

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACION CONTINUA**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN AGRONOMIA TROPICAL
SOSTENIBLE**



“Uso de humedales artificiales como tratamiento terciario para la depuración de aguas residuales ordinarias en la Planta de Tratamiento del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador”

**Presentada por:
Ing. Agr. Humberto Edgardo Burgos Huevo**

**TESIS
Presentada como requisito parcial para obtener el Grado de:
Maestro en Gestión Integral del Agua**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2015

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Ing. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL:

Dra. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO:

Ing. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

Ing. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

Esta Tesis fue realizada bajo la dirección del Tribunal Evaluador de Tesis indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

Maestro en Gestión Integral del Agua

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2015

Tribunal Evaluador de Tesis

Dr. Reynaldo Adalberto López Landaverde
Asesor de Tesis y Presidente del Tribunal Evaluador de Tesis

Licda. M. Sc. Norma Esthela Molina Velásquez
Secretaria y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia
Vocal y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia
Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua

Dedicatoria

A la memoria de mi hermano Jesús, porque lo prometido seguirá siempre siendo deuda...

Agradecimientos

A mis padres Jesús y Zenayda, personas imprescindibles.

A Yaneth

A los asesores de tesis, M. Sc. Norma Esthela Molina Velásquez y Dr. Reynaldo Adalberto López Landaverde, por su apoyo técnico en la realización de esta investigación.

Al M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua, por su apoyo a este proceso.

Al personal de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), por haber creído y apoyado este esfuerzo

A quienes hicieron posible este logro a todas y todos ustedes agradecimientos infinitos...

Índice General

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVII
RESUMEN	19
ABSTRACT	20
I. INTRODUCCIÓN	21
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
III. OBJETIVOS	25
3.1. OBJETIVO GENERAL	25
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
IV. HIPÓTESIS	25
V. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	26
5.1. OBJETIVOS DE DESARROLLO DEL MILENIO (ODM)	26
5.2. CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	26
5.2.1. Envenenamiento	27
5.2.2. Introducción de nutrientes a la corriente de agua.....	27
5.2.3. Contaminación térmica.....	28
5.2.4. La Eutroficación.....	28
5.2.5. Desechos domésticos y agrícolas	29
5.2.5.1. Amoníaco.....	29
5.3. LEGISLACIÓN VIGENTE EN EL SALVADOR SOBRE AGUAS RESIDUALES	29
5.3.1. Constitución de la República de El Salvador.....	29
5.3.2. Ley de Medio Ambiente	30
5.3.3. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor” (NSO).....	30
5.3.3.1. Parámetros para la caracterización del vertido de aguas residuales de tipo ordinario .	31
5.3.4. Reglamento Especial de Aguas Residuales	32
5.3.4.1. Obligatoriedad del análisis de aguas residuales de tipo ordinario	32

5.3.4.2. Frecuencia mínima de muestreo y de análisis de aguas residuales de tipo ordinario en plantas de tratamiento.....	33
5.3.4.3. Requerimiento para toma de muestras, recipientes para muestreo y preservantes de componentes en agua.....	34
5.3.4.4. Métodos de análisis para la determinación de los parámetros contemplados en la Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO 13.49.01.09.....	35
5.4. PARÁMETROS EN ESTUDIO EN LAS AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO	35
5.4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	35
5.4.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	36
5.4.3. Grupo Coliformes.....	36
5.4.3.1. Coliformes Totales	37
5.4.3.2. Coliformes Fecales	37
5.4.4. pH.....	37
5.4.5. Temperatura	37
5.4.6. Nitratos	38
5.4.7. Fosfatos.....	38
5.4.8. Aceites y Grasas	39
5.5. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	39
5.6. EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON HUMEDALES ARTIFICIALES	40
5.6.1. Humedales naturales.....	41
5.6.2. Humedales artificiales	41
5.6.2.1. Factores presentes en interacción en los humedales artificiales	41
5.6.2.2. Clasificación de los humedales artificiales	42
5.6.3. Procesos de remoción de contaminantes en un humedal artificial.....	44
5.6.4. Mecanismos de depuración de los humedales artificiales	46
5.6.4.1. Eliminación de sólidos en suspensión	46
5.6.4.2. Eliminación de materia orgánica.....	46
5.6.4.3. Eliminación de nutrientes	46
5.6.4.4. Eliminación de organismos patógenos	48
5.6.5. Experiencia con humedales artificiales en El Salvador.....	49
5.6.5.1. Humedal artificial del Regimiento de Caballería, Fuerza Armada de El Salvador	49

5.6.5.2. Humedal artificial del municipio de San José Las Flores, departamento de Chalatenango.....	50
5.6.6. Experiencias desarrolladas en Centroamérica con humedales artificiales	51
5.6.6.1. Humedal artificial de Masaya, Nicaragua	51
5.6.6.2. Eficiencia de remoción de las unidades del biofiltro	52
5.7. FILTROS BIOLÓGICOS Y SU FUNCIÓN EN LOS PROCESOS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	53
5.7.1. Aspectos microbiológicos.....	53
5.8. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	54
5.8.1. Ecuación de Darcy para el flujo en un medio poroso	54
5.8.2. Criterios de diseño de humedales en función de los requerimientos hidráulicos	55
5.8.3. Diseño de humedales en función de la remoción de DBO ₅	55
5.8.3.1. Ecuaciones utilizadas.....	56
5.8.4. Descripción de las especies vegetales utilizadas.....	57
5.8.4.1. <i>Phragmites australis</i>	57
5.8.4.2. <i>Typha sp</i>	58
5.9. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA).....	59
5.9.1. Caracterización de los efluentes obtenidos en el tratamiento terciario a través del Índice de Calidad del Agua Residual (ICA)	59
5.9.1.1. Estimación del índice de calidad de agua general “ICA”	59
5.9.2. Cálculo matemático del Índice de Calidad del Agua (ICA)	62
5.10. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ANDA.....	63
5.10.1. Caracterización de los efluentes obtenidos en el tratamiento secundario	69
VI. METODOLOGÍA.....	72
6.1. REVISIÓN DE LITERATURA	72
6.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO.....	72
6.3. SELECCIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES A UTILIZAR.....	73
6.4. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN EL AFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	73
6.5. DESCRIPCIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL Y SU UBICACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO	73

