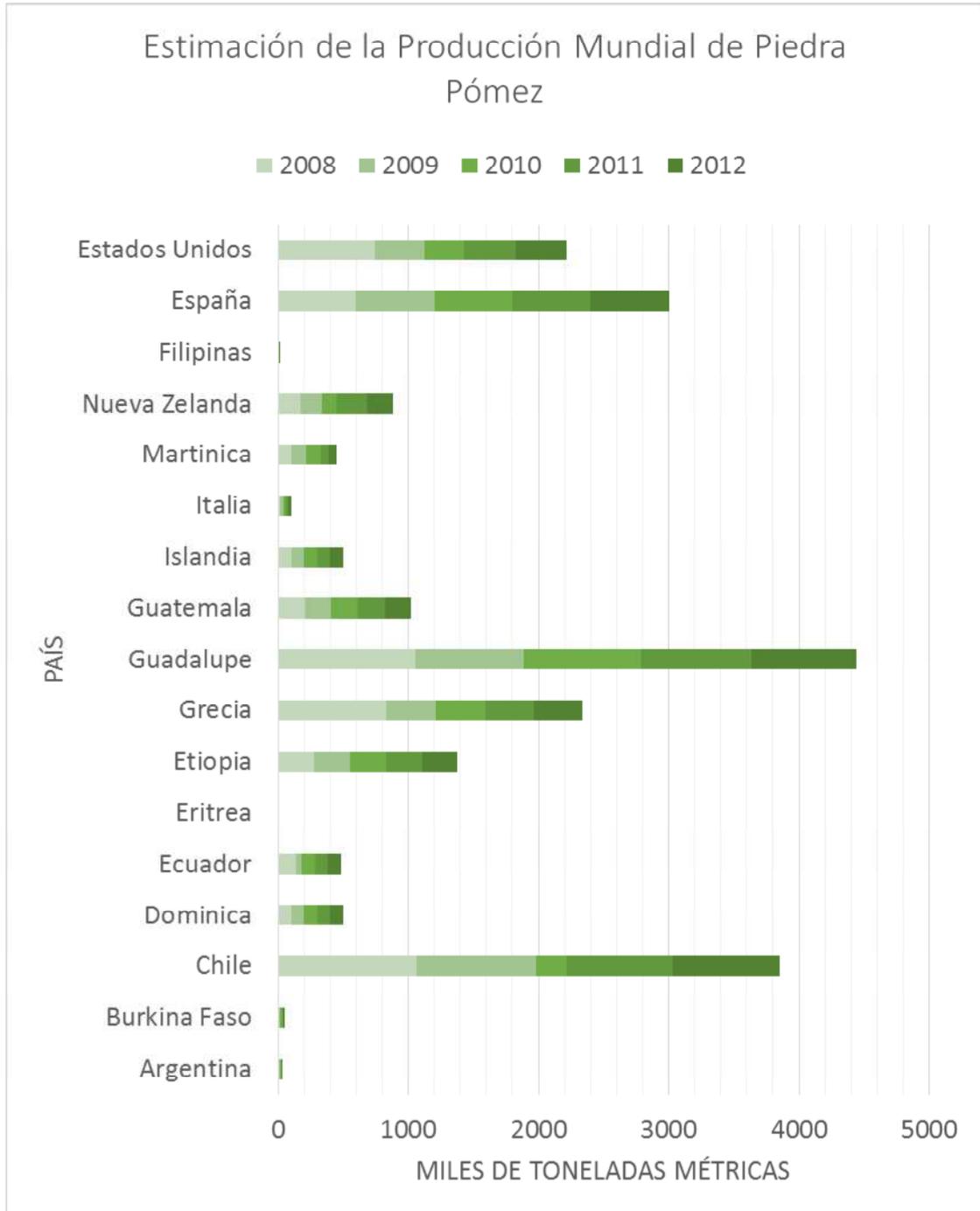
- Spectrum Technologies, Inc. (s.f.). *FieldScout SoilStik ph Meter Product Manual. Item# 2105*. Recuperado el diciembre de 20 de 2014, de http://www.specmeters.com/assets/1/22/2105_SoilStik.pdf
- Taveras, M., Silva, M., Flores Chang, F., y De León, M. (2011). *Programa de la USAID para la Protección Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Renovables. Guía para Buenas Prácticas Ambientales en Mercados y Mataderos*. Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de http://www.medioambiente.gov.do/cms/archivos/Guia_mercados_y_mataderos_31_enero.pdf
- TECHFIL. (s.f.). *Techfil Home*. Recuperado el 9 de noviembre de 2014, de <http://www.techfil.eu/es/>
- Teleamazonas. (s.f.). *Reportaje 30 Minutos Plus: Camales*. Recuperado el 31 de julio de 2014, de <http://www.teleamazonas.com/index.php/nuestra-programacion/actualidad/30-plus/214-la-realidad-de-los-camales-en-ecuador>
- Tomaselli, T., y Sánchez, L. (2008). *Reingeniería del Camal Municipal de Machala*. Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1735/1/3421.pdf>
- Torres, A. (s.f.). *Diseño definitivo de la planta de tratamiento de aguas residuales del camal metropolitano Quito*. Preparada para EMAAP-Q
- Unión Europea. (2008). *Reglamento (CE) n° 889/2008. Del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control*. Recuperado el 2 de noviembre de 2014, de http://www.madrid.org/rlma_web/html/web/Descarga.icm?ver=S&idLegislacion=1600&idDocumento=1
- United States Department of Agriculture. (2009). *Section 16 - Drainage of Agricultural Land. Soil Conservation Service*. Recuperado el 2 de marzo de 2015, de <http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=18372.wba>

- Vallina, B., Villagra, A., y Fernández, R. (2007). *BIDA System: waste water treatment with earthworms*. Recuperado el 26 de octubre de 2014, de http://www.smallwat.org/2007/pdf/membrane/paper/5paper_poster2.pdf
- Veall, F. (1997). *Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo*. Food and Agriculture Organization (FAO). Recuperado el 3 de septiembre de 2014, de <http://www.fao.org/docrep/004/t0566s/T0566S00.htm#TOC>
- Verdugo, M., y Yunga, G. (2010). *Tesis de Pregrado previa a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental. Capítulo 1. Eliminación de metales tóxicos de aguas residuales industriales utilizando Zeolitas Naturales*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Campus "El Vecino". Citado en Tumipamba, G y Elizabeth, A. (2011). *Evaluación de la capacidad de biorremoción de zinc en agua sintética de dos consorcios microbianos nativos a escala de laboratorio*.
- WageningenUR. (s.f.). *Canoco for visualization of multivariate data*. Recuperado el 13 de febrero de 2015, de <http://www.wageningenur.nl/en/Expertise-Services/Research-Institutes/plant-research-international/show/Canoco-for-visualization-of-multivariate-data.htm>
- Wang, D.-b., Zhang, Z.-y., Li, X.-m., Zheng, W., Yang, Q., Ding, Y., Zeng, sT., Yue, X., Shen, T., Zeng, G., y Deng, J.-h. (2010). A full-scale treatment of freeway toll-gate domestic sewage using ecology filter integrated constructed rapid infiltration. *Ecological Engineering*, 36(6) 827-831.
- Waterwatch Australian Steering Committee. (2002). *Waterwatch Australia national technical manual: module 4 - physical and chemical parameters*. Recuperado el 6 de agosto de 2014, de <http://nrmonline.nrm.gov.au/catalog/mql:2880>
- Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH. (2013). *Manometric BOD Measuring Devices*. Recuperado el 11 de noviembre de 2014, de <http://www.globalw.com/downloads/WQ/oxitopis.pdf>
- Wu, P., y Mittal, G. (2011). Characterization of provincial inspected slaughterhouse wastewater in Ontario. *Canadian Biosystem Engineering*, 53(6), 9-18.

ANEXOS

ANEXO 1

Producción Mundial de Piedra Pómez

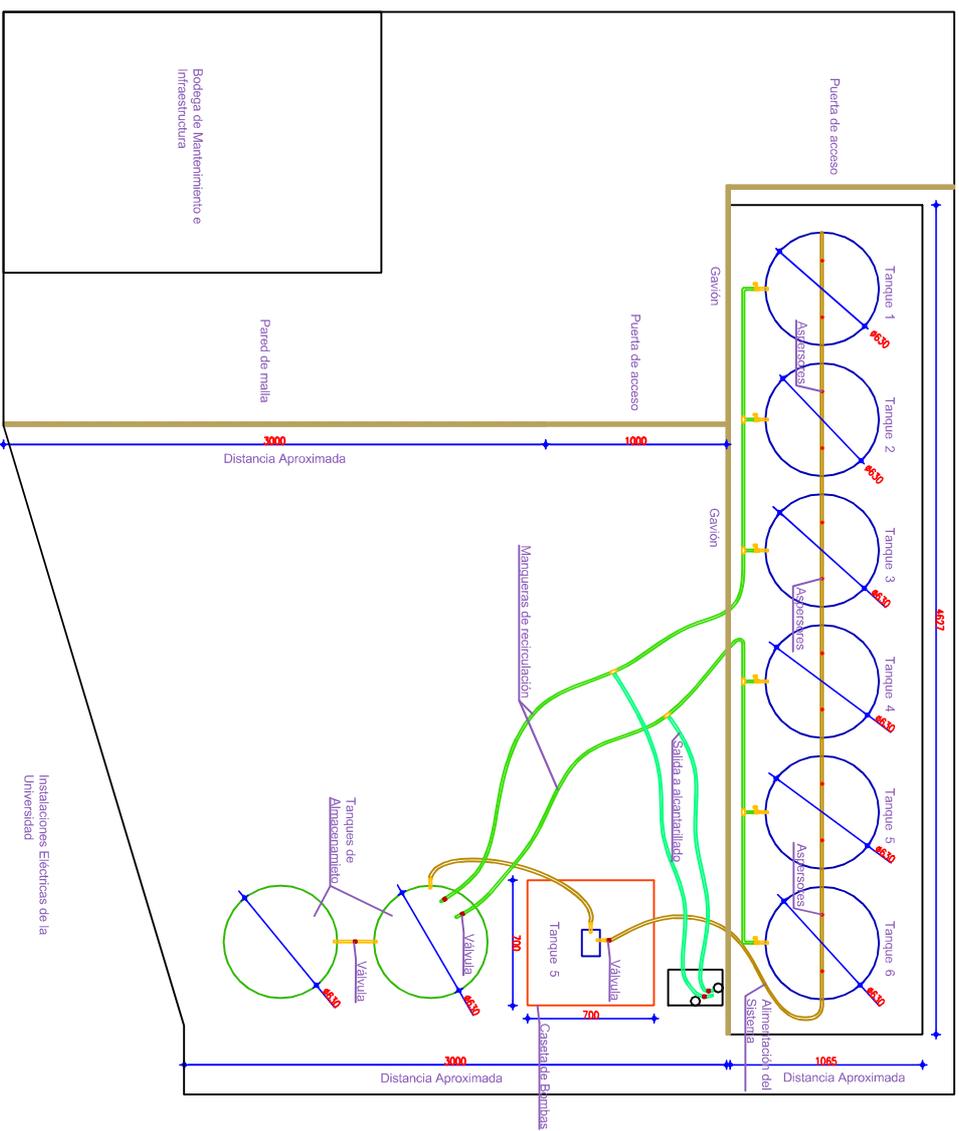


Nota: (1) Resto de Países Productores de Piedra Pómez: Austria, Burkina Faso, Cabo Verde, Costa Rica, Croacia, Rep. Dominicana, Eritrea, Islandia, Macedonia, Martinica, Nueva Zelanda, Serbia-Montenegro, Tanzania y Uganda.

Adaptado de Crangle (2013)

