



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS**

CARRERA DE INGENIERIA BIOQUÍMICA

**“ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES
DE LAS PARROQUIAS RURALES CUSUBAMBA Y
MULALILLO DEL CANTÓN SALCEDO DE LA
PROVINCIA DE COTOPAXI”**

Trabajo de Investigación (Graduación), Modalidad: Trabajo Estructurado de Manera Independiente (TEMI), presentado como requisito previo para la obtención del Título de Ingeniera Bioquímica otorgado por la Universidad Técnica de Ambato a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos

Por: Verónica Tatiana Castro Llundo

Tutora: Ing. MSc. María Teresa Pacheco Tigselema

Ambato - Ecuador

2014

APROBACIÓN DE LA TUTORA

Ing. MSc. María Teresa Pacheco

Siendo la Tutora del Trabajo de Investigación realizado bajo el tema: **“ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS RURALES CUSUBAMBA Y MULALILLO DEL CANTÓN SALCEDO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, por la egresada Tatiana Verónica Castro Llundo, tengo a bien afirmar que el estudio es idóneo y reúne los requisitos de un trabajo de investigación de Ingeniería en Alimentos; y la señorita egresada posee los méritos académicos suficientes para ser sometida a la evaluación del Jurado Examinador que sea designado por el H. Consejo Directivo de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Ambato, Junio del 2014.

.....

Ing. MSc. María Teresa Pacheco

TUTORA

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación: **“ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS RURALES CUSUBAMBA Y MULALILLO DEL CANTÓN SALCEDO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido y efectos académicos que se desprendan del mismo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Ambato, Junio del 2014.

.....

Tatiana Verónica Castro Llundo

CI: 180437570-5

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERIA BIOQUÍMICA**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Trabajo de Graduación de acuerdo a las disposiciones emitidas por la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Junio del 2014.

Para constancia firman:

.....
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A Dios quién supo guiarme y darme fuerzas para seguir adelante y no desfallecer en los problemas que se presentaban en el diario vivir y así permitirme llegar a culminar una etapa importante en mi vida.

A mi esposo y mi hija por estar siempre a mi lado, por confiar en cada paso que doy, ya que ellos siempre serán mi motivación e inspiración.

A mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor y su valiosa ayuda en los momentos mas difíciles enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por bendecirme para llegar hacer realidad este sueño

A mi esposo y mi hija por el apoyo incondicional que me brindaron, por la fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad.

A mis padres y mis suegros por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera, por el ejemplo de vida, por el sacrificio y la paciencia brindada.

A mi tutora de tesis, la Ing. María Teresa Pacheco por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica, a los docentes que me brindaron sus conocimientos durante la formación académica.

A mis amigas que durante mi etapa estudiantil me brindaron siempre su apoyo incentivándome siempre a seguir adelante

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Contenido	
CAPÍTULO I (El Problema)	1
1.1 Tema	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.2.1 Contextualización	1
1.2.2 Análisis crítico	5
1.2.3 Prognosis	7
1.2.4 Formulación del problema	8
1.2.5 Interrogantes	8
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación	8
1.3 Justificación	9
1.4 Objetivos.....	10
1.4.1 General	10
1.4.2 Específicos.....	10
CAPÍTULO II (Marco Teorico)	11
2.1 Antecedentes investigativos.....	11
2.2 Fundamentación filosófica	16
2.3 Fundamentación legal.....	16
2.4 Categorías fundamentales	17
2.4.1 Marco Teórico de la Variable Independiente	18
2.4.2 Marco Teórico de la Variable Dependiente.....	24
2.5 Hipótesis.....	37
2.6 Señalamiento de variables de la hipótesis	38
CAPÍTULO III (Metodología)	40
3.1 Enfoque	40
3.2 Modalidad básica de la investigación	40
3.3 Nivel o tipo de investigación.....	40
3.4 Población y muestra	41
3.5 Operacionalización de variables:	44
3.6 Recolección de información	46
3.7 Procesamiento y análisis	47
3.7.1 Etapas del estudio.....	47

CAPITULO IV (Análisis e Interpretacion de Resultados)	51
4.1 Control de temperatura durante el tratamiento de las aguas de <i>Mulalillo y Cusubamba</i>	51
4.2 Control de pH durante los tratamientos de las aguas de <i>Mulalillo y Cusubamba</i>	51
4.3 Análisis de los parámetros de dureza, STD, conductividad y color del agua de <i>Mulalillo y Cusubamba</i>	52
4.4 Análisis de coliformes totales y coliformes fecales del agua de <i>Mulalillo y Cusubamba</i>	54
4.5 Elección del mejor tratamiento	55
4.6 Contenido de la cantidad de dureza en el agua de <i>Mulalillo y Cusubamba</i>	57
4.7 Contenido de la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua de <i>Mulalillo y Cusubamba</i>	58
4.8 Determinación de la conductividad en el agua de <i>Mulalillo y Cusubamba</i>	59
4.9 Determinación del color en el agua de <i>Mulalillo y Cusubamba</i>	61
4.10 Parámetros físico-químicos del mejor tratamiento	62
4.11 Verificación de Hipótesis	64
CAPITULO V (Conclusiones y Recomendaciones)	65
5.1 Conclusiones	65
5.2 Recomendaciones	67
CAPITULO VI (Propuesta)	68
6.1. Datos informativos	68
6.2. Antecedentes de la propuesta	68
6.3. Justificación	69
6.4. Objetivos	71
6.5. Análisis de factibilidad	71
6.6. Fundamentación	76
6.7. Metodología	76
6.8. Administración	78
6.9. Prevención de la evaluación	79
MATERIAL DE REFERENCIA	80

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Árbol de problemas.....	7
Gráfico 2. Flujo de energía de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales	13
Grafico 3. Posibles aplicaciones de los cultivos intensivos de microalgas.....	14
Gráfico 4. Organizador lógico de variables.....	17
Grafico 5. Punto de toma de muestra en <i>Cusubamba</i>	47
Grafica 6. Punto de toma de muestra en <i>Mulalillo</i>	48
Grafica 7. Tanque Imhoff.....	73
Grafica 8. Esquema de la planta de tratamiento biológico.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Calidad ambiental del río Cutuchi.....	15
Tabla 2. Niveles y dosificaciones de cada uno de los tratamientos aplicados sobre las aguas de <i>Cusubamba</i> y <i>Mulalillo</i>	43
Tabla 3. Variable Independiente: Condiciones del Tratamiento Biológico.....	44
Tabla 4. Variable Dependiente: Calidad del agua tratada.....	45
Tabla 5. Tratamientos seleccionados como los mejores en base al análisis estadístico.....	56
Tabla 6. Precio Tanque Imhoff.....	75
Tabla 7. Modelo Operativo (Plan de acción).....	77
Tabla 8. Administración de la Propuesta.....	78
Tabla 9. Prevención de la evaluación.....	79

INIDICE DE ANEXOS

ANEXO A. RESPUESTAS EXPERIMENTALES

Tabla A-1: Valores de los análisis fisico-químicos y microbiológicos del agua.....	88
Tabla A-2: Valores del control de temperaturas de <i>Mulalillo</i>	89
Tabla A-3: Valores del control de temperaturas de <i>Cusubamba</i>	91
Tabla A-4: Valores del control de pH de <i>Mulalillo</i>	93
Tabla A-5: Valores del control de pH de <i>Cusubamba</i>	95
Tabla A-6: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de <i>Mulalillo</i>	97

Tabla A-7: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de <i>Cusubamba</i>	98
Tabla A-8: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de <i>Mulalillo</i>	99
Tabla A-9: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de <i>Cusubamba</i>	99
Tabla A-10: Valores de <i>coli</i> . Totales y Fecales del agua de <i>Mulalillo</i>	100
Tabla A-11: Valores de <i>coli</i> . Totales y Fecales del agua de <i>Cusubamba</i>	100
Tabla A-12: Valores de los parámetros analizados antes y después de los tratamientos del agua de <i>Mulalillo</i> y <i>Cusubamba</i>	101
Grafica A-1: Control de temperaturas de <i>Mulalillo</i>	91
Grafica A-2: Control de temperaturas de <i>Cusubamba</i>	93
Grafica A-3: Control de pH de <i>Mulalillo</i>	95
Grafica A-4: Control de pH de <i>Cusubamba</i>	97

ANEXO B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla B-1: Análisis de varianza para la dureza del agua de <i>Mulalillo</i>	103
Tabla B-2: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de <i>Mulalillo</i> según la aireación	103
Tabla B-3: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de <i>Mulalillo</i> según las enzimas.....	103
Tabla B-4: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de <i>Mulalillo</i> según los organismo.....	104
Tabla B-5: Análisis de varianza para la dureza del agua de <i>Cusubamba</i>	105
Tabla B-6: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de <i>Cusubamba</i> según la aireación.....	106
Tabla B-7: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de <i>Cusubamba</i> según las enzimas.....	106
Tabla B-8: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de <i>Cusubamba</i> según los organismos.....	106
Tabla B-9: Análisis de varianza para los Sólidos Totales Disueltos del agua de <i>Mulalillo</i>	108
Tabla B-10: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos Totales Disueltos del agua de <i>Mulalillo</i> según la aireación	108

Tabla B-11: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos Totales Disueltos del agua de <i>Mulalillo</i> según las enzimas.....	108
Tabla B-12: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos Totales Disueltos del agua de <i>Mulalillo</i> según los organismos.....	109
Tabla B-13: Análisis de varianza para los Sólidos Totales Disueltos del agua de <i>Cusubamba</i>	110
Tabla B-14: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos Totales Disueltos del agua de <i>Cusubamba</i> según la aireación.....	111
Tabla B-15: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos Totales Disueltos del agua de <i>Cusubamba</i> según las enzimas.....	111
Tabla B-16: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos Totales Disueltos del agua de <i>Cusubamba</i> según los organismos.....	111
Tabla B-17: Análisis de varianza para la conductividad del agua de <i>Mulalillo</i>	113
Tabla B-18: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de <i>Mulalillo</i> según la aireación	113
Tabla B-19: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de <i>Mulalillo</i> según las enzimas.....	113
Tabla B-20: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de <i>Mulalillo</i> según los organismos.....	114
Tabla B-21: Análisis de varianza para la conductividad del agua de <i>Cusubamba</i>	115
Tabla B-22: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de <i>Cusubamba</i> según la aireación.....	116
Tabla B-23: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de <i>Cusubamba</i> según las enzimas.....	116
Tabla B-24: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de <i>Cusubamba</i> según los organismos.....	116
Tabla B-25: Análisis de varianza para el color del agua de <i>Mulalillo</i>	118
Tabla B-26: Prueba de TUKEY al 5% para el color del agua de <i>Mulalillo</i> según la aireación.....	118
Tabla B-27: Prueba de TUKEY al 5% para el color del agua de <i>Mulalillo</i> según las enzimas.....	118
Tabla B-28: Prueba de TUKEY al 5% para el color del agua de <i>Mulalillo</i> según los organismos	119

Tabla B-29: Análisis de varianza para el color del agua de <i>Cusubamba</i>	120
Tabla B-30: Prueba de TUKEY al 5% para el color del agua de <i>Cusubamba</i> según la aireación.....	121
Tabla B-31: Prueba de TUKEY al 5% para el color del agua de <i>Cusubamba</i> según las enzimas.....	121
Tabla B-32: Prueba de TUKEY al 5% para el color del agua de <i>Cusubamba</i> según los organismos.....	121
Figura B-1: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas.....	104
Figura B-2: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos.....	104
Figura B-3: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la enzimas y organismos.....	105
Figura B-4: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de <i>Cusubamba</i>	106
Figura B-5: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de <i>Cusubamba</i>	107
Figura B-6: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de <i>Cusubamba</i>	107
Figura B-7: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de <i>Mulalillo</i>	109
Figura B-8: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de <i>Mulalillo</i>	109
Figura B-9: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de <i>Mulalillo</i>	110
Figura B-10: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de <i>Cusubamba</i>	111
Figura B-11: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de <i>Cusubamba</i>	112
Figura B-12: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de <i>Cusubamba</i>	112
Figura B-13: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de <i>Mulalillo</i>	114
Figura B-14: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de <i>Mulalillo</i>	114

Figura B-15: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de <i>Mulalillo</i>	115
Figura B-16: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de <i>Cusubamba</i>	116
Figura B-17: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de <i>Cusubamba</i>	117
Figura B-18: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de <i>Cusubamba</i>	117
Figura B-19: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de <i>Mulalillo</i>	119
Figura B-20: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de <i>Mulalillo</i>	119
Figura B-21: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de <i>Mulalillo</i>	120
Figura B-22: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de <i>Cusubamba</i>	121
Figura B-23: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de <i>Cusubamba</i>	122
Figura B-24: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de <i>Cusubamba</i>	122

ANEXO C. CÁLCULOS DEMOSTRATIVOS

Anexo C-1 Dosificación de Ems.....	124
Anexo C-2 Dosificación de Enzimas.....	124
Anexo C-3 Dosificación del sulfato de Aluminio.....	125
Anexo C-4 Dosificación del cloro.....	125

ANEXO D. NORMAS ESTABLECIDAS PARA EL CONSUMO DE AGUA

Anexo D1: La Constitución Nacional de la República del Ecuador del 2008.....	127
TABLA D2: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	127
TABLA D3: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.....	129

Tabla D 4: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.....	130
Tabla D5: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.....	131
Tabla D6: Norma Técnica Ecuatoriana <i>Voluntaria INEN 1. 108:2011</i> de Agua Potable.....	133
Tabla D7: Parámetros De Calidad Y Límites Máximo Permisibles Norma Sunass.....	134

ANEXO E. DIAGRAMA DE FLUJO

Anexo E-1: Diagrama de flujo para el tratamiento biológico del agua de <i>Cusubamba</i> y <i>Mulalillo</i>	136
Anexo E-2: Diagrama de flujo del mejor tratamiento.....	137

ANEXO F. FOTOGRAFIAS

Abreviaciones

Al₂(SO₄)₃	: Sulfato De Aluminio
CO	: Monóxido De Carbono
CO₂	: Dióxido de Carbono
CaCO₃	: Carbonato de Calcio
DBO	: Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	: Demanda Química de Oxígeno
EMA	: Microorganismos Eficientes Autóctonos
EMAPA	: Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado
EMs	: Microorganismos Eficientes
ETAS	: Enfermedades de Transmisión Alimentaria
H₂O	: Agua
INEN	: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
N₂	: Nitrógeno
NH₄	: Amonio
NH₃	: Amoniaco
SENPLADES	: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
SUNASS	: Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento
TOC	: carbono orgánico total
TRH	: Tiempo de retención Hidráulica
TULAS	: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
STD	: Sólidos Totales Disueltos
UFC	: Unidad Formadoras de Colonias

ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS RURALES CUSUBAMBA Y MULALILLO DEL CANTÓN SALCEDO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI

Castro Tatiana y Pacheco María

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

e-mail: verocas_007@hotmail.com

AMBATO –ECUADOR

RESUMEN

Se estudiaron 8 tratamientos con el fin de mejorar la calidad de agua de las 2 parroquias: *Mulalillo* y *Cusubamba* siendo los factores de estudio: 1) tipo de aireación: a) continua (c/ media hora) y b) semicontinua (2 veces al días), 2) tipo de enzimas: a) *AFL-P* y b) *SPL* y 3) tipo de organismos: a) EM's y b) *Azolla*.

Para lo cual se empleó un diseño factorial 2^3 y con un 95 % de confianza, se pudo determinar que el mejor tratamiento fue $a_1b_1c_1$ (aireación continua c/ 30min, enzima *AFL-P*, microorganismos eficientes) para el agua de las dos parroquias que fueron estudiadas.

Las respuestas experimentales analizadas fueron: dureza, sólidos totales disueltos, color, coliformes totales, fecales y en las dos parroquias de *Mulalillo* y *Cusubamba* pudiendo observar una disminución considerable de estos parámetros al final del tratamiento biológico:

Tabla 1. Valores de los parámetros analizados antes y después de los tratamientos del agua de *Mulalillo* y *Cusubamba*

Parámetros	Unidades	<i>Mulalillo</i>		<i>Cusubamba</i>	
		Inicial	Final	Inicial	Final
Dureza	mg/L	277,0	143,2	147,4	80,20
STD	mg/L	387,0	256,0	141,9	109,0
Conductividad	µS/cm	773,0	524,0	475,0	246,0
Color	U Pt-Co	30,00	10,00	25,00	5,000
Coli totales	UFC/50	5950	1,000	4400	0,000

Coli fecales	UFC/50	2250	4,000	1550	0,000
Temperatura	°C	15,00	17,90	14,00	17,70
pH		8,270	7,710	8,200	7,250
DBO5	mg/L	4,600	0,900	2,700	0,300
DQO	mg/L	35,00	10,00	16,00	5,000
Cloruros	mg/L	27,50	2,900	20,30	2,200
Fosfatos	mg/L	1,370	0,100	0,670	0,080
Hierro	mg/L	1,380	0,040	0,670	0,040
Nitratos	mg/L	8,520	0,036	6,120	0,031
Zinc	mg/L	0,110	0,030	0,160	0,030
Turbiedad	Ntu	22,30	0,780	19,20	0,680
Nitritos	mg/L	0,237	0,038	0,125	0,004
Alcalinidad	mg/L	3460	182,4	134,0	106,6
Amonio	mg/L	0,780	0,040	0,380	0,030
Amoniaco	mg/L	0,850	0,030	0,490	0,030

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Comparando estos valores con los de la Norma *INEN* para aguas de consumo, se concluye que las aguas tratadas cumplen con los límites permisibles para el consumo humano.

Palabras clave: *Tratamiento biológico, Mulalillo, Cusubamba, Azolla, EM's, Enzimas, análisis físico-químicos y microbiológicos.*

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema

“Estudio y desarrollo de un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales de las parroquias rurales *Cusubamba* y *Mulalillo* del cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi”

1.2 Planteamiento del problema

Presencia de vertidos acuosos contaminantes en los ríos provenientes del cantón Salcedo Provincia del Cotopaxi.

1.2.1 Contextualización

1.2.1.1 Contextualización macro

El uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen y en donde se utilizan. El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales. El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, “Agua para todos, Agua para la vida” (Álvarez, 2010).

La contaminación de las aguas constituye actualmente un grave problema ambiental en el contexto global como consecuencia de la industrialización, globalización, crecimiento poblacional y urbanización debido a que los residuales son vertidos directamente a los ecosistemas acuáticos sin tratar o con tratamientos deficientes.

El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, porque permite disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo 36 % de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración (Carvajal, 2011).

En Colombia es común el uso de los ríos como receptores de aguas residuales sin tratar, las cuales se utilizan posteriormente para diferentes actividades de tipo doméstico o agrícola. Tal es el caso del río Bogotá, el cual atraviesa algunas de las zonas más densamente pobladas del país, por lo que el uso de sus aguas es de gran importancia para actividades ganaderas y agrícolas, y como fuente de agua para potabilizar. Buena parte de los municipios localizados en la cuenca del río vierten sus aguas domésticas e industriales sin tratamiento previo, por lo que se pueden considerar como una importante fuente de aguas contaminadas. Esta situación es común en la mayoría de los ríos del país y de América Latina, sin que se conozca la concentración de microorganismos patógenos presentes, ni el efecto que sobre ellos pueden causar (Alarcón, 2002).

En Colombia y América Latina el problema de la contaminación de las fuentes de agua por el vertimiento de aguas residuales es cada vez mayor además de la baja cobertura en el tratamiento y el abandono de los sistemas implementados. Es prioritario entonces desarrollar metodologías encaminadas a aumentar la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y disminuir el impacto ocasionado por los vertimientos de agua contaminada (Pozo, 2012).

1.2.1.2 Contextualización meso

Una evaluación de los recursos hídricos examinó la calidad del agua en 122 naciones, Ecuador quedó en el puesto 56 entre 122, quedando por debajo de países como Cuba, Colombia o El Salvador. De acuerdo a lo mencionado anteriormente en relación al sistema hidrográfico del Ecuador podemos decir que el país es rico en cantidad de agua, pero se podría afirmar que la calidad no es buena debido que el 70% de los ríos del país están en condiciones críticas de contaminación, esto se debe a causas físicas, químicas y bacteriológicas, entre las que sobresalen la actividad petrolera en la Amazonía, evacuación de desechos domésticos e industriales en ciudades, funcionamiento de centrales hidroeléctricas y represas que desvían el cauce normal de ríos. Otras están vinculadas con actividades agrícolas, por el uso y abuso de agroquímicos, acumulación de sedimentos por la erosión del suelo y deforestación para ubicar poblaciones o industrias (Mosquera, 2012).

Uno de los problemas ambientales críticos del país es la contaminación del agua. En Guayaquil, parte del problema es la degradación del Estero Salado que se conecta con el río Guayas (unión de los ríos Daule y Babahoyo) y el Golfo de Guayaquil, que desembocan en el océano Pacífico. Dado que los ecosistemas acuáticos están interconectados, la contaminación del manglar y de los ríos termina afectando al océano provocando consecuencias en la calidad del agua y especies acuáticas. En el caso del Estero Salado, la contaminación proviene de las descargas de aguas residuales, de las zonas urbanas, tanto industriales como domésticas. Las empresas, a orillas del Estero Salado, sumaban 929 total de industrias, el 63% corresponde a industrias que elaboran productos alimenticios y bebidas que descargan más aguas residuales (Rosero, 2012).

En el caso del río Daule, dicho Ministerio informó que de 200 empresas que descargan residuos solo el 25% tiene licencia ambiental. Las viviendas de los cantones Balzar, Daule y Nobol depositan residuos sólidos al río. Pero, además, estas ciudades no tienen plantas de tratamiento de aguas servidas y a eso se agregan los residuos de agroquímicos y pesticidas utilizados en la agricultura, los que son depositados al río, contaminándolo. Además, en el Golfo de Guayaquil hay camarонерías que descargan aguas residuales que contienen antibióticos, químicos y detritos que contribuyen a la contaminación acuática.

En suma, hay descargas de aguas industriales, residuos de químicos y antibióticos que están contaminando dicho golfo que a su vez van a parar al océano Pacífico poniendo en riesgo el agua, la fauna marina y organismos acuáticos. En relación a la ciudad de Ibarra, el crecimiento poblacional ha ocasionado que el río Tahuando reciba gran cantidad de aguas servidas, las que interfieren con los usos a los que se destina el agua, agotando el oxígeno disuelto y produciendo olores desagradables (Rosero, 2012).

1.2.1.3 Contextualización micro

En la sierra ecuatoriana uno de los graves casos de contaminación es el de la vertiente de captación del agua potable de Antonio José de Olguín (Salcedo), en la cual existen descargas de aguas servidas de algunos sectores del cantón, esto con el tiempo generó que se contaminen las aguas subterráneas que van a diferentes parroquias (La hora, 2011).

El área afectada, la superficie de la cuenca del Cutuchi, hasta la confluencia con el río Ambato, abarca 2 676,5 kilómetros cuadrados, genera cerca de 1 000 millones de metros cúbicos por año. Esta agua es utilizada para el riego y es el principal recurso hídrico para más de 24 000 hectáreas cultivadas, para las cuales se utilizan 400 millones de metros cúbicos; los cultivos obtenidos en su mayoría son llevados para la comercialización al centro del país. No hay

tratamiento de las aguas residuales de uso doméstico, las cuales (30 000 metros cúbicos por día) son vertidas a los cauces de los ríos Cununyacu, Yanayacu, Pumacunchi y Cutuchi. Tampoco hay un manejo adecuado de los desechos sólidos, se estima que diariamente 1,8 toneladas de escombros y basura se arrojan a los cauces mencionados (La hora, 2011).

El faenamiento en el Camal Municipal de Salcedo no es el adecuado ya que limita sus operaciones, a la matanza del ganado vacuno y porcino debido a sus instalaciones bastante simples, este sistema es semitecnificado y no cumple las medidas sanitarias. En el Camal Municipal Salcedo el estiércol, cuernos, pezuñas, huesos y decomisos, son depositados en un botadero improvisado al aire libre y se producen desechos como sangre, estiércol y otros materiales, los mismos que a través de las aguas residuales son depositados directamente al caudal del Rio Cutuchi causando la contaminación de esta micro-cuenca, lo cual determina consecuencias negativas en el medio ambiente y por ende en el eco-sistema. (Álvarez, 2012).

1.2.2 Análisis crítico

El crecimiento demográfico y el desarrollo industrial han generado gran cantidad de aguas residuales, las cuales son vertidas a diferentes cuerpos de agua como mares, lagos, ríos, etc., en el caso específico de la parroquia de Salcedo son descargados sin ningún tratamiento a los canales de agua de regadío existente en el mismo. Las aguas residuales son de composición variada y provienen de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios y domésticos, así como de la mezcla de ellas; debido a esta diversidad de fuentes, pueden contener microorganismos patógenos, hidrocarburos y metales, entre otros contaminantes (Ramírez, 2012).

Tiene que controlarse la contaminación desde su origen para frenar el impacto de la degradación del ecosistema, esta contaminación afecta no solo la calidad del agua sino además, la alimentación futura. Los derivados de hidrocarburos procedentes de las descargas de las lubricadoras y estaciones de gasolina, productos químicos, incluyendo los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensoactivas contenidas en los detergentes y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos han determinado que se convierta en un cuerpo de agua muy contaminado (La hora, 2011).

Otro de los factores principales para el deterioro del río es la falta de cultura ambiental por parte de los habitantes, el río no solo está contaminado por aguas servidas sino que también se ha convertido en el basurero de algunos sectores. La calidad de las aguas del río se ha visto afectada por las descargas de agua residual urbana que recibe. Ante todo esto es necesario un sistema de monitoreo permanente que permita a la municipalidad de Salcedo evaluar de manera constante y precisa la calidad de las aguas residuales de las parroquias (La hora, 2011), por lo que es necesario emprender proyectos de investigación que permitan establecer estos aspectos y proponer sistemas de tratamiento adecuados.

1.2.2.1 Árbol de problemas.

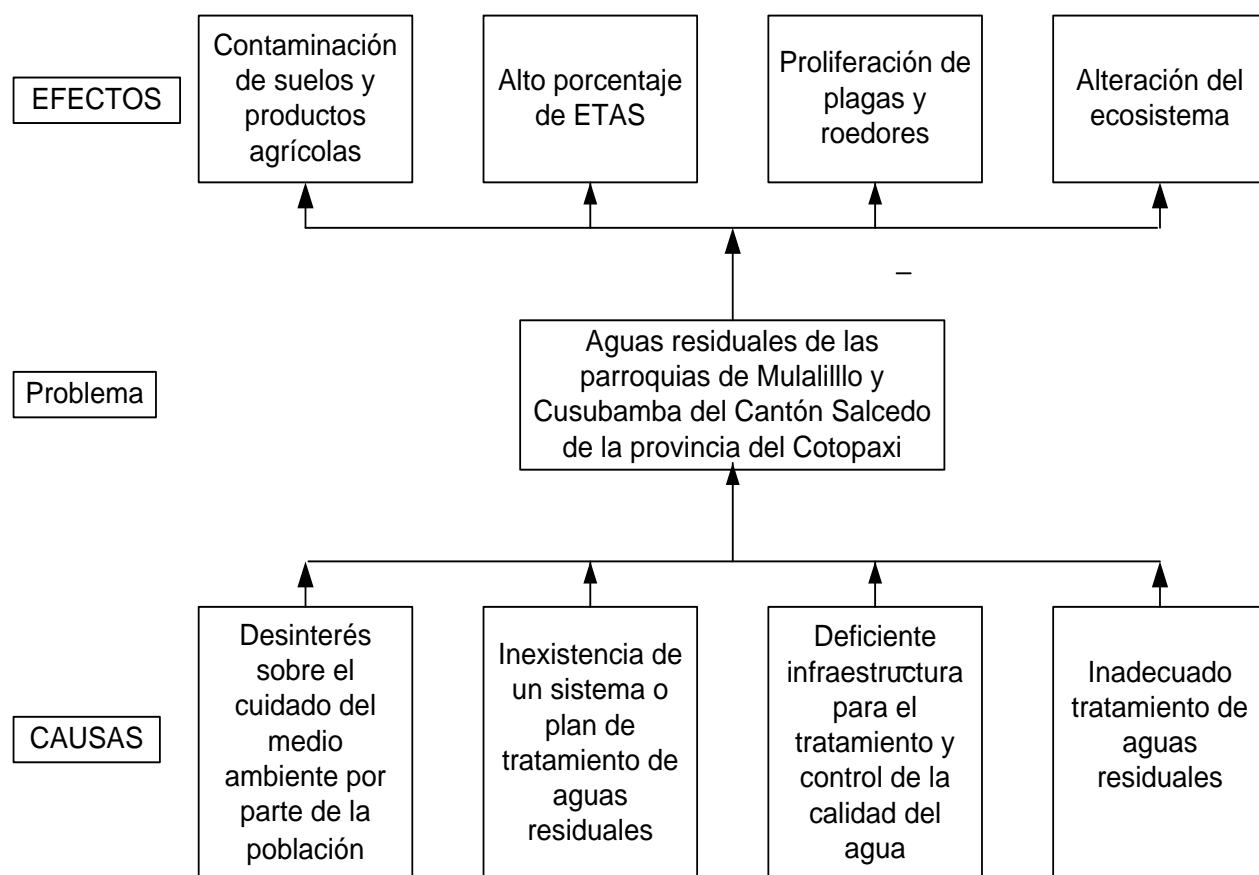


Gráfico 1. Árbol de problemas.

Elaborado por: Tatiana Castro, 2014.

1.2.3 Prognosis

Al no realizar este estudio, los moradores de las parroquias de Salcedo de la provincia del Cotopaxi, sufrirán los efectos negativos inmediatos que causan las aguas residuales no tratadas. Si en éste ecosistema se sigue vertiendo aguas residuales no tratadas, la carga orgánica se seguirá elevando y con esto el oxígeno disminuirá y favorecerá a la proliferación de plagas y roedores.

En las aguas residuales no existe presencia de oxígeno, es decir que se forman condiciones anaerobias y por lo tanto las aguas adquieren un color negro, y los gases que se forman despiden olores sumamente ofensivos y desagradables.

Al utilizar estas aguas para el regadío los cultivos del sector, pueden presentarse enfermedades transmitidas por los alimentos así irrigadas, debido a la presencia de organismos patógenos, esto constituye un problema de Salud Pública convirtiéndose en un impacto social y económico.

1.2.4 Formulación del problema

¿Cómo se podría contribuir al desarrollo de un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales para las parroquias rurales del cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi?

1.2.5 Interrogantes

1. ¿Qué cantidad de contaminantes existen en las aguas residuales de las parroquias de Cusubamba y Mulalillo?
2. ¿Qué tipo de tratamiento puede aplicarse para tratar los contaminantes de las aguas residuales de las parroquias del cantón Salcedo?
3. ¿Qué condiciones podrían permitir la optimización de un sistema de tratamiento de aguas residuales?

1.2.6 Delimitación del objeto de investigación

Campo : Medio Ambiental

Área : Tratamiento de aguas

Aspecto Específico : Tratamiento biológico

Delimitación Temporal : Febrero 2013 – Abril 2014

Delimitación Espacial: Parroquias del Cantón Salcedo de la Provincia de Cotopaxi, Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en

Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato y Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA).

1.3 Justificación

Los ríos son corrientes naturales sometidas a los cambios climáticos y a las características propias de la cuenca; la calidad de su agua varía naturalmente a lo largo del tiempo y de su curso debido a la combinación de factores ambientales. Sin embargo, las actividades humanas alteran, a veces de manera irreversible, las características físicas, químicas y biológicas del agua. Las principales fuentes de contaminación de estos sistemas son las descargas de tipo municipal (camal) e industrial, así como los flujos de retorno generados por las actividades agropecuarias (Guzmán, 2011).