6.6. CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO PARA EL DISEÑO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	74
6.7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	74
6.8. CONSTRUCCIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	79
6.9. MANEJO DE LAS ESPECIES VEGETALES <i>PHRAGMITES AUSTRALIS</i> Y <i>TYPHA SP</i>	80
6.9.1. Obtención y propagación de la especie vegetal	81
6.9.2. Manejo agronómico de las especies vegetales para su cultivo en vivero	81
6.9.3. Trasplante a los humedales artificiales	84
6.9.4. Aclimatación de las especies vegetales en los humedales.....	85
6.10. FASE DE MANTENIMIENTO EN CAMPO: SEGUIMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES ..	86
6.11. PUNTOS Y MOMENTOS DE LOS MUESTREOS	86
6.12. METODOLOGÍA DE MUESTREO.....	88
6.13. PARÁMETROS CONSIDERADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	90
6.13.1. Período de realización de pruebas de laboratorio y lugares de análisis de muestras	91
6.14. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	91
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	92
7.1. DETERMINACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS DE LA NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO.13.49.01:09 “AGUAS. AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR”	92
7.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE PARÁMETROS CONTAMINANTES	135
7.3. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ADECUADO DE ESTABILIZACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES	143
7.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	146
7.4.1. Coeficiente de correlación	146
7.4.2. Coeficiente de correlación cofenética	148
7.5. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS AFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	149
7.6. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA	150
7.6.1. Cálculo del ICA para las aguas efluentes de la PTAR de San Luis Talpa	150
7.6.2. Cálculo del ICA para las aguas efluentes del humedal artificial sub superficial cultivado con <i>Phragmites australis</i> en la PTAR de San Luis Talpa	151

7.6.3. Cálculo del ICA para las aguas efluentes del humedal artificial superficial cultivado con <i>Typha sp</i> en la PTAR de San Luis Talpa	152
VIII. CONCLUSIONES	155
IX. RECOMENDACIONES.....	158
X. BIBLIOGRAFÍA.....	160
XI. ANEXOS	164

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1. Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario, para descargar a un cuerpo receptor.	31
Cuadro 2. Frecuencia mínima de muestreo y análisis de aguas residuales de tipo ordinario.	33
Cuadro 3. Requerimiento para toma de muestras, recipientes para muestreo y preservantes de componentes en agua.	34
Cuadro 4. Métodos de análisis para la determinación de los parámetros en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.	35
Cuadro 5. Principales funciones desarrolladas en los humedales artificiales para la depuración de aguas residuales.	45
Cuadro 6. Clasificación del Índice de Calidad del Agua.	60
Cuadro 7. Clasificación del Índice de Calidad del Agua de acuerdo a usos específicos.	61
Cuadro 8. Generalidades de la PTAR del municipio de San Luis Talpa, La Paz.	63
Cuadro 9. Registro de análisis de la calidad del agua del efluente de la PTAR de tipo ordinario San Luis Talpa, 2011.	70
Cuadro 10. Registro de análisis de la calidad del agua del efluente de la PTAR de San Luis Talpa, 2012.	70
Cuadro 11. Registro de análisis de la calidad del agua del efluente de la PTAR de San Luis Talpa.	71
Cuadro 12. Parámetros de diseño del humedal artificial sub superficial cultivado con <i>Phragmites australis</i> .	76
Cuadro 13. Parámetros de diseño del humedal artificial superficial cultivado con <i>Typha sp.</i>	77
Cuadro 14. Parámetros en estudio para las aguas residuales de la PTAR de San Luis Talpa.	90
Cuadro 15. Resultados de los análisis de agua residuales realizadas a las muestras del afluente de la PTAR de San Luis Talpa.	92

Cuadro 16. Resultados de los análisis de agua residuales realizadas a las muestras del efluente de la PTAR de San Luis Talpa.	97
Cuadro 17. Evolución del promedio de las cuantificaciones de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en las determinaciones del efluente de la PTAR de San Luis Talpa.	103
Cuadro 18. Resultados de los análisis de agua residuales realizadas a las muestras del efluente del humedal artificial de flujo sub superficial cultivado con Carrizo, <i>Phragmites australis</i> .	104
Cuadro 19. Sistematización de la precipitación pluvial promedio de los últimos 20 años en la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de El Salvador.	108
Cuadro 20. Sistematización de la Temperatura ambiental registrada en los procesos de muestreo en la investigación realizada en la planta de Tratamiento de San Luis Talpa.	109
Cuadro 21. Resultados de los análisis de aguas residuales realizadas a las muestras del efluente del humedal artificial de flujo superficial cultivado con <i>Typha sp</i> en la PTAR de San Luis Talpa.	121
Cuadro 22. Sistematización de la relación Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno en las aguas efluentes del humedal artificial superficial cultivado con <i>Typha sp</i> .	124
Cuadro 23. Sistematización de los promedios de los resultados de cada uno de los parámetros en estudio para el período octubre 2013 hasta marzo 2014 en los cuatro puntos de muestreo en la PTAR de San Luis Talpa.	133
Cuadro 24. Remoción de los contaminantes en estudio para el humedal artificial sub superficial cultivado con <i>Phragmites australis</i> , en la PTAR de San Luis Talpa.	137
Cuadro 25. Remoción de los contaminantes en estudio para el humedal artificial superficial cultivado con <i>Typha sp</i> .	139
Cuadro 26. Remoción de contaminantes en estudio para el humedal artificial de flujo superficial cultivado con <i>Typha sp</i> en el Regimiento de Caballería y en la PTAR de San Luis Talpa	140

Cuadro 27. Remoción de contaminantes en el sistema conjunto de humedales artificiales en la PTAR de San Luis Talpa.	141
Cuadro 28. Remoción de contaminantes en el sistema conjunto de humedales artificiales cultivados con <i>Phragmites australis</i> seguido por <i>Typha sp</i> en el regimiento de Caballería y en el municipio de San Luis Talpa.	142
Cuadro 29. Remoción de contaminantes en el agua efluente del humedal artificial cultivado con <i>Phragmites australis</i> y el conjunto de sistemas de humedales en la PTAR de San Luis Talpa.	143
Cuadro 30. Sistematización de la Demanda Química de Oxígeno para las aguas efluentes de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	144
Cuadro 31. Sistematización de la Demanda Química de Oxígeno para las aguas efluentes del humedal artificial sub superficial cultivado con <i>Phragmites australis</i> .	145
Cuadro 32. Sistematización del parámetro de Demanda Química de Oxígeno para las aguas efluentes del humedal artificial superficial cultivado con <i>Typha sp</i> .	145
Cuadro 33. Sistematización de la Temperatura ambiental en la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	146
Cuadro 34. Coeficientes de correlación de Pearson para las variables en estudio.	146
Cuadro 35. Resultados de la determinación de los elementos Boro, Plomo y Mercurio en el agua afluente de la PTAR de San Luis Talpa, enero de 2014.	150