ANEXO 2

Planimetría Relativa al Experimento



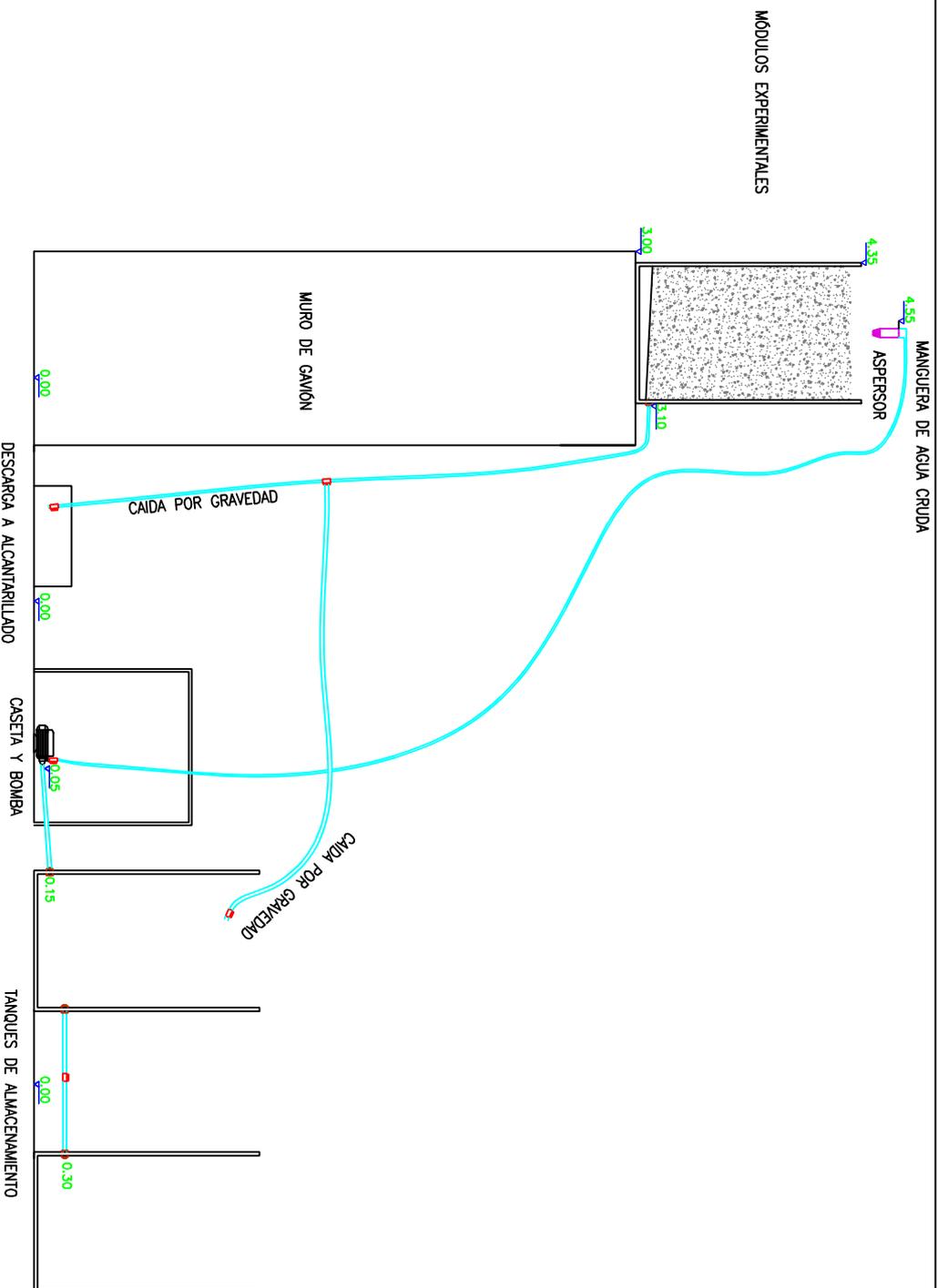
Bloque 7 UDULA - Sede Quen

LAYOUT DEL EXPERIMENTO

ESCALA 1:35

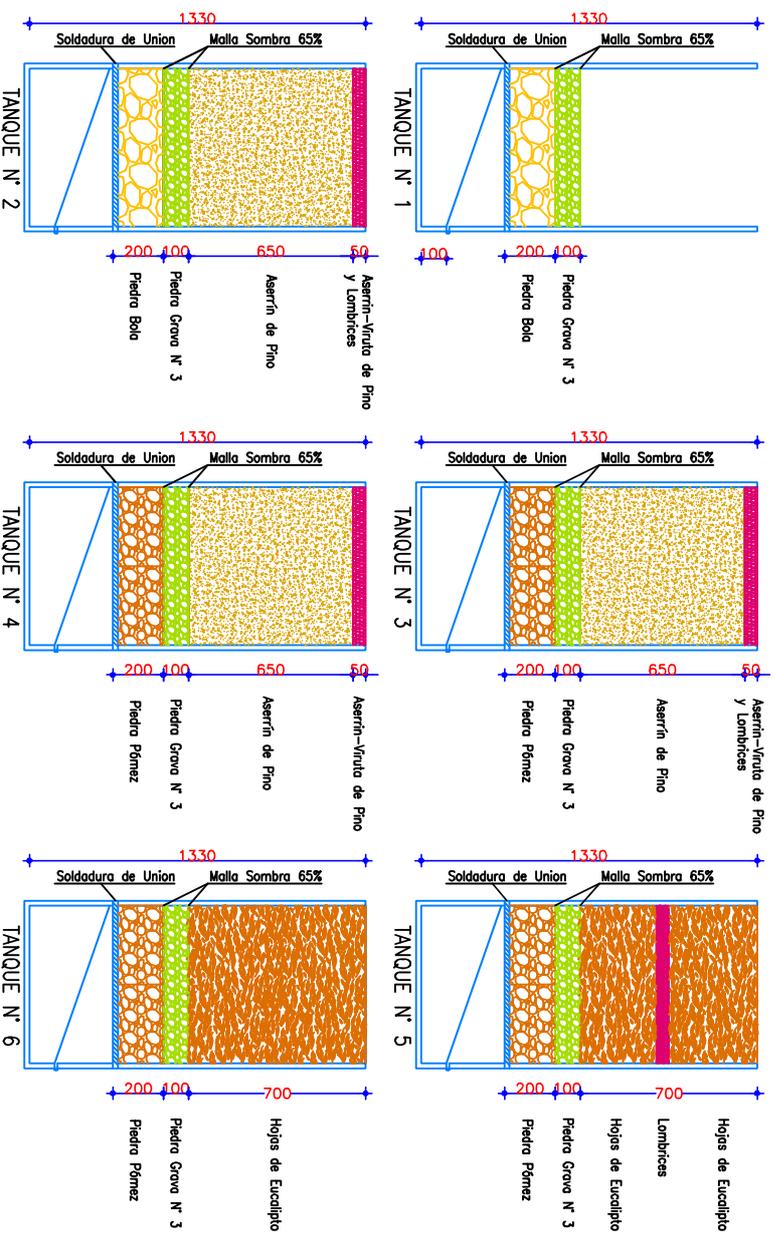
Instalaciones Eléctricas de la Universidad

 <p>UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS</p>			
<p>PROYECTO DE INTELIGENCIA</p>		<p>PROYECTO DE INTELIGENCIA</p>	
<p>INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS</p>		<p>EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS DE BIOPULTRACIÓN EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.</p>	
<p>CARRERA</p>		<p>CONTINUO</p>	
<p>INGENIERIA AMBIENTAL PREVENCIÓN Y REMEDIACIÓN</p>		<p>LAYOUT DEL EXPERIMENTO</p>	
ESTUDIANTE	FRASE	ESCALA	FECHA
FRANCISCO DAVID CEVALLOS ZURITA	1	INDICADOS	NOVIEMBRE-2014
		<p>DESCRIPCIÓN</p>	
		<p>ALCANTARILLADO</p>	



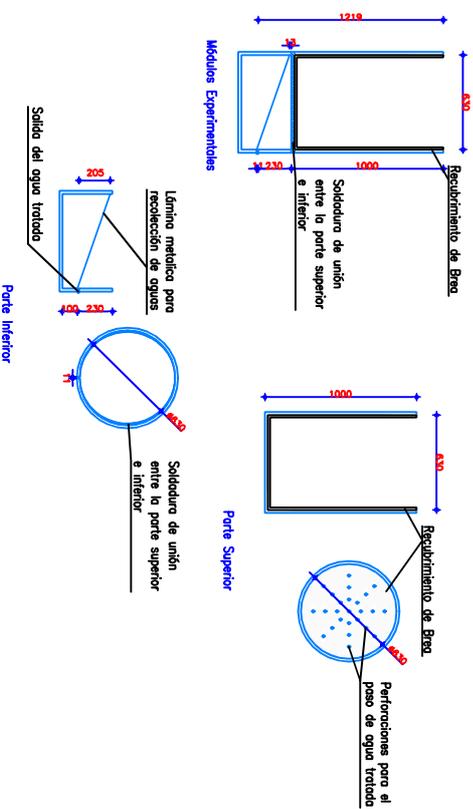
ELEVACIONES PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS
SIN ESCALA

					
PROBLEMA INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS		PROYECTO DE TRABAJO EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS DE BIOPILTRACION EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.			
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL PREVENCIÓN Y REMEDIACION		CONTENIDO ELEVACIONES DEL EXPERIMENTO			
ENTRENANTE	PLAZO	ESCALA	FECHA	DESIGNACION	
FRANCISCO DAVID CEVALLOS ZURITA	2	INGENIAROS	NOVIEMBRE-2014	ALCANTARILLADO	



ESTRATIFICACION DE LOS MÓDULOS EXPERIMENTALES

ESCALA 1:30



DISÑO DE LOS MÓDULOS EXPERIMENTALES

ESCALA 1:30

 UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS			
PROBLEMA INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS	OBJETIVO DE TRABAJO EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS DE BIOPILTRACION EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.	CONTENIDO ESTRATIFICACIONES Y DISEÑO DE MÓDULOS EXPERIMENTALES	
CONTENIDO INGENIERIA AMBIENTAL PREVENCIÓN Y REMEDIACION	PLAZO	ESCALA	FECHA
ENTORNO FRANCISCO DAVID CEVALLOS ZURITA	3	INOCUAS	NOVIEMBRE-2014
		REVISION	ACOMPAÑAMIENTO

ANEXO 3
Registro Fotográfico

Registro Fotográfico

A continuación se presenta un registro fotográfico completo acerca de los procesos y actividad que se han desarrollado a lo largo del presenta trabajo de titulación.



Materiales de los estratos



Estrato de piedra pómez.



Estrato de piedra bola de río.



Estrato de piedra grava de río.



Tanques metálicos que albergaran los estratos filtrantes.



Trabajos sobre los tanques metálicos para su adaptación de acuerdo a la planimetría.



Retiro de las tapas metálicas de los tanques.



Interior de un taque metálico.



Adaptación de los tanques metálicos, parte del sistema recolector de aguas tratadas.



Sistema para la recolección de las aguas tratadas.



Sistema para la recolección de las aguas tratadas.



Sistema para la recolección de las aguas tratadas.



Sistema para la recolección de las aguas tratadas.



Sistema para la recolección de las aguas tratadas.



Sistema para la recolección de las aguas tratadas.



Sistema para la recolección de las aguas tratadas.



Neplos que conectara los tanques con las mangueras de recolección.



Trabajos sobre los neplos.



Trabajos sobre los neplos.



Neplos que conectara los tanques con las mangueras de recolección.



Tanques adaptados y construidos.



Tanques adaptados y construidos.



Materiales para la limpieza de los tanques.



Hidralavadora a presión para limpieza de los tanques.



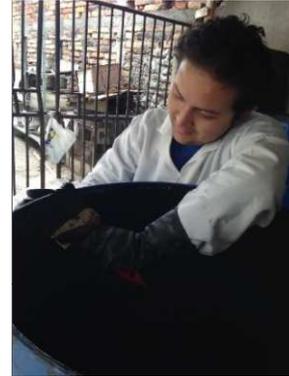
Brea líquida que servirá como impermeabilizante.



Aplicación de brea líquida dentro de los tanques.



Aplicación de brea líquida dentro de los tanques.



Aplicación de brea líquida dentro de los tanques.



Adaptación y conexión de los tanques para que se acomplan a las mangueras y al sistema de riego del agua residual.



Adaptación y conexión de los tanques para que se acomplan a las mangueras y al sistema de riego del agua residual.



Pieza de conexión hidráulicas.



Armado de piezas hidráulicas.



Transporte de los materiales.



Transporte de los materiales.



Transporte de los materiales.



Instalación de la bomba junto con el *timer*.



Ubicación del *timer* el cual controlara el encendido de la bomba.



Instalación de la bomba.



Tanques de almacenamiento.



Módulos experimentales.



Llegada de los materiales de construcción al emplazamiento en la UDLA



Ubicación de los módulos experimentales.



Instalación de conexiones hidráulicas.



Diferentes estratos filtrantes.



Construcción de infraestructura del experimento.



Ubicación de los módulos experimentales.



Módulos experimentales, construcción de cubierta del mismo.



Módulos experimentales, ubicación del experimento.



Instalación de conexiones hidráulicas.



Corte saran 65% que divida los estratos filtrantes.



Colocación de piedra grava.



Colocación de piedra pómez.



Estrato de piedra grava.



Estrato de piedra bola.



Medición de la altura de los estratos filtrantes.



Colocación de piedra bola grava como estrato filtrante.



Colocación de piedra bola grava como estrato filtrante.



Colocación de piedra bola grava como estrato filtrante.



Colocación de piedra bola grava como estrato filtrante.



Colocación de piedra bola grava como estrato filtrante.



Colocación aserrín como estrato filtrante.



Colocación aserrín como estrato filtrante.



Colocación aserrín como estrato filtrante.



Colocación viruta como estrato filtrante.



Colocación de hojas de eucalipto como estrato filtrante.



Colocación de hojas de eucalipto como estrato filtrante.



Ubicación de la manguera de distribución del agua residual.



Ubicación de la manguera de distribución del agua residual.



Letreros de identificación del Proyecto.



Instalación del *timer* y calibración del mismo.



Letreros de identificación del Proyecto.



Conexiones de la bomba desde los tanques de almacenamiento.



Calibración del caudal de salida de la bomba.



Calibración del caudal de salida de la bomba.



Ubicación de trampas para insectos (moscos).



Ubicación de trampas para insectos (moscos).



Colmatación del Tratamiento 4.



Colmatación del Tratamiento 4.



Primera carga del agua residual.



Primera carga del agua residual.



Lombrices rojas californianas.



Colocación en los Tratamientos 2 y 3 de las lombrices.



Colocación en el Tratamiento 5 de las lombrices.



Funcionamiento del sistema de tratamiento.



Estrato de piedra grava después de 78 días del experimento.



Estrato de piedra grava después de 78 días del experimento.



Estrato de piedra pómez después de 78 días del experimento.



Estrato de piedra grava pómez de 78 días del experimento.



Recolección del agua residual en la EMRAQ-EP.



Recolección del agua residual en la EMRAQ-EP.



Recolección del agua residual en la EMRAQ-EP.



Recolección del agua residual en la EMRAQ-EP.



Recolección del agua residual en la EMRAQ-EP.



Recolección del agua residual en la EMRAQ-EP.



Transporte del agua residual dentro de la UDLA.



Personal de Mantenimiento de la UDLA en apoyo al desarrollo del proyecto.



Recarga del agua residual dentro de los tanques de almacenamiento.



Limpieza del tanque de almacenamiento previa a la preparación de la prueba de tiempos de residencia.



Anilina como trazador para la prueba de tiempos de residencia.



Trazador para la prueba de tiempos de residencia.



Botellas de incubación ambar y equipo de OxiTop para la medición de DBO_5 .



Equipo de DBO_5 dentro del horno de incubación.



Toma de los datos de medición del DBO_5 .



Conteo de lombrices iniciales.



Conteo de lombrices iniciales



Conteo de lombrices iniciales



Instalación del sistema de aireación.



Instalación del sistema de aireación.



Conos Imhoff para el ensayo de sólidos sedimentables.



Conos Imhoff para el ensayo de sólidos sedimentables.



Ácido nítrico 0,1N empleado en el lavado de cápsulas de porcelana. Ensayo de sólidos totales



Cápsulas de porcelana para el ensayo de sólidos totales.



Ensayo de sólidos totales.



Ensayo de sólidos totales.



Ensayo de sólidos totales.



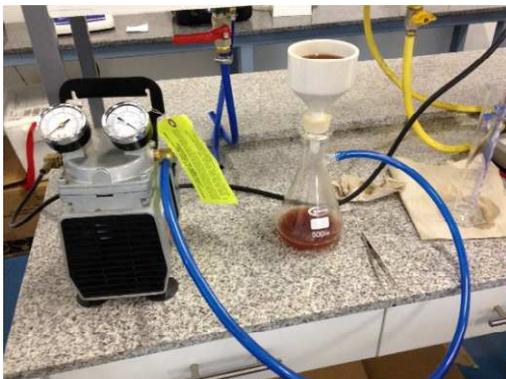
Desecador.



Cápsulas de porcelana con muestras de sólidos dentro del desecador.