La contaminación de los recursos hídricos requiere una sistemática gestión ambiental, basada en investigaciones integrales que permitan proponer procesos biológicos como alternativas ecológicas y económicas. Hasta ahora los diagnósticos elaborados hacen referencia al río Cutuchi principal frente hídrico de la provincia que forma parte del canal de riego agrícola Latacunga-Salcedo-Ambato (Carballo, 2011).

El presente estudio está encaminado a obtener datos reales y confiables de las parroquias del cantón Salcedo de Cotopaxi, ya que son vertientes que desembocan en el canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato. Se considera necesario desarrollar un proyecto que apunte a diseñar y ejecutar procedimientos de gestión ambiental que permitan al Cantón Salcedo, obtener soluciones socioeconómicas viables para precautelar el bienestar social y ambiental de cada una de las parroquias pertenecientes a Salcedo y proponer mejores alternativas para descontaminar o por lo menos reducir la población de microorganismos y elementos contaminantes de las

vertientes de las parroquias que desembocan en el río de Salcedo (Álvarez, 2010).

1.4 Objetivos

1.4.1 General

1. Analizar y desarrollar un sistema de tratamiento biológico de las aguas residuales de las parroquias rurales *Cusubamba* y *Mulalillo* del cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi.

1.4.2 Específicos

1. Determinar cuál de las dos parroquias descargan mayor cantidad de agua contaminada hacia los ríos del cantón Salcedo.

2. Aplicar análisis fisicoquímicos y microbiológicos para determinar el grado de contaminación existente en las aguas residuales de las dos parroquias más contaminadas de Salcedo.

3. Establecer un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales que pueda implementarse en las parroquias del cantón Salcedo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos

La industria de aditivos biológicos se inició en los comienzos de la década del 1960 para solucionar los problemas en la recuperación de biomásas de lento crecimiento y con el fin de reconstruir poblaciones bacterianas perdidas a causa de diferentes situaciones operativas, o por efecto de sustancias tóxicas que se presentan en las aguas a tratar en las plantas depuradoras de residuales urbanos e industriales. Frecuentemente, se han manejado dos términos fundamentales en la aplicación de estos productos: bioaumentación y biorremediación. La bioaumentación se refiere al uso de cepas seleccionadas de microorganismos, aislados del medio ambiente, para aumentar las poblaciones microbianas que realizan actividades muy específicas dentro de los procesos continuos que se suceden en una planta de tratamiento de aguas residuales, es decir, su aplicación se destina a sistemas dinámicos (Galvin, 2006)

La biorremediación puede ser definida como el uso de organismos vivos, componentes celulares y enzimas libres, con el fin de realizar una mineralización, una transformación parcial, la humificación de los residuos o de agentes contaminantes y una alteración del estado redox de metales (González, 2009)

Antes de tomar la decisión sobre el sistema de tratamiento, es fundamental efectuar un estudio de caracterización y diagnóstico de aguas residuales, que permita evaluar y decidir, cuáles son las cargas hidráulicas y contaminantes que serán utilizadas para el diseño de la estación depuradora, incluyendo previsiones para crecimiento futuro. Las cargas contaminantes se refieren a los flujos de materia orgánica, biodegradable y total, generados durante la actividad, así como la carga de sólidos, grasas y aceites, entre otros (López 2012).

Según Mezquita (2012), las bacterias y enzimas son un moderno agente concentrado biológico que mantiene las tuberías con un flujo bajo, así como recolectores de grasa y estanques, e incrementan la eficiencia de los equipos de alcantarillado. Es una mezcla de microorganismos estables que producen enzimas, los cuales digieren desechos orgánicos y eliminan olores desagradables en un amplio rango. Los tratamientos biológicos son biodegradables, no contienen ácidos cáusticos, bencenos ni compuestos clorados. Aumentan la productividad, reducen la labor y gastos, mejoran la fluidez de sistemas lodosos disminuyendo favorablemente las obstrucciones. Un mililitro contiene 150 millones de bacterias aeróbicas y 50 millones de bacterias anaerobias.

Después que las bacterias realizan su operación de degradación de las grasas y desperdicios grado vegetal y animal, como producto final queda monóxido de carbono (CO), que es un gas inerte, y agua. La mezcla es excelente para el tratamiento de trampas de grasa y fosas sépticas. Contiene cuatro enzimas que son compatibles entre sí, las cuales generan un emulsificante natural que digiere la grasa y desperdicios, convirtiéndolos en partículas suspendidas. El tratamiento ayuda a la reducción de gastos referentes a uso de maquinaria pesada o transportación de desperdicio líquido. La aplicación del producto no requiere de algún equipo costoso.

Según Medina (2011) las lagunas de estabilización y de producción de algas son una opción frecuentemente utilizada para el tratamiento de agua residual por su eficiencia y fácil mantenimiento. Sin embargo, dentro de sus desventajas está la necesidad de áreas extensas y la dificultad para separar las algas del efluente.

El presente estudio se llevará a cabo con el objetivo de mejorar estos tratamientos, combinando la capacidad de las algas de producir oxígeno y la habilidad de las bacterias para formar flocos sedimentables. Se espera como

resulta de un proceso que requiera menor área y en el que la biomasa (bacterial y algal) sea fácilmente separable.

La diferencia principal entre los diversos procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales, está determinada en relación al metabolismo. Así tenemos dos tipos de procesos generales: los aerobios que requieren de oxígeno y los anaerobios que no requieren de oxígeno, por lo que existen dos sistemas diferentes en cuanto a los procesos microbiológicos, aplicaciones, ingeniería y control (Gonzales, 2009).

Las bacterias anaerobias utilizan entre el 5-10 % de la energía contenida en el sustrato para funciones de reproducción, originando nuevas células, dirigiendo el 90-95 % restante a la producción de gas metano (CH_4), en cambio las bacterias aerobias emplean entre el 50 y 65 % de la energía del sustrato en la síntesis de nuevas células, mientras que la otra parte es utilizada en la reutilización de otras funciones metabólicas (Gonzales, 2009).

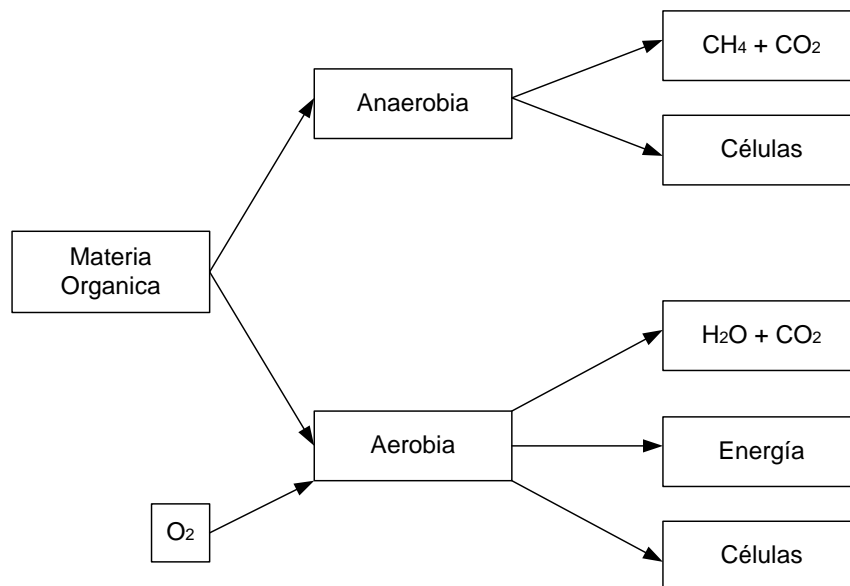


Gráfico 2. Flujo de energía de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: (Gonzales, 2009).

Las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en este proceso son parecidas, a las que se realizan en forma natural en los sedimentos acuáticos (pantanos, manantiales, lagunas, etc.), en el intestino de animales y de seres humanos, la única diferencia es la velocidad de reacción. De esta manera los compuestos contaminantes son aprovechados y transformados en nuevas células, por lo que las características metabólicas determinan el tipo de aplicación, ventajas y desventajas del proceso (Gonzales, 2009).

El desarrollo de cultivos microalgas, se presenta como una de las mejores alternativas para la remoción de nutrientes inorgánicos y metales pesados, generados en los tratamientos secundarios, ya que no solo se mejora la calidad del efluente mediante un mecanismo biológico de bajo costo energético sino que representa además una fuente potencial del empleo de la biomasa obtenida como alimento, extracción de compuestos químicos y pigmentos.

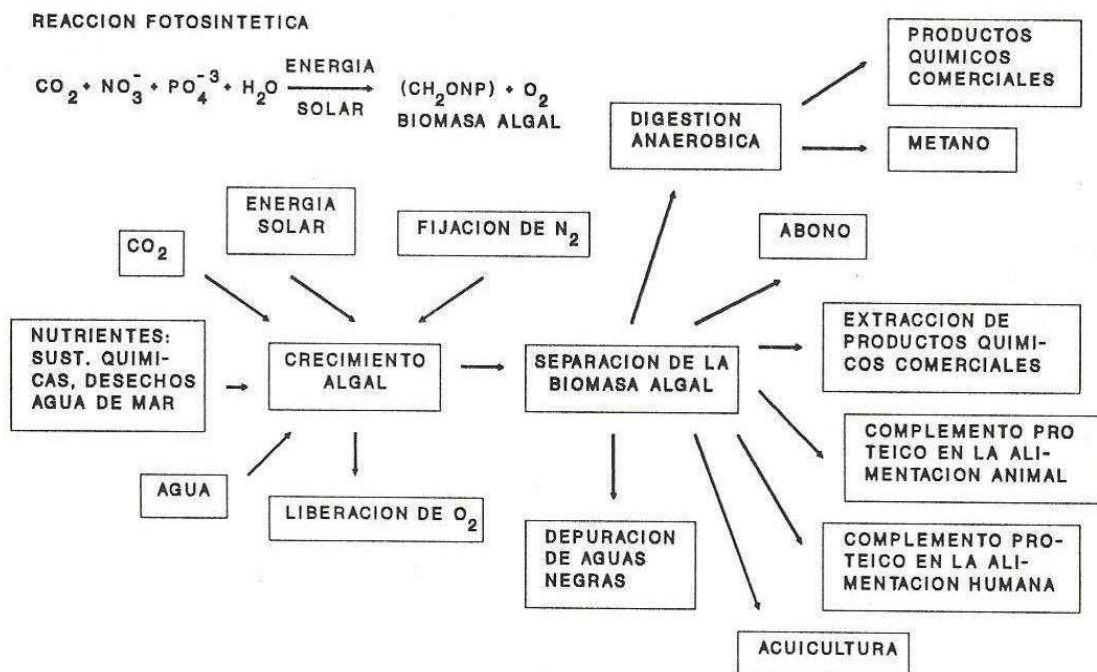


Grafico 3. Posibles aplicaciones de los cultivos intensivos de microalgas.

Fuente: (Gonzales, 2009).

De esta forma la finalidad del cultivo puede orientarse hacia la purificación del efluente o hacia la elevada producción de biomasa, dependiendo de los requerimientos planteados en el sistema. La valorización del uso de estos sistemas integrales con microalgas, presenta ventajas importantes en varios aspectos: la obtención de efluentes de mejor calidad en cuanto a la disminución de la concentración de nutrientes tóxicos para la flora y la fauna (nitratos, nitritos, amonio), el aumento en la concentración de oxígeno (procesos fotosintéticos) permitiendo la descarga en embalses de agua y por lo tanto la obtención de una biomasa algal que puede ser susceptible de aprovechamiento en diferentes aspectos agroindustriales (Gonzales, 2009).

Según Cordereco (2003), los datos registrados corresponden al inicio de las fuentes, ya que a medida que el agua circula a los sectores inferiores de la cuenca, se contamina progresivamente.

Tabla 2: Calidad ambiental del río Cutuchi

VALOR (mg/L)	CALIDAD	DETRIMENTO*
0-300	Mala	70%-100%
300-500	Regular	50%-70%
500-700	Buena	30%-50%
700-900	Muy buena	10%-30%
900-1000	Excelente	0%-10%

* Valor a dimensional, que engloba al DBO₅ y DO; DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno; al quinto día; DO: Demanda de oxígeno

Fuente: Cordereco (2002).

Pérez (2007), indica que el empleo de fertilizantes químicos en los cultivos generan efluentes líquidos, los mismos que llegan hasta las vertientes que desembocan en los ríos, que por su naturaleza, contienen nitrógeno orgánico derivado de la urea, el cual, está asociado con el nitrógeno inorgánico derivado del amoniaco, y que suman en su conjunto cantidades importantes de nitrógeno total, estos pueden superar los niveles de descargas permitidos. Normalmente el nitrógeno amoniacal puede ser eliminado del efluente líquido mediante procedimientos físico-químicos, pero

sin embargo, el nitrógeno orgánico, no puede eliminarse por métodos convencionales, lo que conlleva a que el efluente final posea niveles de nitrógeno total elevados, cuando solamente es sometido a un tratamiento físico-químico.

2.2 Fundamentación filosófica

Este trabajo posee un enfoque crítico propositivo ya que parte de la investigación experimental y del análisis de información bibliográfica como herramientas metodológicas básicas. Las mismas que permitirán obtener resultados cuya interpretación a su vez servirá para validar una hipótesis encaminada a la proposición de una alternativa de solución eficaz a un problema real del entorno.

2.3 Fundamentación legal

Como fundamento legal se considera la constitución Nacional de la República del Ecuador 2008 que se muestra en el Anexo D1, *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) del Ecuador (2009)*, Libro VI, Anexo 1, tabla 12, se encuentran los valores máximos permisibles para la descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce tabla D2, tabla de Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional D3, tabla de Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional D4, tabla de Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional D5 y la Norma Técnica Ecuatoriana *Voluntaria INEN 1.108:2011 D5*.

2.4 Categorías fundamentales

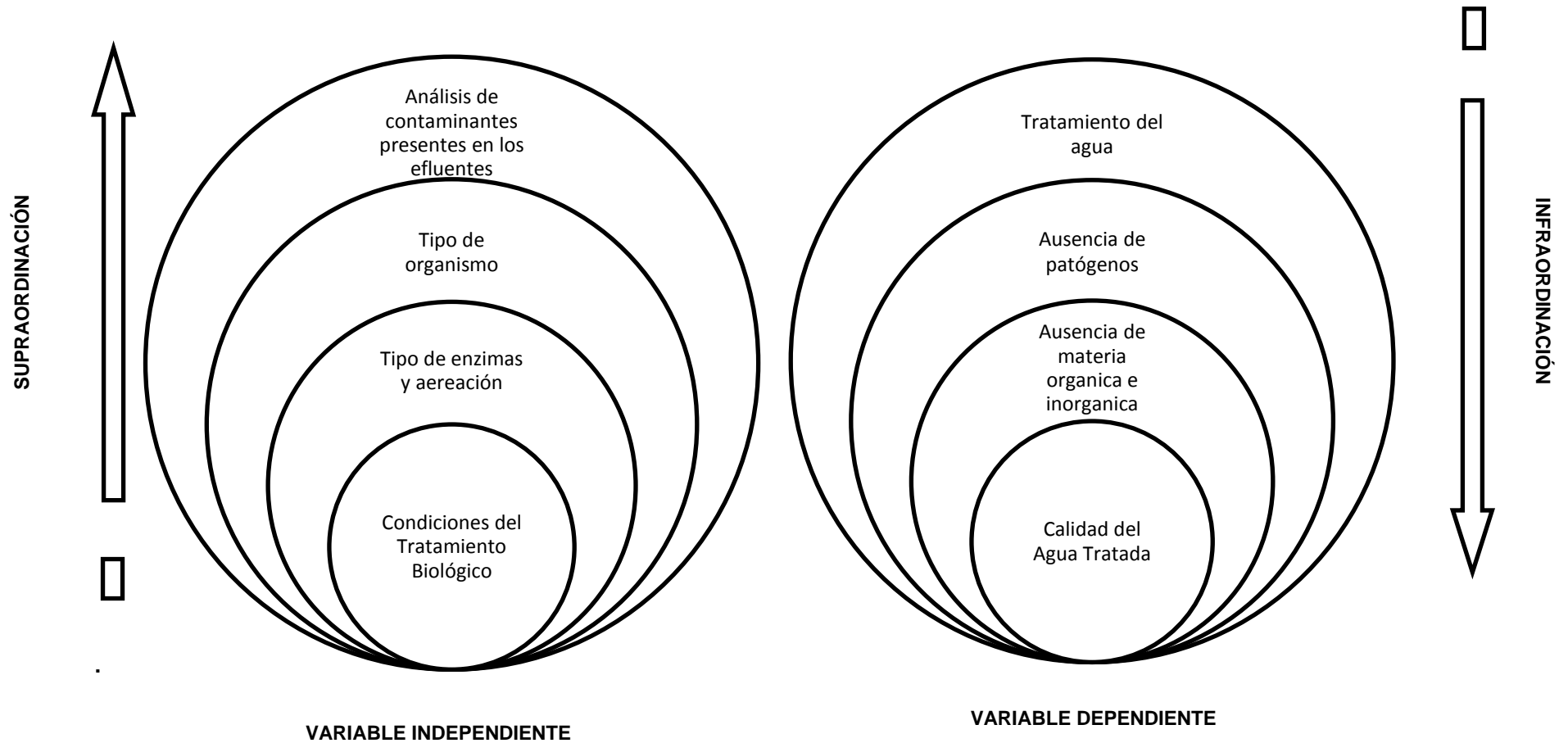


Gráfico 4. Organizador lógico de variables

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

2.4.1 Marco Teórico de la Variable Independiente

2.4.1.1 Condiciones del Tratamiento Biológico

Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellas cuya calidad original se ha degradado en alguna medida, como consecuencia de su utilización en diferentes acciones y procesos. Estas aguas contienen, como carga contaminante, materia orgánica de origen biológico, compuestos tóxicos, microorganismos patógenos, exceso de nutrientes, entre otros. Por tal razón, antes de su disposición final deben recibir el tratamiento adecuado capaz de modificar, al límite, sus condiciones físicas, microbiológicas y químicas, a fin de evitar problemas de contaminación. Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de los procesos tecnológicos y se caracterizan por su generación periódica o continua en grandes volúmenes, así como por su variada composición. La caracterización de las aguas residuales es un aspecto muy importante, ya que permite evaluar el impacto ambiental que producen, de modo que sea posible diseñar el sistema adecuado para su tratamiento y/o aprovechamiento. En la caracterización de residuales se tienen en cuenta los parámetros generales de contaminación: químicos, físicos y físico-químicos, (temperatura, conductividad, caracteres organolépticos, pH, oxígeno disuelto, indicadores de carga orgánica e inorgánica) y microbiológicos (bacterias y coliformes) (Pérez, 2004).

Tratamiento Biológico

Los tratamientos biológicos tuvieron en un principio como objeto la eliminación de la materia orgánica de las aguas residuales. Posteriormente se les ha ido dando otros usos como son: la oxidación del nitrógeno amoniacal (nitrificación), la eliminación del nitrógeno de las aguas residuales mediante la conversión de las formas oxidadas en nitrógeno (N₂) (desnitrificación) o la eliminación de fósforo. En todo este tipo de procesos

se utilizan reacciones asociadas a los organismos vivos. Los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de carbono y/o como fuente de energía, convirtiéndolos en nuevos microorganismos (biomasa), dióxido de carbono y otros compuestos inocuos.

La fuente de carbono y/o energía se denomina sustrato, por lo que en estos tratamientos la eliminación de contaminantes se conoce como consumo de sustrato. Los procesos de crecimiento de biomasa y de consumo de sustrato están totalmente relacionados, denominándose rendimiento a la cantidad de biomasa generada por unidad de sustrato eliminado (Polo, 2004)

Fitorremediación

La fitorremediación (*phyto* = planta; *remediación* = mal por corregir), es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto *in situ* como *ex situ*. Los mecanismos de fitorremediación incluyen la *rizodegradación*, la fito-extracción, la fitodegradación y la fitoestabilización. Cuando las plantas han absorbido los contaminantes acumulados, pueden ser cosechadas y ser desechadas. Si los contaminantes químicos orgánicos se degradan en las moléculas como el dióxido de carbono, las plantas pueden no requerir ningún método especial de disposición. La incineración controlada es el método más común para disponer las plantas que han absorbido cantidades grandes de contaminantes. Este proceso produce cenizas, que se pueden desechar en los sitios destinados para tal fin. Para las plantas que han absorbido los metales, la incineración controlada produce las cenizas con altos contenidos de metales (Bentacur, 2009).

Macrófitas acuáticas

Aunque se han estudiado distintas plantas acuáticas en sistemas de depuración de residuales, algas u otras sumergidas, con vistas a explorar su posible valor nutritivo, las así denominadas macrófitas acuáticas flotantes, la lenteja de agua o lemna (*Lemna spp*), azolla (*Azolla spp*) y la espinaca acuática (*Ipomoea acuática*) son las tres que con más intensidad se han estado evaluando en el trópico como posibles integrantes de sistemas de recirculación de nutrientes a través de su cultivo en estanques cargados con efluentes provenientes de biodigestores anaeróbicos, en lagunas, o simplemente colectadas en su medio natural, que suele ser en muchos casos, arrozales, como ocurre en todo el Sudeste Asiático. Particularmente en estas tres macrófitas no se han encontrado factores anti-nutricionales que pudieran limitar su uso en alimentación animal, lo que las hace muy atractivas en este sentido (Curras, 2009).

2.4.1.2 Tipo de enzimas

Aplicación de enzimas en el tratamiento de aguas residuales

Al considerar las aplicaciones enzimáticas en el tratamiento de los residuos, se debe hacer hincapié entre las situaciones donde el residuo de un proceso es el material crudo y los siguientes, por ejemplo, conversión de almidones, y procesos que ayudan a reducir los costos asociados del tratamiento. Existen un amplio número de industrias de procesamiento de alimentos que producen residuos que necesariamente deben ser posteriormente tratados. La aplicación de grupos de enzimas depende de la necesidad de hidrolizar polímeros complejos para incrementar su posterior degradación microbiana (Arias, 2009)

A la enzima se utiliza como un auxiliar de proceso para mejorar el rendimiento a través de su actividad degradante de la pared celular. Otro efecto de la enzima es la desestabilización de la emulsión de aceite-agua,

que conduce a una separación mas fácil de estos componentes (Arias, 2009).

Entre los diversos ejemplos se puede incluir el empleo de las lipasas asociadas con cultivos bacterianos para eliminar los depósitos de grasa procedentes de las paredes de las tuberías que transportan el efluente. Otra enzima degradante de polímeros utilizados de forma similar son las celulosas, proteinasas y amilasas. Una aplicación particular que puede describirse como tratamiento de residuos, es el empleo de proteinasas en las preparaciones comerciales de detergentes, denominadas como polvo de lavado biológico. Un ejemplo específico es el uso de la peroxidasa de la cola de caballo para iniciar la degradación de fenoles y aminas aromáticas que se presentan en muchas industrias con aguas residuales (Arias, 2009).

Ultrazym AFP-L es una preparación enzimática altamente activa con un espectro único de actividad pectolítica y además de actividad celulítica. La preparación de la enzima se produce por fermentación sumergida de *Aspergillus niger* y *trichoderma*.

La enzima tiene un efecto reductor de la viscosidad de líquido. Lleva a la desintegración casi completa de las pectinas y las paredes celulares de las células. Aumenta significativamente la capacidad de extracción de otros compuestos (Novozymes, 2013).

Pectinex Ultra SP-L es una preparación enzimática pectinasa natural que contiene principalmente poligalacturonasa. Es producida por el hongo *Aspergillus aculeatus* mediante fermentación sumergida de este microorganismo. Además de su principal actividad pectolítica, *Pectinex Ultra SP-L* tiene diversas actividades colaterales como hemicelulasa y celulasa es decir que ayuda a una separación sólido líquido. (Novozymes, 2013).

2.4.1.3 Tipo de organismo

Azolla (*Azolla spp*)

El género *Azolla* corresponde a diminutos helechos acuáticos, que flotan libremente en la superficie del agua, y que se halla diseminado por todas las regiones tropicales, como la *Azolla pinnata*, y subtropicales, como la *Azolla filiculoides* y la *Azolla mexicana*. La *Azolla* es una planta que consiste en un corto tallo ramificado que posee raíces que cuelgan hacia abajo en el agua.

Cada hoja es bilobulada, el lóbulo superior contiene clorofila verde mientras que el lóbulo inferior es incoloro. Bajo ciertas condiciones, también existe un pigmento de antocianina, que le confiere al helecho un color entre rojizo y carmelita. La coloración mencionada está asociada con la sobre fertilización del reservorio acuático, mucha contaminación o también un exceso de luz solar. La *Azolla* prefiere más un lugar sombreado que estar a plena luz solar. Este helecho tiene la habilidad de fijar N_2 atmosférico gracias a su asociación en simbiosis con una cianobacteria que lo fija, la *Anabaena azollae*.

Anabaena azollae, que vive en las cavidades de las frondas del helecho, es capaz de usar su propia energía fotosintética para fijar el N_2 atmosférico y producir amonio, lo que es aprovechado por la *Azolla* para cubrir sus propios requerimientos de N_2 . Aún así, algunos factores ambientales tales como las condiciones del suelo y del agua, así como las técnicas de cultivo, influyen de una forma importante en el contenido de nutrientes de la *Azolla*.

La relación simbiótica entre el helecho y la cianobacteria permite a la *Azolla* ser relativamente independiente de utilizar N_2 de su entorno, y ha atraído el interés de muchos científicos. Este hecho hace que la *Azolla* tienda a contener niveles relativamente altos de N_2 y ser una fuente proteica atrayente para la alimentación animal, no solamente del ganado y en la avicultura, sino en acuicultura, para alimentar peces en forma fresca o seca.

De hecho, existe más información sobre el uso de Azolla en alimentación de peces que de otras especies animales, aunque también se han hecho evaluaciones de sistemas integrados de producción de cerdos, patos, peces y Azolla (Mate, 2010).

Microorganismos Eficientes

Los microorganismos eficientes (EM) son un cultivo mixto de microorganismos benéficos, obtenidos de ecosistemas naturales y seleccionados por sus efectos positivos en los cultivos. Fueron obtenidos en la Universidad de RyuKyu en Okinawa, Japón, a comienzos de los años ochenta, por el profesor Teruo Higa, quién desarrolló una mezcla de microorganismos para mejorar la productividad de los sistemas de producción orgánica. Estos microorganismos coexisten en un medio líquido.

El EM está compuesto principalmente de: bacterias fototróficas, bacterias del ácido láctico, levaduras y hongos de fermentación. Estos microorganismos eficientes secretan sustancias beneficiosas como las vitaminas, ácidos orgánicos, minerales y antioxidantes al contactar con la materia orgánica (Chuck, 2011)

El EM es utilizado en la producción avícola, ganadera, acuícola, cultivos, mejora de suelos, manejo de desechos sólidos, preparación de abonos orgánicos, eliminación de malos olores, tratamiento de aguas residuales, entre otros (Chuck, 2011).

Los microorganismos eficientes autóctonos (EMA) han sido atribuidos por productores agrícolas como la combinación de microorganismos presentes en un área de cultivo determinada, los cuales han sido “capturados” mediante procesos artesanales sencillos y potenciados posteriormente con soluciones de azúcares y proteínas.

El microorganismo autóctono es efectivo, puesto que al pertenecer al mismo suelo donde se realiza el cultivo, no necesita ser reactivado con anticipación, y su adaptación al ecosistema del suelo es completa (Llodra, 2007).

2.4.2 Marco Teórico de la Variable Dependiente

2.4.2.1 Calidad del Agua Tratada

La calidad del agua es una variable fundamental del medio hídrico, tanto en lo que respecta a la caracterización ambiental como desde la perspectiva de la planificación hidrológica. Este término puede responder a varias definiciones, que se han visto reflejadas en la legislación a lo largo del tiempo. De forma tradicional se ha entendido por calidad de un agua el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un uso determinado. Esta definición ha dado lugar a diversa normativa, que asegura la calidad suficiente para garantizar determinados usos, pero que no recoge los efectos y consecuencias que la actividad humana tiene sobre las aguas naturales.

La incidencia humana sobre las aguas se ejerce fundamentalmente a través del vertido a sistemas naturales de efluentes residuales. Se hace por tanto necesario establecer los criterios de calidad que han de reunir las aguas residuales antes de ser evacuadas en un sistema receptor. La consideración de los criterios de calidad de los vertidos resulta insuficiente como garantía de conservación de los recursos hídricos, de manera que éstos se mantengan en condiciones tales que aseguren su disponibilidad en un futuro en cantidad y calidad adecuada. Esta garantía viene dada por el mantenimiento de las condiciones ambientales naturales que permitan preservar el equilibrio autorregulador de los ecosistemas acuáticos (Llodra, 2007).

2.4.2.2 Ausencia de Materia Orgánica e Inorgánica

Materia orgánica

Las materias orgánicas que puede contener un agua son muy numerosas y variadas. Entre estos compuestos cabe citar los halogenados, hidrocarburos aromáticos, aminas y amidas, derivados fenólicos, alcoholes, plastificantes, etc. El origen de los orgánicos de un agua, evidentemente, puede ser doble: natural y artificial. En el primer apartado se incluyen los compuestos desecho de actividades vitales de organismos hídricos y no hídricos, además, han de citarse ahora las denominadas sustancias o compuestos húmicos, que provienen de la descomposición de restos fundamentalmente vegetales en medios acuáticos, y que poseen una gran importancia desde el punto de vista del tratamiento y depuración de aguas.

Respecto a las sustancias que se encuentran en un agua y debidas a la acción humana, pueden a su vez subdividirse entre, a) materias puramente biológicas resultantes del metabolismo humano (o excretas orgánicas) y b) las sustancias orgánicas de síntesis, potencialmente mucho más contaminantes: plaguicidas, insecticidas, fungicidas, residuos de industrias químicas, farmacéuticas, petroquímicas, metalúrgicas, alimentarias, etc. (Galvin, 2006).

pH

El pH de un agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. Respecto a lo primero, la secuencia de equilibrios de disolución de dióxido de carbono (CO_2) en un agua, y la subsiguiente disolución de carbonatos e insolubilización de bicarbonatos, alteran drásticamente el pH de cualquier agua. Asimismo, la actividad fotosintética reduce el contenido en CO_2 mientras que la respiración de los organismos heterótrofos produce dióxido de carbono causando un efecto contrario con respecto al pH del medio acuático. Se debe tener en cuenta la

temperatura de la muestra ya que esta fuerza electromotriz afecta al valor del pH (Galvin, 2006).

Respecto a los vertidos de aguas residuales, sus valores de pH pueden oscilar mucho. Así, aguas residuales domésticas exhiben pHs algunas décimas inferiores a los del agua potable de procedencia. Los vertidos industriales, por el contrario, presentan diferentes valores en función de la actividad industrial que los genera: aguas de minería, industrias metalúrgicas e industrias químicas suelen tener carácter ácido, mientras que las aguas de minas calcáreas o aguas de industrias de bebidas no alcohólicas exhiben carácter básico (Galvin, 2006).

Temperatura

La temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido, estando ligada a la energía cinética media de sus moléculas. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y, en general, a todas sus propiedades, tanto químicas como a su comportamiento microbiológico (Galvin, 2006).

Color

El color de un agua se debe, fundamentalmente, a diferentes sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella. En aguas naturales el color proviene de las numerosas materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Además, la presencia de sales solubles de hierro (Fe) y manganeso (Mn) (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua.