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Vista esquemática de un humedal artificial de flujo superficial.	42
Figura 2. Vista esquemática de un humedal artificial sub-superficial de flujo horizontal.	43
Figura 3. Vista esquemática de un humedal sub-superficial de flujo vertical.	44
Figura 4. Rejilla, desarenador y canaleta Parshall de la PTAR de San Luis Talpa.	64
Figura 5. Decantador primario en la PTAR de San Luis Talpa.	65
Figura 6. Filtro biológico de la PTAR de San Luis Talpa.	66
Figura 7. Vertederos para distribución de aguas en la parte superior del filtro biológico.	66
Figura 8. Decantador secundario de la PTAR de San Luis Talpa.	67
Figura 9. Gradas de aireación de la PTAR de San Luis Talpa.	67
Figura 10. Digestor de lodos de la PTAR de San Luis Talpa.	68
Figura 11. Patios de secado de lodos de la PTAR de San Luis Talpa.	69
Figura 12. Ubicación de la PTAR de ANDA en San Luis Talpa, departamento de La Paz.	72
Figura 13. Unidades de las que estaba compuesto el humedal artificial secuencial.	74
Figura 14. Disposición de la grava utilizada como sustrato en el humedal artificial cultivado con <i>Phragmites australis</i> .	77
Figura 15. Caja de colecta y abastecimiento de aguas residuales para los humedales artificiales.	78
Figura 16. Tubería de PVC y válvulas para control de flujo en los humedales.	79
Figura 17. Construcción de los humedales: Materiales utilizados.	80
Figura 18. Construcción de los humedales: Impermeabilización de la unidad.	80
Figura 19. Plantas de <i>Phragmites australis</i> en etapa de vivero.	82
Figura 20. Daño foliar causado por el hongo <i>Fusarium sp</i> en un ejemplar de <i>Phragmites australis</i> .	83
Figura 21. Ataque de áfidos en la especie vegetal <i>Phragmites australis</i> .	83
Figura 22. Preparación del sistema radicular de <i>Phragmites australis</i> para su cultivo en el humedal artificial correspondiente.	84
Figura 23. Desarrollo de las especies vegetales sembradas en los humedales artificiales, octubre de 2013.	85

Figura 24. Poda realizada a la especie <i>Phragmites australis</i> en enero de 2014.	86
Figura 25. Esquema general del funcionamiento del humedal artificial: tratamientos primario y secundario, y humedales artificiales.	87
Figura 26. Proceso de muestreo en el punto T1: Afluente de la Planta de Tratamiento.	89
Figura 27. Acondicionamiento de las muestras de agua en hielera para su traslado.	89
Figura 28. Muestras de aguas residuales listas para ser entregadas a los laboratorios.	90
Figura 29. Sistematización de la DQO y DBO ₅ en el afluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	94
Figura 30. Sistematización de los Nitratos y Fosfatos para el afluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	95
Figura 31. Sistematización del pH para el afluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	96
Figura 32. Sistematización de la Temperatura para el afluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	96
Figura 33. Sistematización de la DQO, DBO ₅ , Aceites y Grasas, para el efluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	98
Figura 34. Sistematización de los Nitratos y Fosfatos para el efluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	100
Figura 35. Sistematización de los parámetros microbiológicos Coliformes Fecales y Coliformes Totales para el efluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	101
Figura 36. Sistematización del pH para el efluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.	101
Figura 37. Sistematización de la Temperatura para el efluente de la planta de tratamiento “San Luis Talpa”.	102
Figura 38. Sistematización de la DBO ₅ y de la DQO, en el efluente del humedal artificial, cultivado con <i>Phragmites australis</i> .	105
Figura 39. Estado de senescencia en <i>Phragmites australis</i> en enero de 2014, en el humedal artificial de flujo sub superficial.	109
Figura 40. Sistematización de los Aceites y Grasas en el efluente del humedal sub superficial cultivado con <i>Phragmites australis</i> .	111

Figura 41. Sistematización de los Nitratos y Fosfatos en el efluente del humedal artificial sub superficial cultivado con <i>Phragmites australis</i> .	113
Figura 42. Sistematización de los parámetros microbiológicos Coliformes Fecales y Coliformes Totales en el efluente del humedal artificial sub superficial, cultivado con <i>Phragmites australis</i> .	116
Figura 43. Sistematización del pH en el efluente del humedal artificial sub superficial, cultivado con <i>Phragmites australis</i> .	118
Figura 44. Sistematización del pH en el efluente del humedal artificial sub superficial, cultivado con <i>Phragmites australis</i> .	119
Figura 45. Sistematización de la DQO y DBO ₅ en el efluente del humedal artificial superficial cultivado con <i>Typha sp.</i>	122
Figura 46. Estado de la especie vegetal <i>Typha sp</i> en febrero de 2014, posterior al daño sufrido.	125
Figura 47. Sistematización de los Aceites y Grasas en el efluente del humedal artificial superficial cultivado con <i>Typha sp.</i>	126
Figura 48. Sistematización de los Fosfatos y Nitratos en el efluente del humedal artificial superficial, cultivado con <i>Typha sp.</i>	128
Figura 49. Sistematización de los parámetros Coliformes Totales y Coliformes Fecales en el efluente del humedal artificial superficial, cultivado con <i>Typha sp.</i>	129
Figura 50. Sistematización de la Temperatura en el efluente del humedal artificial superficial, cultivado con <i>Typha sp.</i>	132
Figura 51. Sistematización del pH, para el efluente del humedal artificial superficial cultivado con <i>Typha sp.</i>	133
Figura 52. Gráfico Biplot para las variables Fosfatos, Nitratos, Coliformes Fecales y Coliformes Totales.	148

Índice de Anexos

	Página
Anexo 1. Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a Un Cuerpo Receptor”	164
Anexo 2. Guía de la Organización Mundial de La Salud para la Calidad del Agua Potable.	177
Anexo 3. Artículo 21 del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales de Costa Rica.	184
Anexo 4. Cadenas de custodia para los muestreos realizados en el período octubre de 2013 a marzo de 2014 en la planta de tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa.	185
Anexo 5. Resultados de análisis realizados para los parámetros en estudio por los laboratorios de ANDA y FUSADES, correspondientes al período octubre 2013 a marzo 2014, para las aguas residuales de la planta de tratamiento “San Luis Talpa”.	191
Anexo 6. Resultados de análisis de aguas residuales realizados en la planta de tratamiento de San José Las Flores, Chalatenango, en octubre del 2008.	231
Anexo 7. Resultados de aforos y análisis de aguas residuales realizados en la planta de tratamiento de Masaya, Nicaragua.	231
Anexo 8. Cuantificación de las Grasas y Aceites en la planta de Tratamiento del municipio de San José Las Flores, de Chalatenango, octubre de 2008.	231
Anexo 9. Resultados de aforos y análisis de aguas residuales realizados en la planta de tratamiento de Masaya, Nicaragua.	231
Anexo 10. Resultados de aforos y análisis realizados en la planta de tratamiento de San José Las Flores en octubre del 2008.	232
Anexo 11. Parámetros promedios registrados en 27 humedales artificiales de flujo superficial en el año 2000 monitoreados por la EPA.	232
Anexo 12. Remoción de parámetros en estudio estipulados en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor” en el humedal artificial sub superficial en la PTAR “San Luis Talpa”.	233