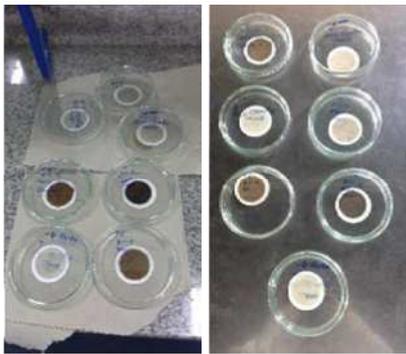
Cápsulas de porcelana con muestras de sólidos; pesaje de las cápsulas.



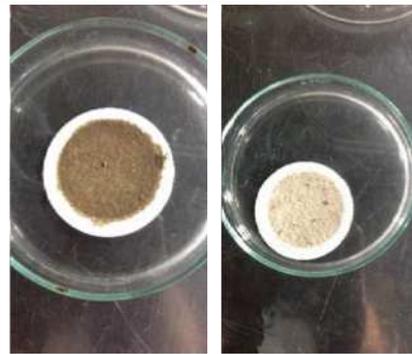
Equipo de filtración con bomba de vacío.



Equipo de filtración con bomba de vacío.



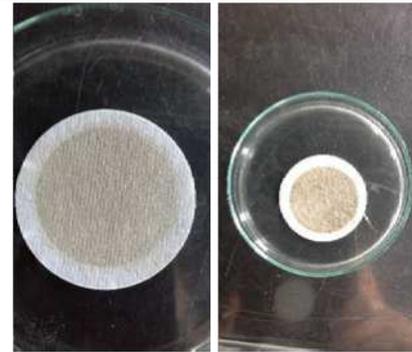
Cajas Petri con filtros de fibra de vidrio con muestra de sólidos; ensayo de sólidos suspendidos.



Determinación de sólidos suspendidos totales.



Determinación de sólidos suspendidos totales.



Determinación de sólidos suspendidos totales.



Desecador con los filtros del ensayo de sólidos suspendidos.



Determinación de sólidos suspendidos totales.



Determinación de sólidos suspendidos totales.



Determinación de sólidos suspendidos totales.



Equipos de estufa y mufla empleados en los ensayos de sólidos suspendidos, totales, fracción fija y volátil.



Equipos de estufa y mufla empleados en los ensayos de sólidos suspendidos, totales, fracción fija y volátil.



Mufla con las muestras para el ensayo de fracción fija y volátil



Explicación para el conteo de lombrices al final del experimento.



Lombrices en los módulos experimentales.



Explicación del trabajo para el conteo de lombrices e identificación de estadíos.



Conteo e identificación de estadíos de las lombrices.



Desalojo del estrato que contiene lombrices para su identificación y conteo.



Cocones de lombrices.



Lombrices que se encontraban dentro de los estratos filtrantes.



Conteo e identificación de estadios de las lombrices.



Conteo e identificación de estadios de las lombrices.



Lombrices dentro de un envase con agua para evitar su deshidratamiento.



Conteo e identificación de lombrices en el estrato de hojas de eucalipto.



Conteo e identificación de estadios de las lombrices.



Conteo e identificación de estadios de las lombrices.

ANEXO 4

Resultados de Laboratorio



PROTOCOLO N°: 0914-5504	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 05
	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: INGENIERO FRANCISCO CEVALLOS
 DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: INGENIERO FRANCISCO CEVALLOS
 NOMBRE DEL PROYECTO: MONITOREO DE AGUA
 DIRECCIÓN DEL PROYECTO: CAMILO OREJUELA S/N
 MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
 PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: SEPTIEMBRE, 10 DEL 2014 / 14:48 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0008340
 LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
 FECHA DE ANÁLISIS: SEPTIEMBRE 10 AL 22 DEL 2014
 FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 22 DE SEPTIEMBRE DEL 2014

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
A-3177	A1	Agua Camal, Salida homogenizado	10/09/2014	No Reportado por el Cliente	No Reportado por el Cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.
 Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe"

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.


 Químico Miguel Maliza
 C.P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador



Papel ecológico, de material reciclado,
 blanqueado sin uso de Cloro.



CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6-157 y
Huachi
Quito - Ecuador
T + 59 3 2341 4080
T + 59 3 2259 9280
ABN 84 009 936 029
www.corplab.net
www.asglobal.com

PROTOCOLO N°: 0914-5504	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 05
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-3177	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A1		
ACEITES Y GRASAS GRAVIMÉTRICO	Standard Methods 22 Edition, 2012, 5520 B.	PA - 43.00	mg/l	39,6	70	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed-22-2012, 5210B	PA - 45.00	mg/l	2128	170	NO CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 32.00	mg/l	5108	350	NO CUMPLE
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540F	PA - 46.00	ml/l	10,0	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540-D	PA - 16.00	mg/l	810	100	NO CUMPLE
FOSFATOS	Standard Methods Ed-22-2012, 4500 P - B & C	PA - 49.00	mg/l	82,0	NO APLICA	NO APLICA
NITROGENO TOTAL KJELDAHL(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012 4500-C	PA - 72.00	mg/l	57,0	60,0	CUMPLE



REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ ORDENANZA METROPOLITANA N° 404, Resolución 00002 - 2014. Tabla N°1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor, alcantarillado.

⁽²⁾ Criterio de resultados



Papel ecológico, de material reciclado, blanqueado sin uso de Cloro.



Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 1214-7240	RU-49
	Revisión: 05
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: FRANCISCO CEVALLOS
DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: FRANCISCO CEVALLOS
NOMBRE DEL PROYECTO: MONITOREO DE AGUA
DIRECCIÓN DEL PROYECTO: SEDE DE LA UDLA
MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: DICIEMBRE, 10 DEL 2014 / 12.05 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0009217
LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
FECHA DE ANÁLISIS: DICIEMBRE 10 AL 18 DEL 2014
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 18 DE DICIEMBRE DEL 2014

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
	CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84
A-4353	A1	Tanque de Almacenamiento de Aireación	10/12/2014	11:30	No Reportado por el Cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.

Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador; éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe"

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.

Químico Miguel Maliza
 C. P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador





CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 1214-7240	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 05
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-4353	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A1		
ACEITES Y GRASAS GRAVIMÉTRICO	Standard Methods 22 Edition, 2012, 5520 B.	PA - 43.00	mg/l	<20	70	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed-22-2012, 5210B	PA - 45.00	mg/l	237	170	NO CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 32.00	mg/l	609	350	NO CUMPLE
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540F	PA - 46.00	ml/l	<0,5	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540-D	PA - 16.00	mg/l	74,0	100	CUMPLE
FOSFATOS	Standard Methods Ed-22-2012, 4500 P - B & C	PA - 49.00	mg/l	28,7	NO APLICA	NO APLICA
NITROGENO TOTAL KJELDAHL(*)	Standard Methods Ed. 22. 2012 4500-C	PA - 72.00	mg/l	40,8	60,0	CUMPLE



REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ ORDENANZA METROPOLITANA N° 404, Resolución 00002 - 2014. Tabla N°1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor, alcantarillado.

⁽²⁾ Criterio de resultados





CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0020	RU-49
	Revisión: 06
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: FRANCISCO CEVALLOS Z.
NOMBRE DEL PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN
DIRECCIÓN DEL PROYECTO: CALLE JOSÉ QUERI Y AVENIDA DE LOS GRANADOS / SEDE QUERI DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: ENERO, 06 DEL 2015 / 16:20 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0009274
LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
FECHA DE ANÁLISIS: ENERO 06 AL 20 DEL 2015
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 20 DE ENERO DEL 2015

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
A-0017	A6	Tanque 6	06/01/2015	16:17	No Reportado por el Cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.

Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe"

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.


 Químico Miguel Maliza
 C.P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador





CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0020	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-0017	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A6		
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 32.00	mg/l	1535	350	NO CUMPLE
NITROGENO TOTAL KJELDAHL(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012 4500-C	PA - 72.00	mg/l	100	60,0	NO CUMPLE

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ ORDENANZA METROPOLITANA N° 404, Resolución 00002 - 2014. Tabla N°1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor, alcantarillado

⁽²⁾ Criterio de resultados





Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROCOLO N°: 0115-0021	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: FRANCISCO CEVALLOS Z.
NOMBRE DEL PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN
DIRECCIÓN DEL PROYECTO: CALLE JOSÉ QUERI Y AVENIDA DE LOS GRANADOS / SEDE QUERI DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: ENERO, 06 DEL 2015 / 16:20 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0009274
LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
FECHA DE ANÁLISIS: ENERO 06 AL 20 DEL 2015
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 20 DE ENERO DEL 2015

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
A-0018	A7	Almacenamiento con Aereación	06/01/2015	16:18	No Reportado por el Cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005
 Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe"

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.


 Químico Miguel Maliza
 C.P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador





CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROCOLO N°: 0115-0021	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-0018	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A7		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed-22-2012, 5210B	PA - 45.00	mg/l	707	170	NO CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 32.00	mg/l	1732	350	NO CUMPLE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540-D	PA - 16.00	mg/l	380	100	NO CUMPLE
SOLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540B	PA - 14.00	mg/l	1356	NO APLICA	NO APLICA
NITROGENO TOTAL KJELDAHL(*)	Standard Methods Ed. 22. 2012 4500-C	PA - 72.00	mg/l	135	60,0	NO CUMPLE



LABORATORIO DE ENSAYOS
N° OAE LE 20 05-005

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ ORDENANZA METROPOLITANA N° 404, Resolución 00002 - 2014. Tabla N°1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor, alcantarillado

⁽²⁾ Criterio de resultados





Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0018	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: FRANCISCO CEVALLOS Z.
 NOMBRE DEL PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN
 DIRECCIÓN DEL PROYECTO: CALLE JOSÉ QUERI Y AVENIDA DE LOS GRANADOS / SEDE QUERI DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
 PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: ENERO, 06 DEL 2015 / 16:20 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0009274
 LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
 FECHA DE ANÁLISIS: ENERO 06 AL 20 DEL 2015
 FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 20 DE ENERO DEL 2015

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
A-0015	A4	Tanque 4	06/01/2015	16:10	No Reportado por el Cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.
 Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador; éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.


 Químico Miguel Maliza
 C.P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador





CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0018	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-0015	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A4		
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 32.00	mg/l	840	350	NO CUMPLE
NITROGENO TOTAL KJELDAHL(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012 4500-C	PA - 72.00	mg/l	37,1	60,0	CUMPLE

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ ORDENANZA METROPOLITANA N° 404, Resolución 00002 - 2014. Tabla N°1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor, alcantarillado

⁽²⁾ Criterio de resultados





Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0019	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: FRANCISCO CEVALLOS Z.
 NOMBRE DEL PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN
 DIRECCIÓN DEL PROYECTO: CALLE JOSÉ QUERI Y AVENIDA DE LOS GRANADOS / SEDE QUERI DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
 PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: ENERO, 06 DEL 2015 / 16:20 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0009274
 LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA Oe6-157 Y HUACHI
 FECHA DE ANÁLISIS: ENERO 06 AL 20 DEL 2015
 FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 20 DE ENERO DEL 2015

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
A-0016	A5	Tanque 5	06/01/2015	16.15	No Reportado por el Cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.
 Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador; éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe"

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.


 Químico Miguel Maliza
 C.P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador





CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0019	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-0016	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A5		
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 32.00	mg/l	1022	350	NO CUMPLE
NITROGENO TOTAL KJELDAHL(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012 4500-C	PA - 72.00	mg/l	45.6	60,0	CUMPLE

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ ORDENANZA METROPOLITANA N° 404, Resolución 00002 - 2014. Tabla N°1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor , alcantarillado

⁽²⁾ Criterio de resultados





Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0017	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: FRANCISCO CEVALLOS Z.
 NOMBRE DEL PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN
 DIRECCIÓN DEL PROYECTO: CALLE JOSÉ QUERI Y AVENIDA DE LOS GRANADOS / SEDE QUERI DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
 PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: ENERO, 06 DEL 2015 / 16:20 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0009274
 LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
 FECHA DE ANÁLISIS: ENERO 06 AL 20 DEL 2015
 FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 20 DE ENERO DEL 2015

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
A-0014	A3	Tanque 3	06/01/2015	16:07	No Reportado por el Cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.
 Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador; éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.


 Químico Miguel Maliza
 C.P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador





CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0017	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-0014	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A3		
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 32.00	mg/l	615	350	NO CUMPLE
NITROGENO TOTAL KJELDAHL(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012 4500-C	PA - 72.00	mg/l	54,8	60,0	CUMPLE

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ ORDENANZA METROPOLITANA N° 404, Resolución 00002 - 2014. Tabla N°1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor, alcantarillado

⁽²⁾ Criterio de resultados





Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0016	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: FRANCISCO CEVALLOS Z.
 NOMBRE DEL PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN
 DIRECCIÓN DEL PROYECTO: CALLE JOSÉ QUERI Y AVENIDA DE LOS GRANADOS / SEDE QUERI DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
 PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: ENERO, 06 DEL 2015 / 16.20 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0009274
 LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
 FECHA DE ANÁLISIS: ENERO 06 AL 20 DEL 2015
 FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 20 DE ENERO DEL 2015

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
A-0013	A2	Tanque 2	06/01/2015	16:05	No Reportado por el Cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.
 Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe"

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.


 Químico Miguel Maliza
 C.P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador





CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0016	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-0013	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A2		
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 32.00	mg/l	621	350	NO CUMPLE
NITROGENO TOTAL KJELDAHL(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012 4500-C	PA - 72.00	mg/l	22,8	60,0	CUMPLE

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ ORDENANZA METROPOLITANA N° 404, Resolución 00002 - 2014. Tabla N°1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor, alcantarillado

⁽²⁾ Criterio de resultados





Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0015	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: FRANCISCO CEVALLOS Z.
 NOMBRE DEL PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN
 DIRECCIÓN DEL PROYECTO: CALLE JOSÉ QUERI Y AVENIDA DE LOS GRANADOS / SEDE QUERI DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
 MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
 PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: ENERO, 06 DEL 2015 / 16:20 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0009274
 LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
 FECHA DE ANÁLISIS: ENERO 06 AL 20 DEL 2015
 FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 20 DE ENERO DEL 2015

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
A-0012	A1	Tanque 1	06/01/2015	16:00	No Reportado por el Cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.

Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador; éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe"

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.