En aguas naturales de lagos y embalses suele existir una relación directa entre color y pH, de forma que cuando aumenta el segundo lo hace el primero. En estos medios, el color del agua profunda durante la época de estratificación térmica es marcadamente más alto que el del agua superficial.

Finalmente, en tratamiento de aguas, dígase que aguas fuertemente coloreadas, ofrecen más resistencia a la acción desinfectante y oxidante del cloro y otros desinfectantes usados para su tratamiento (Galvin, 2006).

Turbidez

Es la reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de materia sin disolver. La turbidez, también es nombrada turbiedad.

Amoniaco (NH₃)

Las aguas superficiales bien aireadas generalmente contienen poco amoníaco (NH₃); aguas poco polucionadas de cauces naturales no suelen presentar más de 0,10 mg NH₃/L. Niveles superiores de amoníaco son indicativos de una contaminación reciente. La principal fuente de contaminación de amoníaco son las aguas residuales. En las aguas residuales, el amoníaco proviene de la descomposición de la urea, CO(NH₂)₂, por parte de las bacterias ureasas. El agua de lluvia, debido a la disolución del nitrógeno de la atmósfera, puede presentar amoniaco (Galvin, 2006).

Amonio (NH₄⁺)

El amonio presente en el medio ambiente procede de procesos metabólicos, agropecuarios e industriales, así como de la desinfección con cloramina. El amonio es un indicador de posible contaminación del agua con bacterias, aguas residuales o residuos de animales. Las concentraciones naturales en

aguas subterráneas y superficiales suelen ser menores que 0,2 mg/L, pero las aguas subterráneas anaerobias pueden contener hasta 3 mg/L y la ganadería intensiva puede generar concentraciones mucho mayores en aguas superficiales.

La presencia de amonio en el agua de consumo no tiene repercusiones inmediatas sobre la salud, de modo que no se propone un valor de referencia basado en efectos sobre la salud; no obstante, el amonio puede reducir la eficiencia de la desinfección, ocasionar la formación de nitrito en sistemas de distribución, obstaculizar la eliminación de manganeso mediante filtración y producir problemas organolépticos (Gamboa, 2009).

Carbonatos y dureza total

La dureza del agua se expresa normalmente como cantidad equivalente de carbonato de calcio (aunque propiamente esta sal no se encuentra en el agua) y se calcula, genéricamente, a partir de la suma de las concentraciones de calcio y magnesio existentes (miligramos) por cada litro de agua; que puede expresarse en concentración de carbonato de calcio (CaCO_3) (Llodra, 2007).

Cloruros, fosfatos y nitritos

Son indicadores típicos de contaminación residual doméstica vertida a un cauce natural. Esto, además, puede servir de señal de alerta acerca de la probabilidad de que el agua presente contaminación también de carácter microbiológico patógeno e indeseable.

El ion cloruro (Cl^-) es altamente corrosivo y da lugar a deterioros y picaduras en tuberías y sistemas de distribución de aguas, así como en equipos industriales que operen con aguas ricas en este anión. Asimismo, y en función de su contenido, pH del agua y concentración de otros iones presentes en ella, puede degradar los hormigones. Con relación al agua de consumo humano, la principal incidencia de los cloruros es la relativa al

sabor que promueven: si bien depende del catión asociado, en general, cantidades de 200 a 300 mg/L son perceptibles en un agua de bebida por el consumidor medio (Galvin, 2006).

Conductividad

La conductividad es consecuencia de los electrolitos que lleva disueltos un agua y presenta, lógicamente, un valor muy bajo en un agua pura (unas pocas centésimas de $\mu\text{S}/\text{cm}$). La conductividad de un agua natural está mediatizada por el terreno que atraviesa y por la posibilidad de disolución de rocas y materiales, el tipo de sales presentes, el tiempo de disolución, temperatura, gases disueltos, pH y toda la serie de factores que pueden afectar la solubilidad de un soluto en agua. En un agua residual presenta, lógicamente, un valor de conductividad superior al del agua de consumo de la que procede; en general, hasta un orden de magnitud más aLa si tiene un componente residual doméstico mayoritario. Si se trata de agua residual industrial la conductividad se incrementará mucho más (Galvin, 2006).

Hierro (Fe)

El Fe, tanto en forma de compuestos divalentes como trivalentes (ambos son los mayoritarios dentro de la amplia gama de estados de oxidación de este elemento químico) ocupa el cuarto lugar en abundancia en la corteza terrestre de nuestro planeta. Los compuestos más frecuentes son hidróxidos, carbonatos y sulfuros. El Fe presente en un agua proviene de la disolución de rocas y minerales que lo contienen, así como de las aguas residuales procedentes de la producción de acero y otros materiales (Galvin, 2006).

Sólidos totales

Es una cantidad determinada de materia disuelta en un volumen de agua. El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio

acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana recomendable con poros de 2.0 μm (o más pequeños). Los sólidos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas.

Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón, se ha establecido un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos para el agua potable en los Estados Unidos. Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas. (Llodra, 2007).

Zinc (Zn)

Abundantemente distribuido en la naturaleza asociado a sulfuros de otros metales (Fe, cobre (Cu), cadmio (Cd), plomo (Pb)) también se puede encontrar como sulfuro de zinc puro en la blenda. Su presencia en aguas naturales, tanto superficiales como subterráneas no es común, pudiendo encontrarse en forma inorgánica, iónica o coloidal y siendo sus especies químicas más frecuentes Zn^{2+} , hidróxido de zinc ($\text{Zn}(\text{OH})_2$) y cloruro de zinc (ZnCl_2). En aguas de consumo, la presencia de Zn indica episodios de disolución parcial de las tuberías galvanizadas para distribución de aguas.

DBO₅

La demanda biológica de oxígeno (DBO₅) es la cantidad de oxígeno necesario a las condiciones dadas del ensayo, es decir, incubación a 20 °C, en oscuridad y durante 5 días, para lograr por vía microbiana la degradación de las materias orgánicas de un agua (Galvín, 2006).

Las concentraciones en DBO_5 varían generalmente de 200 a 400 mg/L. Los valores más altos se encuentran en las ciudades de pocos habitantes y los más bajos en las grandes ciudades (Lodra, 2007).

DQO

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas. La medida corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sea su origen orgánico o inorgánico.

La determinación de DQO debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural. En caso contrario, la muestra podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta $\text{pH} = 2-3$. Sin embargo, esta opción deja de ser fiable en presencia de cloruro.

Esta medida, que se viene utilizando desde hace unos cincuenta años, es prácticamente la única conocida para determinar la contaminación del carbono biodegradable. Aun así, su cálculo presenta algunos problemas, por lo que la interpretación de los resultados debe utilizarse con mucho cuidado. Para evitar equivocaciones, conviene realizarla en paralelo con otras, tales como DQO y carbono orgánico total (TOC). (Llodra, 2007).

2.4.2.3 Ausencia de Patógenos

Coliformes totales

Debido a que las aguas residuales son de composición variada provenientes de descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas, contienen diferentes tipos de

microorganismos contaminantes y las diferentes concentraciones, dependiendo de su fuente.

La variada población de microorganismos en esta agua, proviene del suelo y de origen intestinal, incluyen aerobios y anaerobios estrictos y facultativos así como también numerosos. Estos microorganismos pueden sobrevivir al tratamiento, por lo que su reuso en riego agrícola, actividades recreativas, aguas de piscinas, baños de hidromasaje, aguas potables naturales, representan un riesgo potencial a la salud pública. Por todo lo anterior, además del estudio de las características físico-químicas del agua se requiere de un estudio microbiológico. (Gamboa, 2009).

Coliformes Fecales

Los coliformes fecales son contaminantes comunes del tracto intestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente; están presentes en el tracto intestinal en grandes proporciones, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección. En la inactivación de los coliformes fecales se deben tener en cuenta factores ambientales como, la humedad, temperatura, luz ultravioleta, pH, ya que estos microorganismos al no encontrarse en un ambiente favorable y al no obtener los nutrientes necesarios para su crecimiento se hacen más susceptibles a la inactivación (Gamboa, 2009).

2.4.2.4 Tratamiento del agua

Tratamiento de aguas residuales

Cualquier moderna estación potabilizadora o depuradora de se apoya en una serie de operaciones básicas de carácter físico-químico o microbiológico que deben ser suficientemente conocidas de antemano para poder explotarla correctamente, sacando de ella el máximo rendimiento, tanto

técnico como, indudablemente, económico. Cuando nos referimos a rendimiento, se entiende por ello el conseguir la mejor calidad de agua considerando, además, el aspecto económico.

Es decir, si se trata de agua de consumo humano, el mayor rendimiento irá asociado a la mayor reducción porcentual (o absoluta) de parámetros desfavorables para el consumo humano (por ejemplo, color, turbidez, materias orgánicas, hierro, manganeso, nitritos y amonio, como más significativos). Respecto a la flora microbiana, se da por sentado que deberá reducirse en al mínimo el 99,9999 % el contenido original para lograr un agua salubre. (Galvin, 2006)

Con relación a la depuración de aguas residuales, por ejemplo, si se trata de aguas urbanas, el mayor rendimiento comportará la mayor reducción en sólidos y carga orgánica (demandas bioquímica y química de oxígeno) del agua que posteriormente será vertida a cauce público o reutilizada tras su depuración. De este modo, el tratamiento o depuración de un agua tiene como objetivos generales la eliminación de sustancias en suspensión, sustancias disueltas, supresión de la flora microbiana patógena. En general, en el tratamiento de un agua pueden considerarse varios aspectos:

- a) Eliminación de materias en suspensión y coloides, utilizando fenómenos de coagulación-floculación, flotación y filtración.
- b) Eliminación de materias disueltas, llevado a cabo por medio de membranas filtrantes, adsorción e intercambio iónico.
- c) Reacciones puramente químicas, procesos de oxidación y desinfección.
- d) Tratamientos biológicos
- e) Tratamiento biológico (Galvin, 2006)

Filtración con carbón activado

La filtración por carbón activo se emplea en la industria azucarera, química, farmacéutica etc. así como en el tratamiento de aguas, debido a su gran capacidad de adsorción de diversos elementos, sumado a la posibilidad de limpieza del lecho filtrante con gran facilidad y rapidez, así como a la capacidad de regeneración del mismo. En el ámbito del tratamiento de aguas, estos procesos se emplean para depuraciones de agua subterránea, purificaciones del caudal final de las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable, decoloraciones del agua, depuración de aguas para piscinas, refinamiento de las aguas residuales tratadas, etc.

Los lechos de carbón activo se instalan en columnas de filtrado, con o sin presión, siendo la función desarrollada por éste la de filtrado final, en combinación con filtros de arenas, actuando como adsorbente o, individualmente, actuando como filtro mecánico y adsorbente (Trogolo, 2006).

La adsorción con carbón activo consiste en retirar del agua las sustancias solubles mediante el filtrado a través de un lecho de este material, consiguiéndose que los oligominerales pasen a través de los microporos, separando y reteniendo en la superficie interna de los gránulos los compuestos más pesados.

Este proceso retiene sustancias no polares como aceite mineral, polihidrocarburos aromáticos, cloro y derivados, sustancias halogenadas como yodo (I), bromo (Br), cloro (Cl), hidrogeno (H), fluoruro (F), sustancias generadoras de malos olores y gustos en el agua, levaduras, residuos de la fermentación de materia orgánica, microorganismos, herbicidas, pesticidas, etc., todo ello sin alterar la composición original del agua, respetando los oligominerales y sin generar residuos contaminantes (Sevilla, 2012).

Criterios Hídricos

Parroquia de *Cusubamba*

AL NORTE: Desde la afluencia de la Quebrada Chirinche Bajo en el río Nagsiche, aguas abajo este río, hasta el cruce con la vía Salcedo-Augusto Martínez

AL ESTE: Desde este cruce, la vía indicada hacia el Sur, en dirección a Augusto Martínez, hasta el cruce con la quebrada Sánchez.

AL SUR: Desde el cruce señalado, el curso de la quebrada Sánchez, aguas arriba hasta su confluencia con la quebrada Borja; de esta confluencia, la quebrada Borja aguas arriba hasta sus orígenes; de allí la línea imaginaria al Sur-Oeste en corto trecho hasta alcanzar la cumbre del cerro Taxoloma; de este la línea de cumbre al Sur-Oeste, que pasa por la cima de los cerros Torouco de Sanutoa y Sagoatoa.

AL OESTE: De la cumbre del cerro Sagoatoa, el divisor hacia el Norte que pasa por la cima de las lomas Palarumi, Cola Huana, Chuquiragua, Tablón y Cerro Conoloma, origen de la quebrada Chirinche; de estos orígenes la quebrada Chirinche aguas abajo, hasta su afluencia en el río Nagsiche.



Grafico 5: Punto de toma muestra en Cusubamba
Elaborado por: Verónica Castro 2014

En *Cusubamba* un 77.73% de las familias y comunidades tienen acceso a agua entubada y el resto usan aguas de acequias y pozos; esto marca y afecta las condiciones de salud de sus habitantes. Mientras que en alcantarillado la situación es más grave dado que según el mismo Plan de Trabajo Parroquial sólo un 0.84% de sus habitantes tienen servicio de alcantarillado para la eliminación de aguas servidas, un 79.4 % tiene pozos ciegos y letrinas y un 16.53 % los elimina a campo abierto y el resto la hace en ríos y acequias. Sólo la cabecera parroquial tiene un sistema de alcantarillado el mismo que se encuentra en mal estado (Camacho, 2011).

Parroquia de *Mulalillo*

En la parroquia no se encuentran cauces de ríos, el agua que se distribuye en el sector proviene de los páramos de *Cusubamba*, para el consumo humano siendo la misma no potabilizada, que en cantidad satisface la demanda del sector, únicamente la Comuna de *San Diego* tiene agua para consumo mediante un sistema por escurrimiento del páramo alto andino de almohadillas presentes en dicha comunidad. El agua de riego llega a la parroquia de la cuenca del Río *Nagsiche* que nace de vertientes de los páramos de *Cusubamba* y que sirve como límite entre estas parroquias.

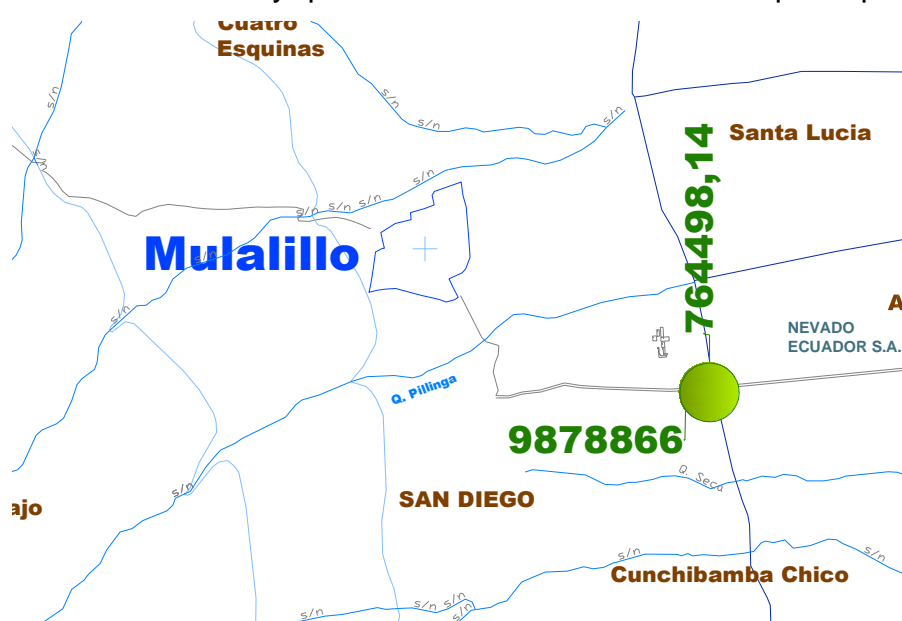


Grafico 6: Punto de toma muestra en Mulalillo
Elaborado por: Verónica Castro 2014

Vertientes

Se ha identificado en los páramos de la parroquia las vertientes:

- Lactahurco
- Toruco
- Torucuchupa
- Chuquilagua

Las mismas que tienen un caudal indeterminado ya que generalmente son notorias en épocas invernales y tienden a secarse en épocas secas, únicamente la vertiente de San Diego tienen caudal promedio de 3.93 m³/s todo el año (Camacho, 2011).

El agua para Mulalillo viene desde las vertientes de páramo de la Parroquia de Cusubamba, un 80.34 % de las familias y comunidades tienen acceso a agua entubada y el resto usan aguas de acequias y pozos; esto marca y afecta las condiciones de salud de sus habitantes. Mientras que en alcantarillado la situación es más grave dado que según los datos de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) sólo un 7.98 % de sus habitantes tienen servicio de alcantarillado para la eliminación de aguas servidas. Los mismos que se refieren a las viviendas de la cabecera parroquial que tiene un sistema de alcantarillado el mismo que se encuentra en mal estado (Camacho, 2011).

2.5 Hipótesis

General:

- La aplicación de un método biológico sobre las aguas residuales del cantón Salcedo ayudará a reducir la contaminación de sus efluentes rurales.

Específicas:

H₀ = El tipo de aireación y el tipo de recurso biológico no influyen sobre la calidad del agua residual.

H_1 = El tipo de aireación y el tipo de recurso biológico influyen sobre la calidad del agua residual.

2.6 Señalamiento de variables de la hipótesis

Variable independiente: Condiciones de tratamiento biológico

- Tipo de aireación
- Tipo de enzima
- Tipo de organismo (*Azolla.spp*)

Variable dependiente: Calidad del agua tratada

- pH
- Temperatura
- Sólidos Totales Disueltos
- Dureza
- Color
- Coliformes Totales
- Coliformes Fecales
- DBO₅
- DQO
- Carbonatos
- Cloruros
- Fosfatos
- Hierro
- Nitratos
- Zinc
- Turbiedad
- Conductividad
- Cianuros

- Nitritos
- Alcalinidad
- Amonio
- Amoniaco
- Coliformes Totales
- Coliformes Fecales

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Enfoque

Esta investigación tuvo un enfoque predominantemente cuantitativo y cualitativo.

Fue cuantitativo y cualitativo porque se determinó el tipo y el grado de contaminantes presente en los efluentes de las parroquias de *Mulalillo* y *Cusubamba* del cantón Salcedo, así como también el tipo de recurso biológico y dosificación adecuada para su recuperación.

3.2 Modalidad básica de la investigación

Se aplicó una investigación:

- *Bibliográfica*, porque se realizó una revisión de diferentes fuentes bibliográficas o documentales como por ejemplo: manuales, artículos científicos, normas, libros, etc., en biblioteca o en el internet.
- *De campo* porque se recurrió al análisis sistemático de un problema de la realidad, teniendo una participación real, en el lugar de ocurrencia del problema para su estudio y para la recolección de muestras.
- *Experimental*, porque se plantearon variables para estudiar su efecto en el mejoramiento de la calidad del agua.

3.3 Nivel o tipo de investigación

Esta investigación es de tipo:

- *Exploratorio*, porque se empleó como una de sus herramientas la búsqueda de información científica, económica y social.

- *Descriptivo*, porque se expusieron situaciones y resultados previos a fin de desarrollar criterios y contenidos.
- *Deductivo*, porque partió de un análisis del problema a nivel macro, para llegar a establecer una alternativa de solución que contribuirá a reducir una parte del problema global.
- *De correlación*, porque se confrontaron varias formas de tratamiento de aguas, estudiando su acción sobre características finales del agua (calidad físico-química y microbiológica).
- *Inductivo* porque la correlación de variables permite obtener resultados que puedan considerarse como principios generales y así dar validez a la hipótesis y mediante ella, a la propuesta de este trabajo.

3.4 Población y muestra

Se realizó un muestreo no probabilístico (guiado por el criterio del investigador).

Las muestras de aguas fueron obtenidas en los canales de las comunidades del sector de Buena Esperanza ubicado en la parroquia de *Cusubamba* y en la comunidad de San Diego en la parroquia de *Mulalillo*.

El muestreo se realizó por triplicado, para definir las condiciones iniciales del agua a tratar.

Para la aplicación de los tratamientos se consideró un Diseño 2^n bajo el siguiente modelo matemático:

Modelo Matemático

$$Y_{ijklh} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{jk} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + R_h + \varepsilon_{ijklh}$$

Donde:

μ = Efecto global atribuible al material experimental

A_i = Efecto principal del factor A; $i=1, 2$

B_j = Efecto principal del factor B; $j=1, 2$

C_k = Efecto principal del factor C; $k=1, 2$

$(AB)_{ij}$ = Efecto de interacción doble entre los factores A y B

$(AC)_{jk}$ = Efecto de interacción doble entre los factores A y C

$(BC)_{jk}$ = Efecto de interacción doble entre los factores B y C

$(ABC)_{ijk}$ = Efecto de interacción triple entre los factores A, B y C

R_h = Efecto de la replicación; $h=1, \dots, r$

ε_{ijklh} = Efecto residual

Considerando los siguientes factores y niveles:

Factor:

- A: Tipo de aireación
 - ✓ a1: Agitación Continua (c/ 30min)
 - ✓ a2: Agitación Semicontinua (2 veces al día)
- B: Tipo de enzima
 - ✓ b1: *AFL-P*
 - ✓ b2: *Pectines ultra SP-L*
- Tipo de organismos
 - ✓ c1: Ems
 - ✓ c2: Algas

De esta manera se dispuso de 8 muestras que con 2 réplicas se dieron un total de 48 tratamientos:

Tabla 2: Niveles y dosificaciones de cada uno de los tratamientos aplicados sobre las aguas de Cusubamba y Mulalillo.

N°	Tratamientos	Combinaciones de los tratamientos
T1	$a_1b_1c_1$	Continua: c/ 30 min. AFL-P: 0.08 mg/4L. Ems: 0.89 mL.
T2	$a_1b_1c_2$	Continua: c/ 30 min. AFL-P: 0.08 mg/4L. Algas: 64 g.
T3	$a_1b_2c_1$	Continua: c/ 30 min. SP-L: 0.01 mg/4L. Ems: 0.89 mL.
T4	$a_1b_2c_2$	Continua: c/ 30 min. SP-L: 0.01 mg/4L. Algas: 64 g.
T5	$a_2b_1c_1$	Semicontinua: 2 veces al día AFL-P: 0.08 mg/4L. Ems: 0.89 mL.
T6	$a_2b_1c_2$	Semicontinua: 2 veces al día AFL-P: 0.08 mg/4L. Algas: 64 g.
T7	$a_2b_2c_1$	Semicontinua: 2 veces al día SP-L: 0.01 mg/4L. Ems: 0.89 mL.
T8	$a_2b_2c_2$	Semicontinua: 2 veces al día SP-L: 0.01 mg/4L. Algas: 64 g.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

3.5 Operacionalización de variables:

Tabla 3: Variable Independiente: Condiciones del Tratamiento Biológico.

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índices	Item Básico	Técnicas e instrumentos
<p>Condiciones del Tratamiento Biológico: implica el uso de organismos vivos para descomponer contaminantes presentes en aguas contaminadas</p> <p>La descontaminación del agua se lleva a cabo para disminuir la carga de compuestos orgánicos e inorgánicos. El tratamiento aeróbico del agua se requiere la presencia de oxígeno para efectos de la descomposición de materia orgánica. Es decir, el agua es aireada (Matte, 2010).</p>	<p>Tipo de aeración</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Continua ✓ Semicontinua 	Frecuencia de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cada 30 minutos ✓ 2 veces al día 	Incorporación de O ₂ y ausencia de malos olores	Análisis Físico-químicos.
	<p>Tipo de enzima</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ AFP-L ✓ SP-L 	Cantidad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 0.08 mL/4L ✓ 0.01 mL/4L 	Degradación de materia orgánica	Métodos de determinación de DBO ₅ y DQO.
	<p>Tipo de organismos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Marca Comercial Microorganismos Eficaz (EM-1) ✓ Azolla 	Cantidad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 0.89 mL ✓ 0.64 g. 	Degradación Aerobia	Análisis microbiológicos.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

Tabla 4: Variable Dependiente: Calidad del agua tratada

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índices	Item Básico	Técnicas e instrumentos*
<p>Análisis físicos-químicos son análisis de control que tiene por objeto aportar información sobre la calidad del agua y la eficacia del tratamiento (Delgado, 2010).</p> <p>Análisis Microbiológicos son los que permite evaluar las poblaciones microbianas, y relacionar su presencia como indicadores biológicos (Delgado, 2010).</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Dureza •STD •Conductividad •Color •Coli totales •Coli fecales •Temperatura •pH •DBO •DQO •Cloruros •Fosfatos •Hierro •Nitratos •Zinc •Turbiedad •Nitritos 	<p>Valores finales de cada una de las subcategorías.</p>	<p>Estándares de calidad del agua.</p>	<p>Control de parámetros físico-químicos y microbiológicos</p>	<p>APHA-2340-C</p> <p>APHA-2510-B</p> <p>APHA-2120-C</p> <p>APHA-2120-C</p> <p>APHA-9021-B</p> <p>APHA-9021-C</p> <p>APHA 4500H+B</p> <p>APHA 4500H+B</p> <p>HACH BOD Trak</p> <p>HACH 8000</p> <p>APHA-4500-CL-D</p> <p>HACH-8190</p> <p>HACH-8008</p> <p>HACH-8039</p> <p>HACH-8009</p> <p>APHA-2130-B</p> <p>HACH-8040</p> <p>APHA-2511-B</p> <p>HACH-8038</p> <p>HACH-8039</p>

*Normas y técnicas que se utilizó para la realización de los análisis físico-químicos y microbiológicos

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

3.6 Recolección de información

Las muestras de aguas fueron obtenidas en los canales de las comunidades de Buena Esperanza ubicada en la parroquia de *Cusubamba*, toda vez que según la información proporcionada por el Municipio de Salcedo, las aguas de este Sector y de la parroquia de *Mulalillo* se consideran las más contaminadas del cantón, la vertiente de estas aguas es el Cerro Conoloma.

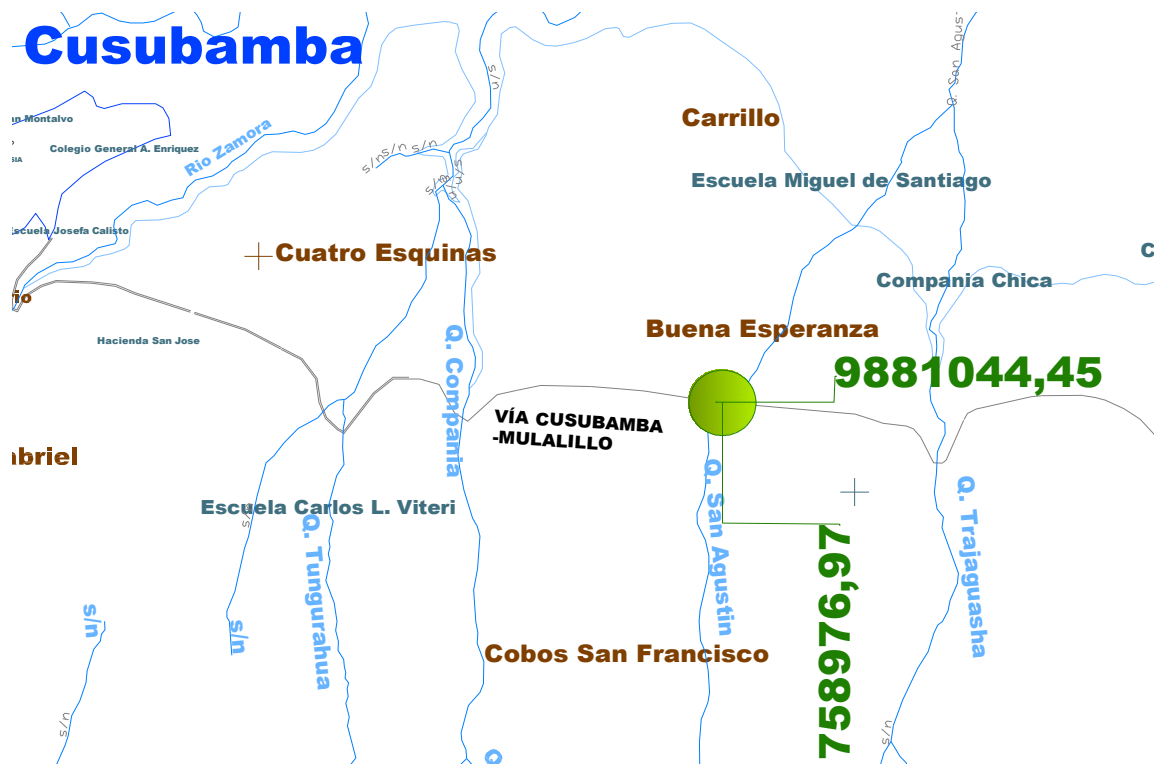
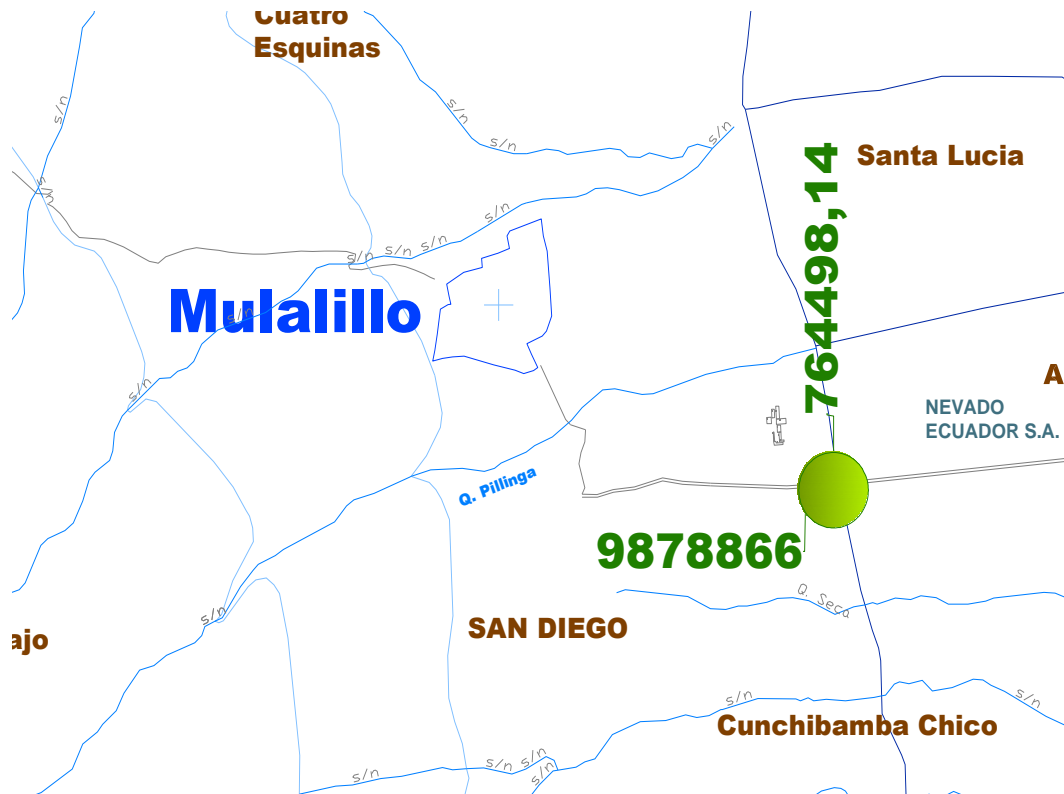


Grafico 5: Punto de toma de muestra en *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.



Grafica 6: Punto de toma de muestra en *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

Los datos obtenidos en los análisis se tabularon de forma ordenada según cada caso.