Anexo 13. Remoción de parámetros estipulados en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor en el humedal artificial superficial en la PTAR “San Luis Talpa”.	234
Anexo 14. Remoción de parámetros estipulados en Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor comparando el efluente de la planta de tratamiento contra el efluente del humedal artificial superficial en la PTAR “San Luis Talpa”.	235
Anexo 15. Excursiones para las cuantificaciones de los parámetros en estudio en el agua efluente de la planta de tratamiento San Luis Talpa	236
Anexo 16. Excursiones para las cuantificaciones de los parámetros en estudio en el agua efluente del humedal artificial sub superficial cultivado con <i>Phragmites australis</i> en la PTAR San Luis Talpa.	237
Anexo 17. Excursiones para las cuantificaciones de los parámetros en estudio en el agua efluente del humedal artificial superficial cultivado con <i>Typha sp</i> en la planta de tratamiento San Luis Talpa.	238

Resumen

Burgos Huevo, HE. 2015. Uso de humedales artificiales como tratamiento terciario para la depuración de aguas residuales ordinarias en la Planta de Tratamiento del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador. Tesis de Maestro en Gestión Integral del Agua. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. 238 p.

La depuración de aguas residuales es un tema de interés mundial, pues la disponibilidad de ésta en cantidad y calidad adecuada, repercute directamente en el desarrollo de una sociedad. En la presente investigación se implementó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, en El Salvador, un humedal artificial secuencial, como tratamiento terciario para aguas residuales, cultivado primeramente con Carrizo, *Phragmites australis*; seguido de uno cultivado con Espadaña, *Typha sp.* Para determinar su capacidad de depuración, se cuantificaron, por un período de seis meses, parámetros Físicos, Químicos, Microbiológicos y Nutrientes. Sus cuantificaciones fueron comparadas con los valores máximos permisibles de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09: “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”. Los resultados obtenidos muestran que en cuanto al promedio de las cuantificaciones, ambas secciones del humedal lograron valores debajo del límite máximo permisible por la NSO, para los parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Fosfatos, Nitratos, pH y Temperatura; pero no fueron eficaces para la reducción de Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Aceites y Grasas. A través de la Demanda Química de Oxígeno se comprueba que la capacidad depuradora de ambas secciones del humedal, se inicia y establece desde los primeros meses de instalación de los mismos. El Índice de Calidad del agua calculado demuestra que los humedales generan efluentes caracterizados como malos, y su uso para diversas actividades estaría limitado, pues no superan el 40%.

Palabras claves: aguas residuales, humedales artificiales, contaminación, tratamiento, Norma Salvadoreña, cuerpo receptor, *Phragmites*, *Typha*.

Abstract

Burgos Huevo, HE. 2015. Use of artificial wetlands as tertiary treatment for purification of ordinary waste waters in the wastewater treatment plant located in San Luis Talpa town, La Paz, El Salvador. Tesis of Master in Integral Management of Water. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. 238 p.

The purification of waste waters is a topic of world interest, since the availability of this, in suitable quantity and quality, impacts directly the development of a society. In this research a sequential artificial wetland was implemented in the wastewater treatment plant located in San Luis Talpa town, in La Paz, El Salvador, as a tertiary treatment for waste waters. Firstly cultivated with Carrizo, *Phragmites australis*, and secondly with Espadaña, *Typha sp.* To determine its purification capacity, physical, chemical, microbiological and nutritional parameters were quantified during a six-month period. These quantifications were compared to the permissible maximum values regulated by the Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”. “Waste Waters Loaded to a Receiving Carcass”. The obtained results show that, on regards to the average of quantifications, both sections of the wetlands achieved values below the permissible maximum values regulated by the NSO for the parameters: Chemical Demand of Oxygen, Biochemical Demand of Oxygen, Phosphates, Nitrates, pH and Temperature, but they were not effective to reduce the Fecal Coliforms, Total Coliforms, Oils and Fats. It was proved through the Chemical Demand of Oxygen that the purifying capacity of both sections of the wetland begins and it is established since the first months short after their installation. The calculated index of quality of the water demonstrates that the wetlands generate effluents considered faulty, and their use would be limited for different activities as they did not meet at least 40%.

Key words: waste waters, artificial wetlands, pollution, treatment, Norma Salvadoreña (Salvadorean Norm), receiving carcass, *Phragmites*, *Typha*.

I. Introducción

El acceso al agua potable en cantidad y calidad adecuada, representa uno de los factores determinantes en el desarrollo económico y social de una población, por su relación con temas de importancia nacional como la salud y el bienestar general de la población.

En El Salvador, se estima que cerca del 90% de las aguas superficiales y subterráneas se encuentran contaminadas, tanto por aguas residuales de tipo ordinario como por aguas especiales derivadas de distintas actividades humanas. De acuerdo a algunos estudios, sólo un 2% o 3% reciben algún tipo de tratamiento antes de ser vertidas a cuerpos receptores (Dimas, citado por FUSADES 2008). Esto es importante en un país que podría entrar a un estado de “stress hídrico” hacia el 2021, y en el que la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas se considera como uno de los principales causantes del mismo.

En este sentido, se vuelve necesaria la generación y validación de tecnologías, que permitan la depuración de las aguas residuales, a través de procesos de comprobada eficiencia en la remoción de contaminantes presentes en ellas (Colín Cruz et al 2009, Bernal et al 2003, Alejo Nabor et al 1999). En la presente investigación se puso a prueba bajo condiciones locales, la tecnología de humedales artificiales, para mejorar las características microbiológicas, físicas y químicas de las aguas residuales.

Este estudio se llevó a cabo en la planta de depuración de aguas residuales, ubicada en el municipio de San Luis Talpa, en el departamento de La Paz, la cual es administrada por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), para la depuración de las aguas ordinarias provenientes del casco urbano de ese municipio. La investigación se basó en el establecimiento de un humedal artificial secuencial, constituido por dos sub unidades: la primera es de tipo sub superficial, cultivado con Carrizo (*Phragmites australis*), y la segunda es de flujo superficial, cultivada con Espadaña (*Typha sp*).