 Químico Miguel Maliza
 C.P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador





CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0115-0015	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 06
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-0012	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A1		
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 32.00	mg/l	1355	350	NO CUMPLE
NITROGENO TOTAL KJELDAHL(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012 4500-C	PA - 72.00	mg/l	115	60,0	NO CUMPLE

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ ORDENANZA METROPOLITANA N° 404, Resolución 00002 - 2014. Tabla N°1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor, alcantarillado

⁽²⁾ Criterio de resultados





ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE SUELOS FINOS (Carga Variable)

OBRA : Tesis
LOCALIZACIÓN : Quito
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Estrato filtrante aserrin y viruta con lombrices

Nº DE RECEPCIÓN : S 2829
SOLICITADO POR : Francisco Cevallos
FISCALIZACIÓN :
CONTRATISTA :
FECHA : 06/03/2015

DATOS INICIALES DE LA MUESTRA

D MUESTRA : 76,23 mm. P RECIPI + SUELO H : 257,8 gr.
L MUESTRA : 111,00 mm. P RECIPI : 0,0 gr.
Gs MUESTRA : 1,80 asum. P SUELO HUMEDO : 257,8 gr. γ HUMEDA : 0,509 gr/cm³
A MUESTRA : 45,64 cm² V MUESTRA : 506,60 cm³ γ SECA : 0,125 gr/cm³

CONDICIONES INICIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh. : 91,35 gr Pcap. + sh. : 89,55 gr Volumen de sólidos : 35,16 cm³
Pcap. + ss. : 59,88 gr Pcap. + ss. : 60,20 gr Volumen de vacíos : 471,44 cm³
Pcap. : 49,64 gr Pcap. : 50,65 gr Relación de vacíos : 13,41
% Humedad : 307,32 % % Humedad : 307,33 % Grado de Saturación : 41,17 %
% Humedad Promedio = 307,33

CONDICIONES FINALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh. : 127,13 gr Pcap. + sh. : 134,54 gr P MUESTRA FINAL : 303,1 gr.
Pcap. + ss. : 41,00 gr Pcap. + ss. : 42,35 gr Volumen de sólidos : 35,16 cm³
Pcap. : 18,16 gr Pcap. : 18,15 gr Volumen de vacíos : 471,44 cm³
% Humedad : 377,08 % % Humedad : 380,95 % Relación de vacíos : 13,41
Grado de Saturación : 50,78 %
% Humedad Promedio = 379,02

DATOS DEL ENSAYO

TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	TIEMPO TRANSCURRIDO (seg.)	CARGA INICIAL h ₁ (cm)	CARGA FINAL h ₂ (cm)	K _T (cm/seg)	K ₂₀ (cm/seg)
21	70,5	131,00	127,40	13,32983	13,0115
21	147,03	131,00	123,50	13,52290	13,2000
21	251,22	131,00	118,30	13,68929	13,3624
				PROMEDIO	13,191

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO





Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624
Cel.: 09870 49430
Quito-Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (Carga Constante)

OBRA : Tesis
LOCALIZACIÓN : Quito
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 2 - Estrato filtrante Piedra gravas
NORMA : ASTM 2434

N° DE RECEPCIÓN : S 2829
SOLICITADO POR : Francisco Cevallos
FISCALIZACIÓN :
CONTRATISTA :
FECHA : 06/03/2015

DATOS INICIALES DE LA MUESTRA

D MUESTRA : 76,10 mm. P RECIP + SUELO H : 557,6 gr.
L MUESTRA : 122,50 mm. P RECIP : 0,0 gr.
Gs MUESTRA : 2,30 asum. P SUELO HUMEDO : 557,6 gr. γ HUMEDA : 1,001 gr/cm³
A MUESTRA : 45,48 cm² V MUESTRA : 557,18 cm³ γ SECA : 0,969 gr/cm³

CONDICIONES INICIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh. : 440,33 gr Pcap. + sh. : 410,7 gr Volumen de sólidos : 234,63 cm³
Pcap. + ss. : 429,23 gr Pcap. + ss. : 400,63 gr Volumen de vacios : 322,55 cm³
Pcap. : 85,62 gr Pcap. : 107,13 gr Relación de vacios : 1,37
% Humedad : 3,23 % % Humedad : 3,43 % Grado de Saturación : 5,56 %
% Humedad Promedio = 3,33

CONDICIONES FINALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh. : 217,20 gr Pcap. + sh. : 210,66 gr P MUESTRA FINAL : 658,6 gr.
Pcap. + ss. : 180,30 gr Pcap. + ss. : 180,00 gr Volumen de sólidos : 234,63 cm³
Pcap. : 22,69 gr Pcap. : 31,69 gr Volumen de vacios : 322,55 cm³
% Humedad : 23,41 % % Humedad : 20,68 % Relación de vacios : 1,37
% Humedad Promedio = 22,04 Grado de Saturación : 36,80 %

DATOS DEL ENSAYO

Longitud entre Piezómetros, cm = 7,56
h1(respecto al desfogue), cm = 55,20
h1(respecto al desfogue), cm = 55,00
Carga h, cm = 0,20

TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	TIEMPO TRANSCURRIDO (seg.)	Volumen V (cm ³)	Gradiente Hidráulico (h / L)	K _T (cm/seg)	K ₂₀ (cm/seg)
22	30,62	157,77	0,03	4,2821	4,0818
22	48,03	443,17	0,03	7,6681	7,3095
22	75,72	868,03	0,03	9,5270	9,0815
				PROMEDIO	6,8243

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624
Cel.: 09870 49430
Quito-Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (Carga Constante)

OBRA : Tesis
LOCALIZACIÓN : Quito
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 3 - Estrato filtrante piedra pómez
NORMA : ASTM 2434

Nº DE RECEPCIÓN : S 2829
SOLICITADO POR : Francisco Cevallos
FISCALIZACIÓN :
CONTRATISTA :
FECHA : 06/03/2015

DATOS INICIALES DE LA MUESTRA

D MUESTRA : 76,1 mm. P RECIP + SUELO H : 312,2 gr.
L MUESTRA : 122,5 mm. P RECIP : 0,0 gr.
Gs MUESTRA : 2,5 mm. P SUELO HUMEDO : 312,2 gr. γ HUMEDA : 0,560 gr/cm³
A MUESTRA : 45,48 cm² V MUESTRA : 557,18 cm³ γ SECA : 0,365 gr/cm³

CONDICIONES INICIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh. : 179,69 gr Pcap. + sh. : 160,21 gr Volumen de sólidos : 81,28 cm³
Pcap. + ss. : 140,28 gr Pcap. + ss. : 125,02 gr Volumen de vacíos : 475,90 cm³
Pcap. : 66,33 gr Pcap. : 59,77 gr Relación de vacíos : 5,85
% Humedad : 53,29 % % Humedad : 53,93 % Grado de Saturación : 22,84 %
% Humedad Promedio = 53,61

CONDICIONES FINALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh. : 163,23 gr Pcap. + sh. : 148,33 gr P MUESTRA FINAL : 347,0 gr.
Pcap. + ss. : 123,79 gr Pcap. + ss. : 114,05 gr Volumen de sólidos : 81,28 cm³
Pcap. : 67,77 gr Pcap. : 65,84 gr Volumen de vacíos : 475,90 cm³
% Humedad : 70,40 % % Humedad : 71,11 % Relación de vacíos : 5,85
% Humedad Promedio = 70,75 Grado de Saturación : 30,15 %

DATOS DEL ENSAYO

Longitud entre Piezómetros, cm = 7,56
h1(respecto al desfogue), cm = 46,30
h1(respecto al desfogue), cm = 46,20
Carga h, cm = 0,10

TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	TIEMPO TRANSCURRIDO (seg.)	Volumen V (cm ³)	Gradiente Hidráulico (h/L)	K _r (cm/seg)	K _{z0} (cm/seg)
22	30,62	167,75	0,01	9,1058	8,6800
22	48,03	475,72	0,01	16,4627	15,6928
22	75,72	956,94	0,01	21,0057	20,0233
				PROMEDIO	14,7987

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE SUELOS FINOS (Carga Variable)

OBRA : Tesis

LOCALIZACIÓN : Quito

MUESTRA : Tomada por el cliente

DESCRIPCIÓN : Muestra 4 - Estrato filtrante hojas de Eucalipto

N° DE RECEPCIÓN : S 2829

SOLICITADO POR : Francisco Cevallos

FISCALIZACIÓN :

CONTRATISTA :

FECHA : 06/03/2015

DATOS INICIALES DE LA MUESTRA

D MUESTRA : 76,23 mm. P RECIP + SUELO H : 138,7 gr.
L MUESTRA : 108,6 mm. P RECIP : 0,0 gr.
GS MUESTRA : 1,4 mm. P SUELO HUMEDO : 138,7 gr. γ HUMEDA : 0,280 gr/cm³
A MUESTRA : 45,64 cm² V MUESTRA : 495,65 cm³ γ SECA : 0,111 gr/cm³

CONDICIONES INICIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh. : 126,33 gr Pcap. + sh. : 142,68 gr Volumen de sólidos : 39,35 cm³
Pcap. + ss. : 87,06 gr Pcap. + ss. : 93,89 gr Volumen de vacios : 456,29 cm³
Pcap. : 59,77 gr Pcap. : 63,32 gr Relación de vacios : 11,59
% Humedad : 143,90 % % Humedad : 159,60 % Grado de Saturación : 18,29 %
% Humedad Promedio = 151,75

CONDICIONES FINALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh. : 101,37 gr Pcap. + sh. : 132,03 gr P MUESTRA FINAL : 206,7 gr
Pcap. + ss. : 77,25 gr Pcap. + ss. : 86,41 gr Volumen de sólidos : 39,35 cm³
Pcap. : 68,40 gr Pcap. : 69,99 gr Volumen de vacios : 456,29 cm³
% Humedad : 272,54 % % Humedad : 277,83 % Relación de vacios : 11,59
% Humedad Promedio = 275,19 Grado de Saturación : 33,17 %

DATOS DEL ENSAYO

TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	TIEMPO TRANSCURRIDO (seg.)	CARGA INICIAL h ₁ (cm)	CARGA FINAL h ₂ (cm)	K _T (cm/seg)	K ₂₀ (cm/seg)
20	62,54	131,00	127,40	14,701539	14,7015
20	126,16	131,00	123,50	15,419169	15,4192
20	215,10	131,00	118,30	15,642339	15,6423
				PROMEDIO	15,2543

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO



ANEXO 5

Ordenanza Metropolitana N° 404, Resolución 00002 - . Tabla A1: Límites máximos permisibles por un cuerpo receptor, alcantarillado.

Parámetros	Expresado como	Unidad	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	
			Alcantarillado	Cauce de agua
Aceites y grasas	A y G	mg/l	50	30
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02	0,02
Caudal máximo	-	l/s	1.5 veces el caudal (1)	4,5 dato referencial.
Cianuro	CN ⁻	mg/l	1,0	0,1
Coliformes fecales	MNP/100ml		-	Remoción > 99% (2)
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2	0,2
Color real	Color real	unidades de color	-	Inapreciable en dilución: 1/20 (3)
Fósforo Total	P	mg/l	15	10
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/l	20	20
Materia flotante	Visible	-	Ausencia	Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	10,0	2,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0	2,0
Organoclorados totales	Concentración	mg/l	0,05	0,05
Organofosforados totales	Concentración	mg/l	0,1	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,5	0,2
Potencial de hidrógeno	PH		5-9	5-9
Sólidos Sedimentables	-	ml/l	10	1,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0	0,5
Sulfatos	SO ₄	mg/l	400	1000
Temperatura	-	°C	< 40	< 35
Tensoactivos	MBAS (4)	mg/l	0,5	0,5
Zinc	Zn	mg/l	2,0	2,0

(1) Caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.

(2) Los regulados con descargas de coliformes fecales menores de 3000 quedan exentos de tratamiento.

(3) La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

(4) Sustancias activas al azul de metileno.

Tomado de Dirección Metropolitana Ambiental (2008).

ANEXO 6

Procesamiento del software CANOCO. Bitácora o log de registro de la actividad del software.

[Thu Feb 12 18:31:28 2015] Log file created
[Thu Feb 12 18:31:56 2015] Settings changed
[Thu Feb 12 18:31:59 2015] CON file [C:\Users\Francisco Cevallos\Dropbox\TESIS\FINAL\TESIS\TESIS\CANOCO\ESTA
VALE\FINALES\Nueva carpeta\PRUEBA_FINAL3.con] saved
[Thu Feb 12 18:32:01 2015] Running CANOCO:
[Thu Feb 12 18:32:01 2015] CON file [C:\Users\Francisco Cevallos\Dropbox\TESIS\FINAL\TESIS\TESIS\CANOCO\ESTA
VALE\FINALES\Nueva carpeta\PRUEBA_FINAL3.con] saved
Program CANOCO Version 4.0 April 1998 - written by Cajo J.F. Ter Braak
Copyright (c) 1988-1998 Centre for Biometry Wageningen, CPRO-DLO
Box 100, 6700 AC Wageningen, the Netherlands.
CANOCO performs (partial) (detrended) (canonical) correspondence analysis,
principal components analysis and redundancy analysis.
CANOCO is an extension of Cornell Ecology program DECORANA (Hill, 1979)

For explanation of the input/output see the manual or
Ter Braak, C.J.F. (1995) Ordination. Chapter 5 in:
Data Analysis in Community and Landscape Ecology
(Jongman, R.H.G., Ter Braak, C.J.F. and Van Tongeren, O.F.R., Eds)
Cambridge University Press, Cambridge, UK, 91-173 pp.