3.7 Procesamiento y análisis

3.7.1 Etapas del estudio

El estudio se realiza en etapas sucesivas. En la primera (I) se evaluó el nivel de contaminación de las los ríos de las parroquias de *Cusubamba* y *Mulalillo*.

En la segunda etapa (II) se aplicaron los diferentes tratamientos de descontaminación del agua. En la tercera etapa (III) se identificó el mejor tratamiento mediante el programa *statgraphics* centurión.

Etapa I

Recolección de muestras

Para la recolección de muestras se rotuló las botellas, los reactivos y materiales a utilizar, se lavaron las botellas de plástico con el fin de minimizar la contaminación, se llenaron los frascos completamente y se taparon de tal forma que no existió aire en su interior. Las muestras fueron transportadas a baja temperatura en una hielera y procurando demorar el menor tiempo posible.

En el lugar de recolección de las muestras se tomó datos de algunos parámetros, cuyos valores cambian rápidamente con el tiempo (temperatura y pH).

Análisis de las muestras

Se recolectaron las muestras de cada lugar y se procedió con la caracterización fisicoquímica y microbiológica en el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA).

Los parámetros: Dureza, Conductividad, Color, Coli totales, Coli fecales, Temperatura, pH, Cloruros y Turbiedad fueron analizados mediante las normas APHA 2011.

Los parámetros: DBO₅, DQO Fosfatos, Hierro, Nitratos, Zinc y Nitritos fueron analizados con el espectrofotómetro HACH BOD TRACK

Etapa II

Descontaminación de las muestras

Para la descontaminación de las muestras se emplearon Microorganismos Eficientes comerciales y algas o plantas acuáticas (*Azolla*)

Activación de los EM•1 Comerciales (Microorganismos Eficaces)

Se partió de la activación de los microorganismos eficientes de la marca comercial (EM•1 Microorganismos eficaces), como se indica en la instrucciones del envase para lo cual se procedió a mezclar 1 galón de EM•1, 1 galón de melaza y 18 galones de agua potable.

Se depositó la mezcla en un envase limpio y cerrado herméticamente durante 7 días, dejando escapar los gases por medio de una manguera. Los EM•1 Comerciales presentan en su composición Bacteria Acidolácticas 10^4 , Bacteria Fototrópicas 10^3 , Hongos y levaduras 10^3 . Las dosificaciones de cada uno de los componentes que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales se puede observar en el Anexo C.

Construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales

Para la descontaminación de las muestras se utilizaron recipientes reciclables, los mismos que se llenaron con 4 litros de agua a ser tratada. Para la primera filtración del tratamiento se utilizó cedazos debido a los grandes poros que este posee y para la segunda filtración se utilizó lienzo.

Etapa III

Elección del mejor tratamiento

Se estableció en base a la determinación de: sólidos totales, dureza, color, turbiedad, coliformes totales y fecales.

Finalmente, luego de haber escogido el mejor tratamiento, se caracterizó físico química y microbiológicamente el agua así tratada.

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 Control de temperatura durante el tratamiento de las aguas de *Mulalillo* y *Cusubamba*.

La temperatura inicial del agua de *Mulalillo* y *Cusubamba* fue: 15 °C y 14 °C, debido a que los puntos de muestreo fueron zonas frías.

Las temperaturas durante los diferentes tratamientos se tomaron en tres ocasiones: T1: después de colocar los microorganismos, T2: después de colocar las enzimas y T3: después de colocar el precipitante sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$).

De acuerdo a los datos de control de temperatura del agua de la parroquia *Mulalillo* y *Cusubamba*, reportados en las tablas A-2 y A-3 e ilustrados en las gráficas respectivas, se puede observar que los valores de este parámetro fueron ascendiendo, siendo un buen indicador de la actividad de los microorganismos y de las enzimas, que en conjunto degradaron la materia orgánica, precipitada luego con ayuda del floculante.

4.2 Control de pH durante los tratamientos de las aguas de *Mulalillo* y *Cusubamba*.

El pH inicial del agua de la parroquia de *Mulalillo* fue 8.27, valor que ascendió luego de agregar los microorganismos eficientes y descendió al colocar las enzimas (ver tabla A-4 y gráfico A-3), tal fenómeno puede deberse al hecho de que a las 24 horas los compuestos orgánicos presentes en el agua comenzaron su degradación liberando compuestos aminados que se conoce

tienen un valor mayor al neutro. El descenso podría explicarse considerando la posible generación de ligera acidez producto de la hidrólisis enzimática.

Por otro lado, el pH inicial del agua de la parroquia de *Cusubamba* fue 8.20. El ascenso observado en el caso anterior, para esta agua, fue casi imperceptible lo cual se explica debido a que el agua de *Cusubamba* partió de mucha menor carga microbiana que el agua de *Mulalillo*. El descenso del pH luego de agregar las enzimas sí se presentó del modo como se indica en la tabla A-5 y gráfica A-4.

4.3 Análisis de los parámetros de dureza, STD, conductividad y color del agua de *Mulalillo* y *Cusubamba*.

Según la tabla A-1 (Anexo A-1) los valores iniciales de dureza 277 mg/L, STD 387 mg/L, conductividad 773 $\mu\text{S}/\text{cm}$, color 30 UPt-Co, *coli* totales 5950 ufc/mL y *coli* fecales 2250 ufc/mL del agua de *Mulalillo* y dureza 147,4 mg/L, STD 141,9 mg/L, conductividad 475 $\mu\text{S}/\text{cm}$, color 25 UPt-Co, *coli* totales 4400 ufc/mL y *coli* fecales 1550 ufc/mL del agua de *Cusubamba* fueron mayores que los establecidos en la norma *INEN 1108. 2011* en cuanto al límite deseable (Anexo D-6) dureza 120 mg/L, STD 500 mg/L, conductividad 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Anexo D-7), color 5 UPt-Co, *coli* totales 0 ufc/mL y *coli* fecales 0 ufc/mL.

Después de aplicar los diferentes tratamientos biológicos, los valores mencionados bajaron en comparación a los iniciales. Estos promedios finales se muestran en las tablas A-8 y A-9.

Tabla A-8: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de *Mulalillo*

Niveles	Dureza mg/L	STD mg/L	Conductividad μS/cm	Color
a₁b₁c₁	144,67	255,67	449,67	6,6700
a ₁ b ₁ c ₂	194,67	314,67	574,67	10,830
a ₁ b ₂ c ₁	201,00	305,33	572,00	11,670
a ₁ b ₂ c ₂	158,00	258,00	509,00	6,6700
a ₂ b ₁ c ₁	163,33	266,67	536,67	5,8300
a ₂ b ₁ c ₂	156,33	277,33	489,67	6,6700
a ₂ b ₂ c ₁	151,00	278,67	510,00	5,0000
a ₂ b ₂ c ₂	214,67	428,33	595,33	10,000

a₁: Continua (30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFPL; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp

Elaborado por: Verónica Castro, 2013.

Tabla A-9: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de *Cusubamba*

Niveles	Dureza mg/L	STD mg/L	Conductividad μS/cm	Color
a₁b₁c₁	81,00	135,33	260,00	5,8300
a ₁ b ₁ c ₂	82,67	108,67	263,67	5,0000
a ₁ b ₂ c ₁	84,00	129,00	247,00	5,8300
a ₁ b ₂ c ₂	94,00	184,00	296,67	9,1700
a ₂ b ₁ c ₁	82,67	113,67	250,67	5,8300
a ₂ b ₁ c ₂	94,67	198,33	288,67	9,1700
a ₂ b ₂ c ₁	80,67	110,00	243,00	5,0000
a ₂ b ₂ c ₂	106,00	192,67	301,33	10,830

a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFPL; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp

Elaborado por: Verónica Castro, 2013.

4.4 Análisis de coliformes totales y coliformes fecales del agua de *Mulalillo* y *Cusubamba*

El valor inicial para coliformes totales y fecales de la parroquia de *Mulalillo* fue de 5950 ufc/mL y 2250 ufc/mL; mientras que el agua de la parroquia de *Cusubamba* presentó 4400 ufc/mL y 1550 ufc/mL respectivamente. Según la Norma *INEN* 1108 – 2011, el límite máximo permitido para el agua de consumo es 0 ufc de coliformes totales y fecales por mililitro.

Tras la aplicación de los diferentes tratamientos, los valores mencionados también bajaron en comparación a los iniciales. Los promedios finales se observan en las tablas A-10 y A-11.

Tabla A-10: Valores de los análisis del agua de *Mulalillo*

Tratamientos	Coli totales			x	S ²	Coli fecales			x	S ²
	r1	r2	r3			r1	r2	r3		
a₁b₁c₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₁b₁c₂	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0
a₁b₂c₁	22	4	3	10	11	0	0	0	0	0
a₁b₂c₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₂b₁c₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₂b₁c₂	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
a₂b₂c₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₂b₂c₂	6	2	3	4	2	5	0	0	2	3

a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: *AFPL*; b₂: *SP-L*; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp; r1:replica1; r2:replica2; r3:replica3; x: promedio; s²: desviación.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla A-11: Valores de coli. Totales y Fecales del agua de *Cusubamba*

Tratamientos	Coli totales			x	S ²	Coli fecales			x	S ²
	r1	r2	r3			r1	r2	r3		
a₁b₁c₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₁b₁c₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₁b₂c₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₁b₂c₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₂b₁c₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₂b₁c₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₂b₂c₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a₂b₂c₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: *AFPL*; b₂: *SP-L*; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp; r1:replica1; r2:replica2; r3:replica3; x: promedio; s²: desviación.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

4.5 Elección del mejor tratamiento

En vista de que todos los tratamientos permitieron cumplir con la norma establecida para calidad del agua de consumo, para la elección del mejor tratamiento, nos hemos basado en los resultados finales de dureza, STD, conductividad y color.

Los resultados promedio luego del respectivo análisis estadístico realizado mediante un ANOVA en el programa de Statgrafics centurión, al 95 % de confianza, indican que los mejores tratamientos en cuanto a: dureza, STD, conductividad y color son los presentados en la siguiente tabla:

Tabla 5: Tratamientos seleccionados como los mejores en base al análisis estadístico.

PARAMETRO CONSIDERADO	TRATAMIENTO		ANEXO	TABLA	FIGURA
DUREZA (<i>Mulalillo,</i> <i>Cusubamba</i>)	a ₁ b ₁ c ₁	Aireación Continua: c/ 30 min. Enzima: <i>AFL-P</i> Microorganismos: Ems	B-1	B-1	B-1 B-2 B-2 B-3 B-3 B-4 B-4 B-5 B-5 B-6 B-6 B-7 B-7 B-8 B-8
			B-2	B-2	
			B-3	B-3	
			B-4	B-4	
			B-5	B-5	
			B-6	B-6	
			B-7	B-7	
			B-8	B-8	
STD (<i>Mulalillo,</i> <i>Cusubamba</i>)	a ₁ b ₁ c ₁	Aireación Continua: c/ 30 min. Enzima: <i>AFL-P</i> Microorganismos: Ems	B-9	B-9	B-7 B-8 B-9 B-10 B-11 B-12 B-13 B-14 B-15 B-16
			B-10	B-10	
			B-11	B-11	
			B-12	B-12	
			B-13	B-13	
			B-14	B-14	
			B-15	B-15	
			B-16	B-16	
CONDUCTIVIDAD (<i>Mulalillo,</i> <i>Cusubamba</i>)	a ₁ b ₁ c ₁	Aireación Continua: c/ 30 min. Enzima: <i>AFL-P</i> Microorganismos: Ems	B-17	B-17	B-13 B-14 B-15 B-16 B-17 B-18
			B-18	B-18	
			B-19	B-19	
			B-20	B-20	
			B-21	B-21	
			B-22	B-22	
			B-23	B-23	
			B-24	B-24	
COLOR (<i>Mulalillo</i> no exite un buen tratamiento, <i>Cusubamba</i>)	a ₁ b ₁ c ₁	Aireación Continua: c/ 30 min. Enzima: <i>AFL-P</i> Microorganismos: Ems	B-25	B-25	B-19 B-20 B-21 B-22 B-23 B-23 B-24
			B-26	B-26	
			B-27	B-27	
			B-28	B-28	
			B-29	B-29	
			B-30	B-30	
			B-31	B-31	
			B-32	B-32	

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

4.6 Contenido de la cantidad de dureza en el agua de *Mulalillo* y *Cusubamba*

Los resultados promedios luego del respectivo análisis estadístico, indican que los tratamientos con menor cantidad de dureza son el tratamiento $a_1b_1c_1$ (aireación continua c/ 30min, enzima *AFL-P*, microorganismos eficientes) para *Mulalillo* y para *Cusubamba*.

En la tabla B-1 y B-5 se reportan los resultados del análisis de varianza para los valores de la cantidad de dureza para *Mulalillo* y *Cusubamba* respectivamente, utilizando el 95 % de nivel de confianza se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (aireación), B (enzimas) y C (microorganismos).

La prueba de tukey (HSD) de la tabla B-2 y B-6 con respecto a la aireación con un 95 % de nivel de confianza, indica que el tratamiento a_1 (c/ 30 minutos) y el a_2 (2 veces al día) no presentan diferencias significativas, porque no influye este factor en la disminución de la cantidad de dureza.

La tabla B-3 y B-7 de la prueba de tukey (HSD) para el tipo de enzima muestra que los mejores resultados en cuanto a la cantidad de dureza se obtienen con b_1 (*AFL-P*), por lo que sí existe una diferencia significativa entre el tipo de enzima que se utiliza para disminuir la dureza.

En la tabla B-4 Y B-8 de la prueba de tukey (HSD) para el tipo de microorganismo se muestra que c_1 (EM's) es mejor en la disminución de la cantidad de dureza en el agua, por lo que sí existe una diferencia significativa entre el tipo de microorganismo que se utiliza.

Lo mencionado además, se evidencia en las figuras B-1, B-2 y B-3 para *Mulalillo* y las B-4, B-5 y B-6 para *Cusubamba* que muestran las interacciones

e intervalos HSD al 95 % para el tipo de aireación, el tipo de enzima, y el tipo de organismos respectivamente. En cada uno de las figuras de interacción doble se evidencia que los niveles que mayor influencia tienen a₁ aireación continua c/ 30min, b₁ enzima *AFL-P* y c₁ microorganismos eficientes.

4.7 Contenido de la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua de *Mulalillo* y *Cusubamba*

Los resultados promedios luego del respectivo análisis estadístico, indican que los tratamientos con menor cantidad de sólidos totales disueltos es el tratamiento a₁b₁c₁ (aireación continua c/ 30min, enzima *AFL-P* y microorganismos eficientes) para *Mulalillo* y para *Cusubamba*.

En la tabla B-9 y B-13 respectivamente se reportan los resultados del análisis de varianza para los valores de la cantidad de sólidos totales disueltos, utilizando el 95 % de nivel de confianza se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (aireación), B (enzimas) y C (microorganismos).

La prueba de tukey (HSD) de la tabla B-10 y –B-14 con respecto a la aireación con un 95 % de nivel de confianza, indica que los tratamientos a₁ (c/ 30 minutos) y el a₂ (2 veces al día) si presentan diferencias significativas, porque lo que si influye este factor en la disminución de la cantidad de los sólidos totales disueltos.

La tabla B-11 y B-15 de la prueba de tukey (HSD) para el tipo de enzima muestra que los mejores resultados en cuanto a la menor cantidad de sólidos totales disueltos se obtienen con b₁ (*AFL-P*), por lo que sí existe una diferencia significativa entre el tipo de enzima que se utiliza para disminuir los sólidos

totales disueltos. Esto se debió a que las dos enzimas aceleran los procesos de degradación de la materia orgánica pero lo hizo en mayor cantidad la enzima *AFL-P* ya que en su composición presenta hidrolasas.

En la tabla B-12 y B-15 de la prueba de tukey (HSD) para el tipo de organismo se muestra que c_1 (EM's) es mejor en la disminución de los sólidos totales disueltos en las muestras de agua en relación a c_2 (*Azolla*) ya que los microorganismos eficientes consumen más rápido la materia orgánica y la *Azolla* tarde más tiempo en consumir la misma, por lo que sí existe una diferencia significativa entre el tipo de organismo que se utiliza.

Al mismo tiempo se puede decir que con una buena aireación c/ 30 min y en conjuntos con los microorganismos eficientes se contribuye de manera eficaz a la disminución de la materia orgánica, a la disminución de malos olores y por ende a la disminución de los sólidos totales disueltos.

Lo mencionado además, se evidencia en las figuras B-7, B-8 y B-9 para Mulalillo y B-10, B-11 Y B-12 que muestran las interacciones e intervalos HSD al 95 % para el tipo de aireación: el tipo de enzima: y el tipo de organismos respectivamente. En cada uno de las figuras de interacción doble se evidencia que los niveles que mayor influencia tienen en el tipo de a_1 aireación continua c/ 30min, b_1 en el tipo de enzima *AFL-P*: y c_1 en el tipo de microorganismos eficientes.

4.8 Determinación de la conductividad en el agua de *Mulalillo* y *Cusubamba*

Los resultados promedios luego del respectivo análisis estadístico, indican que los tratamientos con menor conductividad son el tratamiento $a_1b_1c_1$ (aireación continua c/ 30 min, enzima *AFL-P* y microorganismos eficientes) para *Mulalillo* y

para Cusubamba. La conductividad del agua es un indicativo de la calidad de aguas dulces, por lo que a menor cantidad de sales disueltas menor será la conductividad.

En la tabla B-17 y B-21 respectivamente se reportan los resultados del análisis de varianza para los valores de la cantidad de conductividad eléctrica, utilizando el 95 % de nivel de confianza se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (aireación), B (enzimas) y C (microorganismos).

La prueba de tukey (HSD) de la tabla B-18 y B-22 con respecto a la aireación con un 95 % de nivel de confianza, indica que los tratamientos a_1 c/ 30 minutos, y el a_2 2 veces al día, si presentan diferencias significativas, porque lo que si influye este factor en la disminución de la cantidad de la conductividad eléctrica.

La tabla B-19 y B-23 de la prueba de tukey (HSD) para el tipo de enzima muestra que los mejores resultados en cuanto a la menor cantidad de conductividad eléctrica es con b_1 (AFL-P), por lo que sí existe una diferencia significativa entre el tipo de enzima que se utiliza para disminuir la conductividad eléctrica, es decir hay una disminución de cloruros, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos.

En la tabla B-20 y B-24 de la prueba de tukey (HSD) para el tipo de organismo se muestra que c_1 (EM's) es mejor en la disminución de la conductividad eléctrica en las muestras de agua en relación a c_2 a la *Azolla* ya que los microorganismos eficientes consumen más rápido los nitratos y fosfatos y la *Azolla* tarde más tiempo en consumir la misma, por lo que sí existe una diferencia significativa entre el tipo de organismo que se utiliza.

Lo mencionado además, se evidencia en las figuras B-13, B-14 y B-15 para Mulalillo y B-16 B-17 y B-18 que muestran las interacciones e intervalos HSD al 95 % para el tipo de aireación: el tipo de enzima: y el tipo de organismos respectivamente. En cada a las figuras de interacción doble se evidencia que los niveles que mayor influencia tienen en el tipo de a_1 aireación continua c/ 30min, b_1 en el tipo de enzima AFL-P y c_1 en el tipo de microorganismos eficientes.

4.9 Determinación del color en el agua de Mulalillo y Cusubamba

Los resultados promedios luego del respectivo análisis estadístico, indican que los tratamientos para la parroquia de Mulalillo no presentan diferencias significativas por lo que el color no varió como se esperaba entre tratamientos, es decir que el tipo de aireación, el tipo de enzima y el tipo de organismos no influyeron significativamente en el resultado final del color.

Los resultados promedios luego del respectivo análisis estadístico, indican que los tratamientos con menor color son el tratamiento $a_1b_1c_1$ aireación continua c/ 30min, enzima AFL-P y microorganismos eficientes para Cusubamba.

En la tabla B-21 se reportan los resultados del análisis de varianza para los valores de la cantidad de color, utilizando el 95 % de nivel de confianza se demuestra que no existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (aireación), B (enzimas) y C (microorganismos) para Mulalillo, pero que si existe una diferencia significativa para la parroquia de Cusubamba como se muestra en la tabla B-25.

La prueba de tukey (HSD) de la tabla B-26 de la parroquia de Cusubamba con respecto a la aireación con un 95 % de nivel de confianza, indica que los tratamientos a_1 c/ 30 minutos y el a_2 2 veces al día si presentan diferencias

significativas, porque lo que si influye este factor en la disminución de la cantidad de color.

La tabla B-27 de la prueba de tukey (HSD) para el tipo de enzima de la parroquia Cusubamba muestra que los mejores resultados en cuanto a la menor cantidad de colores con b_1 (AFL-P), por lo que sí existe una diferencia significativa entre el tipo de enzima que se utiliza para disminuir el color.

En la tabla B-28 de la prueba de tukey (HSD) para el tipo de organismo se muestra que c_1 (EM's) es mejor en la disminución de color en las muestras de agua en relación a c_2 (*Azolla*) por lo que si existe una diferencia significativa en el tipo de organismos.

Lo mencionado además, se evidencia en las figuras B-19, B-20 y B-21 que muestran las interacciones e intervalos HSD al 95 % para el tipo de aireación: el tipo de enzima: y el tipo de organismos respectivamente. En cada uno de las figuras de interacción doble se evidencia que los niveles que mayor influencia tienen en el tipo de a_1 aireación continua $c/ 30\text{min}$, b_1 enzima *AFL-P* y c_1 en el tipo de microorganismos eficientes para la parroquia de Cusubamba y para la parroquia de *Mulalillo* como se muestran en las figuras B-16, B-17 y B-18 no hubo diferencias significativas entre tratamientos.

4.10 Parámetros físico-químicos del mejor tratamiento.

En base a los parámetros considerados para la elección del mejor tratamiento: dureza, sólidos totales disueltos, color, coliformes totales y fecales en las aguas de las parroquias de *Mulalillo* y *Cusubamba*, se determinó que el mejor tratamiento fue $a_1b_1c_1$ (aireación continua ($c/ 30\text{min}$), enzima *AFL-P*, y microorganismos eficientes).

El mejor tratamiento fue sometido a un análisis de acuerdo a lo establecido en la norma *INEN* para aguas de consumo. El análisis se realizó para el agua tratada de la parroquia *Mulalillo* y de la parroquia de *Cusubamba*.

En la tabla A-12 se puede observar como los parámetros después del tratamiento biológico bajaron significativamente para las dos parroquias, alcanzando valores menores en el agua de la parroquia de *Cusubamba*.

Tabla A-12: Valores de los parámetros analizados antes y después de los tratamientos del agua de *Mulalillo* y *Cusubamba*

Parámetros	Unidades	<i>Mulalillo</i>		<i>Cusubamba</i>	
		Inicial	Final	Inicial	Final
Dureza	mg/L	277,0	143,2	147,4	80,20
STD	mg/L	387,0	256,0	141,9	109,0
Conductividad	µS/cm	773,0	524,0	475,0	246,0
Color	U Pt-Co	30,00	10,00	25,00	5,000
Coli totales	UFC/50	5950	1,000	4400	0,000
Coli fecales	UFC/50	2250	4,000	1550	0,000
Temperatura	°C	15,00	17,90	14,00	17,70
pH		8,270	7,710	8,200	7,250
DBO5	mg/L	4,600	0,900	2,700	0,300
DQO	mg/L	35,00	10,00	16,00	5,000
Cloruros	mg/L	27,50	2,900	20,30	2,200
Fosfatos	mg/L	1,370	0,100	0,670	0,080
Hierro	mg/L	1,380	0,040	0,670	0,040
Nitratos	mg/L	8,520	0,036	6,120	0,031
Zinc	mg/L	0,110	0,030	0,160	0,030
Turbiedad	Ntu	22,30	0,780	19,20	0,680
Nitritos	mg/L	0,237	0,038	0,125	0,004
Alcalinidad	mg/L	346,0	182,4	134,0	106,6
Amonio	mg/L	0,780	0,040	0,380	0,030
Amoniaco	mg/L	0,850	0,030	0,490	0,030

Elaborado por: Verónica Castro, 2013.

Con el tratamiento biológico los parámetros que más se redujeron fueron nitratos, nitritos, coliformes totales, coliformes fecales, zinc y DBO₅, lo que es un indicativo de que el tratamiento biológico tuvo buenos resultados en la calidad del agua.

4.11 Verificación de Hipótesis

En base a todo lo mencionado a un nivel de confianza del 95%, se determinó que: “la aplicación de un método biológico sobre las aguas residuales de las parroquias de *Mulalillo* y *Cusubamba* del cantón Salcedo puede ayudar a reducir su contaminación”. Por lo tanto se acepta la hipótesis nula es decir que el tipo de aireación y el tipo de recurso biológico influyen sobre la calidad del agua residual.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. El mejor tratamiento para este efecto fue: a₁b₁c₁ (aireación continua (c/ 30min), enzima *AFL-P*, y microorganismos eficientes), mismo que permitió alcanzar las siguientes características físico-químicas y microbiológicas sobre las aguas de Mulalillo y Cusubamba:

Tabla A-12: Valores de los parámetros analizados antes y después de los tratamientos del agua de *Mulalillo* y *Cusubamba*

Parámetros	Unidades	<i>Mulalillo</i>		<i>Cusubamba</i>	
		Inicial	Final	Inicial	Final
Dureza	mg/L	277,0	143,2	147,4	80,20
STD	mg/L	387,0	256,0	141,9	109,0
Conductividad	μS/cm	773,0	524,0	475,0	246,0
Color	U Pt-Co	30,00	10,00	25,00	5,000
Coli totales	UFC/50	5950	1,000	4400	0,000
Coli fecales	UFC/50	2250	4,000	1550	0,000
Temperatura	°C	15,00	17,90	14,00	17,70
pH		8,270	7,710	8,200	7,250
DBO5	mg/L	4,600	0,900	2,700	0,300
DQO	mg/L	35,00	10,00	16,00	5,000
Cloruros	mg/L	27,50	2,900	20,30	2,200
Fosfatos	mg/L	1,370	0,100	0,670	0,080
Hierro	mg/L	1,380	0,040	0,670	0,040
Nitratos	mg/L	8,520	0,036	6,120	0,031
Zinc	mg/L	0,110	0,030	0,160	0,030
Turbiedad	Ntu	22,30	0,780	19,20	0,680
Nitritos	mg/L	0,237	0,038	0,125	0,004

Alcalinidad	mg/L	346,0	182,4	134,0	106,6
Amonio	mg/L	0,780	0,040	0,380	0,030
Amoniaco	mg/L	0,850	0,030	0,490	0,030

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

2. Se pudo determinar que la parroquia de *Mulalillo* es la que descarga mayor cantidad de agua contaminada hacia los ríos del cantón Salcedo.

3. Partiendo de un análisis fisicoquímico y microbiológico se pudo conocer el grado de contaminación inicial existente en las aguas residuales de las parroquias más contaminadas de Salcedo (4400 ufc/mL en el agua de *Cusubamba* y 5950 ufc/mL en el agua de *Mulalillo*), valores fuera de norma que se pudieron reducir a 0 ufc/mL, mediante los tratamientos aplicados.

4. En definitiva, se pudo establecer un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales, que podrá implementarse en las parroquias del cantón Salcedo.

5.2 Recomendaciones

1. Estudiar el uso de enzimas específicas en el tratamiento de aguas para obtener así un tratamiento con mayor rendimiento .
2. Realizar los muestreos en puntos más altos y bajos en la comunidad de San Diego y Buena Esperanza.
3. Tomar muestras en los ríos en distintas épocas del año, para conocer con claridad la contaminación microbiológica existente en las parroquias de *Cusubamba* y *Mulalillo*.
4. Probar el uso de diferentes precipitantes para que el tratamiento sea mucho más natural que el presentado.

CAPITULO VI PROPUESTA

6.1. Datos informativos

Título:

Implementar un sistema de tratamiento biológico para el agua del canal principal de la parroquia de *Cusubamba* del cantón Salcedo.

Institución ejecutora: Universidad Técnica de Ambato – Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Beneficiarios:

- Población de *Cusubamba* y las comunidades aledañas.
- Brindar un equilibrio ecológico en las diversas comunidades.

Ubicación: Cotopaxi-Parroquia *Cusubamba*- Comunidad Buena Esperanza.

Tiempo estimado para la ejecución: 7 meses.

Equipo técnico responsable: Egda. Tatiana Castro, Ing. MSc. María Teresa Pacheco

Costo: \$ 6483

6.2. Antecedentes de la propuesta

Dentro del presupuesto establecido por la Municipalidad, se han considerado los recursos necesarios para la construcción de plantas de tratamiento de agua

para las parroquias rurales del cantón Latacunga. Durante la elaboración de los presupuestos participativos, el Alcalde del cantón Latacunga ha planteado la construcción de plantas de tratamiento de agua, con la finalidad de contribuir al cuidado del planeta, pero sobre todo, brindar la posibilidad de contar con agua apta para el regadío y consumo humano. (La gaceta 2013).

En este contexto se pretende que dar tratamiento a las aguas residuales mediante tratamiento biológico, conjugando la armonía de obras modernas en el entorno con las necesidades de la población en los ámbitos: social, salud, agua, ambiental y ordenamiento territorial, bajo la filosofía de ingeniería responsable con el ambiente y en coherencia con la legislación vigente. Es menester la realización y aplicación de estudios especializados en plantas de tratamiento para garantizar dicha armonía de las plantas con la naturaleza y no comprometer los preceptos que rigen el “Desarrollo Sostenible” de la humanidad. A través de un conjunto de medidas ambientales se propone evitar que las actividades de construcción y operación deterioren la calidad de las áreas de influencia (Jiménez, 2011).

6.3. Justificación

En la actualidad, en prácticamente todas las ciudades de los países civilizados con un nivel aceptable de calidad de vida, existen sistemas para depurar las aguas de desecho.

El tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, físico-químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales, en el caso de las urbanas, aguas negras. La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto

de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final. Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal.

Por eso, cada día se hace más evidente la necesidad de analizar la relación del hombre con su medio, para solucionar los problemas que surgen cuando sus acciones chocan con la utilización racional de los ecosistemas y precisamente la disposición inadecuada e indiscriminada de los residuos líquidos o sólidos generados por el hombre. Es necesario, en consecuencia, despertar un gran interés por el mantenimiento de los sistemas ecológicos y una acción decidida por parte de las autoridades competentes para que la contaminación sea mínima en todos aquellos efluentes que sirvan o puedan servir para captar el agua que el hombre requiere para su uso.

Un buen sistema de tratamiento garantiza y estabiliza procesos que aseguran la vida útil de los equipos. La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en el hombre, la búsqueda de métodos para cuidarlos y recuperarlos, para que puedan ser aprovechados por los seres vivos, uno de los recursos de vital importancia para el hombre es el agua, y por ésta razón es objeto de estudio.

Los sistemas de tratamiento biológico tienen la función de degradar la materia orgánica de un efluente residual a partir de la acción de colonias de microorganismos heterogéneos o de cualquier forma biológica, encargados de realizar la descomposición. El interés por el estudio y desarrollo de estos sistemas ha venido incrementándose debido a la necesidad de reducir el impacto ambiental generado por los residuos líquidos y sólidos provenientes de las actividades urbanas e industriales con el ánimo de lograr cumplir con normativas Ambientales (Acosta, 2012).

6.4. Objetivos

6.4.1. Objetivo General

1. Implementar un sistema de tratamiento biológico para el agua del canal principal de la parroquia de *Cusubamba* del cantón Salcedo.