Las dimensiones utilizadas en cada una de las unidades fueron: 0.85 m de ancho x 2.50 m de largo x 0.70 m de alto y 1.0 m de ancho x 3.0 m de largo x 0.70 m de alto; y tiempos de retención hidráulica de 0.63 y 1.02 días, respectivamente.

Las aguas efluentes de los humedales provienen del proceso de depuración del agua luego de su paso por el filtro biológico, un tratamiento primario (decantador primario) y un secundario (decantador secundario), realizados en aguas de tipo ordinario que provienen del sistema de alcantarillado del casco urbano del municipio de San Luis Talpa. La planta en su conjunto es administrada y operada por la ANDA, y con su personal fueron establecidas las coordinaciones necesarias para el establecimiento, manejo y posterior implementación de los humedales artificiales.

El objetivo general de este trabajo fue validar el uso de humedales artificiales de tipo horizontal y flujo sub-superficial y superficial, como una alternativa para el tratamiento terciario de aguas residuales de tipo ordinario, para ello se cuantificaron por un período de seis meses los parámetros siguientes: Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Fosfatos, Nitratos, pH, Temperatura, Aceites y Grasas. Sus estimaciones fueron comparadas con los valores máximos permisibles de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”, vigente en el país.

El principal aporte que la investigación brindó fue comprobar que la tecnología de humedales artificiales es eficiente para la depuración de los parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, pH y Temperatura; pero no fueron eficientes en la remoción de los parámetros microbiológicos: Coliformes Fecales y Coliformes Totales, así como de los Aceites y Grasas.

En la investigación se consideró el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) en tres puntos de interés: el efluente de la planta de tratamiento y a la salida de cada una de las dos secciones del humedal artificial. En ninguno de los casos, dicho Índice de Calidad supera el 40%, lo que tipificaría las aguas como “malas” de acuerdo a la clasificación general y, en función de la clasificación por los usos específicos, presentarían limitantes para su utilización a distintos niveles.

II. Planteamiento del Problema

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) citada por Blanco (2007), dimensiona la problemática de las aguas residuales en la región de América Latina y el Caribe, señalando que anualmente son vertidos a cuerpos receptores, un aproximado de 100 millones de metros cúbicos de las mismas, por parte de los cerca de 480 millones de personas que en ella habitan.

El caso específico de El Salvador, no es la excepción, ya que sólo un 2% o 3% del caudal de aguas residuales generado en el país recibe algún tipo de tratamiento antes de ser vertido a ríos o quebradas (Dimas, citado por FUSADES 2008).

FUSADES (2008) menciona que a la contaminación generada por las aguas de tipo ordinario, derivadas de servicios sanitarios y de otros usos domésticos, se suman aquellas generadas por aguas especiales, que provienen de diversas actividades como: cultivos intensivos, beneficios de café, ingenios azucareros, industrias químicas y textiles, rastros, curtiembres y botaderos de desechos sólidos a cielo abierto, y que en su conjunto han generado la contaminación del 90% de las aguas superficiales y subterráneas del país.

Esta panorámica general de las aguas residuales tiene implicaciones directas en el desarrollo económico y social, y en la salud de la población que se abastece de estos cuerpos de agua; ya que de acuerdo al Ministerio de Salud (MINSAL), se reporta un incremento en el número de casos de diarreas y gastroenteritis, habiendo pasado de 30,181 a 65,692 casos en el período 2008-2012, con los consecuentes costes económicos, que su atención tiene para la sociedad en general.

La planta de tratamiento de aguas residuales ordinarias, ubicada en el municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, es parte de los esfuerzos estatales por mejorar la calidad de las aguas residuales y reducir sus efectos al ser descargadas al cuerpo receptor. Su operación, administración y mantenimiento, son realizados por parte de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

Su funcionamiento en la actualidad se encuentra limitado por problemas en el mantenimiento de la misma. Dicha situación se evidencia en el estado actual del filtro biológico, el cual se encuentra obstruido por la formación de una capa superficial (biopelícula) que reduce la capacidad del agua residual de fluir libremente en el lecho filtrante, con la consecuente reducción de la capacidad de depuración de las aguas residuales.

Al factor ya mencionado, debe de agregarse que la tecnología existente en la PTAR de San Luis Talpa, en sí misma “no tiene suficiente capacidad para la reducción de parámetros específicos como: los Microbiológicos, Coliformes Fecales y Totales”, generan la necesidad de que los efluentes obtenidos deban de pasar por un proceso de cloración antes de ser finalmente vertidos al cuerpo receptor (Ing. M. Sc. Roberto Avelar, Gerente de Saneamiento del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MARN).

Este contexto puso en evidencia, la necesidad de la generación y validación bajo las condiciones de país, de información de tecnologías de depuración de comprobada eficiencia y eficacia para la remoción de contaminantes, como la obtenida a través de los humedales artificiales, en los que se producen y reproducen procesos físicos, químicos y biológicos; como los que se generan en la naturaleza para el mejoramiento de las características de las aguas efluentes (Colín Cruz et al 2009, Bernal et al 2003, Alejo Nabor et al 1999).

Esta investigación, en la que se utilizó humedales artificiales como tratamiento terciario de aguas residuales, es un aporte para el desarrollo de información, a escala piloto, de una tecnología que no tiene amplia difusión en nuestra sociedad y que podrá servir de base para el posterior estudio y diseño de iniciativas de mayor escala, bajo las dos premisas básicas siguientes:

- a. Su replicabilidad en diversas zonas del país, bajo diversas condiciones sociales, ambientales y económicas.
- b. Se ha determinado su capacidad para generar bajo nuestras condiciones, efluentes que cumplan con la normativa legal vigente en el país, para el vertido a cuerpos receptores.

III. Objetivos

3.1. Objetivo General

Implementar el uso de humedales artificiales secuenciales de tipo horizontal, de flujo sub-superficial y superficial, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, del municipio de San Luis Talpa, en el departamento de La Paz, como tratamiento terciario para la depuración de aguas residuales de tipo ordinario provenientes del uso domiciliario del municipio.