*** Type of analysis ***

Model Gradient analysis
 indirect direct hybrid
linear 1=PCA 2=RDA 3
unimodal 4=CA 5=CCA 6
, 7=DCA 8=DCCA 9
 10=non-standard analysis

Type analysis number

Answer = 5

*** Data files ***

Species data : C:\Users\FRANCI~1\Dropbox\TESIS\FINAL\TESIS\TESIS\CANOCOESTAVA~1\LOMBIR~1.DTA

Covariable data :

Environmental data : C:\Users\FRANCI~1\Dropbox\TESIS\FINAL\TESIS\TESIS\CANOCOESTAVA~1\AMD70E~1.DTA

Initialization file:

Forward selection of envi. variables = 0

Scaling of ordination scores = 2

Diagnostics = 3

File : C:\Users\FRANCI~1\Dropbox\TESIS\FINAL\TESIS\TESIS\CANOCO\ESTAVA~1\LOMBIR~1.DTA

Title : LOMBRICES_TRANSF

Format : (I5,1X,5F13.9,1(/6X,(5F13.9)))

No. of couplets of species number and abundance per line : 0

No samples omitted

Number of samples 6

Number of species 6

Number of occurrences 18

File : C:\Users\FRANCI~1\Dropbox\TESIS\FINAL\TESIS\TESIS\CANOCO\ESTAVA~1\AMD70E~1.DTA

Title : BOX3

Format : (I5,1X,5F13.9,7(/6X,(5F13.9)))

No. of environmental variables : 38

No interaction terms defined

No transformation of species data

No species-weights specified

No sample-weights specified

No downweighting of rare species

No. of active samples: 3

No. of passive samples: 0

No. of active species: 6

Total inertia in species data=

Sum of all eigenvalues of CA = .00406

**** WARNING

**** Number of envi. and co-variables exceeds number of samples-1

**** Some variables (often, the last ones) will be found collinear

****	Collinearity detected when fitting variable	3	****	****	Collinearity detected when fitting variable	19	****
****	Collinearity detected when fitting variable	4	****	****	Collinearity detected when fitting variable	20	****
****	Collinearity detected when fitting variable	5	****	****	Collinearity detected when fitting variable	21	****
****	Collinearity detected when fitting variable	6	****	****	Collinearity detected when fitting variable	22	****
****	Collinearity detected when fitting variable	7	****	****	Collinearity detected when fitting variable	23	****
****	Collinearity detected when fitting variable	8	****	****	Collinearity detected when fitting variable	24	****
****	Collinearity detected when fitting variable	9	****	****	Collinearity detected when fitting variable	25	****
****	Collinearity detected when fitting variable	10	****	****	Collinearity detected when fitting variable	26	****
****	Collinearity detected when fitting variable	11	****	****	Collinearity detected when fitting variable	27	****
****	Collinearity detected when fitting variable	12	****	****	Collinearity detected when fitting variable	28	****
****	Collinearity detected when fitting variable	13	****	****	Collinearity detected when fitting variable	29	****
****	Collinearity detected when fitting variable	14	****	****	Collinearity detected when fitting variable	30	****
****	Collinearity detected when fitting variable	15	****	****	Collinearity detected when fitting variable	31	****
****	Collinearity detected when fitting variable	16	****	****	Collinearity detected when fitting variable	32	****
****	Collinearity detected when fitting variable	17	****	****	Collinearity detected when fitting variable	33	****
****	Collinearity detected when fitting variable	18	****	****	Collinearity detected when fitting variable	34	****

***** Collinearity detected when fitting variable 35 *****
***** Collinearity detected when fitting variable 36 *****
***** Collinearity detected when fitting variable 37 *****
***** Collinearity detected when fitting variable 38 *****

**** Weighted correlation matrix (weight = sample total) ****

SPEC AX1	1.0000								
SPEC AX2	.0000	1.0000							
SPEC AX3	.0000	.0000	.0000						
SPEC AX4	.0000	.0000	.0000	.0000					
ENVI AX1	1.0000	.0000	.0000	.0000	1.0000				
ENVI AX2	.0000	1.0000	.0000	.0000	.0000	1.0000			
ENVI AX3	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000		
ENVI AX4	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
SS.IN	.1530	-.9882	.0000	.0000	.0000	.1530	-.9882	.0000	.0000
SS.OUT	.1090	.9940	.0000	.0000	.0000	.1090	.9940	.0000	.0000
SSED.IN	.1530	-.9882	.0000	.0000	.0000	.1530	-.9882	.0000	.0000
SSED.OUT	-.4675	.8840	.0000	.0000	.0000	-.4675	.8840	.0000	.0000
ST.IN	-.1529	.9882	.0000	.0000	.0000	-.1529	.9882	.0000	.0000
ST.OUT	-.2007	.9796	.0000	.0000	.0000	-.2007	.9796	.0000	.0000
FV.IN	-.1531	.9882	.0000	.0000	.0000	-.1531	.9882	.0000	.0000

FVOUT	-.1717	.9851	.0000	.0000	.0000	-.1717	.9851	.0000	.0000
FFIN	.1529	-.9882	.0000	.0000	.1529	-.9882	.0000	.0000	.0000
FFOUT	.1477	-.9890	.0000	.0000	.1477	-.9890	.0000	.0000	.0000
DBO.IN1	-.1531	.9882	.0000	.0000	-.1531	.9882	.0000	.0000	.0000
DBO.OUT1	.4577	.8891	.0000	.0000	.4577	.8891	.0000	.0000	.0000
DBO.IN2	.1540	.9881	.0000	.0000	.1540	.9881	.0000	.0000	.0000
DBO.OUT2	-.1529	.9882	.0000	.0000	-.1529	.9882	.0000	.0000	.0000
DQO.IN1	.1544	.9880	.0000	.0000	.1544	.9880	.0000	.0000	.0000
DQO.OUT1	.9855	.1699	.0000	.0000	.9855	.1699	.0000	.0000	.0000
DQO.IN2	.1544	.9880	.0000	.0000	.1544	.9880	.0000	.0000	.0000
DQO.OUT2	-.1675	.9859	.0000	.0000	-.1675	.9859	.0000	.0000	.0000
CC.IN		.1549	.9879	.0000	.0000	.1549	.9879	.0000	.0000
CC.OUT	-.1859	.9826	.0000	.0000	-.1859	.9826	.0000	.0000	.0000
NTK.IN	.1546	.9880	.0000	.0000	.1546	.9880	.0000	.0000	.0000
NTK.OUT	.8617	.5074	.0000	.0000	.8617	.5074	.0000	.0000	.0000
TURB.IN1	-.1529	.9882	.0000	.0000	-.1529	.9882	.0000	.0000	.0000
TURB.OUT	.0763	.9971	.0000	.0000	.0763	.9971	.0000	.0000	.0000
TURB.IN2	-.1529	.9882	.0000	.0000	-.1529	.9882	.0000	.0000	.0000
TURB.OUT	-.1604	.9871	.0000	.0000	-.1604	.9871	.0000	.0000	.0000
TEMP.IN1	.1544	.9880	.0000	.0000	.1544	.9880	.0000	.0000	.0000

TEMP.OUT	.3035	-.9528	.0000	.0000	.3035	-.9528	.0000	.0000
TEMP.IN2	.1539	.9881	.0000	.0000	.1539	.9881	.0000	.0000
TEMP.OUT	-.9035	-.4287	.0000	.0000	-.9035	-.4287	.0000	.0000
PH.IN1	.1547	.9880	.0000	.0000	.1547	.9880	.0000	.0000
PH.OUT1	-.9756	.2197	.0000	.0000	-.9756	.2197	.0000	.0000
PH.IN2	.1549	.9879	.0000	.0000	.1549	.9879	.0000	.0000
PH.OUT2	-.1348	.9909	.0000	.0000	-.1348	.9909	.0000	.0000
CONDUCT.	.1611	.9869	.0000	.0000	.1611	.9869	.0000	.0000
CONDUCT.	.8934	.4492	.0000	.0000	.8934	.4492	.0000	.0000
CONDUCT.	.1654	.9862	.0000	.0000	.1654	.9862	.0000	.0000
CONDUCT.	-.9981	-.0619	.0000	.0000	-.9981	-.0619	.0000	.0000

SPEC AX1 SPEC AX2 SPEC AX3 SPEC AX4 ENVI AX1 ENVI AX2 ENVI AX3 ENVI AX4

SS.IN	1.0000							
SS.OUT	-.9657	1.0000						
SSED.IN	1.0000	-.9657	1.0000					
SSED.OUT	-.9451	.8278	-.9451	1.0000				
ST.IN	-1.0000	.9657	-1.0000	.9451	1.0000			
ST.OUT	-.9988	.9519	-.9988	.9598	.9988	1.0000		

FV.IN	-1.0000	.9656	-1.0000	.9451	1.0000	.9988	1.0000	
FV.OUT	-.9998	.9606	-.9998	.9511	.9998	.9996	.9998	1.0000
FFIN	1.0000	-.9657	1.0000	-.9451	-1.0000	-.9988	-1.0000	-.9998
FFOUT	1.0000	-.9670	1.0000	-.9433	-1.0000	-.9986	-1.0000	-.9997
DBO.IN1	-1.0000	.9656	-1.0000	.9451	1.0000	.9988	1.0000	.9998
DBO.OUT1	-.8086	.9337	-.8086	.5720	.8087	.7791	.8086	.7973
DBO.IN2	-.9529	.9990	-.9529	.8014	.9529	.9370	.9528	.9469
DBO.OUT2	-1.0000	.9657	-1.0000	.9451	1.0000	.9988	1.0000	.9998
DQO.IN1	-.9527	.9990	-.9528	.8012	.9528	.9369	.9527	.9468
DQO.OUT1	-.0170	.2763	-.0171	-.3106	.0172	-.0314	.0170	-.0019
DQO.IN2	-.9527	.9990	-.9528	.8012	.9528	.9369	.9527	.9468
DQO.OUT2	-.9999	.9617	-.9999	.9498	.9999	.9994	.9999	1.0000
CC.IN	-.9526	.9989	-.9526	.8009	.9526	.9367	.9526	.9467
CC.OUT	-.9994	.9564	-.9994	.9555	.9994	.9999	.9994	.9999
NTK.IN	-.9527	.9989	-.9527	.8011	.9527	.9368	.9527	.9468
NTK.OUT	-.3695	.5983	-.3696	.0456	.3697	.3241	.3695	.3519
TURB.IN1	-1.0000	.9657	-1.0000	.9451	1.0000	.9988	1.0000	.9998
TURB.OUT	-.9737	.9995	-.9737	.8457	.9737	.9615	.9737	.9692
TURB.IN2	-1.0000	.9657	-1.0000	.9451	1.0000	.9988	1.0000	.9998
TURB.OUT	-1.0000	.9637	-1.0000	.9475	1.0000	.9992	1.0000	.9999

TEMP.IN1	-.9527	.9990	-.9528	.8012	.9528	.9369	.9527	.9468
TEMP.OUT	.9881	-.9141	.9880	-.9842	-.9880	-.9944	-.9881	-.9908
TEMP.IN2	-.9529	.9990	-.9529	.8015	.9530	.9371	.9529	.9470
TEMP.OUT	.2854	-.5246	.2854	.0435	-.2855	-.2386	-.2853	-.2672
PH.IN1	-.9527	.9989	-.9527	.8010	.9527	.9368	.9527	.9467
PH.OUT1	-.3664	.1121	-.3664	.6503	.3663	.4111	.3665	.3840
PH.IN2	-.9526	.9989	-.9526	.8009	.9526	.9367	.9526	.9467
PH.OUT2	-.9998	.9703	-.9998	.9389	.9998	.9978	.9998	.9993
CONDUCT.	-.9507	.9986	-.9507	.7971	.9507	.9345	.9506	.9446
CONDUCT.	-.3072	.5439	-.3073	-.0206	.3074	.2607	.3072	.2891
CONDUCT.	-.9493	.9984	-.9493	.7945	.9493	.9329	.9493	.9432
CONDUCT.	-.0916	-.1703	-.0915	.4119	.0914	.1397	.0916	.1104
SS.IN	SS.OUT	SSED.IN	SSED.OUT	ST.IN	ST.OUT	FV.IN	FVOUT	
FFIN	1.0000							
FFOUT	1.0000	1.0000						
DBO.IN1	-1.0000	-1.0000	1.0000					
DBO.OUT1	-.8087	-.8117	.8085	1.0000				
DBO.IN2	-.9529	-.9545	.9528	.9490	1.0000			

PH.OUT2	-.9998	-.9999	.9998	.8193	.9583	.9998	.9582	.0355
CONDUCT.	-.9507	-.9523	.9506	.9512	1.0000	.9507	1.0000	.3264
CONDUCT.	-.3073	-.3123	.3071	.8083	.5815	.3073	.5818	.9567
CONDUCT.	-.9493	-.9510	.9493	.9526	.9999	.9493	.9999	.3305
CONDUCT.	-.0914	-.0862	.0917	-.5119	-.2149	.0914	-.2153	-.9941
FFIN	FFOUT	DBO.IN1	DBO.OUT1	DBO.IN2	DBO.OUT2	DQO.IN1	DQO.OUT1	
DQO.IN2	1.0000							
DQO.OUT2	.9482	1.0000						
CC.IN	1.0000	.9480	1.0000					
CC.OUT	.9421	.9998	.9419	1.0000				
NTK.IN	1.0000	.9481	1.0000	.9420	1.0000			
NTK.OUT	.6343	.3559	.6347	.3383	.6345	1.0000		
TURB.IN1	.9528	.9999	.9526	.9994	.9527	.3697	1.0000	
TURB.OUT	.9969	.9702	.9969	.9655	.9969	.5716	.9737	1.0000
TURB.IN2	.9528	.9999	.9526	.9994	.9527	.3697	1.0000	.9737
TURB.OUT	.9505	1.0000	.9503	.9997	.9504	.3626	1.0000	.9719
TEMP.IN1	1.0000	.9482	1.0000	.9421	1.0000	.6343	.9528	.9969
TEMP.OUT	-.8946	-.9902	-.8943	-.9926	-.8945	-.2219	-.9880	-.9269

TEMP.IN2	1.0000	.9484	1.0000	.9423	1.0000	.6339	.9530	.9970
TEMP.OUT	-.5630	-.2713	-.5634	-.2532	-.5632	-.9960	-.2855	-.4964
PH.IN1	1.0000	.9481	1.0000	.9420	1.0000	.6345	.9527	.9969
PH.OUT1	.0665	.3800	.0660	.3973	.0663	-.7292	.3663	.1446
PH.IN2	1.0000	.9480	1.0000	.9419	1.0000	.6347	.9526	.9969
PH.OUT2	.9582	.9995	.9580	.9987	.9581	.3866	.9998	.9777
CONDUCT.	1.0000	.9460	1.0000	.9398	1.0000	.6396	.9507	.9964
CONDUCT.	.5818	.2932	.5822	.2753	.5819	.9978	.3074	.5161
CONDUCT.	.9999	.9446	.9999	.9383	.9999	.6429	.9493	.9960
CONDUCT.	-.2153	.1061	-.2158	.1247	-.2155	-.8915	.0914	-.1379

	DAQ.IN2	DAQ.OUT2	CC.IN	CC.OUT	NTK.IN	NTK.OUT	TURB.IN1	TURB.OUT
TURB.IN2	1.0000							
TURB.OUT	1.0000	1.0000						
TEMP.IN1	.9528	.9505	1.0000					
TEMP.OUT	-.9880	-.9892	-.8946	1.0000				
TEMP.IN2	.9530	.9506	1.0000	-.8948	1.0000			
TEMP.OUT	-.2855	-.2782	-.5630	.1343	-.5626	1.0000		
PH.IN1	.9527	.9504	1.0000	-.8944	1.0000	-.5632	1.0000	

PH.OUT1	.3663	.3733	.0665	-.5054	.0670	.7872	.0662	1.0000
PH.IN2	.9526	.9503	1.0000	-.8943	1.0000	-.5634	1.0000	.0660
PH.OUT2	.9998	.9997	.9582	-.9850	.9583	-.3030	.9581	.3492
CONDUCT.	.9507	.9483	1.0000	-.8915	1.0000	-.5686	1.0000	.0597
CONDUCT.	.3074	.3001	.5818	-.1569	.5813	-.9997	.5820	-.7729
CONDUCT.	.9493	.9469	.9999	-.8895	.9999	-.5722	.9999	.0553
CONDUCT.	.0914	.0989	-.2153	-.2439	-.2148	.9283	-.2155	.9601

TURB.IN2 TURB.OUT TEMP.IN1 TEMP.OUT TEMP.IN2 TEMP.OUT PH.IN1 PH.OUT1

PH.IN2	1.0000							
PH.OUT2	.9580	1.0000						
CONDUCT.	1.0000	.9562	1.0000					
CONDUCT.	.5822	.3247	.5873	1.0000				
CONDUCT.	.9999	.9549	1.0000	.5908	1.0000			
CONDUCT.	-.2158	.0732	-.2219	-.9195	-.2262	1.0000		

PH.IN2 PH.OUT2 CONDUCT. CONDUCT. CONDUCT. CONDUCT.