6.4.2. Objetivos Específicos

1. Diseñar un sistema de tratamiento para el agua del canal principal de la parroquia de *Cusubamba* del cantón Salcedo.

2. Estimar el costo de implementación del sistema de tratamiento biológico propuesto.

3. Evaluar el impacto ambiental y socio – económico que se podría generar durante las fases de construcción, operación y puesta en marcha del sistema de tratamiento.

6.5. Análisis de factibilidad

En la actualidad, el río Cutuchi recibe nuevas cargas contaminantes, procedentes de los sistemas de alcantarillado de algunas comunidades así como también de ciertos canales contaminados a su paso por las diferentes parroquias. Las parroquias de Salcedo que generan más contaminación son *Mulalillo* y *Cusubamba*, siendo esta última la considerada en esta propuesta debido a que posee una pequeña población, lo cual facilitaría la implementación del sistema de tratamiento.

De entre los canales de *Cusubamba*, el más contaminado es el ubicado en la Comunidad de Buena Esperanza, mismo que posee un caudal de 0.053 m³/seg. Según el sistema propuesto, el costo de tratamiento es de \$ 6483.

Cabe señalar que al ser un tratamiento biológico no implica el uso de desinfectantes químicos en gran cantidad, lo cual reduce el cloro residual y protege la salud.

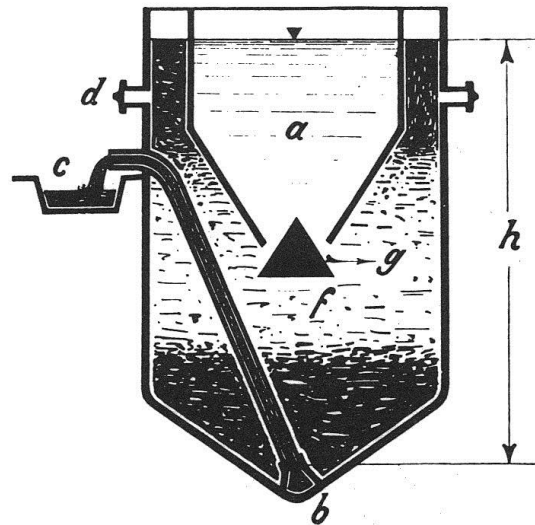
La depuración que brinde este sistema al agua residual de la parroquia de *Cusubamba* serviría fundamentalmente para mitigar el impacto sobre la microflora y fauna del río de recogida final. Así se podría conseguir poco a poco el saneamiento de los riachuelos, quebradas de todo el cantón de Salcedo, y a largo plazo, del río Cutuchi.

Diseño y construcción del sistema de tratamiento biológico

Para el diseño del sistema de tratamiento biológico en la parroquia de *Cusubamba* se puede emplear los tanques imhoff formados por dos pisos: en el superior se produce la sedimentación primaria al ingresar el agua y en el inferior se produce la digestión de la materia orgánica o contaminantes presentes. La decantación final se llevará a cabo en dos tanques adicionales.

Funcionamiento del tanque imhoff

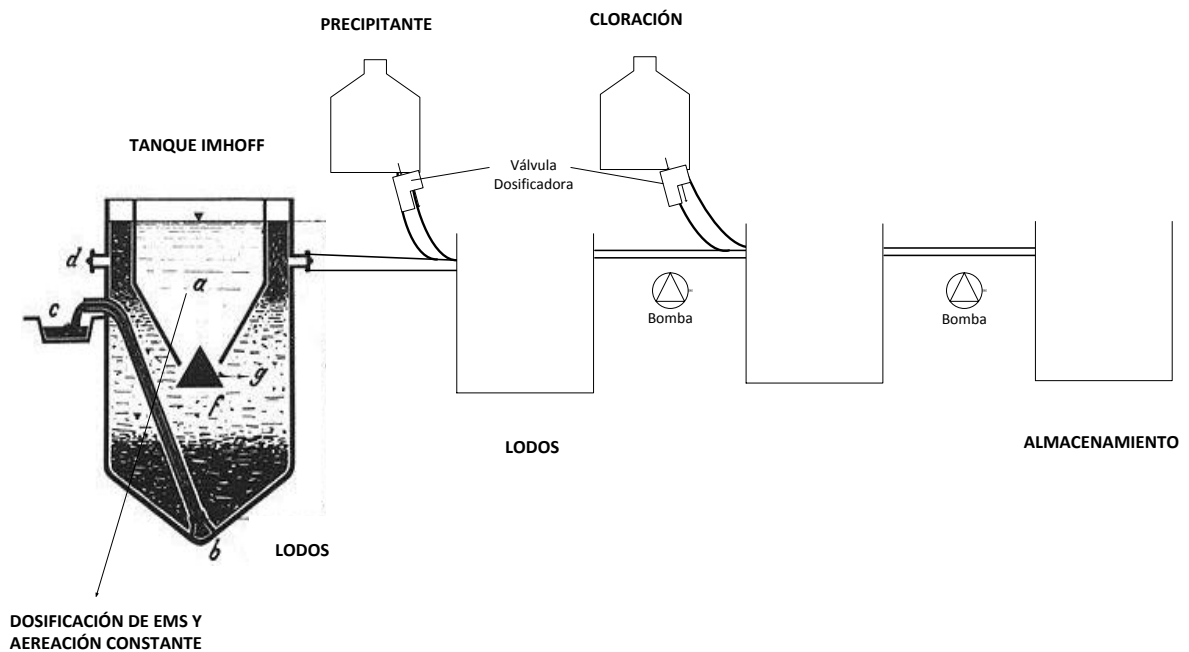
El agua que llega entra en la cámara (a) los sólidos van descendiendo lentamente y llegan al espacio (f). En el espacio (f) se producen reacciones anaerobias, es decir sin la intervención del oxígeno. Los fangos se depositan en la parte baja del espacio (f) y son retirados periódicamente por medio del tubo inclinado (b-c) y llevados a las piletas de secado de lodos. El agua sale a través de las salidas (d) y pasan al paso siguiente del tratamiento (CIDTA, 2005).



Grafica 7: Tanque Imhoff

Fuente: CIDTA, 2005

Las aguas residuales, situadas lejos del alcantarillado público como lo es en el sector de *Cusubamba*, necesitan de un tratamiento de depuración real y propio provisto con un proceso biológico de oxidación total. Con tal sistema, basado en una intensa oxigenación obtenida con difusores especiales de fondo alimentados con aire comprimido, se obtiene la depuración de las aguas y la estabilización simultánea del fango producido, es decir que en estos tanques se encuentra la aireación constante que es uno de los factores del tratamiento biológico y además se puede dosificar las cantidades del material para la purificación que en nuestro caso son los Microorganismos Eficaces marca EM•1 de la empresa AGEARTH-ECUADOR que poseen bacterias Acidolácticas 10^4 , Bacterias Fototrópicas 10^3 , hongos y levaduras 10^3 todo esto en un cm^3 .



Gráfica 8: Esquema del sistema tratamiento biológico

Elaborado por: Verónica Castro, 2013.

No es recomendable el uso de estos sistemas para poblaciones que superen los 5000 habitantes equivalentes (h-eq) o que generen caudales de aguas residuales superiores a los 2000 m³/d. No obstante, y a pesar de su extendido uso en el mundo, los criterios de diseño son muy dispares entre países (Lozano, 2012).

Algunas consideraciones de diseño son:

- El caudal de diseño corresponde al caudal medio diario.
- El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) varía entre 1 y 3 días, siendo el más frecuente entre 24 y 48 horas y nunca menor a las 12 horas.
- La relación ancho:largo:altura debe ser aproximadamente de 2:5:1.
- La altura mínima debe ser de 1,5 m.
- La altura máxima debe ser de 2,20 m.
- Borde libre de entre 0,25 y 0,35 m.

- Las divisiones de los compartimientos:

Con dos cámaras, la división se construye al 66% de la longitud del tanque.

Para su diseño pueden emplearse las siguientes expresiones (Lozano, 2012).

$$V=1.3 * Q * THR$$

Donde,

V = Volumen del tanque séptico (L)

Q = caudal medio de aguas residuales (L/d)

TRH = tiempo de retención hidráulica (d)

Aunque pueden construirse en mampostería o en concreto, en la actualidad muchos de estos tanques se venden prefabricados en el comercio, y suelen ser más económicos que los contruidos.

Tabla N 6: Precio Tanque Imhoff

Tanque Imhoff Ovoide	
Capacidad m ³	Valor \$
500	413,70
1000	640,90
2000	1150,00
3000	2210,00
4000	2930,00
5000	3670,00

Fuente: Coval, 2011

Caudal promedio diario= 4608000 L/min = 4608 m³/día

Por lo tanto: el tanque imhoff a construir tendrá un costo de \$ 3382,27 USD

6.6. Fundamentación

Como fundamento legal se considera la constitución Nacional de la República del Ecuador 2008 que se muestra en el anexo D1, *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)* del Ecuador (2009), Libro VI, Anexo 1, tabla 12, se encuentran los valores máximos permisibles para la descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce tabla D2, tabla de Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional D3, tabla de Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional D4,

La tabla de Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional D5 y la norma *INEN Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria INEN 1108:2011* D5.

6.7. Metodología

La metodología recomendada se observa en el diagrama de flujo de Anexo E-2.

Tabla N 7: Modelo Operativo (Plan de acción)

Fase	Metas	Actividades	Responsables	Recursos	Presupuesto	Tiempo
1. Formulación de la propuesta	Descontaminación de las aguas residuales de las parroquia de <i>Cusubamba</i> , mediante la implementación de plantas de tratamiento biológico	Revisión bibliográfica, Cálculos para la construcción de la planta de tratamiento	Investigador	<ul style="list-style-type: none"> • Humanos • Técnicos • Económicos 	\$ 500	3 meses
2. Desarrollo preliminar de la propuesta	Cronograma de la propuesta	Pruebas preliminares para la descontaminación del agua	Investigador	<ul style="list-style-type: none"> • Humanos • Técnicos • Económicos 	\$ 1300	3 meses
3. Implementación de la propuesta	Ejecución de la propuesta	Construcción de la planta biológica de tratamiento de aguas residuales	Investigador	<ul style="list-style-type: none"> • Humanos • Técnicos • Económicos 	\$ 3383	5 meses
4. Evaluación de la propuesta	Verificación del proceso de la planta biológica	Análisis de control de calidad del agua	Investigador	<ul style="list-style-type: none"> • Humanos • Técnicos • Económicos 	\$ 1300	3 meses

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

6.8. Administración

La ejecución de la propuesta estará coordinada por los responsables del proyecto Ing. MSc. María Teresa Pacheco y Egda. Tatiana Castro.

Tabla N 8: Administración de la Propuesta

Indicadores a mejorar	Situación actual	Resultados esperados	Actividades	Responsables
Niveles de calidad de agua	Descarga directa de contaminante en el agua de las parroquia de Cusubamba	Obtener una mejor calidad del agua apta para el consumo	<ul style="list-style-type: none">• Realizar el diseño de la planta de tratamiento biológico.• Implementar el sistema tratamiento biológico.• Realizar los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua de la planta.	Investigador: Ing. MSc. María Teresa Pacheco, Egda. Tatiana Castro y encargados del proyecto del Ilustre Municipio de Salcedo

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

6.9. Prevención de la evaluación

Tabla N 9: Prevención de la evaluación

¿Quiénes solicitan evaluar?	*Moradores del sector. *Ilustre Municipio de Salcedo.
¿Por qué evaluar?	*Para determinar la calidad del agua que tiene las comunidades de las parroquias de Salcedo
¿Para qué evaluar?	*Para determinar la calidad de agua que tienen las parroquias y mejorar las condiciones de la misma.
¿Qué evaluar?	*Parámetros físico-químicos y microbiológicos. *Calidad del agua. *Rendimiento de la planta de tratamiento biológico.
¿Quién evalúa?	*Director del proyecto *Tutor *Calificadores
¿Cuándo evaluar?	*Al terminar el tratamiento biológico.
¿Cómo evaluar?	*Realizando pruebas físico-químicas y microbiológicas
¿Con qué evaluar?	*Experimentación. Normas establecidas

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

MATERIAL DE REFERENCIA

Bibliografía

Acosta, M., Ministerio del Ambiente 2012,” Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Tratamiento de las Aguas Servidas del Caserío Chilco - La Esperanza del Cantón Tisaleo”.

Aguilar, M., 2001, “Análisis de Agua de Nitrógeno Total Kjeldahl en Aguas Naturales, Residuales Y Tratadas - Método de Prueba (Cancela A La Nmx-Aa-026-1980), México D.F., A.

Alarcón, M.; Beltrán, M.; Cardenas, M. y Campos, C., 03/09/2002, Recuento y Determinación de *Giardia* spp. Y Aguas Potables y Residuales en la Cuenca a La del río Bogotá. Revista del Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C., Colombia. Vol #25.

Álvarez, F., 2010, Las aguas residuales provenientes del Faenamiento en el camal municipal salcedo y Su incidencia en la Contaminación del rio Cutuchi. Tesis de Maestría en Producción más Limpia (PML). Facultad de Ciencias E Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. 10pp.

Arias, E. y Lastra, J., 2009, Biotecnología: tecnología enzimática. Argentina: El Cid Editor apuntes, 2009, 120pp.

Betancur, A.; Marcela, K. y Suárez, A. Fitorremediación: la Alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. Colombia: Red Revista Lasallista de Investigación, Volumen 1, 2009. 5pp.

Camacho, M., 2011, Plan de Desarrollo Parroquial, Gobierno Parroquial de *Mualillo* 18-19 pp.

Castcante, M., 2012, Causas, consecuencias y Alternativas del desarrollo de la contaminación de los ríos en el Ecuador. Escuela de turismo. Instituto Superior Tecnológico Espíritu Santo. Guayaquil -Ecuador.

Carballo, M.; Heydrich, M.; Rojas, N.; Salgado, I.; Romeu, B.; Manzano, A.; Larrea, H.; Dominguez, Osmel.; Matrinez, A.; Sanchez, M.; Cruz, M.; Guerra G.; Rojas, M. y Ramos, M., 01/12/2011, Impact Of Microbial And Chemical Pollution In Cuban Freshwater Ecosystems: Strategies For Environmental Recovery. Revista de Department of Microbiology and Virology, FacuLy of Biology, Havana University, Havana, Cuba. Vol # 28.

Carvajal, J., 15/11/2011, Fotocatálisis Heterogénea Para El Abatimiento De Tensoactivos Aniónicos En Aguas Residuales. Tesis de Ingeniería Ambiental. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena, Colombia.

CIDTA, (2005), Módulo en Modelización y Simulación de Plantas Depuradoras de Agua. En CD, Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

Codereco, I., 2003, "La Contaminación del Agua en la Provincia de Cotopaxi", Municipio de Salcedo, Cotopaxi - Ecuador.

Constitución Nacional de la República del Ecuador del 2008, Asamblea Constituyente.

Galvín, R., 2006, Físico-química y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas, España: Ediciones Díaz de Santos, 305 pp.

COVAL, 2011, Lista de Precios Parque, Industrial Guadalajara, Bodega 3 y 4, Bogotá-Colombia.

Currás, C., 2009, Aplicación de microorganismos de acción dirigida al tratamiento de aguas residuales industriales. Cuba: D - Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria, 2009, 2 pp.

Chuck, C.; Heredia E.; Perez, E.; 09/09/2011. Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. Departamento de Biotecnología e Ingeniería de Alimentos. Revista mexicana de ingeniería química Vol # 3. México.

Delegado, M., 2012, “Análisis Microbiológico Y Físico-Químico Del Agua De Piscinas De La Isla Tenerife”, Departamento de medicina preventiva y salud Publica, Facultad de Medicina, Universidad de la Laguna, Madrid-España

Gamboa, F.; Gómez, M. y Cárdenas, G., 2009, Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizados para la restauración, Departamento de microbiología, Pontificia Universidad Javeriana. Colombia. Red Universitas Scientiarum, 2009, 113 pp.

González, M., 2009, Biorremediación y Tratamiento De Efluentes, Argentina: El Cid Editor apuntes. 23 pp

Gonzales, M., 24/07/2009, Sistemas integrales de tratamiento de aguas residuales, mediante el uso combinado de digestión anaerobia y microalgas. Departamento de Biotecnología, UAM–Iztapalapa.

Guzmán, G.; Thalasso, F.; Ramírez, M.; Rodríguez, S.; Guerrero, A.; Rodríguez, N. y Avelar, F., 01/03/2011, Evaluación espacio–temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. Revista del Centro de Investigación y Estudios Avanzados. Departamento de biotecnología. (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional de San Pedro Zacatenco México vol # 27.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN 2 169:98. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN 1108 (Norma Técnica Ecuatoriana); 1983; Agua Potable Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito.

Jimenez, J., 10/2011, “Estudio de Impacto Ambiental para la Construcción y Operación de Obras Hidráulicas –Sanitarias en el Cantón Santiago de Píllaro de la Provincia de Tungurahua” Ministerio del Ambiente, repositorio.

La gaceta 31/07/2013 “Plantas de tratamiento de agua, se construirán en las parroquias rurales del cantón Latacunga”

La hora, 08/08/2011, Continúa contaminación del canal de riego Latacunga Salcedo Ambato.

López, M., 2012, Tratamiento biológico de aguas residuales aplicable a la industria avícola. Auditoría Ambiental

Lozano, R., 2012, Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Abierta, Bogotá-Colombia. 108-136 pp.

Llodra, R.; Baqueiro, D. y Dapena, J.; Tratamiento biológico de las aguas residuales. España: Ediciones Díaz de Santos, 2007. 13 pp.

Maldonado, I., 2012, Sistema De Tratamiento Para Aguas Residuales Industriales En Mataderos. Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS) Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura.

Matte, J., 2010, Tratamiento Biológico de Aguas, Tesis de Ingeniería Química, Universidad de las Américas. Quito, Ecuador, 5 p

Mezquita, A., 2012, Tratamiento Biológico de aguas residuales a base de Bacterias y Enzimas.

Mosquera, S., 2012, “Estudio del compostaje aeróbico como alternativa para la estabilización de lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas servidas de la región del bío bío”, Universidad de la Frontera, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Departamento de Ciencias Químicas, Temuco-Chile

Novozymes, 2013, Enzymes at work, Research & Development - LUNA no. 2013-03911-01

Pérez, S.; Zulay, M.; Hernández, V. y Hernández, C., 2007, Uso de enzimas de tipo Ureasa en el tratamiento de Aguas Residuales con alto contenido en Nitrógeno Orgánico, Universidad de Carabobo. Facultad De Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.

Pérez, N.; Marañón, A. y Bermúdez, R., 2009, Caracterización de las aguas residuales de la refinería "Hermanos Díaz". Revista Cubana de Química, Vol. 16, Nº 1, 2004. Cuba: Editorial Universitaria, 2009.

Polo, J. y Seco, A., 2004, TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES. España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2004, 7 pp.

Pozo, C., 2012, Fitoremediación De Las Aguas Del Canal De Riego Latacunga – Salcedo – Ambato Mediante Humedales Vegetales A Nivel De Prototipo De Campo Salcedo –Cotopaxi. Tesis de maestría en producción mas limpia (PML). Facultad de ciencias e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato, 162 pp.

Ramírez, M. y Armienta, A., 21/03/2012, Distribución de Fe, Zn, Pb, Cu, Cd y As originada por residuos mineros y aguas residuales en un transecto del Río Taxco en Guerrero, México. Revista del Instituto Geofísico, Posgrado en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México, Vol #29.

Restrepo, G.; Ríos, L.; Marín, J.; Montoya, J. y Velázquez, J., 03/03/2008, Evaluación del Tratamiento Fotocatalítico de Aguas Residuales Empleando Energía Solar.

Ronzano, E. y Dapena, J., 2007 Tratamiento biológico de las aguas residuales, España: Ediciones Díaz de Santos, 29-37 pp.

Rosero, M., 2012/08/27, La contaminación del agua: del estero al océano. *El Telégrafo*.

Sevilla, U. 2013. Manual del Carbón Activado. Tesis de Maestría en Ingeniería del Agua. Universidad Politécnica Nacional Del Ecuador. 89-96 pp.

Texto unificado de Legislación Ambiental (TULAS), 2009, Libro VI, Anexo 1, tabla 12.

Trogolo, A., 2006, Carbón Activado Avances Modernos para una Tecnología Antigua. Sciessent Journal Vol # 14.

ANEXOS A

RESPUESTAS

EXPERIMENTALES

ANÁLISIS INICIALES DEL AGUA DE *MULALILLO* Y *CUSUBAMBA*

Tabla A-1: Valores de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua

	<i>Mulalillo</i>	<i>Cusubamba</i>	Unidades
Parámetros	Inicial	Inicial	
Dureza	277,0	147,4	mg/L
STD	387,0	141,9	mg/L
Conductividad	773,0	475,0	μS/cm
Color	30,00	25,00	U Pt-Co
Coli totales	5950	4400	UFC/mL
Coli fecales	2250	1550	UFC/mL
Temperatura	15,00	14,00	°C
pH	8,270	8,200	
DBO5	4,600	2,700	mg/L
DQO	3500	1600	mg/L
Cloruros	27,50	20,30	mg/L
Fosfatos	1,370	0,670	mg/L
Hierro	1,380	0,670	mg/L
Nitratos	8,520	6,120	mg/L
Zinc	0,110	0,160	mg/L
Turbiedad	22,30	19,20	Ntu
Nitritos	0,237	0,125	mg/L
Alcalinidad	3460	1340	mg/L
Amonio	0,780	0,380	mg/L
Amoniaco	0,850	0,490	mg/L

Elaborado por: Verónica Castro, 2013

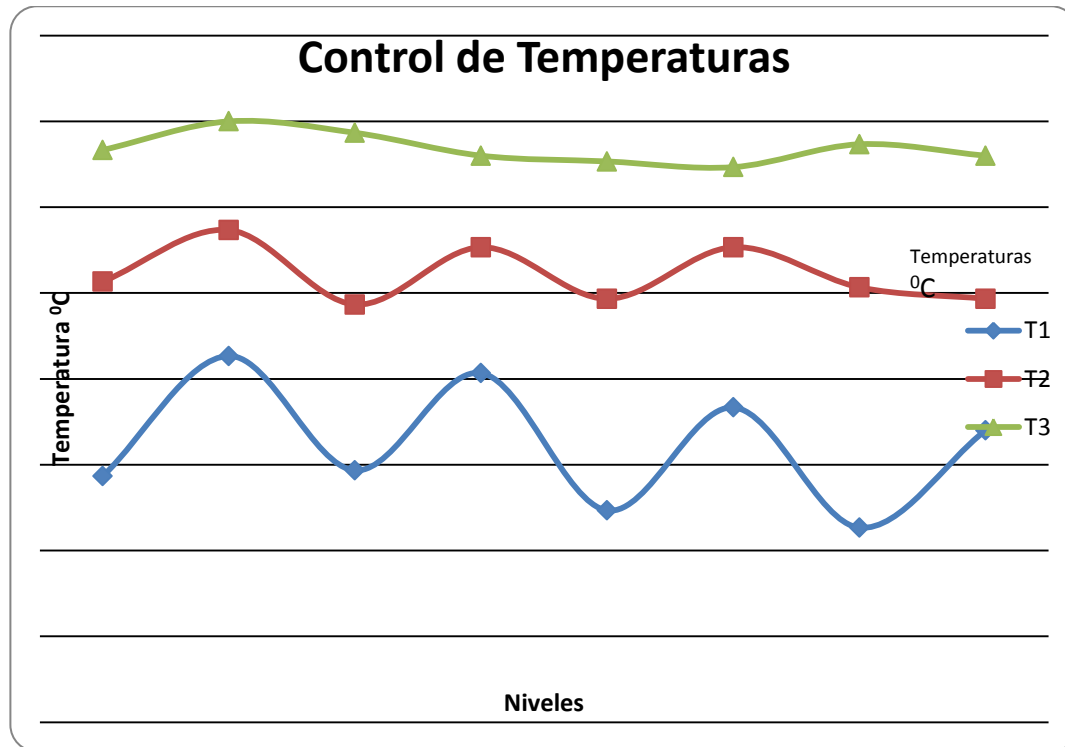
Control de temperatura durante el tratamiento de las aguas de *Mulalillo* y *Cusubamba*

Tabla A-2: Valores del control de temperaturas de *Mulalillo* (°C)

Niveles	T1 (24hr)					T2 (36 hr)					T3 (36 hr,20min)				
	r1	r2	r3	X	S ²	r1	r2	r3	X	S ²	r1	r2	r3	X	S ²
a₁b₁c₁	15,5	15,5	15,3	15,43	0,12	16,7	16,3	16,7	16,57	0,23	17,1	17,5	17,4	17,33	0,21
a₁b₁c₂	16,3	16,1	16,0	16,13	0,15	17,0	16,7	16,9	16,87	0,15	17,4	17,4	17,7	17,50	0,17
a₁b₂c₁	15,3	15,3	15,8	15,47	0,29	16,5	16,3	16,5	16,43	0,12	17,3	17,5	17,5	17,43	0,12
a₁b₂c₂	16,0	16,0	16,1	16,03	0,06	16,8	16,7	16,8	16,77	0,06	17,1	17,4	17,4	17,30	0,17
a₂b₁c₁	15,2	15,2	15,3	15,23	0,06	16,5	16,5	16,4	16,47	0,06	17,1	17,4	17,3	17,27	0,15
a₂b₁c₂	16,0	15,9	15,6	15,83	0,21	16,8	16,9	16,6	16,77	0,15	17,2	17,3	17,2	17,23	0,06
a₂b₂c₁	15,1	15,1	15,2	15,13	0,06	16,4	16,4	16,8	16,53	0,23	17,2	17,5	17,4	17,37	0,15
a₂b₂c₂	15,4	15,7	16,0	15,70	0,30	17,1	16,2	16,1	16,47	0,55	17,4	17,1	17,4	17,30	0,17

T1: después de colocar los organismos; T2: después de colocar las enzimas; T3: después de colocar el precipitante ((Al₂(SO₄)₃)); a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFPL; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp; r1: replica1; r2: replica2; r3: replica3; x: promedio; S²: desviación

Elaborado por: Verónica Castro, 2013



Grafica A-1: Control de temperaturas de *Mulalillo*

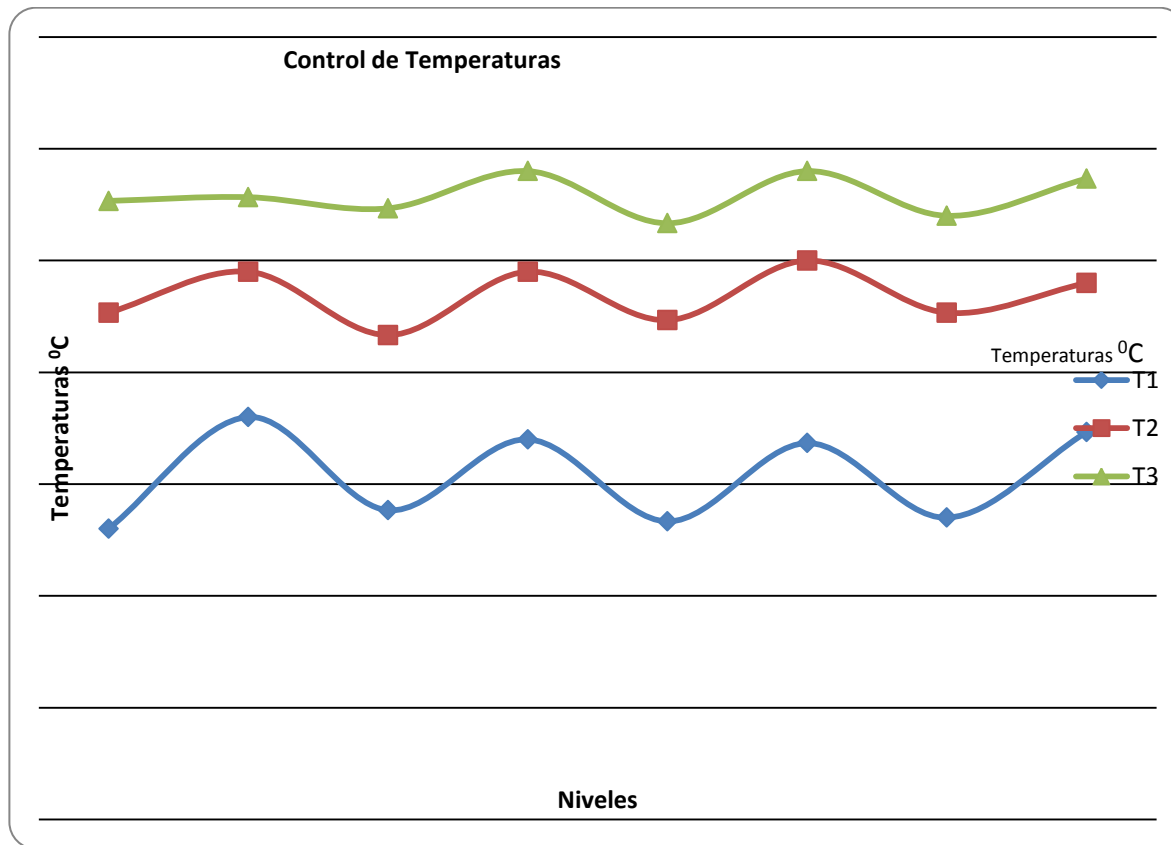
Elaborado por: Verónica Castro, 2013

Tabla A-3: Valores del control de temperaturas de *Cusubamba* (°C)

T1: después de colocar los organismos; T2: después de colocar las enzimas; T3: después de colocar el precipitante ((Al₂(SO₄)₃)); a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: *AFPL*; b₂: *SP-L*; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp; r1: replica1; r2: replica2; r3: replica3; x: promedio; S²: desviación

Niveles	T1 (24hr)					T2 (36 hr)					T3 (36 hr,20min)				
	r1	r2	r3	X	S ²	r1	r2	r3	X	S ²	r1	r2	r3	x	S ²
a₁b₁c₁	15,00	14,00	14,80	14,60	0,53	16,20	16,70	16,70	16,53	0,29	17,20	17,60	17,80	17,53	0,31
a₁b₁c₂	16,20	15,20	15,40	15,60	0,53	16,40	17,10	17,20	16,90	0,44	17,30	17,60	17,80	17,57	0,25
a₁b₂c₁	14,80	14,90	14,60	14,77	0,15	16,00	16,50	16,50	16,33	0,29	17,40	17,50	17,50	17,47	0,06
a₁b₂c₂	15,90	15,10	15,20	15,40	0,44	16,10	17,20	17,40	16,90	0,70	17,60	17,80	18,00	17,80	0,20
a₂b₁c₁	14,70	14,60	14,70	14,67	0,06	16,20	16,70	16,50	16,47	0,25	17,10	17,40	17,50	17,33	0,21
a₂b₁c₂	15,70	15,40	15,00	15,37	0,35	16,40	17,10	17,50	17,00	0,56	17,60	17,70	18,10	17,80	0,26
a₂b₂c₁	14,70	14,70	14,70	14,70	0,00	16,50	16,50	16,60	16,53	0,06	17,20	17,50	17,50	17,40	0,17
a₂b₂c₂	16,00	15,30	15,10	15,47	0,47	16,70	17,00	16,70	16,80	0,17	17,40	17,90	17,90	17,73	0,29

Elaborado por: Verónica Castro, 2013



Grafica A-2: Control de temperaturas de *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2013