3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar el uso de humedales artificiales secuenciales de tipo horizontal, de flujo sub-superficial y superficial, como tratamiento terciario para la depuración de aguas residuales de tipo ordinario.
- Determinar los porcentajes de remoción y el contenido de los parámetros Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, pH, Aceites y Grasas, en cada una de las etapas del tratamiento.
- Verificar si los parámetros antes mencionados cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.
- Determinar el tiempo de estabilización, para la remoción de contaminantes en cada una de las etapas establecidas de los humedales artificiales.
- Conocer la correlación estadística existente entre las variables en estudio.
- Utilizar el Índice de Calidad del Agua (ICA) para conocer las características del agua obtenida en cada una de las etapas del humedal artificial.

IV. Hipótesis

La actividad conjunta de factores bióticos y abióticos desarrollados en el sistema de humedales artificiales horizontales, instalados de manera secuencial, permitirá lograr el tratamiento de aguas residuales y obtener agua con la calidad establecida según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.

V. Marco Teórico Conceptual

5.1. Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)

Hacia el año 2000, en el marco de la Declaración del Milenio, durante la Cumbre del Milenio, fueron establecidos ocho objetivos y un conjunto de metas e indicadores básicos, varios de ellos referidos a temas centrales para lograr la sostenibilidad ambiental, con un horizonte de cumplimiento fijado para el año 2015. Los objetivos son los siguientes:

ODM 1: Erradicar la pobreza extrema y el hambre.

ODM 2: Lograr la enseñanza primaria universal.

ODM 3: Promover la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de la mujer.

ODM 4: Reducir la mortalidad de los niños menores de 5 años

ODM 5: Mejorar la salud materna.

ODM 6: Combatir el VIH-SIDA, la malaria y otras enfermedades.

ODM 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente.

ODM 8: Fomentar una alianza mundial para el desarrollo.

De los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio, cinco están relacionados con lo que el PNUD ha llamado la seguridad hídrica: los objetivos de reducir la pobreza extrema y el hambre, lograr la enseñanza primaria universal, promover la equidad entre los géneros, reducir la mortalidad infantil y garantizar la sostenibilidad del medio ambiente.

En el caso específico del ODM 7: Asegurar la sostenibilidad medio ambiente, en la meta 10 se espera reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible a agua potable y saneamiento básico. Los indicadores propuestos para ello son: la proporción de población con acceso sostenible a una fuente mejorada de agua, urbana y rural; y la proporción de población urbana y rural con acceso a saneamiento mejorado (PNUD, 2006).

5.2. Causas de la contaminación del agua

Una corriente natural sana como un lago o río posee una capacidad limitada de autopurificación. Cuando esta capacidad se destruye o se agota la corriente se contamina. Esta función natural de autopurificación es llevada a cabo sobre todo por bacterias, hongos y algas,

los cuales a su vez forman parte de cadenas alimentarias desarrolladas en dicho cuerpo de agua (Gutiérrez et al, 2003).

En los procesos de purificación natural las materias orgánicas que llegan a un cuerpo receptor se descomponen finalmente en compuestos simples como anhídrido carbónico o metano, y los microorganismos aumentan en número. La ruptura de esta secuencia lógica generará que los solutos contaminantes que entran en el agua no se descompongan y se acumulen en ella.

Según se acumulen los contaminantes en el agua su concentración puede hacerse tan alta que no se podrá restablecer su población microbiana, quedando el agua permanentemente contaminada. En términos generales se describirán algunos tipos de contaminación que pueden desarrollarse en el agua (Gutiérrez et al, 2003).

5.2.1. Envenenamiento

Este proceso ocurriría si se descargan residuos tóxicos en el cuerpo receptor. Los diferentes tipos de organismos presentan, distintas susceptibilidades a los materiales tóxicos. Las materias tóxicas que llegan al agua y que pueden descomponerse por procesos naturales, biológicos o químicos se conocen como venenos parciales, mientras que, los venenos verdaderos son aquellos que no pierden su toxicidad. Dentro de este grupo se incluyen muchos metales pesados como el Plomo y el arsénico, así como algunos plaguicidas, los que lógicamente no pueden ser descompuestos por procesos naturales, químicos ni biológicos (Gutiérrez et al, 2003).

5.2.2. Introducción de nutrientes a la corriente de agua

Los nutrientes disueltos causan contaminación en el agua cuando entran en una corriente en cantidades suficientes para destruir la capacidad de auto purificación. Dentro de estos procesos es importante el oxígeno disuelto pues es esencial en los procesos aeróbicos de descomposición, por ello, cuando los organismos aeróbicos utilizan el oxígeno disuelto y éste no es repuesto, empiezan a sucederse procesos anaeróbicos, los cuales son lentos y generan malos olores. Por lo anteriormente expuesto, se considera la disponibilidad de oxígeno libre

disuelto en el agua como el factor clave que limita la capacidad de auto purificación de una corriente de agua (Gutiérrez et al, 2003).

5.2.3. Contaminación térmica

Esta contaminación sería el resultado lógico del incremento de la Temperatura de una corriente de agua. Se generan dos procesos en cuanto al aumento de la Temperatura en un cuerpo de agua: en primer lugar, el oxígeno resulta menos soluble en el agua y, en segundo lugar, la actividad metabólica de los microorganismos aumenta.

Lo anterior genera un problema en cuanto se involucran simultáneamente una disminución en la disponibilidad de oxígeno disuelto y un aumento en la tasa a la que se consume por parte de los microorganismos (Gutiérrez et al, 2003).

5.2.4. La Eutroficación

Este proceso puede entenderse como la contaminación de un cuerpo de agua por un fuerte crecimiento orgánico, el cual es estimulado por nutrientes inorgánicos. Los organismos que predominan en este proceso son microorganismos fotosintéticos llamados algas, las cuales utilizan la energía de la luz para sintetizar materias orgánicas complejas a partir de anhídrido carbónico, agua y algunos otros materiales, principalmente fósforo y nitrógeno. Las implicaciones de este proceso se dan en dos vías principalmente:

- a. El proceso de fotosíntesis implica la creación de materia orgánica a partir de materiales inorgánicos, y por tanto, la producción de cantidades de sustancias orgánicas donde antes existían unas pocas. Cuando los organismos fotosintéticos mueren sus componentes se convierten en nutrientes orgánicos ejerciendo una demanda de oxígeno sobre la corriente acuática.
- b. En ausencia de luz muchos tipos de algas usan el oxígeno para obtener energía de la descomposición oxidativa de compuestos orgánicos previamente fotosintetizados. En efecto, almacenan energía luminosa en forma de energía química para usarla en ausencia de luz, lo que implica que se genera una secuencia de súper saturación de una corriente de agua en el día, que podrá causar una seria desoxigenación durante la noche. En casos extremos, con una cubierta algácea muy gruesa, puede que la luz no penetre hasta los

estratos inferiores de la cubierta, por lo que, aun de día, las algas en los niveles inferiores utilizan el oxígeno (Gutiérrez et al, 2003).