N name (weighted) mean stand. dev. inflation factor

1	SPEC AX1	.0000	1.0000	
2	SPEC AX2	.0000	1.0000	
3	SPEC AX3	.0000	.0000	
4	SPEC AX4	.0000	.0000	
5	ENVI AX1	.0000	1.0000	
6	ENVI AX2	.0000	1.0000	
7	ENVI AX3	.0000	.0000	
8	ENVI AX4	.0000	.0000	
1	SS.IN	4.7418	.0290	14.8110
2	SS.OUT	2.1343	.5901	14.8110
3	SSED.IN	1.8385	.0145	.0000
4	SSED.OUT	.9655	.3201	.0000
5	ST.IN	6.3140	.0062	.0000
6	ST.OUT	5.5995	.1381	.0000
7	FV.IN	5.7578	.0290	.0000
8	FV.OUT	5.1615	.3965	.0000
9	FFIN	4.8639	.0387	.0000
10	FFOUT	3.9775	.6320	.0000
11	DBO.IN1	6.1549	.0290	.0000
12	DBO.OUT1	4.0968	.6195	.0000

13	DBO.IN2	4.6099	.0002	.0000	
14	DBO.OUT2	3.6020	.5033	.0000	
15	DQO.IN1	6.9127	.0001	.0000	
16	DQO.OUT1	5.5280	.0822	.0000	
17	DQO.IN2	5.6792	.0001	.0000	
18	DQO.OUT2	4.6756	.2686	.0000	
19	CC.IN	.5895	.0000	.0000	
20	CC.OUT	.3336	.1329	.0000	
21	NTK.IN	3.0859	.0007	.0000	
22	NTK.OUT	2.3395	.1987	.0000	
23	TURB.IN1	6.0603	.0242	.0000	
24	TURB.OUT	3.6530	.2825	.0000	
25	TURB.IN2	5.4595	.0154	.0000	
26	TURB.OUT	3.3202	.5081	.0000	
27	TEMP.IN1	1.9572	.0000	.0000	
28	TEMP.OUT	1.9893	.0020	.0000	
29	TEMP.IN2	1.9526	.0000	.0000	
30	TEMP.OUT	1.9636	.0007	.0000	
31	PH.IN1	1.6151	.0001	.0000	
32	PH.OUT1	1.5787	.0040	.0000	

33	PH.IN2	1.5602	.0001	.0000
34	PH.OUT2	1.5870	.0113	.0000
35	CONDUCT.	5.5989	.0000	.0000
36	CONDUCT.	5.4091	.0234	.0000
37	CONDUCT.	5.2997	.0000	.0000
38	CONDUCT.	5.3868	.0429	.0000

**** Summary ****

Axes	1	2	3	4	Total inertia
------	---	---	---	---	---------------

Eigenvalues	:	.002	.002	.000	.000	.004
-------------	---	------	------	------	------	------

Species-environment correlations: 1.000 1.000 .000 .000 .000

Cumulative percentage variance

of species data	:	60.7	100.0	.0	.0
-----------------	---	------	-------	----	----

of species-environment relation:		60.7	100.0	.0	.0
----------------------------------	--	------	-------	----	----

Sum of all unconstrained eigenvalues .004

Sum of all canonical eigenvalues .004

[Thu Feb 12 18:32:01 2015] CANOCO call succeeded

[Thu Feb 12 18:46:21 2015] Settings changed

ANEXO 7

Matrices de conteo y caracterización de lombrices.

nota.

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

TRABAJO DE TITULACIÓN

"EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE SISTEMAS DE BIOFILTRACIÓN EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES"

ESTUDIANTE: FRANCISCO CEVALLOS Z.

PROFESOR GUÍA: ING. ALEJANDRO GONZÁLEZ

CONTEO Y CARACTERIZACIÓN DE LOMBRICES



Etapas de desarrollo ^(a)

Cocones o huevos: son capullos donde se encuentran incubando las lombrices. Son de coloración blanca, miden 1 mm o menos.

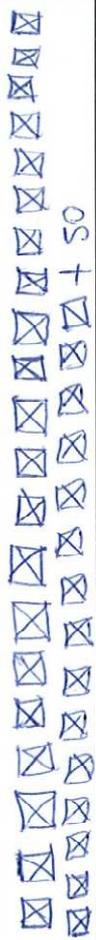
Recien nacidas: 1-5 mm de longitud y de coloración blanca.

Juveniles (entre días 5 y 6): coloración rosada, tienen una longitud de entre 2 a 5 cm.

Maduras (entre los días 15 a 20): coloración roja oscura, longitud entre 6 a 8 cm. Se puede dividir entre cliteliadas y no cliteliadas.

Fecha:

Hora:

Número de tanque	Etapas de desarrollo	Conteo de lombrices	Total de lombrices	Observaciones
#2 20cm Nivel I	Cocones		275 + 50 = 265	
	Recien nacidas		14 + 15	
	Juveniles		18 + 19	
	Maduras no cliteliadas		15	
	Maduras cliteliadas		27	

^(a) Durán y Herríquez (2010); Durán y Henríquez (2009); y Salazar (2005).

nota.



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
TRABAJO DE TITULACIÓN
"EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE SISTEMAS DE BIOFILTRACIÓN EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES"

ESTUDIANTE: FRANCISCO CEVALLOS Z.
PROFESOR GUÍA: ING. ALEJANDRO GONZÁLEZ

CONTEO Y CARACTERIZACIÓN DE LOMBRICES

Etapas de desarrollo ^(a)

Cocones o huevos: son capullos donde se encuentran incubando las lombrices. Son de coloración blanca, miden 1 mm o menos.

Recién nacidas: 1-5 mm de longitud y de coloración blanca.

Juveniles (entre días 5 y 6): coloración rosada, tienen una longitud de entre 2 a 5 cm.

Maduras (entre los días 15 a 20): coloración roja oscura, longitud entre 6 a 8 cm. Se puede dividir entre citelidadas y no citelidadas.

Fecha:		Hora:		
Número de tanque	Etapas de desarrollo	Conteo de lombrices	Total de lombrices	Observaciones
2# segundo nivel	Cocones	□	3	
	Recién nacidas	□	4	
	Juveniles	□□□	10	
	Maduras no citelidadas	□□□□□□□□□□	46	
	Maduras citelidadas	□□□□□□□□□□	64	

^(a) Durán y Hernández (2010); Durán y Henríquez (2009); y Salazar (2005).

nota



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
TRABAJO DE TITULACIÓN
"EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE SISTEMAS DE BIOFILTRACIÓN EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES"

ESTUDIANTE: FRANCISCO CEVALLOS Z.
PROFESOR GUÍA: ING. ALEJANDRO GONZÁLEZ

CONTEO Y CARACTERIZACIÓN DE LOMBRICES

23/01/2015 Hora: 10:29

Etapas de desarrollo ^(a)

Cocones o huevos: son capullos donde se encuentran incubando las lombrices. Son de coloración blanca, miden 1 mm o menos.

Recien nacidas: 1-5 mm de longitud y de coloración blanca.

Juveniles (entre días 5 y 6): coloración rosada, tienen una longitud de entre 2 a 5 cm.

Maduras (entre los días 15 a 20): coloración roja oscura, longitud entre 6 a 8 cm. Se puede dividir entre cliteliadas y no cliteliadas.

Fecha:		Hora:		
Número de tanque	Etapas de desarrollo	Conteo de lombrices	Total de lombrices	Observaciones
3 20 cm	Cocones		34	
	Recien nacidas		2	
	Juveniles		10	
	Maduras no cliteliadas		5	
	Maduras cliteliadas		10	

^(a) Durán y Henríquez (2010); Durán y Henríquez (2009); y Salazar (2005).

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

TRABAJO DE TITULACIÓN

"EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE SISTEMAS DE BIOFILTRACIÓN EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES"

ESTUDIANTE: FRANCISCO CEVALLOS Z.

PROFESOR GUÍA: ING. ALEJANDRO GONZÁLEZ

CONTEO Y CARACTERIZACIÓN DE LOMBRICES

Etapas de desarrollo ^(a)

Cocones o huevos: son capullos donde se encuentran incubando las lombrices. Son de coloración blanca, miden 1 mm o menos.

Recien nacidas: 1-5 mm de longitud y de coloración blanca.

Juveniles (entre días 5 y 6): coloración rosada, tienen una longitud de entre 2 a 5 cm.

Maduras (entre los días 15 a 20): coloración roja oscura, longitud entre 6 a 8 cm. Se puede dividir entre cliteliadas y no cliteliadas.

Fecha:		Hora:		
Número de tanque	Etapas de desarrollo	Conteo de lombrices	Total de lombrices	Observaciones
#3 Nivel 2	Cocones	1	1	
	Recien nacidas	1	1	
	Juveniles	☒ ☒ ☒ ☒ ☒	24	
	Maduras no cliteliadas	☒ ☒ ☒ ☒ ☒	15	
	Maduras cliteliadas	☒ ☒ ☒ ☒ ☒	18	

^(a) Durán y Hernández (2010); Durán y Henríquez (2009); y Salazar (2005).



nota

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
TRABAJO DE TITULACIÓN
"EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE SISTEMAS DE BIOFILTRACIÓN EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES"

ESTUDIANTE: FRANCISCO CEVALLOS Z.
PROFESOR GUÍA: ING. ALEJANDRO GONZÁLEZ

CONTEO Y CARACTERIZACIÓN DE LOMBRICES

Etapas de desarrollo ^(a)
 Cocones o huevos: son capullos donde se encuentran incubando las lombrices. Son de coloración blanca, miden 1 mm o menos.
 Recien nacidas: 1-5 mm de longitud y de coloración blanca.
 Juveniles (entre días 5 y 6): coloración rosada, tienen una longitud de entre 2 a 5 cm.
 Maduras (entre los días 15 a 20): coloración roja oscura, longitud entre 6 a 8 cm. Se puede dividir entre cliteliadas y no cliteliadas.

Fecha: 2015-01-23		Hora: 09:30		
Número de tanque	Etapas de desarrollo	Conteo de lombrices	Total de lombrices	Observaciones
5	Cocones	☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	34	
	Recien nacidas	☒ ☒ ☒	7	
	Juveniles	☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	15	
	Maduras no cliteliadas	☒ ☒ ☒ ☒	7	
	Maduras cliteliadas	☒ ☒ ☒ ☒	12	

^(a) Durán y Henríquez (2010); Durán y Henríquez (2009); y Salazar (2005).

ANEXO 8

Certificados de calibración y validación de resultados de los análisis de laboratorio realizados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Las Américas.

Instrument Quality Certificate

Instrument: **HI2550-01** S/N: **B0045083** Lot no.: **05689** Software version: **2.01**

Description: pH / ORP / °C / EC / TDS / NaCl Bench Meter

Hanna Instruments certifies that this instrument has been produced, calibrated, tested to meet all applicable Hanna procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally accept natural physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO 9001.

The following tests have been performed according to the test instruction QCP HI2550, R 0.7

The results are listed below:

Standard Reference Materials: pH: 185h, 186g, 187e, 189c, 191d, 2193a [NIST]
 EC/TDS: SRM 2201, SRM2202 [NIST]
 External references devices*: mV: S/N US36095802 [HP, 34401A]
 Ω: S/N 06111204 [resistors box. IET]
 °C: NTO-031 [NIST Certified Thermometers Set]
 Factory calibration: mV: 2013.07.03 °C (pH): 2013.07.03 EC: 2013.07.03 °C (EC): 2013.07.03
 Probe: HI1131B; HI7662; HI76310

A) Tests performed using reference devices:

Temperature:	RES [Ω], 0.1%:	32650	10000	3603	1428	680.0	
	Tolerance [°C]:	0.0 ± 0.4	25.0 ± 0.4	50.0 ± 0.4	75.0 ± 0.4	100.0 ± 0.4	
	Reading pH [°C]:	0.0	25.0	50.0	NP	100.1	passed
mV [pH input]:	Reading EC [°C]:	0.0	25.0	50.0	NP	100.0	passed
	Ref. mV*:	-500.0	-177.5	0.0	177.5	500.0	
	Tolerance [mV]:	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	
EC: [with simulator]	Reading [mV]:	-500.1	-177.6	-0.2	177.4	499.9	passed
	EC [μS/cm]:	70.0	700	x	x	x	
	EC [mS/cm]:	x	x	7.00	70.0	490	
	Tolerance [μS/cm]:	± 0.5	± 5	± 0.05	± 0.5	± 3	
	Reading [μS/cm]:	70.0	700	x	x	x	passed
	EC [mS/cm]:	x	x	7.01	70.2	NA	passed

B) Tests performed using supplied probes, according to specifications:

Temperature: [excluding probe error]	Ref. Temp. [°C]:	0.0	25.0	50.0	75.0	100.0			
	Tolerance [°C]:	± 0.4	± 0.4	± 0.4	± 0.4	± 0.4			
	Reading pH [°C]:	0.0	24.8	49.9	NP	NP	passed		
	Reading EC [°C]:	0.0	25.0	49.9	NP	NP	passed		
pH: [meter calibrated in 3 points]	Ref. pH*:	1.68	3.00	4.01	6.86	7.01	9.18	10.01	12.45
	Tolerance [pH]:	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.01
	Reading [pH]:	NP	2.99	4.00	NP	7.01	NP	10.02	12.46
EC: [meter calibrated in 2 points]	Ref. EC [μS/cm]:	0.000	84.0	1413	5000	12880	80000	111800	
	Tolerance [μS/cm]:	± 1% of reading excluding probe error							
	Reading [μS/cm]:	0.000	NP	1421	5000	12970	80100	111600	passed

*All external references are periodically checked and are used only if are inside certification interval. NA = not applicable; NP = not performed; RES = Resistance value

Calibration and testing criteria have been met.