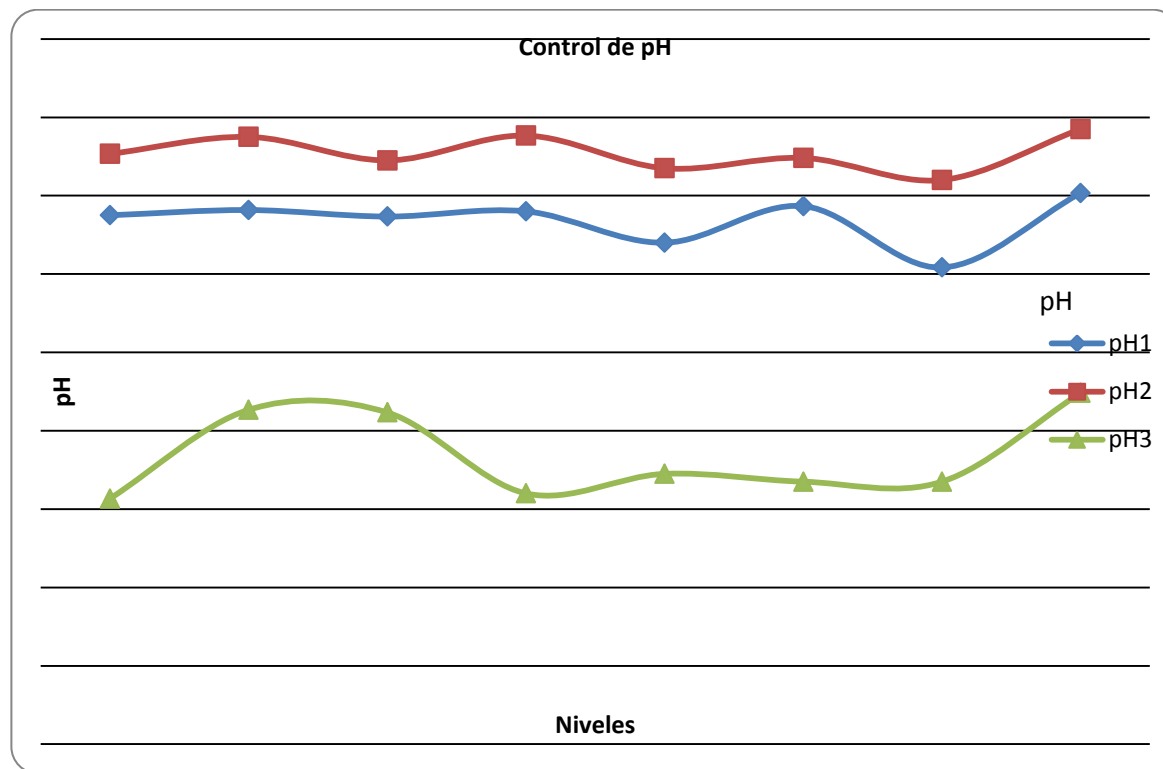
CONTROL DEL pH DURANTE LOS TRATAMIENTO DEL AGUA DE *MULALILLO* Y *CUSUBAMMA*

Tabla A-4: Valores del control de pH de *Mulalillo*

Niveles	pH1 (24hr)					pH2 (36 hr)					pH3 (36 hr,20min)				
	r1	r2	r3	x	S ²	r1	r2	r3	X	S ²	r1	r2	r3	X	S ²
a₁b₁c₁	8,57	8,24	8,24	8,35	0,19	8,62	8,38	8,52	8,51	0,12	7,71	7,46	7,71	7,63	0,14
a₁b₁c₂	8,55	8,27	8,27	8,36	0,16	8,57	8,57	8,51	8,55	0,03	7,92	7,75	7,89	7,85	0,09
a₁b₂c₁	8,26	8,39	8,39	8,35	0,08	8,41	8,38	8,68	8,49	0,17	7,96	7,66	7,92	7,85	0,16
a₁b₂c₂	8,44	8,32	8,32	8,36	0,07	8,52	8,52	8,62	8,55	0,06	7,82	7,29	7,81	7,64	0,30
a₂b₁c₁	8,28	8,28	8,28	8,28	0,00	8,51	8,41	8,49	8,47	0,05	7,82	7,41	7,84	7,69	0,24
a₂b₁c₂	8,42	8,35	8,35	8,37	0,04	8,63	8,39	8,46	8,50	0,12	7,78	7,39	7,84	7,67	0,24
a₂b₂c₁	8,29	8,18	8,18	8,22	0,06	8,61	8,32	8,39	8,44	0,15	7,81	7,45	7,75	7,67	0,19
a₂b₂c₂	8,54	8,34	8,34	8,41	0,12	8,62	8,52	8,57	8,57	0,05	7,97	7,79	7,93	7,90	0,09

pH1: después de colocar los organismos; pH2: después de colocar las enzimas; pH3: después de colocar el precipitante ((Al₂(SO₄)₃)); a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: *AFPL*; b₂: *SP-L*; c₁: *Ems*; c₂: *Azolla*. Spp; r1: replica1; r2: replica2; r3: replica3; x: promedio; S²: desviación

Elaborado por: Verónica Castro, 2013



Grafica A-3: Control de pH de *Mulalillo*

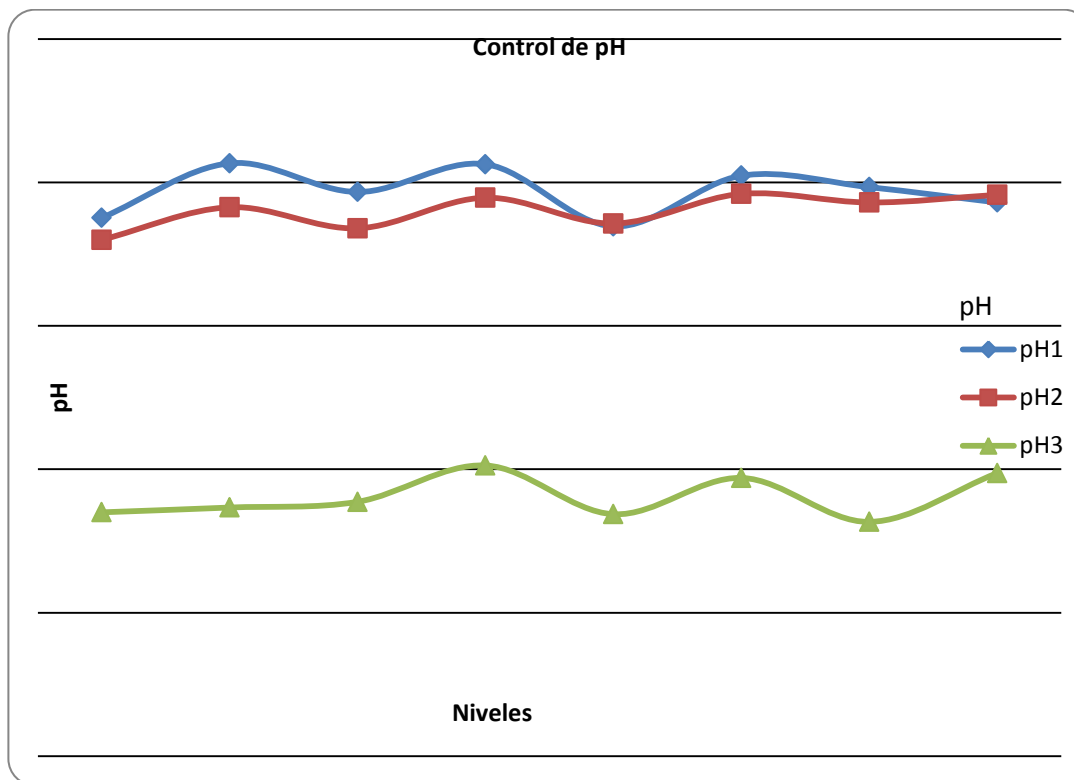
Elaborado por: Verónica Castro, 2013

Tabla A-5: Valores del control de pH de *Cusubamba*

Niveles	pH1 (24hr)					pH2 (36 hr)					pH3 (36 hr,20min)				
	r1	r2	r3	x	S ²	r1	r2	r3	X	S ²	r1	r2	r3	X	S ²
a₁b₁c₁	8,32	8,19	8,32	8,28	0,08	8,28	8,15	8,17	8,20	0,07	7,24	7,29	7,22	7,25	0,04
a₁b₁c₂	8,63	8,41	8,36	8,47	0,14	8,46	8,27	8,21	8,31	0,13	7,19	7,32	7,29	7,27	0,07
a₁b₂c₁	8,67	7,98	8,45	8,37	0,35	8,28	8,25	8,19	8,24	0,05	7,28	7,31	7,27	7,29	0,02
a₁b₂c₂	8,62	8,26	8,51	8,46	0,18	8,32	8,31	8,41	8,35	0,06	7,44	7,39	7,41	7,41	0,03
a₂b₁c₁	8,45	8,00	8,29	8,25	0,23	8,37	8,18	8,22	8,26	0,10	7,25	7,24	7,24	7,24	0,01
a₂b₁c₂	8,51	8,25	8,51	8,42	0,15	8,40	8,32	8,36	8,36	0,04	7,37	7,36	7,38	7,37	0,01
a₂b₂c₁	8,48	8,18	8,49	8,38	0,18	8,32	8,36	8,31	8,33	0,03	7,21	7,25	7,19	7,22	0,03
a₂b₂c₂	8,47	8,17	8,35	8,33	0,15	8,36	8,37	8,34	8,36	0,02	7,36	7,41	7,39	7,39	0,03

pH1: después de colocar los organismos; pH2: después de colocar las enzimas; pH3: después de colocar el precipitante ((Al₂(SO₄)₃)).; a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: *AFPL*; b₂: *SP-L*; c₁: Ems; c₂: *Azolla. Spp*; r1: replica1; r2: replica2; r3: replica3; x: promedio; S²: desviación

Elaborado por: Verónica Castro, 2013



Grafica A-4: Control de pH de *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2013

**ANALISIS FINALES DE LOS PARAMETROS DE DUREZA, STD, CONDUCTIVIDAD Y COLOR DEL AGUA DE
MULALILLO Y CUSUBAMBA**

Tabla A-6: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de *Mulalillo*.

Niveles	Dureza mg/L					STD mg/L					Conductividad μ S/cm					Color				
	r1	r2	r3	x	s ²	r1	r2	r3	x	s ²	r1	r2	r3	x	s ²	r1	r2	r3	x	s ²
a₁b₁c₁	145	144	145	145	0,58	262	251	254	256	5,69	456	442	451	450	7,09	10,0	5,00	5,00	6,67	2,89
a₁b₁c₂	196	194	194	195	1,15	325	305	314	315	10,0	576	574	574	575	1,15	15,0	10,0	7,50	10,8	3,82
a₁b₂c₁	201	200	202	201	1,00	308	303	305	305	2,52	578	574	564	572	7,21	15,0	10,0	10,0	11,6	2,89
a₁b₂c₂	159	157	158	158	1,00	259	259	256	258	1,73	512	507	508	509	2,65	10,0	5,00	5,00	6,67	2,89
a₂b₁c₁	164	163	163	163	0,58	278	258	264	267	10,3	538	536	536	537	1,15	7,50	5,00	5,00	5,83	1,44
a₂b₁c₂	157	156	156	156	0,58	283	278	271	277	6,03	498	481	490	490	8,5	7,50	7,50	5,00	6,67	1,44
a₂b₂c₁	149	154	150	151	2,65	287	278	271	279	8,02	507	509	514	510	3,61	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00
a₂b₂c₂	215	214	215	215	0,58	436	424	425	428	6,66	598	594	594	595	2,31	12,5	10,0	7,50	10,0	2,50

a₁: Continua (30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFPL; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp; ; r1: replica1; r2: replica2; r3: replica3; x: promedio; S²: desviación

Elaborado por: Verónica Castro, 2013.

Tabla A-7: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de *Cusubamba*.

Niveles	Dureza mg/L					STD mg/L					Conductividad $\mu\text{S/cm}$					Color				
	r1	r2	r3	x	s ²	r1	r2	r3	x	s ²	r1	r2	r3	x	s ²	r1	r2	r3	x	s ²
a₁b₁c₁	86,0	78,0	79,0	81,0	4,36	149	129	128	135	11,8	255	256	269	260	7,81	7,50	5,00	5,00	5,83	1,44
a₁b₁c₂	84,0	82,0	82,0	82,7	1,15	105	109	112	109	3,51	267	262	262	264	2,89	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00
a₁b₂c₁	94,0	80,0	78,0	84,0	8,72	121	139	127	129	9,17	247	248	246	247	1,00	7,50	5,00	5,00	5,83	1,44
a₁b₂c₂	100	92,0	90,0	94,0	5,29	180	191	181	184	6,08	295	301	294	297	3,79	10,0	7,50	10,0	9,17	1,44
a₂b₁c₁	84,0	82,0	82,0	82,7	1,15	118	109	114	114	4,51	250	250	252	251	1,15	7,50	5,00	5,00	5,83	1,44
a₂b₁c₂	98,0	96,0	90,0	94,7	4,16	199	199	197	198	1,15	292	287	287	289	2,89	10,0	10,0	7,50	9,17	1,44
a₂b₂c₁	86,0	78,0	78,0	80,7	4,62	112	108	110	110	2,00	246	239	244	243	3,61	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00
a₂b₂c₂	114	100	104	106	7,21	195	189	194	193	3,21	302	301	301	301	0,58	12,5	10,0	10,0	10,8	1,44

a₁: Continua (30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFPL; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp; ; r1: replica1; r2: replica2; r3: replica3; x: promedio; S²: desviación

Elaborado por: Verónica Castro, 2013.

TABLA DE RESUMEN DE LOS PARAMETROS FISICO QUIMICOS DE CADA TIPO DE AGUA LUEGO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

Tabla A-8: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de *Mulalillo*

Niveles	Dureza mg/L	STD mg/L	Conductividad μ S/cm	Color
a₁b₁c₁	81,00	135,33	260,00	5,8300
a ₁ b ₁ c ₂	82,67	108,67	263,67	5,0000
a ₁ b ₂ c ₁	84,00	129,00	247,00	5,8300
a ₁ b ₂ c ₂	94,00	184,00	296,67	9,1700
a ₂ b ₁ c ₁	82,67	113,67	250,67	5,8300
a ₂ b ₁ c ₂	94,67	198,33	288,67	9,1700
a₂b₂c₁	80,67	110,00	243,00	5,0000
a ₂ b ₂ c ₂	106,00	192,67	301,33	10,830

a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFPL; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp

Elaborado por: Verónica Castro, 2013.

Tabla A-9: Valores finales de dureza, STD, conductividad y color del agua de *Cusubamba*

Niveles	Dureza mg/L	STD mg/L	Conductividad μ S/cm	Color
a₁b₁c₁	81,00	135,33	260,00	5,8300
a ₁ b ₁ c ₂	82,67	108,67	263,67	5,0000
a ₁ b ₂ c ₁	84,00	129,00	247,00	5,8300
a ₁ b ₂ c ₂	94,00	184,00	296,67	9,1700
a ₂ b ₁ c ₁	82,67	113,67	250,67	5,8300
a ₂ b ₁ c ₂	94,67	198,33	288,67	9,1700
a₂b₂c₁	80,67	110,00	243,00	5,0000
a ₂ b ₂ c ₂	106,00	192,67	301,33	10,830

a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFPL; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp

Elaborado por: Verónica Castro, 2013.

ANALISIS DE LOS PARAMETROS DE COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES DEL AGUA DE *MULALILLO Y CUSUBAMBA* DESPUES DE LA APLICACIÓN DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

Tabla A-10: Valores de *coli*. Totales y Fecales del agua de *Mulalillo*

Tratamientos	Coli totales			x	S ²	Coli fecales			x	S ²
	r1	r2	r3			r1	r2	r3		
a ₁ b ₁ c ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₁ b ₁ c ₂	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0
a ₁ b ₂ c ₁	22	4	3	10	11	0	0	0	0	0
a ₁ b ₂ c ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₂ b ₁ c ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₂ b ₁ c ₂	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
a ₂ b ₂ c ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₂ b ₂ c ₂	6	2	3	4	2	5	0	0	2	3

a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFPL; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp; r1:replica1; r2:replica2; r3:replica3; x: promedio; s²: desviación.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla A-11: Valores de *coli*. Totales y Fecales del agua de *Cusubamba*

Tratamientos	Coli totales			x	S ²	Coli fecales			x	S ²
	r1	r2	r3			r1	r2	r3		
a ₁ b ₁ c ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₁ b ₁ c ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₁ b ₂ c ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₁ b ₂ c ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₂ b ₁ c ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₂ b ₁ c ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₂ b ₂ c ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a ₂ b ₂ c ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

a₁: Continua (c/30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFPL; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: Azolla. Spp; r1:replica1; r2:replica2; r3:replica3; x: promedio; s²: desviación.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla A-12: Valores de los parámetros analizados antes y después de los tratamientos del agua de *Mulalillo* y *Cusubamba*

Parámetros	Unidades	Mulalillo		Cusubamba	
		Inicial	Final	Inicial	Final
Dureza	mg/L	277,0	143,2	147,4	80,20
STD	mg/L	387,0	256,0	141,9	109,0
Conductividad	µS/cm	773,0	524,0	475,0	246,0
Color	U Pt-Co	30,00	10,00	25,00	5,000
Coli totales	UFC/50	5950	1,000	4400	0,000
Coli fecales	UFC/50	2250	4,000	1550	0,000
Temperatura	°C	15,00	17,90	14,00	17,70
pH		8,270	7,710	8,200	7,250
DBO5	mg/L	4,600	0,900	2,700	0,300
DQO	mg/L	35,00	10,00	16,00	5,000
Cloruros	mg/L	27,50	2,900	20,30	2,200
Fosfatos	mg/L	1,370	0,100	0,670	0,080
Hierro	mg/L	1,380	0,040	0,670	0,040
Nitratos	mg/L	8,520	0,036	6,120	0,031
Zinc	mg/L	0,110	0,030	0,160	0,030
Turbiedad	Ntu	22,30	0,780	19,20	0,680
Nitritos	mg/L	0,237	0,038	0,125	0,004
Alcalinidad	mg/L	346,0	182,4	134,0	106,6
Amonio	mg/L	0,780	0,040	0,380	0,030
Amoniaco	mg/L	0,850	0,030	0,490	0,030

Elaborado por: Verónica Castro, 2013.

ANEXO B

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

CONTENIDO DE LA CANTIDAD DE DUREZA EN EL AGUA DE MULALILLO

Tabla B-1: Análisis de varianza para la dureza del agua de *Mulalillo*

Fuente	Suma de Cuadrados	# GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Aireación	0,375	1	0,375	0,01	0,9372
B:Enzimas	2262,04	1	2262,04	38,69	0,0000*
C:Organismos	1001,04	1	1001,04	17,12	0,0008*
INTERACCIONES					
AB	77,0417	1	77,0417	1,32	0,2678
AC	1426,04	1	1426,04	24,39	0,0001*
BC	40,0417	1	40,0417	0,68	0,4201
ABC	8626,04	1	8626,04	147,56	0,0000*
RESIDUOS	935,333	16	58,4583		
TOTAL (CORREGIDO)	14368,0	23			

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp; Nivel de confianza = 95 %; *=significancia; GI: grados de libertad.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-2: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de *Mulalillo* según la aireación

Aireación	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
c/ 30min	12	171,333	A
2 veces al día	12	171,583	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-3: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de *Mulalillo* según las enzimas

Enzimas	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
AFL-P	12	161,75	A
SP-L	12	181,167	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-4: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de *Mulalillo* según los organismos

Organismos	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
Em´s	12	165,0	A
Azolla	12	177,917	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

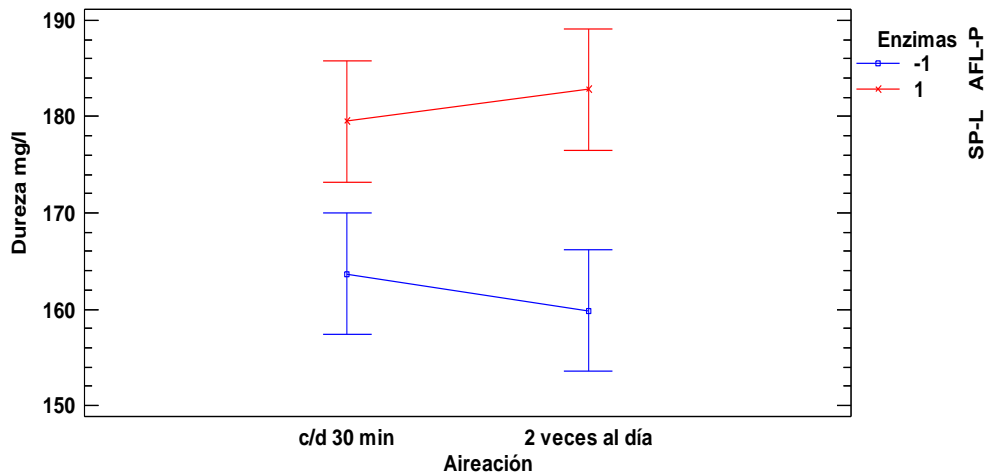


Figura B-1: Interacción al 95 % de TukeyHSD para la aireación y enzimas

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

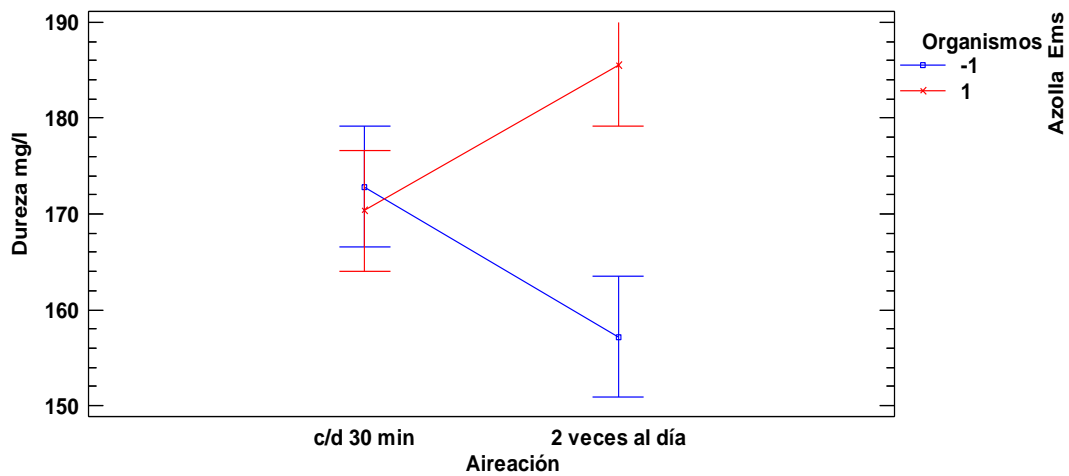


Figura B-2: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

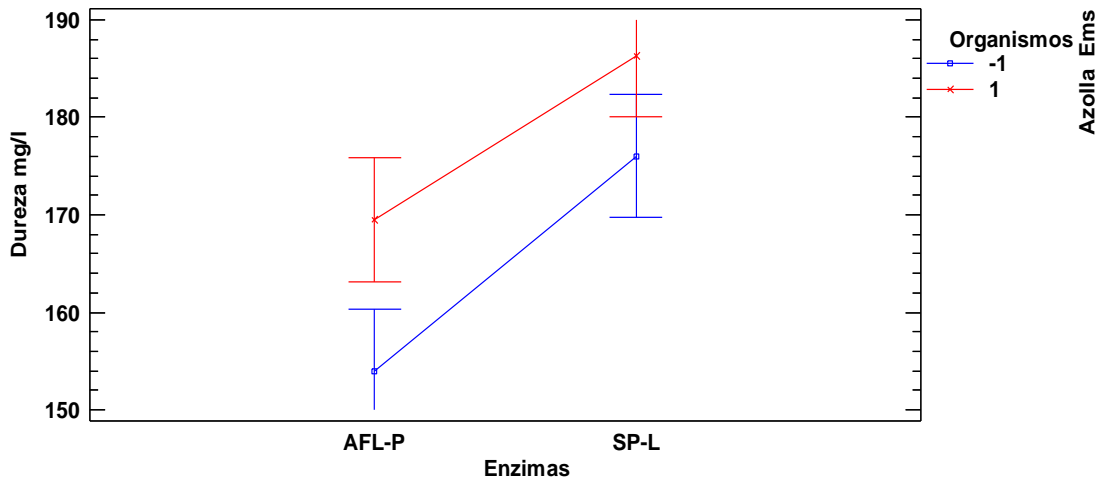


Figura B-3: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la enzimas y organismos

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

CONTENIDO DE LA CANTIDAD DE DUREZA EN EL AGUA DE *CUSUBAMBA*

Tabla B-5: Análisis de varianza para la dureza del agua de *Cusubamba*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Aireacion	187,042	1	187,042	6,920	0,0182*
B:Enzimas	210,042	1	210,042	7,770	0,0132*
C:Organismos	900,375	1	900,375	33,30	0,0000*
INTERACCIONES					
AB	9,37500	1	9,3750	0,350	0,5642
AC	247,042	1	247,042	9,140	0,0081*
BC	176,042	1	176,042	6,510	0,0213*
ABC	9,37500	1	9,3750	0,350	0,5642
RESIDUOS	432,667	16	27,0417		
TOTAL (CORREGIDO)	2171,96	23			

a₁: Continua (c/ 30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFL-P; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: *Azolla Ssp*; Nivel de confianza =95%; *=significancia; GI: grados de libertad.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-6: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de *Cusubamba* según la aireación

Aireación	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
c/d 30min	12	85,4167	A
2 veces al día	12	91,0	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-7: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de *Cusubamba* según las enzimas

Enzimas	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
AFL-P	12	85,25	A
SP-L	12	91,1667	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-8: Prueba de TUKEY al 5% para la dureza del agua de *Cusubamba* según los organismos

Organismos	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
Em's	12	82,0833	A
Azolla	12	94,3333	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

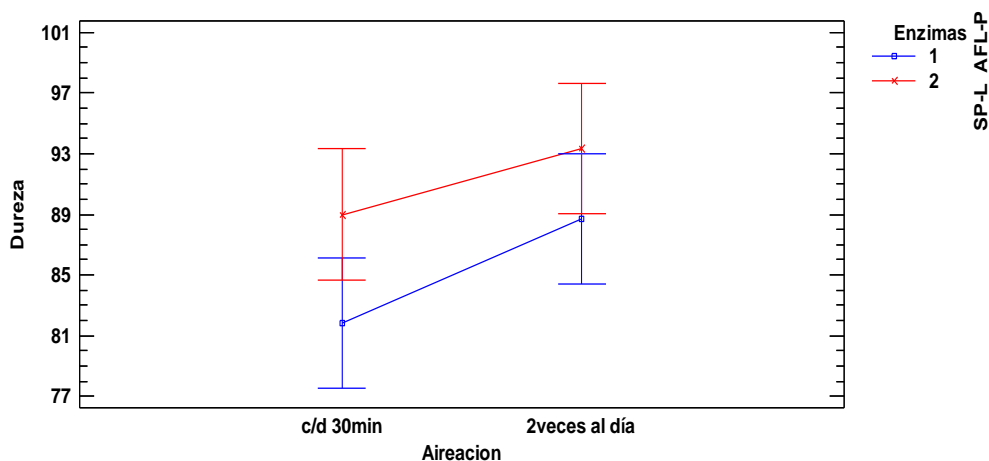


Figura B-4: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

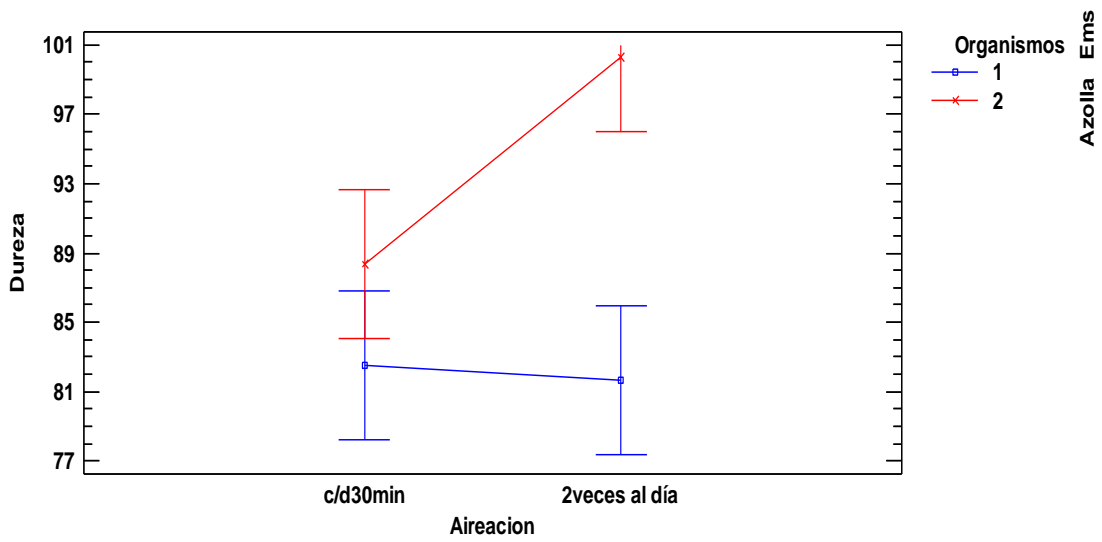


Figura B-5: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de Cusubamba

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

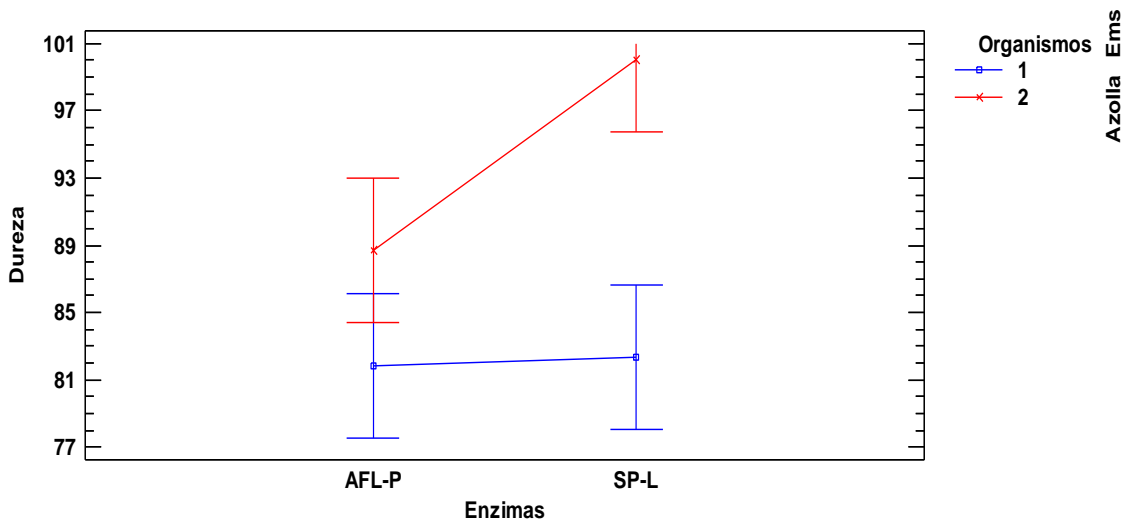


Figura B-6: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de Cusubamba

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

CONTENIDO DE LA CANTIDAD DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS EN EL AGUA DE MULALILLO

Tabla B-9: Análisis de varianza para los Sólidos Totales Disueltos del agua de *Mulalillo*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Aireacion	5162,67	1	5162,67	105,27	0,0000*
B:Enzimas	9126,0	1	9126,0	186,09	0,0000*
C:Organismos	11094,0	1	11094,0	226,22	0,0000*
INTERACCIONES					
AB	10837,5	1	10837,5	220,99	0,0000*
AC	8288,17	1	8288,17	169,00	0,0000*
BC	400,167	1	400,167	8,1600	0,0114*
ABC	22570,7	1	22570,7	460,23	0,0000*
RESIDUOS	784,667	16	49,0417		
TOTAL (CORREGIDO)	68263,8	23			