5.2.5. Desechos domésticos y agrícolas

Los compuestos orgánicos de nitrógeno están presentes en los desechos domésticos y agrícolas, y los compuestos inorgánicos de nitrógeno se encuentran en ciertos desechos industriales y fertilizantes agrícolas.

5.2.5.1. Amoníaco

El amoníaco es un producto característico de la materia orgánica y se oxida microbiológicamente a Nitratos y nitritos. Estos procesos ocurren con bastante naturalidad en las corrientes de agua y constituyen una importante contribución a los procesos de auto purificación. No obstante las altas concentraciones de compuestos en los ríos son causas de preocupación, y es muy probable que se deriven de la disolución de los fertilizantes en los terrenos agrícolas o de la descarga de residuos animales o industriales.

El amoníaco como iones amonio o como amoníaco libre es el contaminante nitrogenado que se encuentra con mayor frecuencia, ya que además de ser un producto natural de descomposición es un producto industrial clave. El amoníaco en solución acuosa es tóxico para la fauna acuática a concentraciones en el agua de unas cuantas partes por millón. La exacta concentración depende del pH y la Temperatura del agua, ya que ellos afectan las proporciones del amoníaco libre en equilibrio con los iones amonio (Gutiérrez et al, 2003).

5.3. Legislación vigente en El Salvador sobre aguas residuales

5.3.1. Constitución de la República de El Salvador

En términos legales el tema del manejo de aguas residuales se encuentra considerado en dos artículos de la Constitución de la República: el artículo 65 hace referencia a la salud como un bien público y la obligación del Estado y las personas a velar por su conservación, y el artículo 117 establece el deber del Estado de proteger los recursos naturales, la diversidad e integridad

del medio ambiente, garantizar el desarrollo sostenible y declara de interés social la protección de los recursos naturales (COSUDE, 2012).

5.3.2. Ley de Medio Ambiente

La Ley de Medio Ambiente hace referencia al tema del manejo de las aguas residuales, sobre todo en lo que concierne al control de la contaminación y protección del recurso hídrico, así como también sienta las bases para la creación de la reglamentación y normativa técnica especial. La Ley hace referencia a dos aspectos fundamentalmente:

- a. La coordinación entre el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Ambientales (MARN), el Ministerio de Salud (MINSAL) y otras autoridades competentes en el tema, para el control de la contaminación de los cuerpos receptores.
- b. La competencia del MARN de supervisar la calidad y disponibilidad del agua, y la base legal para la creación del reglamento especial de aguas residuales, que garantice el tratamiento previo de los vertidos por el generador.

5.3.3. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor” (NSO)

En el Diario Oficial de El Salvador 2009, en el Tomo número 382, se estipula la aprobación de la norma que rige el vertido de aguas residuales de cualquier tipo a cuerpos receptores. La norma técnica fue emitida por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

El objetivo fundamental de dicha norma es establecer las características y valores físico-químicos, microbiológicos y radioactivos permisibles, que debe presentar el agua residual para proteger y rescatar los cuerpos receptores; así mismo, es de aplicación en todo el país para la descarga de aguas residuales vertidas a cuerpos de agua receptores superficiales (CONACYT, 2009).

En este sentido, CONACYT (2009) establece la existencia de dos tipos de aguas residuales, esto en función del origen de las mismas:

- a. Aguas residuales de tipo ordinario: agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.
- b. Aguas residuales de tipo especial: agua residual generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideren de tipo ordinario.

5.3.3.1. Parámetros para la caracterización del vertido de aguas residuales de tipo ordinario

En el cuadro 1 se presentan los valores máximos de los parámetros básicos de aguas residuales de tipo ordinario, que son necesarios para que las aguas tratadas puedan ser vertidas en cuerpos receptores, de acuerdo a la NSO.

Han sido incluidos los parámetros de Coliformes Fecales, Coliformes Totales, pH, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, sin embargo, el Reglamento Especial de Aguas Residuales establece que solamente los primeros cinco son “esencialmente” necesarios para caracterizar los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales ordinarias (MARN, 2007).

Cuadro 1. Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario, para descargar a un cuerpo receptor.

Parámetro	Valor máximo permisible para aguas residuales de tipo ordinario
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	150 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	60 mg/l
Sólidos Sedimentables (SSd)	1 ml/l
Sólidos suspendidos Totales (SST)	60 mg/l
Aceites y Grasas (A y G)	20 mg/l
Coliformes Fecales (CF)	2,000 NMP/ 100 ml
Coliformes Totales (CT)	10,000 NMP/ 100 ml
Temperatura	20-35° C
pH	5.5-9.0 (Unidades de pH)
Fosfatos	50 (mg/l)

Nitratos	25 (mg/l)
----------	-----------

Fuente: CONACYT, 2009.

La NSO estipula que la caracterización del vertido podría incluir otra serie de parámetros de acuerdo a la actividad realizada y a los planes de adecuación ambiental, y otros dictámenes realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador. La NSO completa se muestra en el anexo 1.

Para el caso de los parámetros Nitratos y Fosfatos, ésta no establece límites máximos permisibles, por lo que para el primer caso se utilizará como límite máximo permisible el establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es de 50 mg/l (anexo 2); mientras que para Fosfatos se utilizará el establecido en la Norma de Costa Rica para vertido de líquidos a cuerpos receptores, cuyo valor es de 25 mg/l (anexo 3).

5.3.4. Reglamento Especial de Aguas Residuales

Es un reglamento de la Ley de Medio Ambiente que desarrolla el tema de las aguas residuales, su objeto es velar porque las aguas residuales no alteren la calidad de los cuerpos receptores para contribuir a su recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico respecto de los efectos de la contaminación; y la autoridad competente de su aplicación es el MARN.

Este reglamento establece los parámetros físico-químicos y la frecuencia con que deben realizarse los análisis obligatorios por laboratorios legalmente acreditados por CONACYT, para determinar la calidad de las aguas con base en normas técnicas de calidad ambiental (MARN, 2007).

5.3.4.1. Obligatoriedad del análisis de aguas residuales de tipo ordinario

De acuerdo al Artículo 13 del Reglamento Especial de Aguas Residuales (2007), contenida en la Ley de Medio Ambiente (2007), para las aguas residuales de tipo ordinario deberán ser analizados, esencialmente, los valores de los siguientes componentes:

- a. Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

- b. Potencial de Hidrógeno (pH).
- c. Aceites y Grasas (G y A).
- d. Sólidos sedimentales (SSed).
- e. Sólidos suspendidos Totales (SST).
- f. Coliformes Totales (CT).
- g. Cloruros (Cl-) (MARN, 2007).