This certificate is valid for one (1) year from the calibration date.

Ref. No.: 1327G05-MB-005 Inspector: MUNTEANU BOGDAN / QC engineer
(Name / Title of Signatory)

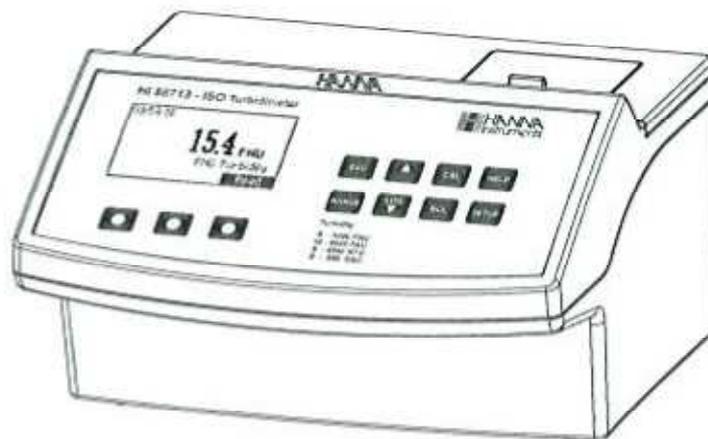
Date: 2013/07/05 Signature: 

www.hannainst.com/manuals/man 88713-05-05-
Instruction Manual

2008.

pdf

HI 88713 ISO Turbidity Meter



IMPORTADORES Y DISTRIBUIDORES DE:
EQUIPOS CIENTÍFICOS, PARA EL LABORATORIO,
LA INDUSTRIA Y LA ENSEÑANZA

QUITO:

Av. De los Shirys N40-110 (2678) y
Gaspar de Villarcel
Telfs.: 2444-156 / 2444-154 / 2452-344
Fax: 2432-002
Email: hr-repre@interactiva.net.ec

HANNA
instruments
www.hannainst.com

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product Name: Ratio Turbidity Calibration Standards
Product Code: HI 88713-11
Lot number: S0653/12
Expiration date: December 2014

Standard cuvette	Lot number	Target value Ratio ^(NOTE)	Mean lot value Ratio ^(NOTE)	Passed
HI 98713-10	0919	<0.10	0.06	✓
HI 98713-20 *	0889	15.0 ± 0.3	15.0	✓
HI 98713-30 *	0900	100 ± 2	101	✓
HI 98713-40 *	0890	750 ± 10	749	✓
HI 88713-50 *	0891	2000 ± 20	1998	✓

The above reported standards * are compared to Formazine turbidity standards in Ratio mode. The values reported on this Certificate of Analysis are the results obtained at the date of analysis. The evaluation of these data is based on Standard Methods.

This product should be handled with care. To retain the stated values, please do not open the cuvette, do not freeze, shake or agitate the standards.

The certification of these solutions is valid until the expiration date of this product. However, the certification becomes invalid if the product is damaged, contaminated, or modified.

NOTE: These Meter specific standards are used on models HI 98713 and HI 88713 in Ratio mode. Model HI 88713 units are NTU. Model HI 98713 units are FNU.

S0653/12

File number: Elena Lazar
CERT88713-11
The Chemist:



Recommendations for making low turbidity readings:

Dear customer,

To get most accurate readings on low turbidity calibration standards, we recommend treating the calibration cuvette with some silicon oil before making measurements. Please follow carefully the instructions below.

- 1) Wipe the cuvette with a soft cloth to clean and dry; do not open the calibration cuvette to avoid contamination of the standard.
- 2) Apply a small drop of silicon oil HI93703-58 on the cuvette wall (cuvette filled with calibration standard). Use the HI731318 lint free cloth to wipe the cuvette thoroughly.
- 3) Then wipe off excess oil to obtain a thin, uniform layer all around the cuvette. If the procedure is correctly followed, the cuvette should appear nearly dry with no visible oil outside.
- 4) Hold the cuvette by the black cap and do not touch the cuvette walls. Insert the cuvette carefully in the meter, paying attention not to rotate it inside the meter [the mark from standard cuvette should always match the mark from meter].

INSTRUMENT QUALITY CERTIFICATE

Model Number: HI 88713-01
Serial Number: 08622415

Hanna Instruments certifies that this instrument was produced and calibrated in accordance with applicable Hanna procedures.

These procedures are designed to assure that the meter will meet its declared specification. Results are listed on the reverse, and satisfy the standards of this company.

ELECTRONIC TEST
FACTORY CALIBRATION

OPERATOR: GI DATE: 29646

QC INSPECTION
APPEARANCE
FUNCTIONING
DISPLAY
CALIBRATION
CAL CHECK VALIDATION

Not applicable

INSPECTOR: VE DATE: 29646

Factory Calibration and Cal Check Validation measurements are traceable to the NIST SRM 930e standard

Ambient testing conditions: Temperature: 15...30°C Humidity: 40...75 RH



This equipment has been manufactured for
Spectrum Technologies, Inc.
12360 S. Industrial Dr. East
Plainfield, IL 60585 USA

The Manufacturer's **DECLARATION OF CONFORMITY** is on file at the above address, and certifies conformity to the following:

Model Number: 2105
Description: Portable, Hand-Held pH Meter
Type: Electrical Equipment for Measurement, Control, and Laboratory Use

Directive: 89/336/EEC
Standards: EN 61326 (1998)
EN 55011 (1998/A1:2000/Class B)
EN 61000-4-2 (1995/A1:1998/A2:2000)
EN 61000-4-3 (1996/A1:1998/A2:2000)

Douglas L. Kieffer,
Soil/Water Products Manager

March 5, 2009

Spectrum[®] **Technologies, Inc.**

12360 S. Industrial Dr. E
Plainfield IL 60585
(800) 248-8873 or (815) 436-4440
Fax (815) 436-4460
E-Mail: info@specmeters.com
www.specmeters.com

INSTRUMENT QUALITY CERTIFICATE

Model Number: Hi88713-01
Serial Number: 30049540

Hanna Instruments certifies that this instrument was produced and calibrated in accordance with applicable Hanna procedures. These procedures are designed to assure that the meter will meet its declared specification. Results are listed on the reverse, and satisfy the standards of this company.

ELECTRONIC TEST
FACTORY CALIBRATION
OPERATOR: GI DATE: 2.01.2014

QC INSPECTION
APPEARANCE
FUNCTIONING
DISPLAY
CALIBRATION
CAL CHECK VALIDATION Not applicable
INSPECTOR: NA DATE: 2.01.2014

Factory Calibration and Cal Check Validation measurements are traceable to the NIST SRM 930e standard
Ambient testing conditions: Temperature: 15...30°C Humidity: 40...75 %RH

ANEXO 9

Comparación de diversos autores de coeficientes de permeabilidad, velocidades, carácter permeable relativo, suelo típico y tipo de suelo.

	Unidad	Límite	Valores e Intervalos								
			< 1,00E-07	1,00E-05	1,00E-03	-	1,00E-01	1,00E-01	-	> 1,00E-1	
Permeabilidad	cm/s ²	Inferior	< 1,00E-07	1,00E-05	1,00E-03	-	1,00E-01	1,00E-01	-	> 1,00E-1	
		Superior	1,00E-07	1,00E-07	1,00E-05	-	1,00E-03	1,00E-03	-	-	
	cm/h ¹	Inferior	1,00E-01	1,00E-01	5,00E-01	2	6	6	12	12	
		Superior	-	5,00E-01	2	6	12	12	18	>18	
	cm/h ⁵	Inferior	< 1,50E-1	1,50E-01	5,00E-01	2	6,5	6,5	15	15	
		Superior	-	5,00E-01	2	6,5	15	15	25	-	
	m/s ³	Inferior	1,00E-11	-	-	1,00E-11	-	-	-	-	2,00E-07
		Superior	5,00E-07	-	-	1,00E-05	-	-	-	-	2,00E-01
	m/s ⁴	Inferior	3,00E-10	1,00E-10	1,00E-10	3,00E-09	1,00E-07	1,00E-07	1,00E-07	1,00E-05	1,00E-05
		Superior	3,00E-08	1,00E-08	1,00E-09	1,00E-07	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-03	1,00E-03	1
m/d ¹	Inferior	3,00E-02	3,00E-02	1,20E-01	5,00E-01	1,5	1,5	3	3	>4,5	
	Superior	-	1,20E-01	5,00E-01	1,5	3	3	4,5	4,5	-	
Velocidad		Muy lenta		Lenta	Moderadamente lenta	Moderada	Moderadamente rápida	Rápida	Muy rápida		
Permeabilidad Relativa		Impermeable	Muy poco permeable	Poco permeable	Moderada	Moderadamente permeable	Permeable	Muy permeable			
Suelo Típico		Arcilla	Limo y arenisca fina	Arena limosa, arena sucia	Mezcla de arena, limo y arcilla	Arena, arena fina	Arenas limpies y mezclas de grava	Grava gruesa			
Tipo de Suelo⁴		Grano fino sensible	Suelos orgánicos - arcilla	Arcilla	Mezcla de limo	Mezcla de arena	Arena	Arena densa y grava			

Adaptado de ¹United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service (2009); ²Ruiz y Gonzáles (2014); ³Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (2009); ⁴Robertson (2010) y ⁵Cisneros (2003).

ANEXO 10

Autorización de utilización y aplicación de la tecnología Sistema Tohá[®] por parte del Gerente de Proyectos del Programa Sistema Tohá[®], Fundación para la Transferencia Tecnológica UNTEC.

Santiago, 16 de septiembre de 2014

Sr.

Francisco David Cevallos Zurita

Presente

De mi consideración:

De acuerdo a la solicitud para el empleo de la tecnología Sistema Tohá® - sistema patentado por la Fundación para La Transferencia Tecnológica, UNTEC, según consta en los registro patente N° 40.754 - para el desarrollo del trabajo de titulación denominado "Evaluación de la eficiencia de sistemas de biofiltración en aguas residuales industriales", autorizamos el uso y aplicación de la tecnológicas para los fines estrictamente académicos; sin detrimento de las adaptaciones que se realicen.

Cabe mencionar, que el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales que utilicen la tecnología "Sistema Toha®", deben ser diseñados y/o autorizados por nuestra fundación, o bien, por empresas asociadas o autorizadas por la misma.

Deseando que la tecnología "Sistema Tohá®", aporte sustancialmente a la ampliación de conocimientos científicos y deseando el mayor de los éxitos.

Atentamente,



Ing. Raúl Fernández Prado
Gerente de Proyectos Sistema Tohá®
Fundación para la Transferencia Tecnológica (UNTEC)

ANEXO 11

Acuerdo de confidencialidad otorgado por la Empresa Pública de Rastro del Distrito Metropolitano de Quito. Y documentos relacionados.

Quito, 21 de agosto 2014.

Sr. Doctor Adrián Herrera
Gerente General
Empresa Pública Metropolitana de Rastreo de Quito EMRAQ-EP

De mis consideraciones,

Yo, Yasser Alejandro González Romero portador del número de cédula de ciudadanía N° 0703737627, en calidad de Profesor Guía del Trabajo de Titulación del Señor Francisco David Cevallos Zurita portador de la cédula de ciudadanía N° 171759024-2. Pongo en su conocimiento que el anteproyecto de titulación "Evaluación de la eficiencia de sistemas de biofiltración con lombrices en aguas residuales de faenadoras de ganado" se encuentra próximo a aprobarse; sin embargo, no se realizarán cambios de fondo del trabajo por lo que el estudiante puede desarrollar lo mencionado en dicho anteproyecto.

Le extiendo, de antemano, mis más sinceros agradecimientos por la atención prestada a la presente.

Atentamente,


C:0703737627

Alejandro González R.


Paola Posligua Chica, MSc.
COORDINADORA ING. AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS

EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE RASTRO - QUITO
RECEPCIÓN DE DOCUMENTOS
Fecha: 10- sep- 2014
Hora: 20:40:08
Firma Recepción: 
GERENCIA

Quito, 24 de octubre de 2014

Ingeniero
ALBERTO ENDARA
Director de Producción y Faenamiento de la EMRAQ-EP
Presente.-

C.C.: Dr. Eckenner Recalde.
Jefe de Recursos Humanos EMRAQ-EP

De mi consideración,

Yo, Francisco David Cevallos Zurita, portador de la cédula de ciudadanía No. 171759024-2, egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental Prevención y Remediación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, FICA, de la Universidad de las Américas; al momento me encuentro desarrollando el trabajo de titulación denominado "Evaluación de la eficiencia de sistemas de biofiltración con lombrices en aguas residuales industriales", por lo cual he venido retirando agua del tanque homogenizador de la Planta de Tratamiento de Agua de la EMRAQ-EP desde hace dos semanas aproximadamente, con autorización del señor Ex - Gerente General, Dr. Adrián Herrera, y en coordinación con el Ing. Aldo Coral.

Luego de la conversación mantenida el día de ayer con el Dr. Eckenner Recalde, Jefe de Recursos Humanos, en el sentido de que se requiere actualizar la autorización para que continúe retirando el agua en mención, solicito se digne autorizar y disponer a quien corresponda que se me permita continuar con esta labor entre los días lunes - viernes a partir de las 5h00, junto con un acompañante debido a que requiero de ayuda; este horario permitirá facilitar las labores diarias y profesionales de las personas que ingresaremos a tomar el agua. La toma de agua la realizaremos hasta finales de diciembre del año en curso.

Igualmente, en caso de requerir ingresar fines de semana y/o feriados, me permitiré solicitar dicho permiso con la debida anticipación.

De antemano me permito agradecer la colaboración y apoyo que brinda la Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito para poder llevar a cabo mi trabajo de titulación; por lo mencionado anteriormente, le anticipo mis más sinceros agradecimientos.