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp; Nivel de confianza =95%; *=significancia; Gl: grados de libertad.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

Tabla B-10: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos totales disueltos del agua de *Mulalillo* según la aireación

Aireación	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
c/ 30min	12	283,417	A
2 veces al día	12	312,75	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-11: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos totales disueltos del agua de *Mulalillo* según las enzimas

Enzimas	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
AFL-P	12	278,583	A
SP-L	12	317,583	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-12: Prueba de TUKEY al 5% para la los Sólidos totales disueltos del agua de *Mulalillo* según los organismos

Organismos	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
Ems	12	276,583	A
Azolla	12	319,583	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

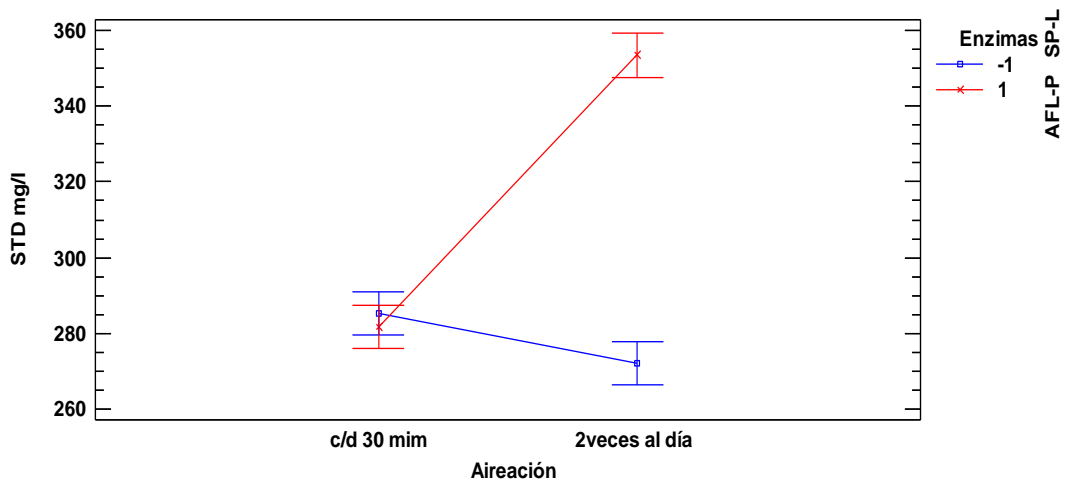


Figura B-7: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

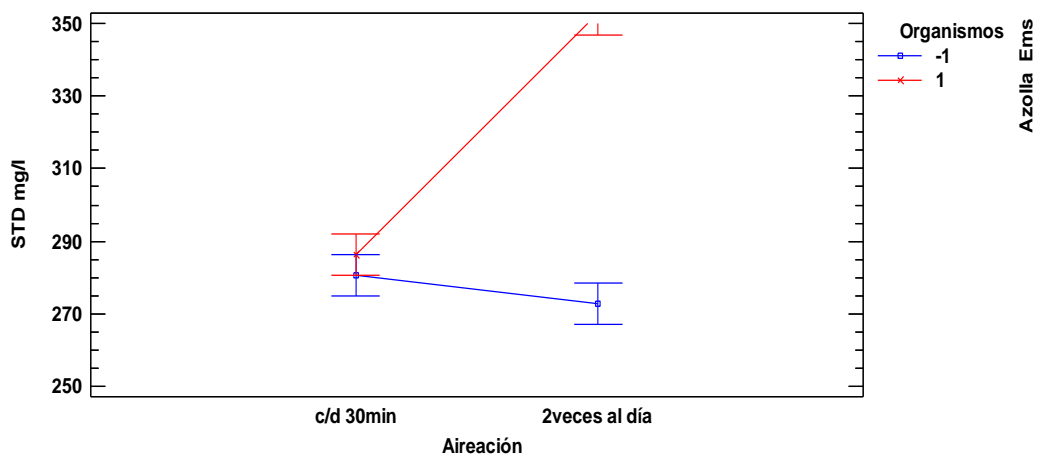


Figura B-8: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

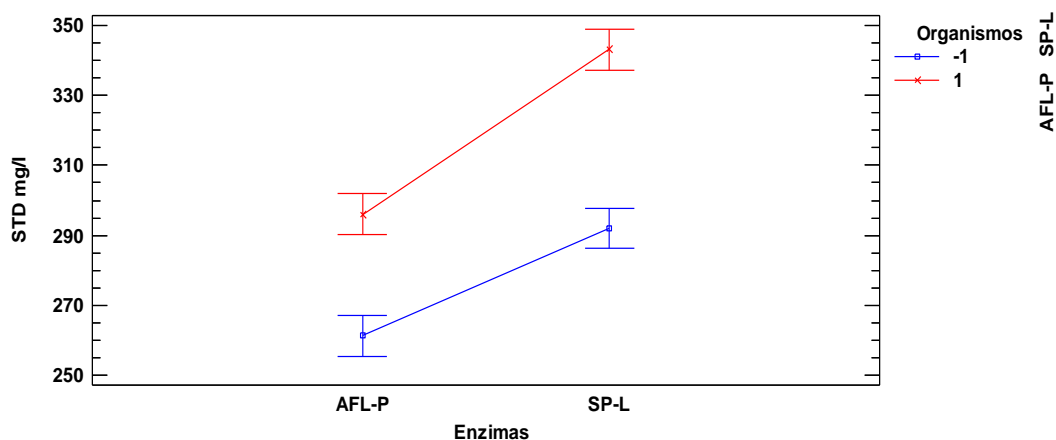


Figura B-9: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

CONTENIDO DE LA CANTIDAD DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS EN EL AGUA DE *CUSUBAMBA*

Tabla B-13: Análisis de varianza para los Sólidos Totales Disueltos del agua de *Cusubamba*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Aireacion	1247,04	1	1247,04	32,220	0,0000*
B:Enzimas	1335,04	1	1335,04	34,490	0,0000*
C:Organismos	14357,0	1	14357,0	370,90	0,0000*
INTERACCIONES					
AB	2301,04	1	2301,04	59,450	0,0000*
AC	7245,37	1	7245,37	187,18	0,0000*
BC	2380,04	1	2380,04	61,490	0,0000*
ABC	2625,04	1	2625,04	67,820	0,0000*
RESIDUOS	619,333	16	38,7083		
TOTAL (CORREGIDO)	32110,0	23			

a₁: Continua (c/ 30min); a₂: Semicontinua (2 veces al día); b₁: AFL-P; b₂: SP-L; c₁: Ems; c₂: *Azolla Ssp*; Nivel de confianza =95%; *=significancia; Gl: grados de libertad.

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

Tabla B-14: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos totales disueltos del agua de Cusubamba según la aireación

Aireación	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
c/d 30 min	12	139,25	A
2 veces al día	12	153,667	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-15: Prueba de TUKEY al 5% para los Sólidos totales disueltos del agua de Cusubamba según las enzimas

Enzimas	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
AFL-P	12	139,0	A
SP-L	12	153,917	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-16: Prueba de TUKEY al 5% para la los Sólidos totales disueltos del agua de Cusubamba según los organismos

Organismos	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
Ems	12	122,0	A
Azolla	12	170,917	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

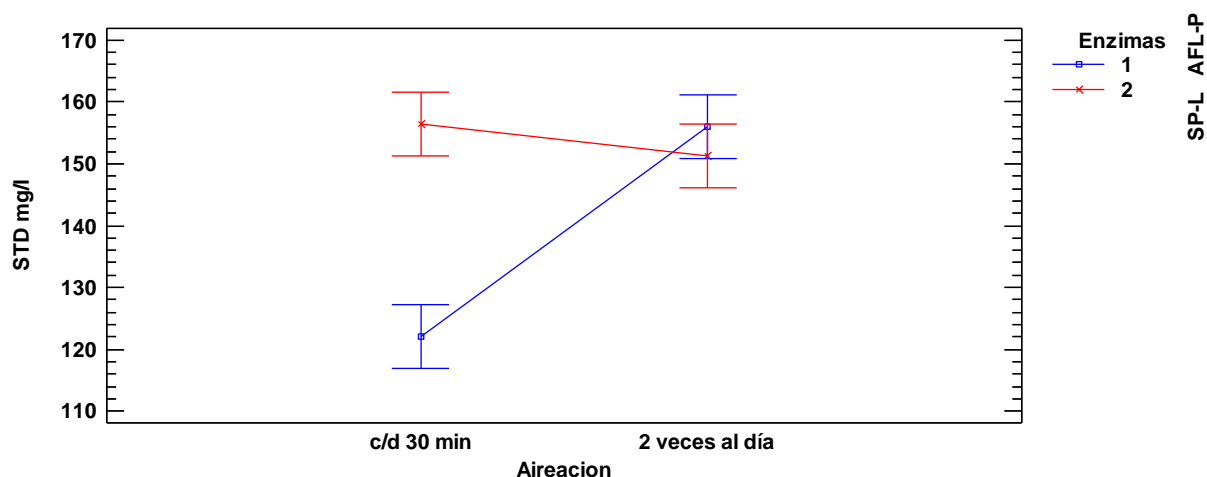


Figura B-10: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de Cusubamba

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

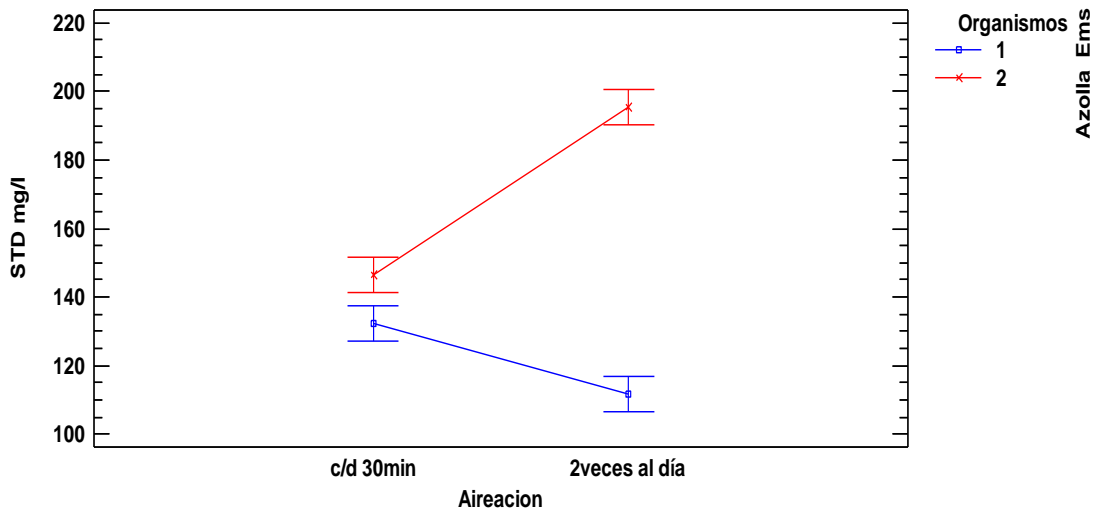


Figura B-11: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de Cusubamba

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

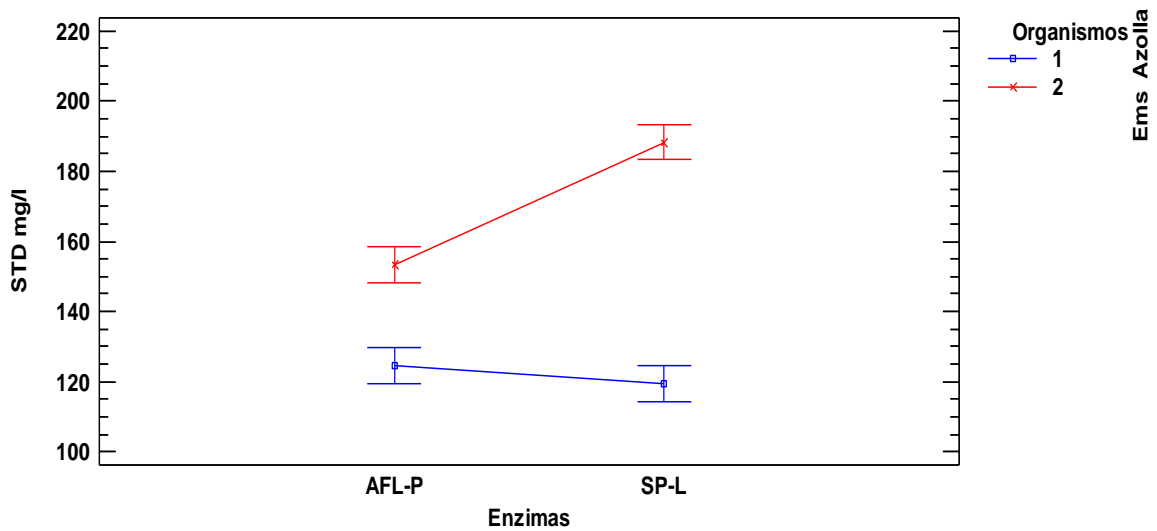


Figura B-12: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de Cusubamba

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA DE *MULALILLO*

Tabla B-17: Análisis de varianza para la conductividad del agua de *Mulalillo*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Aireacion	260,042	1	260,042	10,26	0,0055*
B:Enzimas	6902,04	1	6902,04	272,45	0,0000*
C:Organismos	3775,04	1	3775,04	149,01	0,0000*
INTERACCIONES					
AB	187,042	1	187,042	7,38	0,0152*
AC	210,042	1	210,042	8,29	0,0109*
BC	1162,04	1	1162,04	45,87	0,0000*
ABC	38480,0	1	38480,0	1518,95	0,0000*
RESIDUOS	405,333	16	25,3333		
TOTAL (CORREGIDO)	51381,6	23			

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp; Nivel de confianza=95%; *=significancia; GI: grados de libertad

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

Tabla B-18: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de *Mulalillo* según la aireación

Aireación	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
c/ 30 min	12	526,333	A
2 veces al día	12	532,917	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-19: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de *Mulalillo* según las enzimas

Enzimas	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
AFL-P	12	139,0	A
SP-L	12	153,917	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-20: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de *Mulalillo* según los organismos

Organismos	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
Ems	12	517,083	A
Azolla	12	542,167	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

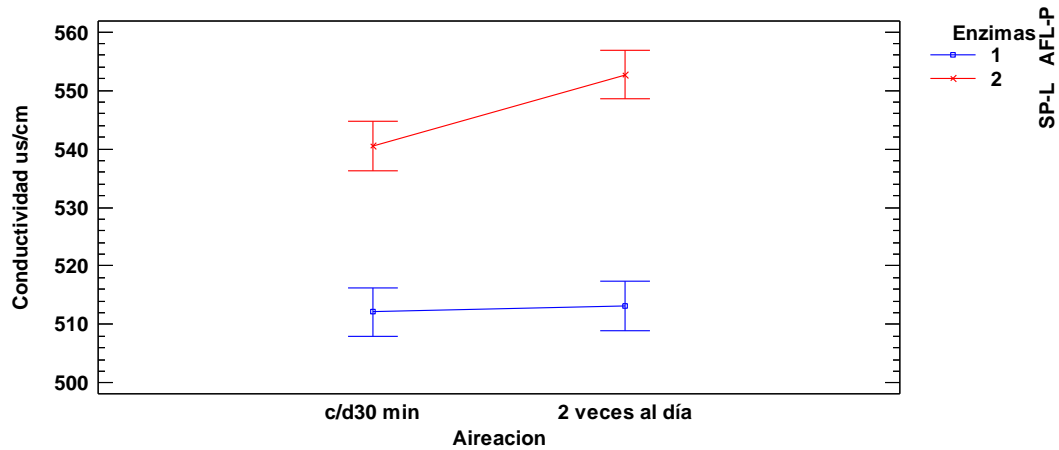


Figura B-13: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

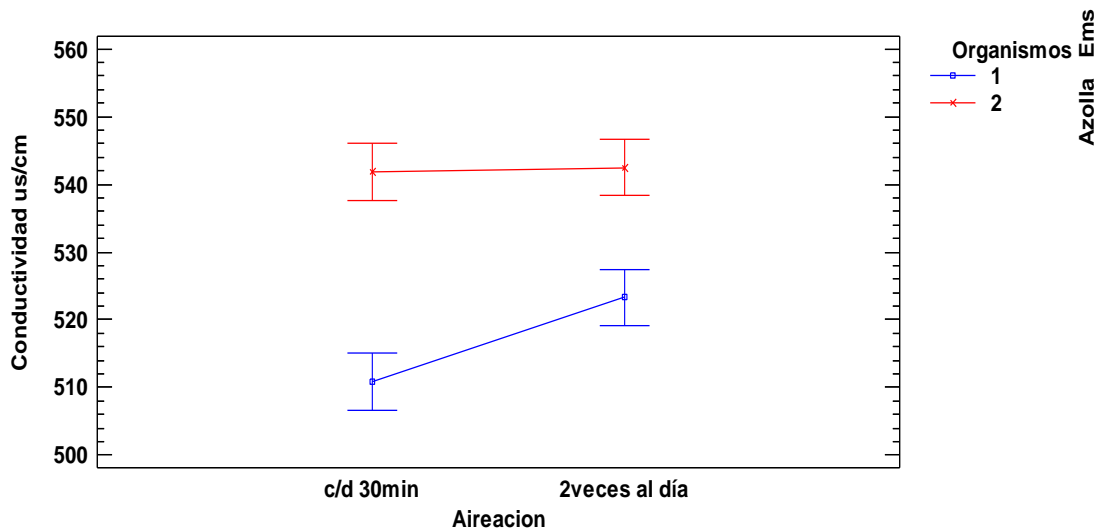


Figura B-14: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

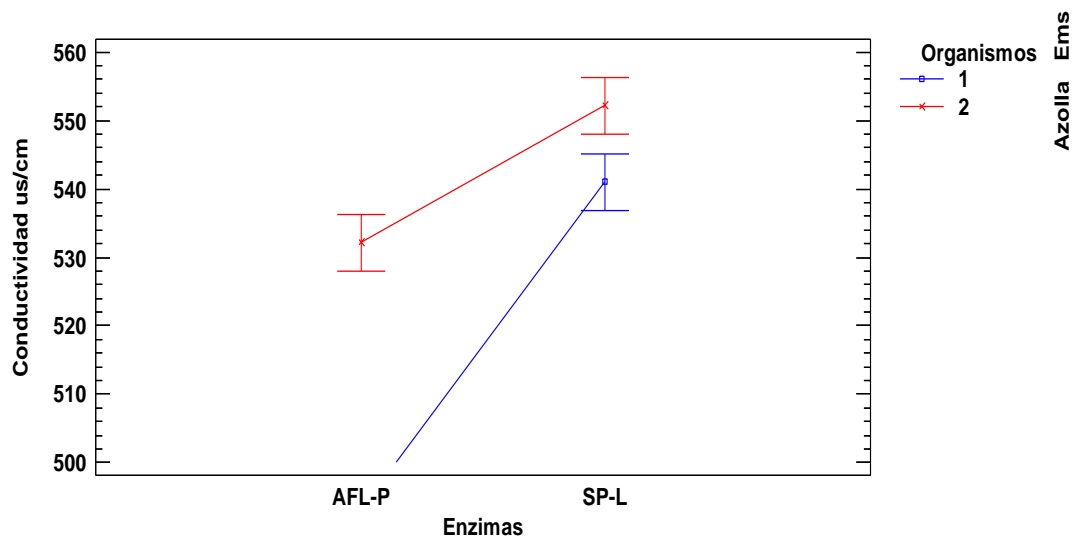


Figura B-15: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA DE CUSUBAMBA

Tabla B-21: Análisis de varianza para la conductividad del agua de *Cusubamba*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Aireación	100,042	1	100,042	7,43	0,0149*
B:Enzimas	234,375	1	234,375	17,41	0,0007*
C:Organismos	8400,04	1	8400,04	624,15	0,0000*
INTERACCIONES					
AB	84,375	1	84,375	6,27	0,0235*
AC	693,375	1	693,375	51,52	0,0000*
BC	1650,04	1	1650,04	122,60	0,0000*
ABC	247,042	1	247,042	18,36	0,0006*
RESIDUOS	215,333	16	13,4583		
TOTAL (CORREGIDO)	11624,6	23			

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp; Nivel de confianza=95%; *=significancia; GI: grados de libertad

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

Tabla B-22: Prueba de TUKEY al 5% para la conductividad del agua de *Cusubamba* según la aireación

Aireación	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
c/ 30 min	12	266,833	A
2 veces al día	12	270,917	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-23: Prueba de TUKEY al 5% para conductividad del agua de *Cusubamba* según las enzimas

Enzimas	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
AFL-P	12	265,75	A
SP-L	12	272,0	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-24: Prueba de TUKEY al 5% para conductividad del agua de *Cusubamba* según los organismos

Organismos	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
Em's	12	250,167	A
Azolla	12	287,583	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

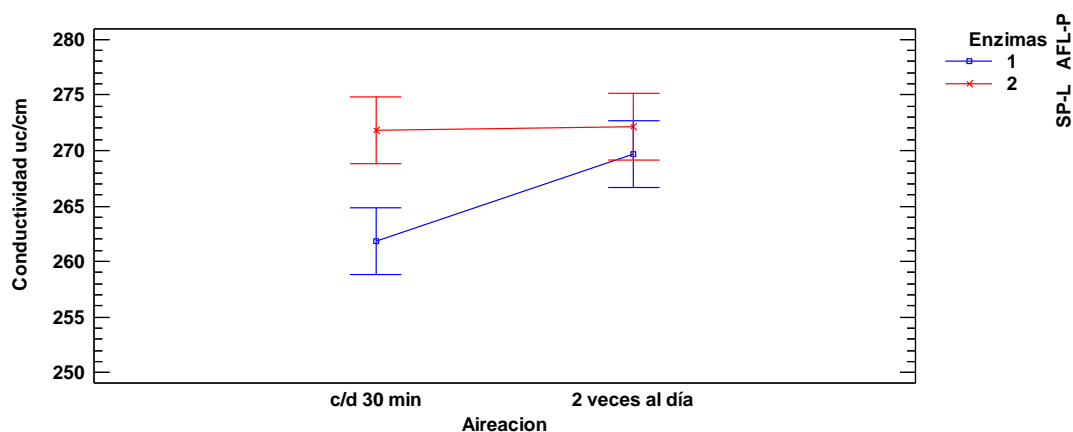


Figura B-16: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

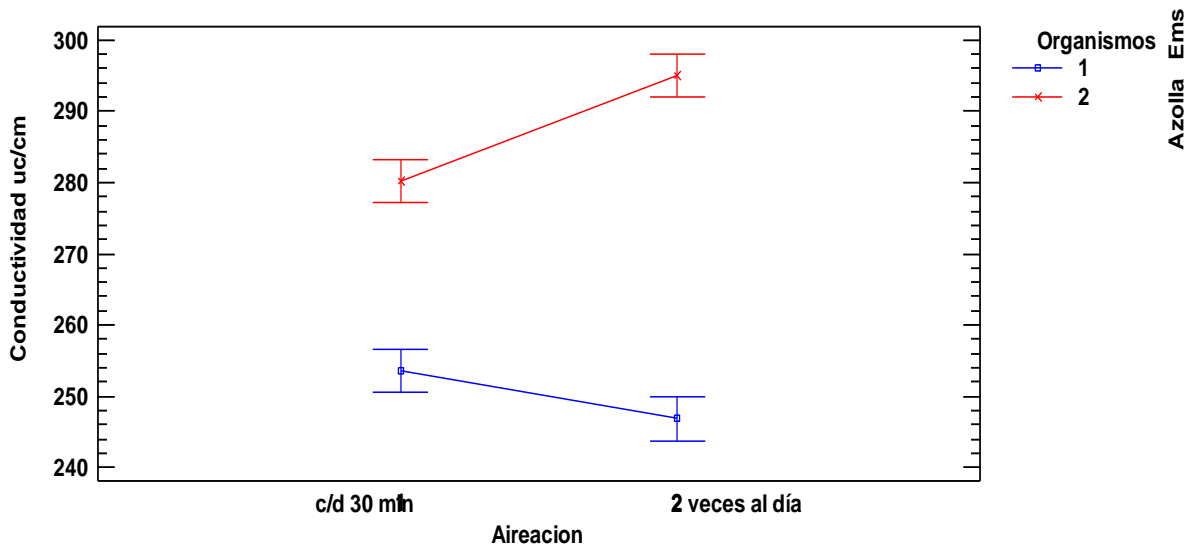


Figura B-17: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

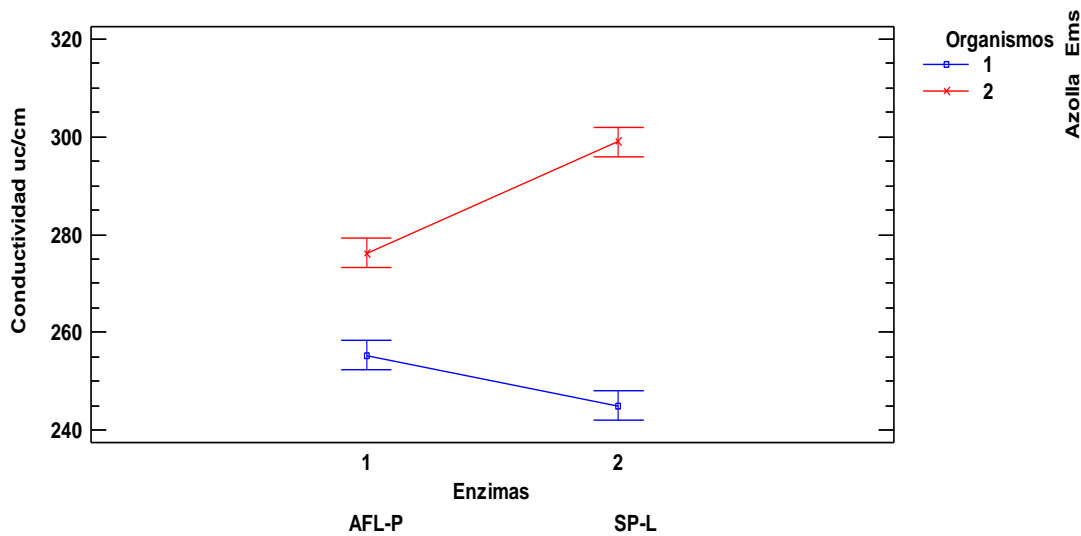


Figura B-18: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

DETERMINACIÓN DEL COLOR EN EL AGUA DE *MULALILLO*

Tabla B-25: Análisis de varianza para el color del agua de *Mulalillo*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Aireación	26,0417	1	26,0417	4,17	0,0581
B:Enzimas	4,16667	1	4,16667	0,67	0,4262
C:Organismos	9,375	1	9,375	1,50	0,2384
INTERACCIONES					
AB	1,04167	1	1,04167	0,17	0,6885
AC	16,6667	1	16,6667	2,67	0,1220
BC	9,375	1	9,375	1,50	0,2384
ABC	66,6667	1	66,6667	10,67	0,0049*
RESIDUOS	100,0	16	6,25		
TOTAL (CORREGIDO)	233,333	23			

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp; Nivel de confianza=95%; *=significancia; Gl: grados de libertad

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

Tabla B-26: Prueba de TUKEY al 5% para el color del agua de *Mulalillo* según la aireación

Aireación	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
c/ 30 min	12	6,875	A
2 veces al día	12	6,875	A

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-27: Prueba de TUKEY al 5% para el color del agua de *Mulalillo* según las enzimas

Enzimas	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
AFL-P	12	7,5	A
SP-L	12	8,33333	A

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-28: Prueba de TUKEY al 5% para el caltor del agua de *Mulalillo* según los organismos

Organismos	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
Ems	12	7,29167	A
Azolla	12	8,54167	A

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

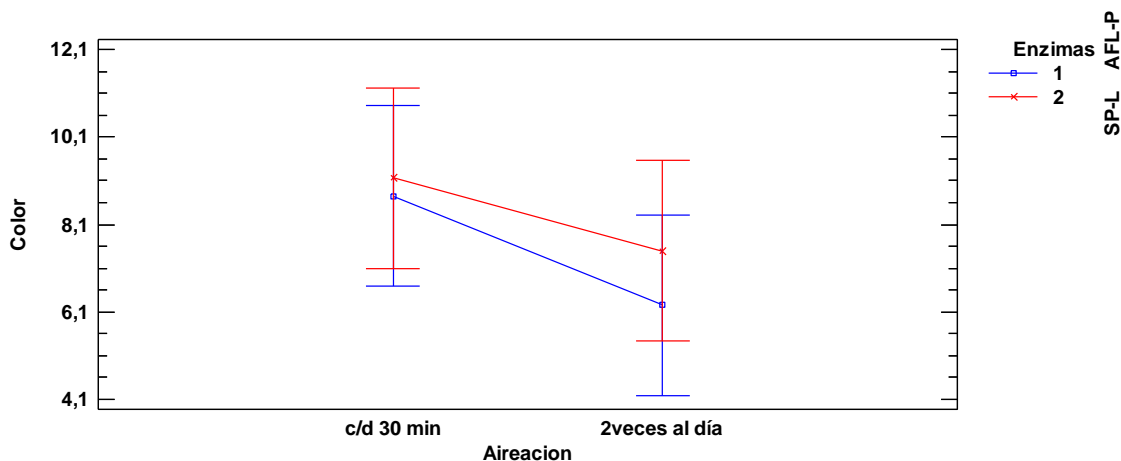


Figura B-19: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

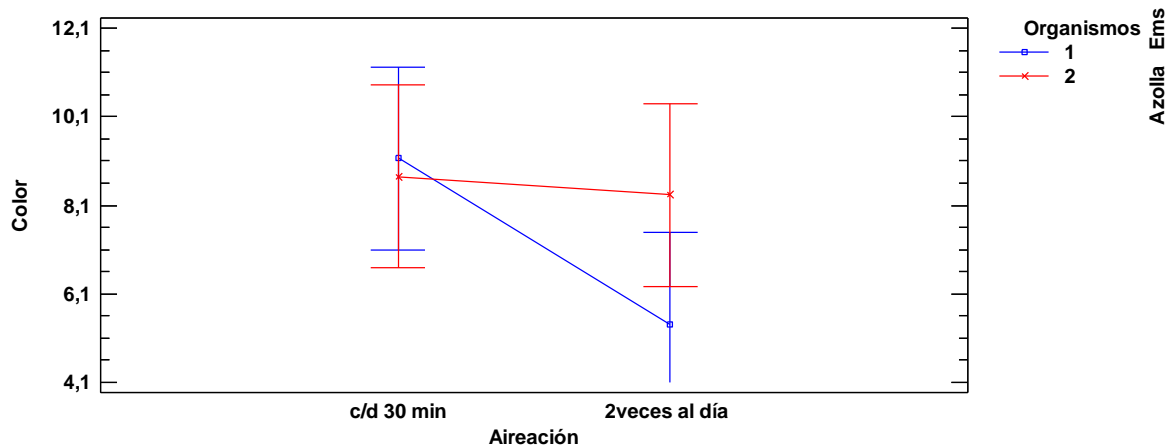


Figura B-20: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

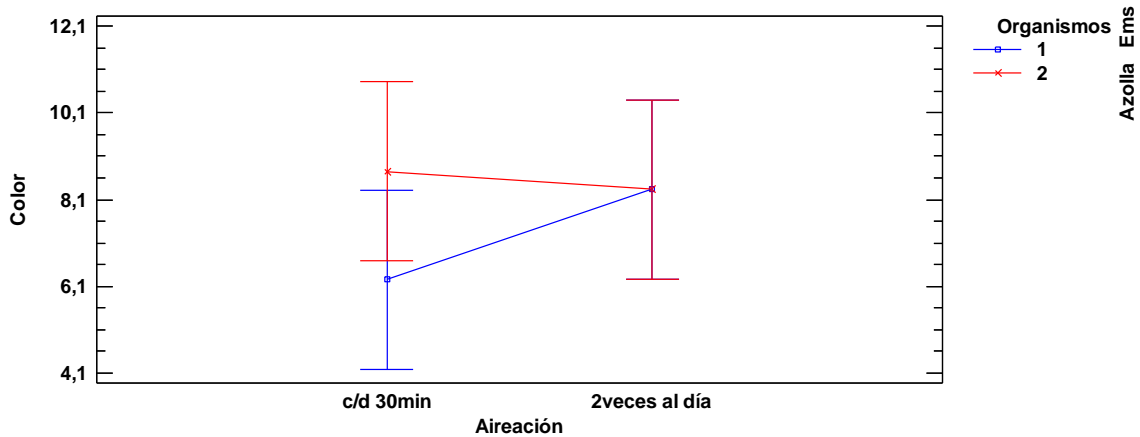


Figura B-21: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de *Mulalillo*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