Atentamente,



Francisco D. Cevallos Zurita

Quito, 24-10-2014

EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE RASTRO - QUITO
RECEPCION DE DOCUMENTOS
Fecha: *24- octubre-2014*
Hora: *9:13*
Firma Recepción: *[Signature]*
GERENCIA

Quito, 26 de noviembre de 2014.

Coronel Estado Mayor Retirado
Lic. Luis Montalvo
Gerente General
Empresa Pública Metropolitana de Rastreo de Quito EMRAQ-EP

De mis consideraciones,

Yo, Yasser Alejandro González Romero portador del número de cédula de ciudadanía N° 070373762-7, en calidad de Profesor Guía del Trabajo de Titulación del Señor Francisco David Cevallos Zurita portador de la cédula de ciudadanía N 171759024-2. Pongo en su conocimiento que hemos venido desarrollando el Trabajo de Titulación "Evaluación de eficiencia de sistemas de biofiltración en aguas residuales industriales" desde septiembre del año en curso. Adicionalmente se extendió una carta recibida el 10 de septiembre de 2014 dirigida al antiguo Gerente General con la finalidad de iniciar la tramitación del acuerdo de confidencialidad entre el estudiante y la EMRAQ-EP; proceso que no se completó debido al cambio de autoridades.

Por lo mencionado anteriormente le solicito, muy comedidamente, se pueda continuar el proceso y firmar el convenio de confidencialidad; así mismo, se actualicen las autorizaciones para poder ocupar la información obtenida de la EMRAQ-EP.

Le extiendo, de antemano, mis más sinceros agradecimientos por la atención prestada a la presente.

Atentamente,

Alejandro González R.
C.I.: 070373762-7


UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
Escuela Internacional de Ingenerías
Paola Posligua Chica, MSc.
COORDINADORA ING. AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS

EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE RASTRO - QUITO
RECEPCIÓN DE DOCUMENTOS
28-11-2014
8:05 am
Recepcionado: [Signature] .VT.
GERENCIA

Adjunto: Carta dirigido al antiguo Gerente General Dr. Adrián Herrera; Carta dirigida al Ing. Alberto Endara Director de Producción y Faenamieto.

CONVENIO DE CONFIDENCIALIDAD QUE CELEBRAN LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE RASTRO QUITO "EMRAQ-EP" Y EL SR. FRANCISCO DAVID CEVALLOS ZURITA.

COMPARECIENTES:

Comparecen a la celebración del presente Convenio de Confidencialidad, por una parte la Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito, representada por el **CrnI. LUIS ENRIQUE MONTALVO GONZÁLEZ**, en calidad de Gerente General y como tal su Representante Legal; y, por otra parte el **Sr. FRANCISCO DAVID CEVALLOS ZURITA**, en calidad de Egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental, Prevención y Remediación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad de las Américas, con C.I. 171759024-2; que para efectos de este Convenio se denominarán LA EMRAQ-EP Y EL EGRESADO respectivamente; quienes libre y voluntariamente convienen en suscribir el presente instrumento al tenor de las siguientes cláusulas.

CLÁUSULA PRIMERA.- ANTECEDENTES:

1.- La EMRAQ-EP, es una entidad de derecho público, creada por el Concejo Metropolitano de Quito mediante Ordenanza Metropolitana No. 316 publicada en el Registro Oficial No. 259 del 18 de agosto del 2010, la misma que es la encargada de operar el sistema municipal de faenamiento y comercialización de especies animales para el consumo humano en el Distrito Metropolitano de Quito.

2.- La EMRAQ-EP, en sus instalaciones dispone de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, la misma que es manejada y controlada por técnicos de la Empresa de Rastro, utilizando productos químicos, tecnología, procesos de control, registros estadísticos, manuales de operación de maquinaria; estatutos y reglamentos de actividad laboral y en general toda clase de datos e información electrónica, escrita o verbal que será considerada como propiedad intelectual de la EMRAQ-EP; por tanto, es INFORMACIÓN CONFIDENCIAL que debe ser preservada y guardada en secreto.

3.- El Señor Francisco David Cevallos Zurita, con C.I. 171759024-2, declara que:

a.- Es Egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental, Prevención y Remediación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad de las Américas.

b.- Se encuentra desarrollando el trabajo de titulación denominado "Evaluación de la eficiencia de sistemas de biofiltración con lombrices en aguas residuales industriales".

c.- Con autorización del ex gerente Ab. Adrián Herrera y coordinación del Ing. Aldo Coral, ha venido retirando agua del tanque homogenizador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su trabajo de investigación.

d.- Mediante oficio sin número de fecha 24 de octubre del 2014, solicita al Ing. Alberto Endara, Director de Producción de la EMRAQ-EP, la autorización para seguir recogiendo las aguas residuales hasta el mes de diciembre del 2014.

SEGUNDA. Ambas partes aceptan que toda la información señalada en el numeral 2 de la Cláusula de Antecedentes, es de propiedad de la EMRAQ-EP y la misma será considerada como INFORMACIÓN CONFIDENCIAL, por lo tanto El Egresado se obliga a guardarla en secreto, por lo que no podrá hacerla del conocimiento de persona alguna, que no sea de su trabajo de titulación.

TERCERA. "El EGRESADO" se obliga a utilizar la información o resultados que obtenga del agua obtenida del tanque homogenizador de la PTAR de la EMRAQ-EP, exclusivamente para su trabajo de titulación, por lo que deberá conservarla y no divulgarla.

CUARTA. Las obligaciones establecidas para “El Egresado”, inherentes a este convenio, subsistirán por tiempo indefinido a partir de su firma, independientemente de que termine de recoger todas las muestras necesarias para su trabajo investigativo.

QUINTA. El incumplimiento o violación de cualquiera de las obligaciones aquí contraídas por “El Egresado”, originarán responsabilidades civiles y penales, que la EMRAQ-EP podrá iniciarlas en su contra.

SEXTA. Para todo lo relativo a la interpretación y ejecución del presente convenio, las partes se someten a las leyes y tribunales competentes de la ciudad de Quito, renunciando al fuero que por cualquier otra causa pudiere corresponderles.

Las partes firman el presente convenio en Quito el día 19 de diciembre del 2014.


Crnl. Luis Enrique Montalvo González
GERENTE GENERAL EMRAQ-EP


Francisco David Cevallos Zurita
EGRESADO



ANEXO 12

Cálculos realizados para la obtención del tiempo de retención hidráulico para cada tratamiento.

Tabla A 1: Cálculo tiempo de residencia para el tratamiento 1.

X	Y	X.Y	A	B		A.B (ÁREA DEL TRAPECIO)		C	A.C	
				AUMENTO TURBIDEZ RESPECTO AL TIEMPO	ACUMULACIÓN DE CONCENTRACION ES					
TIEMPO (s)	TURBIDEZ (NTU)		DIFERENCIA DE TIEMPO							
49,00	1550	75950	68,00	280700	19087600	3300	224400			
117,00	1750	204750	52,00	563030	29277560	3870	201240			
169,00	2120	358280	71,00	1030280	73149880	4920	349320			
240,00	2800	672000	68,00	1750000	119000000	6300	428400			
308,00	3500	1078000	56,00	2461200	137827200	7300	408800			
364,00	3800	1383200	65,00	2605850	169380250	6650	432250			
429,00	2850	1222650	64,00	2356550	150819200	5150	329600			
493,00	2300	1133900	70,00	2214860	155040200	4220	295400			
563,00	1920	1080960	50,00	2135320	106766000	3640	182000			
613,00	1720	1054360								
				SUMATORIA	960347890	SUMATORIA	2851410			
				TIEMPO MEDIO (SEGUNDOS)				336,80		

Tabla A 2: Cálculo tiempo de residencia para el tratamiento 2.

X	Y	X.Y	A	B	A.B (ÁREA DEL TRAPECIO)		A.C
					C		
TIEMPO (s)	TURBIDEZ (NTU)		DIFFERENCIA DE TIEMPO	AUMENTO TURBIDEZ RESPECTO AL TIEMPO		ACUMULACIÓN DE CONCENTRACION ES	
538,00	1800	968400	577,00	3309900	1909812300	3900	2250300
1115,00	2100	2341500	586,00	7189350	4212959100	4950	2900700
1701,00	2850	4847850	653,00	13369330	8730172490	6470	4224910
2354,00	3620	8521480	519,00	19438880	10088778720	7420	3850980
2873,00	3800	10917400	549,00	23613020	12963547980	7510	4122990
3422,00	3710	12695620	593,00	22733120	13480740160	6210	3682530
4015,00	2500	10037500	548,00	19619800	10751650400	4600	2520800
4563,00	2100	9582300	583,00	19102400	11136699200	3950	2302850
5146,00	1850	9520100	615,00	18795310	11559115650	3460	2127900
5761,00	1610						
				SUMATORIA	84833476000	SUMATORIA	279833960
				TIEMPO MEDIO (SEGUNDOS)			3031,50

Tabla A 3: Cálculo tiempo de residencia para el tratamiento 3.

X	Y	X.Y	A	B	A.B (ÁREA DEL TRAPECIO)		C	A.C
					DIFERENCIA DE TIEMPO	AUMENTO TURBIDEZ RESPECTO AL TIEMPO		
TIEMPO (s)	TURBIDEZ (NTU)							
555,00	1650,00	915750	600,00	3017850	1810710000	3470	2082000	
1155,00	1820,00	2102100	602,00	6318900	3803977800	4220	2540440	
1757,00	2400,00	4216800	603,00	11084400	6683893200	5310	3201930	
2360,00	2910,00	6867600	647,00	17692800	11447241600	6510	4211970	
3007,00	3600,00	10825200	530,00	24442650	12954604500	7450	3948500	
3537,00	3850,00	13617450	606,00	27745080	16813518480	7260	4399560	
4143,00	3410,00	14127630	574,00	27052210	15527968540	6150	3530100	
4717,00	2740,00	12924580	607,00	24104980	14631722860	4840	2937880	
5324,00	2100,00	11180400	628,00	21894000	13749432000	3900	2449200	
5952,00	1800,00							
				SUMATORIA	97423068980	SUMATORIA	29301580	
					TIEMPO MEDIO (SEGUNDOS)		3324,84	

Tabla A 4: Cálculo tiempo de residencia para el tratamiento 4.

X	Y	X.Y	A	B		A.B (ÁREA DEL TRAPECIO)		C	A.C
				DIFERENCIA DE TIEMPO	AUMENTO TURBIDEZ RESPECTO AL TIEMPO				
TIEMPO (s)	TURBIDEZ (NTU)								
1294,00	500,00	647000	523,00	1864390	975075970	1170	611910		
1817,00	670,00	1217390	536,00	3382150	1812832400	1590	852240		
2353,00	920,00	2164760	727,00	6014760	4372730520	2170	1577590		
3080,00	1250,00	3850000	697,00	10195360	7106165920	2930	2042210		
3777,00	1680,00	6345360	420,00	14319660	6014257200	3580	1503600		
4197,00	1900,00	7974300	546,00	19120350	10439711100	4250	2320500		
4743,00	2350,00	11146050	574,00	25448780	14607599720	5040	2892960		
5317,00	2690,00	14302730	907,00	32352330	29343563310	5590	5070130		
6224,00	2900,00	18049600	917,00	42114770	386192244090	6270	5749590		
7141,00	3370,00	24065170	551,00	51756370	28517759870	6970	3840470		
7692,00	3600,00	27691200	649,00	57051520	37026436480	7120	4620880		
8341,00	3520,00	29360320	582,00	57378540	33394310280	6660	3876120		
8923,00	3140,00	28018220	594,00	54665820	32471497080	5940	3528360		
9517,00	2800,00	26647600	742,00	49012220	36367067240	4980	3695160		
10259,00	2180,00								
				SUMATORIA	2,81068E+11	SUMATORIA	42181720		
					TIEMPO MEDIO (SEGUNDOS)		6663,27		

Tabla A 5: Cálculo tiempo de residencia para el tratamiento 5.

X	Y	X.Y	A	B		A.B (ÁREA DEL TRAPECIO)		C	A.C
				DIFERENCIA DE TIEMPO	AUMENTO TURBIDEZ RESPECTO AL TIEMPO		ACUMULACIÓN DE CONCENTRACION ES		
TIEMPO (s)	TURBIDEZ (NTU)								
150,00	2100,00	315000	102,00	970200	98960400	4700	479400		
252,00	2600,00	655200	128,00	1715400	219571200	5390	689920		
380,00	2790,00	1060200	170,00	2803700	476629000	5960	1013200		
550,00	3170,00	1743500	120,00	3961200	475344000	6480	777600		
670,00	3310,00	2217700	96,00	5051900	484982400	7010	672960		
766,00	3700,00	2834200	143,00	6033880	862844840	7220	1032460		
909,00	3520,00	3199680	137,00	6494580	889757460	6670	913790		
1046,00	3150,00	3294900	127,00	6661410	845999070	6020	764540		
1173,00	2870,00	3366510	143,00	6564390	938707770	5300	757900		
1316,00	2430,00								
				SUMATORIA	5292796140	SUMATORIA	7101770		
				TIEMPO MEDIO (SEGUNDOS)		745,28			

Tabla A 6: Cálculo tiempo de residencia para el tratamiento 6.

X	Y	X.Y	A	B		A.B (ÁREA DEL TRAPECIO)		C	A.C
				DIFERENCIA DE TIEMPO	AUMENTO TURBIDEZ RESPECTO AL TIEMPO	TIEMPO	ACUMULACIÓN DE CONCENTRACION ES		
137,00	1400,00	191800	168,00	725550	121892400	3150	529200		
305,00	1750,00	533750	160,00	1421900	227504000	3660	585600		
465,00	1910,00	888150	153,00	2309550	353361150	4210	644130		
618,00	2300,00	1421400	154,00	3374560	519682240	4830	743820		
772,00	2530,00	1953160	143,00	4606660	658752380	5430	776490		
915,00	2900,00	2653500	169,00	6165660	1041996540	6140	1037660		
1084,00	3240,00	3512160	165,00	7121770	1175092050	6130	1011450		
1249,00	2890,00	3609610	169,00	7324770	1237886130	5510	931190		
1418,00	2620,00	3715160	144,00	7479580	1077059520	5030	724320		
1562,00	2410,00								
				SUMATORIA	6413226410	SUMATORIA	6983860		
				TIEMPO MEDIO (SEGUNDOS)		918,29			