DETERMINACIÓN DEL COLOR EN EL AGUA DE CUSUBAMBA

Tabla B-29: Análisis de varianza para el color del agua de *Cusubamba*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Aireacion	21,0937	1	21,0937	13,50	0,0021*
B:Enzimas	6,51042	1	6,51042	4,17	0,0581
C:Organismos	44,0104	1	44,0104	28,17	0,0001*
INTERACCIONES					
AB	2,34375	1	2,34375	1,50	0,2384
AC	21,0937	1	21,0937	13,50	0,0021*
BC	6,51042	1	6,51042	4,17	0,0581
ABC	2,34375	1	2,34375	1,50	0,2384
RESIDUOS	25,0	16	1,5625		
TOTAL (CORREGIDO)	128,906	23			

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla Ssp; Nivel de confianza=95%; *=significancia; Gl: grados de libertad

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

Tabla B-30: Prueba de TUKEY al 5% para el color del agua de *Cusubamba* según la aireación

Aireación	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
c/ 30 min	12	6,25	A
2 veces al día	12	8,125	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-31: Prueba de TUKEY al 5% para el caltor del agua de *Cusubamba* según las enzimas

Enzimas	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
AFL-P	12	6,66667	A
SP-L	12	7,70833	A

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

Tabla B-32: Prueba de TUKEY al 5% para el caltor del agua de *Cusubamba* según los organismos

Organismos	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
Em's	12	5,83333	A
Azolla	12	8,54167	B

a₁:Continua (c/ 30min); a₂:Semicontinua (2 veces al día); b₁:AFL-P; b₂:SP-L; c₁:Ems; c₂:Azolla

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

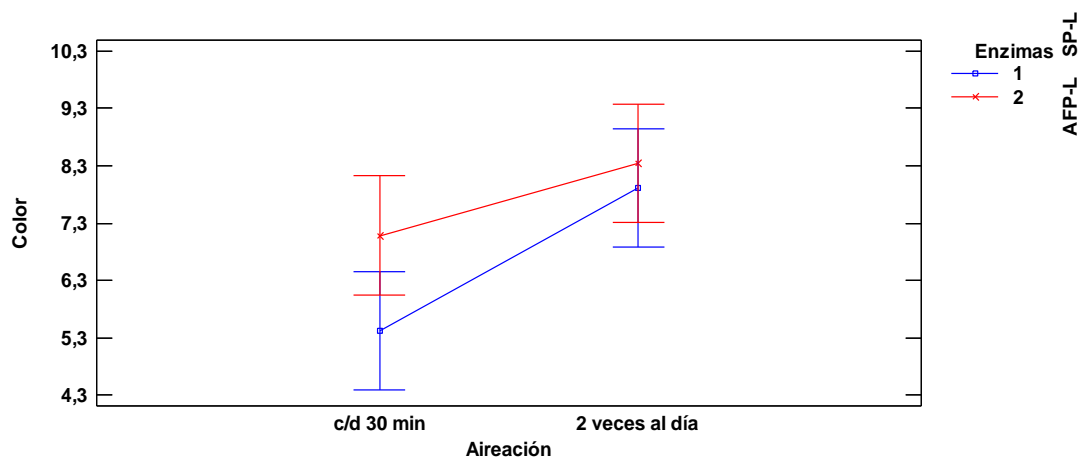


Figura B-22: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y enzimas para el agua de *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

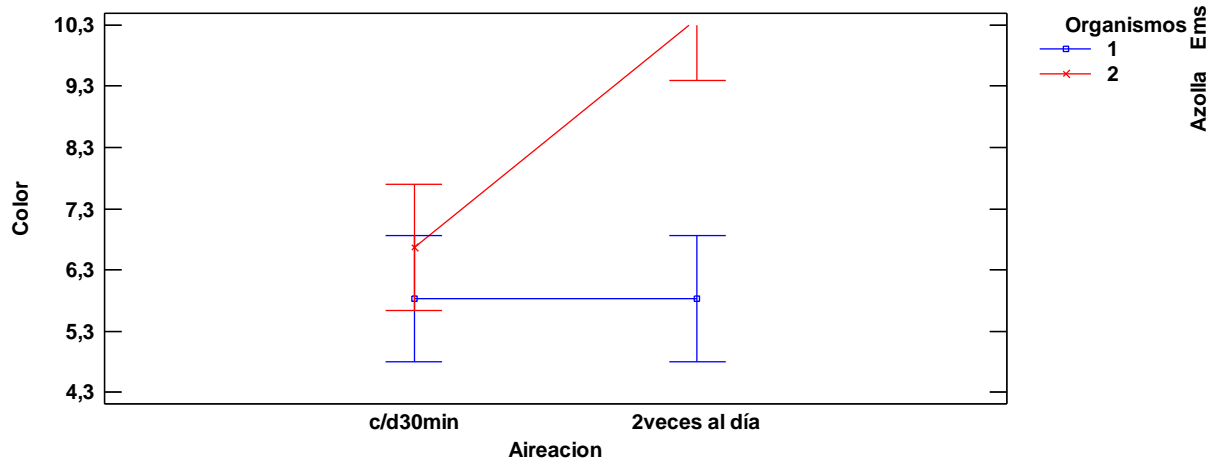


Figura B-23: Interacción al 95 % de Tukey HSD para la aireación y organismos para el agua de *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014.

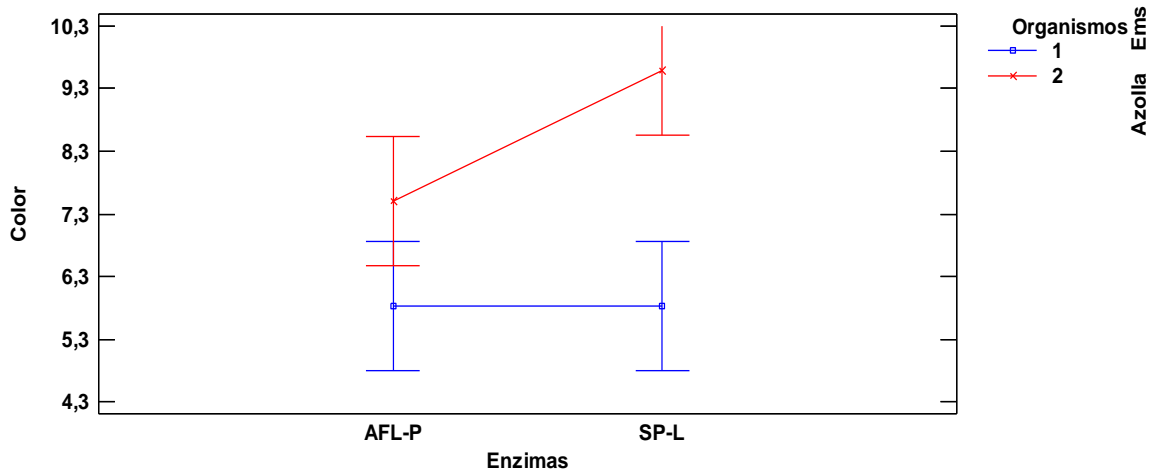


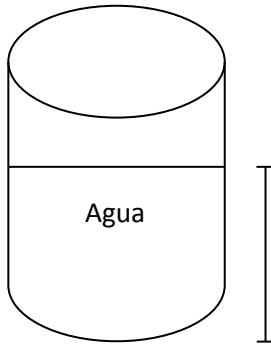
Figura B-24: Interacción al 95 % de Tukey HSD para las enzimas y organismos para el agua de *Cusubamba*

Elaborado por: Verónica Castro, 2014

ANEXO C

CALCULOS

Anexo C-1 Dosificación de Ems



Datos:

$$d=19 \text{ cm}$$

$$h=15 \text{ cm}$$

$$r=9.5 \text{ cm}$$

$$\text{Área} = 2\pi r \cdot h$$

$$\text{Área} = 2\pi \cdot 9.5 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm}$$

$$\text{Área} = 895.35 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área} = 8.9535 \cdot 10^{-6} \text{ Ha}$$

Comercialmente se dosifica 100 L de Ems en 1Ha

Entonces

$$\begin{array}{l} 1\text{Ha} \text{ ————— } 100 \text{ L Ems} \\ 8.9535 \cdot 10^{-6} \text{ Ha} \text{ ————— } x \\ X = 8.9535 \cdot 10^{-4} \text{ L} \\ X = 0.89535 \text{ mL} \end{array}$$

Anexo C-2 Dosificación de Enzimas

$$\begin{array}{l} \text{AFP-L} \\ 2 \text{ mL} \text{ ————— } 100 \text{ L} \\ X \text{ ————— } 4 \text{ L} \\ X=0.08 \text{ mL} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{SP-L} \\ 2.5 \text{ mL} \text{ ————— } 100 \text{ L} \\ X \text{ ————— } 4 \text{ L} \\ X=0.1 \text{ mL} \end{array}$$

Anexo C-3 Dosificación del sulfato de Aluminio

$$\frac{150 \text{ g}}{1 \text{ m}^3} \left| \frac{1 \text{ m}^3}{100 \text{ L}} \right. = 0.15 \text{ g}$$

$$\begin{array}{l} 0.15 \text{ g} \text{ ————— } 1000 \text{ L} \\ X \qquad \qquad \qquad 4 \text{ L} \\ X=0.0006 \text{ g} \end{array}$$

Anexo C-4 Dosificación del cloro

$$1 \% \text{ ————— } 10000 \text{ ppm}$$

$$3.5 \% \text{ ————— } 35000 \text{ ppm Cloro Comercial}$$

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{1\text{ppm} * 4 \text{ L}}{35000\text{ppm}}$$

$$V_1 = 0.000114286 \text{ L}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{L} \text{ ————— } 1000 \text{ mL} \\ 0.000114286 \text{ L} \text{ ————— } x \end{array} = 0.11 \text{ mL/4L}$$

ANEXO D

NORMAS

ESTABLECIDAS PARA

EL CONSUMO DE

AGUA

5.1 Anexo D1

La Constitución Nacional de la República del Ecuador del 2008

El artículo 411 establece que: El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial de las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sostenibilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

El artículo 412 manifiesta que: La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

El artículo 395 de la Constitución de la República del Ecuador del 2008 en el literal 2 dice que las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

El artículo 396 del mismo cuerpo legal en su inciso segundo y tercero claramente manifiesta que la responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir, cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que han causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

A nivel Cantonal también existen ordenanzas (MUNICIPIO DE SALCEDO, 2004) para la protección ambiental, es decir la fundamentación legal es sumamente amplia para poder aplicarla y preservar la Cuenca del río Cutuchi.

LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

En la siguiente tabla obtenida del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) del Ecuador (2009), Libro VI, Anexo 1, tabla 12, se encuentran los valores máximos permisibles para la descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce.

TABLA D-2: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

PARAMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,300
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aldehídos		mg/L	2,000
Aluminio	Al	mg/L	5,000
Arsénico total	As	mg/L	0,100
Bario	Ba	mg/L	2,000
Boro total	B	mg/L	2,000
Cadmio	Cd	mg/L	0,020
Cianuro total	CN ⁻	mg/L	0,100
Cloro activo	Cl	mg/L	0,500
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0,100
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1,000
Cobalto	Co	mg/L	0,500
Coliformes fecales	Nmp/100 mL		Remoción > al 99.9%
Color real	Color real	Unidades de color	* Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,200
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,500
Demanda bioquímica	D.B.O ₅ .	mg/L	100,0

de oxígeno			
Demanda química de oxígeno	D.Q.O.	mg/L	250,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1,000
Estaño	Sn	mg/L	5,000
Fluoruros	F	mg/L	5,000
Fosforo total	P	mg/L	10,00
Hierro total	Fe	mg/L	10,00
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20,00
Manganeso total	Mn	mg/L	2,000
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,000
Nitratos + Nitritos	Expresado como nitrógeno (N)	mg/L	10,00
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/L	15,00
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/L	0,050
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/L	0,100
Plata	Ag	mg/L	0,100
Plomo	Pb	mg/L	0,200
Potencial de hidrogeno	pH	mg/L	5-9
Selenio	Se	mg/L	0,100
Solidos sedimentables		mL/l	1,000
Solidos suspendidos totales		mg/L	100,0
Solidos totales		mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/L	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/L	2,000
Sulfuros	S	mg/L	0,500
Temperatura	°C	mg/L	< 35,00
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,500
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,000
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1,000
Vanadio		mg/L	5,000
Zinc	Zn	mg/L	5,000

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

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), 2009.

TABLA D-3: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en	mg/L	0,300

	hexano		
Aluminio	Al	mg/L	0,200
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/L	1,000
Amonio	NH ₄	mg/L	0,050
Arsénico (total)	As	mg/L	0,050
Bario	Ba	mg/L	1,000
Cadmio	Cd	mg/L	0,010
Cianuro (total)	CN-	mg/L	0,100
Cloruro	Cl	mg/L	250,0
Cobre	Cu	mg/L	1,000
Coliformes Totales	nmp/100 mL		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 mL		600,0
Color	color real	unidades de color	100,0
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,050
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	2,000
Dureza	CaCO ₃	mg/L	500,0
Bifenilopoliclorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	mg/L	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/L	1,500
Hierro (total)	Fe	mg/L	1,000
Manganeso (total)	Mn	mg/L	0,100
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,001

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), 2009.

Tabla D-4: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Nitrato	N-Nitrato	mg/L	10,00
Nitrito	N-Nitrito	mg/L	1,000
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/L	No menor al 80% del oxígeno de

			saturación y no menor a 6 mg/L
Plata (total)	Ag	mg/L	0,050
Plomo (total)	Pb	mg/L	0,050
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/L	0,010
Sodio	Na	mg/L	200,0
Sólidos disueltos totales		mg/L	1 000
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L	400,0
Temperatura	Grados °C		Condición Natural + o – 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,500
Turbiedad		UTN	100,0
Zinc	Zn	mg/L	5,000
*Productos para la desinfección		mg/L	0,100
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	ug/L	10,00
Benzo(a) pireno		ug/L	0,010
Etilbenceno		ug/L	700,0
Estireno		ug/L	100,0
Tolueno		ug/L	1 000
Xilenos (totales)		ug/L	10 000

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), 2009.

Tabla D-5: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Pesticidas y herbicidas			
Carbamatos totales	Concentración de carbanatos totales	mg/L	0,100
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/L	0,010
Organofosforados	Concentración de	mg/L	0,100

totales	organofosforados totales		
Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración total de DBCP	ug/L	0,200
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	ug/L	0,050
Dicloropropano (1,2)	Concentración total de dicloropropano	ug/L	5,000
Diquat		ug/L	70,00
Glifosato		ug/L	200,0
Toxafeno		ug/L	5,000
Compuestos Halogenados		ug/L	
Tetracloruro de carbono		ug/L	3,000
Dicloroetano (1,2-)		ug/L	10,00
Dicloroetileno (1,1-)		ug/L	0,300
Dicloroetileno (1,2- <i>cis</i>)		ug/L	70,00
Dicloroetileno (1,2- <i>trans</i>)		ug/L	100,0
Diclorometano		ug/L	50,00
Tetracloroetileno		ug/L	10,00
Tricloroetano (1,1,1-)		ug/L	200,0
Tricloroetileno		ug/L	30,00
Clorobenceno		ug/L	100,0
Diclorobenceno (1,2-)		ug/L	200,0
Diclorobenceno (1,4-)		ug/L	5,000
Hexaclorobenceno		ug/L	0,010
Bromoximil		ug/L	5,000

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), 2009.

Tabla D6: Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria *INEN 1. 108:2011* de Agua Potable

REQUISITOS	UNIDAD	Límite deseable	máximo permisible
Color	Unidades Escala Pt-Co	5	30
Turbiedad	FTU turbiedad formazina	5	20
Olor	-	ausencia	ausencia
Sabor	-	inobjetable	inobjetable
pH	-	7 - 8.5	6.5 - 9.5
Sólidos totales disueltos.	mg/l	500	1000
Manganeso, Mn	mg/l	0.05	0.3
Hierro, Fe	mg/l	0.2	0.8
Calcio, Ca	mg/l	30	70
Fluor, F	mg/l	1	1.5
Magnesio, Mg	mg/l	12	30
Sulfatos, SO ₄	mg/l	50	200
Cloruros, Cl	mg/l	50	250
Nitratos, NO ₃	mg/l	10	40
Nitritos, NO ₂	mg/l	cero	cero
Dureza, Ca ₂ CO ₃	mg/l	120	300
Arsénico, As	mg/l	cero	0.05
Cadmio, Cd	mg/l	cero	0.01
Cromo, Cr hexavalente	mg/l	cero	0.05
Cobre, Cu	mg/l	0.05	1.5
Cianuros, CN	mg/l	cero	cero
Plomo, Pb	mg/l	cero	0.05
Mercurio, Hg	mg/l	cero	cero
Selenio, Se	mg/l	cero	0.01
ABS (MBAS)	mg/l	cero	0.2
Fenoles	mg/l	cero	0.001
Cloro libre residual *	mg/l	0.5	0.3 - 1
Coliformes totales	MNP/100cm ³	ausencia	ausencia
Bacterias aerobias totales		ausencia	30
Estroncio 90	Pc/l	ausencia	8
Radio 226	Pc/l	ausencia	3
Radiación total	Pc/l	ausencia	1000

* Cuando se utiliza cloro como desinfectante.

Fuente: INEN 1. 108

Tabla D7: Parámetros De Calidad Y Límites Máximo Permisibles Norma

Sunass.

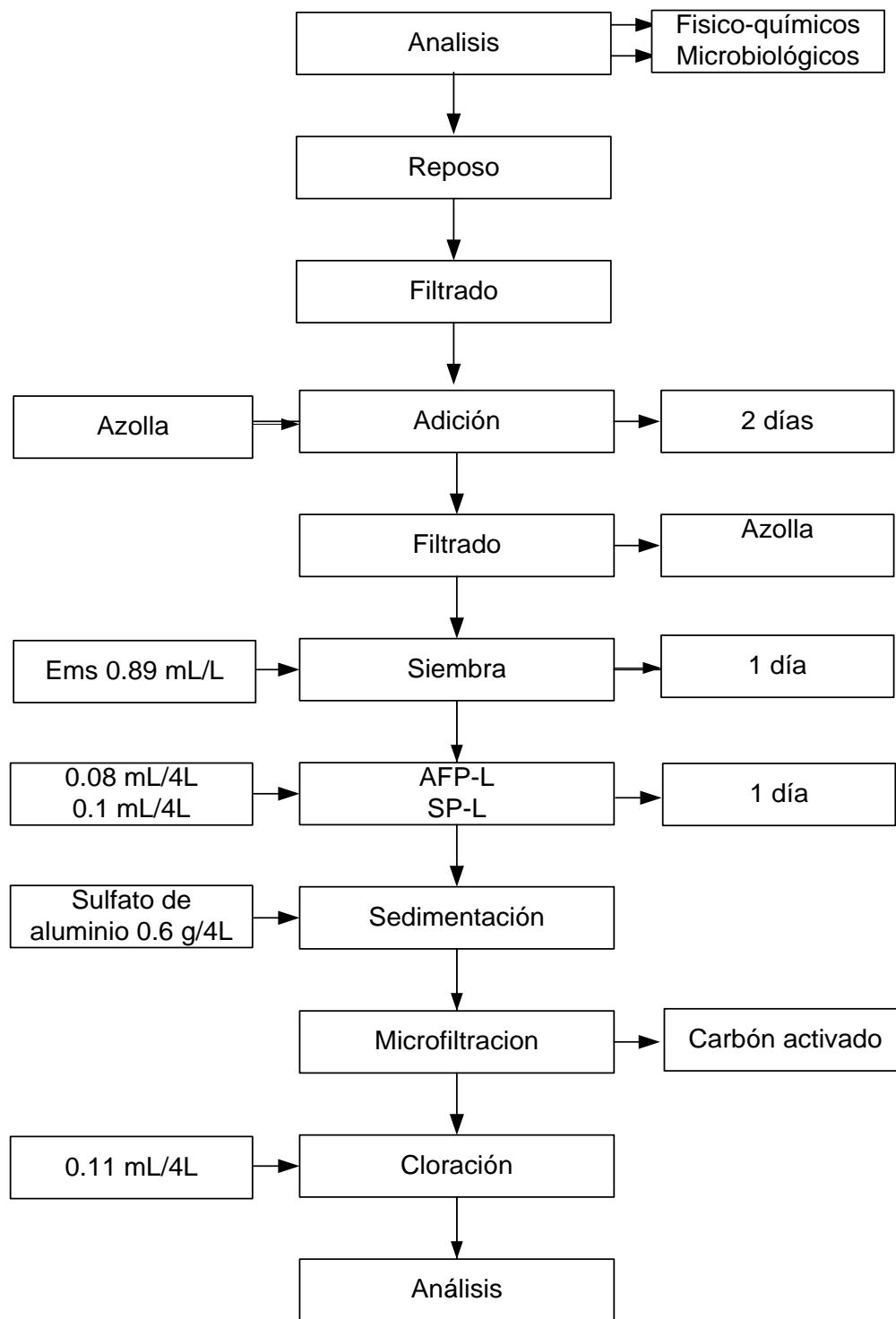
PARÁMETRO	LMP
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500
pH	6,5 – 8,5
Turbiedad, UNT	5
Conductividad, 25°C uS/cm	1500
Color, UCV – Pt-Co	20
Cloruros, mg/L	250
Sulfatos, mg/L	250
Dureza, mg/L	500
Nitratos, mg NO ₃ ⁻ /L (*)	50
Hierro, mg/L	0,3
Manganeso, mg/L	0,2
Aluminio, mg/L	0,2
Cobre, mg/L	3
Plomo, mg/L (*)	0,1
Cadmio, mg/L (*)	0,003
Arsénico, mg/L (*)	0,1
Mercurio, mg/L (*)	0,001
Cromo, mg/L (*)	0,05
Flúor, mg/L	2
Selenio, mg/L	0,05

Fuente: SUNASS-INF.

ANEXO E

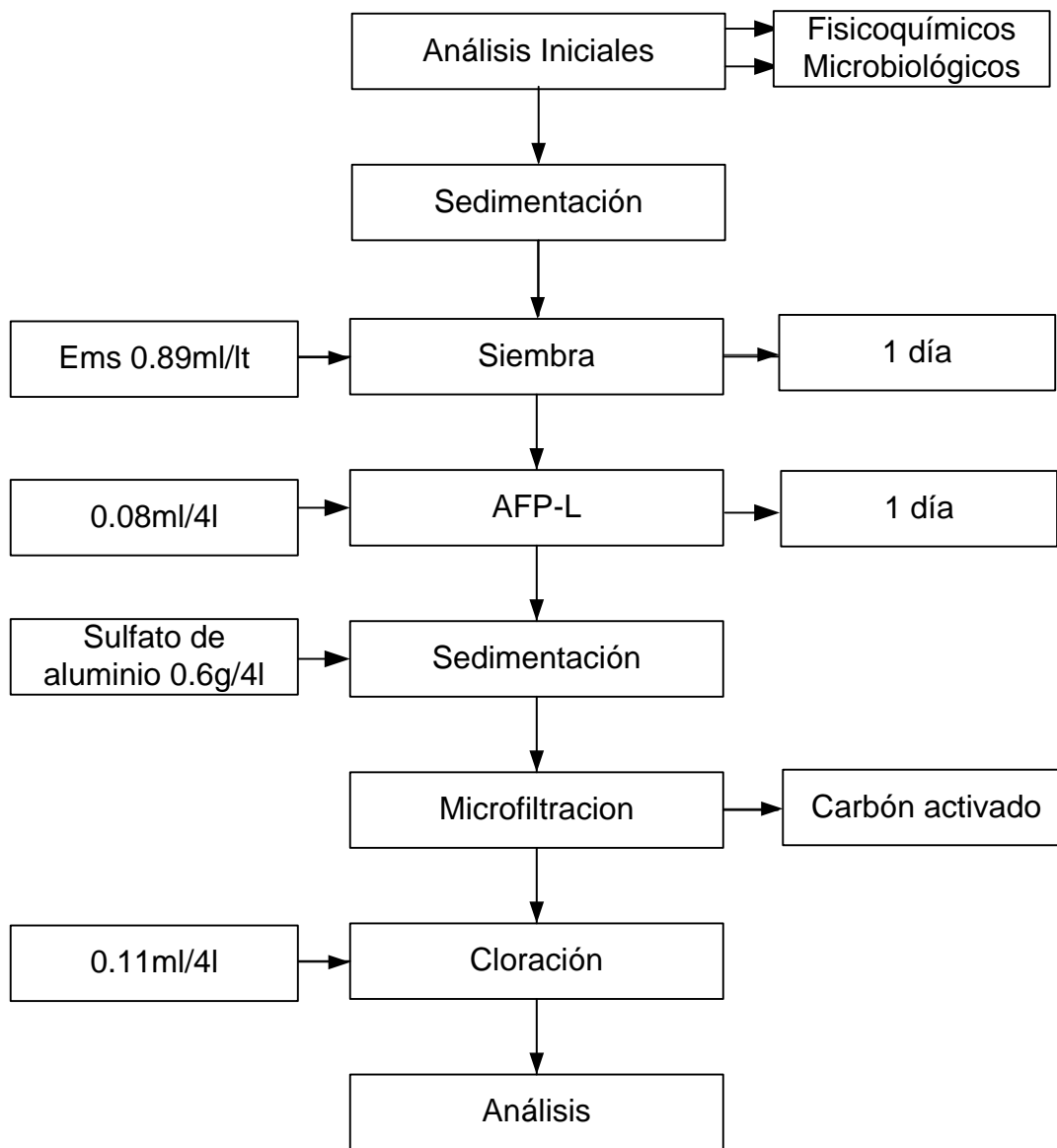
DIAGRAMA DE FLUJO

Anexo E-1 Diagrama de flujo para el tratamiento biológico del agua de *Cusubamba* y *Mulalillo*



Elaborado por: Verónica Castro, 2014

Anexo E-2 Diagrama de flujo del mejor tratamiento



Elaborado por: Verónica Castro, 2014

ANEXO F

FOTOS

Activación de los Microorganismos Eficiente



Foto 1. Microorganismos Comerciales



Foto 2. Preparación de los EMs



Foto 3. Mezcla de los componentes



Foto 4. Desalojamiento de gases

Recolección de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos



Foto 5. Punto de muestreo



Foto 6. Recolección de muestras



Foto 7. Recolección de muestras



Foto 8. Almacenamiento de Muestras

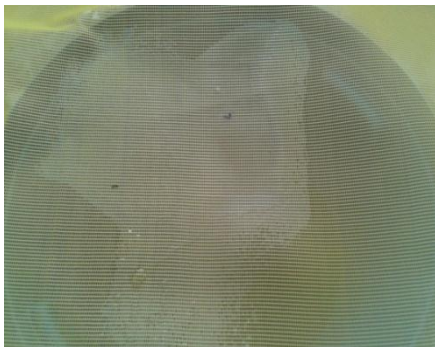


Foto 9. Filtración Primaria



Foto 10. Almacenamiento de muestra filtrada

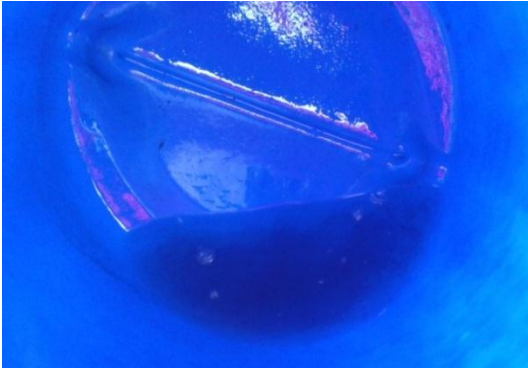


Foto 11. Sedimentación



Foto 12. Azolla utilizada en el tratamiento



Foto 12. Colocación de los organismos



Foto 13. Muestras con organismos después de 24 hr



Foto 14. Filtración



Foto 14. Filtración

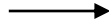


Foto 15. Colocación de Enzimas



Foto 16. Después de 24 hr

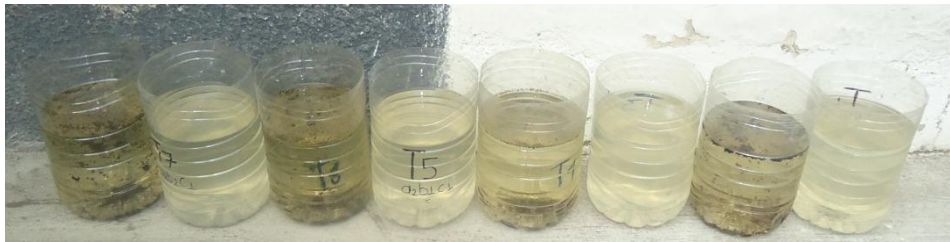


Foto 17. Floculante durante 30 min



Foto 18. Filtración con C.A



Foto 19. Lodos



Foto 20. Agua para consumo

Equipos Utilizados para realizar los análisis físico-químicos y Microbiológicos

Foto 21. p-H metro, Hach Sension 1



Foto 22. Colorímetro, Orbeco Hellige

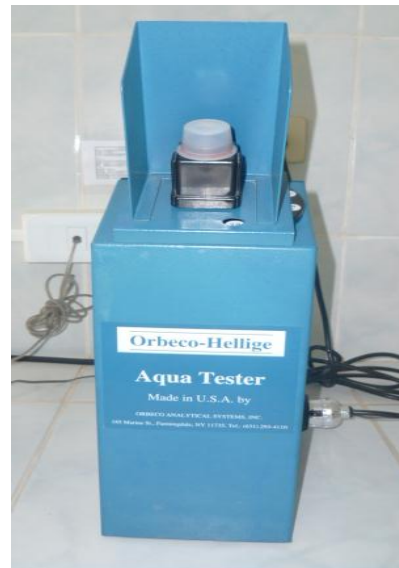


Foto 23. DBO₅, Hach Trak I



Foto 24. Digestor Hach COD, 115 VAC



Foto 25. Conductivimetro, Mettler Toledo



Foto 26. Espectrofotómetro UV/Visible DR 500



Foto 26. Filtración por membrana, Sartorius



Foto 28. Incubadora, Binder



Foto 29. Turbidímetro Hach 47000-02



Foto 30. Blancos Hach



Foto 31. Contador de colonias, Quebec



Foto 32. Material de vidrio



Foto 33. Autoclave Vertical 120 Liters LS-120LJ



Foto 34. Bureta, Titrett Rs232