De acuerdo al artículo 14 de dicho reglamento, el análisis de Coliformes Fecales será obligatorio cuando:

- a) Las aguas residuales fueren vertidas en medios receptores de agua utilizados para actividades recreativas de contacto primario, acuicultura o pesca;
- b) Se originen en hospitales, centros de salud, laboratorios microbiológicos, y
- c) En los casos del permiso ambiental. (MARN, 2007).

5.3.4.2. Frecuencia mínima de muestreo y de análisis de aguas residuales de tipo ordinario en plantas de tratamiento

El Reglamento Especial de Aguas Residuales establece en su artículo 18 que la frecuencia de muestreo dependerá del caudal con el que la planta de tratamiento funcione. En el cuadro 2 se detalla la periodicidad de muestreo en función del caudal diario (MARN, 2007).

Cuadro 2. Frecuencia mínima de muestreo y análisis de aguas residuales de tipo ordinario.

Parámetros	Caudal (m ³ /día)		
	Menor de 50	Mayor de 50	Mayor de 100
pH, Sólidos sedimentales y caudal	Mensual	Semanal	Diario
Aceites y Grasas	Anual	Semestral	Trimestral
DBO ₅	Trimestral	Trimestral	Trimestral
Sólidos suspendidos	Anual	Semestral	Trimestral
Coliformes Fecales	Trimestral	Trimestral	Trimestral

Fuente: MARN, 2007.

Para el caso de los Coliformes Totales no existe frecuencia de muestreo a pesar de que el artículo 13 lo establece como valor a ser determinado “esencialmente”.

5.3.4.3. Requerimiento para toma de muestras, recipientes para muestreo y preservantes de componentes en agua

La NSO establece criterios en cuanto a tipo de recipientes, preservantes, tiempos máximos de almacenamiento así como el volumen mínimo de muestra que deben de ser utilizados para cada uno de los parámetros que fueron analizados en la investigación (cuadro 3).

Cuadro 3. Requerimiento para toma de muestras, recipientes para muestreo y preservantes de componentes en agua.

Parámetro	Recipientes	Preservante	Tiempo máximo de almacenamiento	Volumen mínimo de muestra (ml)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Polietileno	Enfriar 4° C	4 horas	1,000
Demanda Química de Oxígeno	Polietileno	Enfriar 4° C	24 horas	1,000
Coliformes Totales	NE	NE	NE	NE
Coliformes Fecales	NE	NE	NE	NE
Nitratos	Polietileno	Enfriar a 4°C	24 horas	1,000
Fosfatos	Vidrio	Filtrado in situ, usando membrana filtrante de 0.45 µm, enfriar a 4° C.	24 horas	10,000
Temperatura	NE	NE	NE	NE
pH	Polietileno	Ninguno	Preferible tomar de inmediato	200
Aceites y Grasas	Vidrio	5 ml H ₂ SO ₄ /l muestra. Enfriar a 4° C	24 horas	1,000
Plomo	Polietileno	2 ml conc. HN03/L muestra	6 meses	1,000
Boro	Polietileno	Enfriar a 4° C	6 meses	1,000
Mercurio	Vidrio o teflón	1 ml. conc. H2S04 y 1 ml solución K2Cr2O7 al 5%/100 ml muestra	1 mes	1,000

Fuente: MARN, 2007.

NE: No especifica.

5.3.4.4. Métodos de análisis para la determinación de los parámetros contemplados en la Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO 13.49.01.09

La NSO establece los siguientes métodos estandarizados para análisis de los parámetros que estarán en evaluación en la investigación. Los mismos se detallan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Métodos de análisis para la determinación de los parámetros en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.

Parámetro	Número de referencia Standard Methods	Número de referencia ASTM
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5,210	NE
Demanda Química de Oxígeno	5,220	NE
Coliformes Fecales	9,221	NE
Coliformes Totales	9,221	NE
pH	4,500-H ⁺	D 1,293-99
Temperatura	2,550	NE
Nitratos	NE	NE
Fosfatos	NE	NE
Aceites y Grasas	5,520	D 3,921-96
Plomo	3500-PB	D 3559-96
Boro	4500-B	D3082-92
Mercurio	3500-HG	D 3223-02

Fuente: MARN, 2007.

NE: No especifica.

5.4. Parámetros en estudio en las aguas residuales de tipo ordinario

En el desarrollo de la investigación se utilizó un total de nueve parámetros contemplados en la NSO, con los cuales se tuvo una aproximación de su caracterización antes de ser vertidos al cuerpo receptor. Su definición teórica se brinda a continuación:

5.4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La prueba mide el oxígeno utilizado durante un periodo de incubación especificado (5 días), para la degradación bioquímica de la materia orgánica (requerimiento de carbono) y el

oxígeno utilizado para oxidar la materia orgánica como los sulfuros y el ion ferroso. Esta prueba puede medir también el oxígeno utilizado para oxidar las formas reducidas del nitrógeno, a menos que se impida la oxidación por medio de un inhibidor (APHA et al, 1992).

5.4.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte en un período de tres horas. Para las muestras de una fuente específica la DQO puede relacionarse empíricamente con la DBO₅, el carbono orgánico o la materia orgánica.

Para la cuantificación de este parámetro se prefiere el método de reflujo de dicromato a los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor capacidad oxidante, a su aplicabilidad, a una mayor variedad de muestras y a su fácil manipulación (APHA et al, 1992).

5.4.3. Grupo Coliformes

El grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram-negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a 35° C (o 37° C).

El número de organismos Coliformes en los excrementos humanos es muy grande, la secreción diaria por habitante varía entre 125×10^9 y 400×10^9 . Su presencia en el agua se considera un índice de la ocurrencia de polución fecal y por lo tanto de contaminación con microorganismos patógenos. En aguas residuales la relación de organismos Coliformes con organismos entéricos patógenos es muy grande, del orden de $10^6/1$ (APHA et al, 1992).

La *Escherichia coli* es la bacteria indicadora por excelencia del grupo coliforme fecal, debido a su presencia permanente en la flora intestinal de las personas y de los animales de sangre caliente, es gram negativa, facultativa anaerobia, de forma bacilar, de 0.5 a 2 μm de tamaño. La mayoría de los miembros de la especie *E. coli* son comensalitas inocuos, pero algunas cepas son patógenas. La *E. Coli* patógena causa diarrea especialmente en niños, niñas y en viajeros (Romero 2002 citado por Andrade et al 2010).

5.4.3.1. Coliformes Totales

Son bacterias aerobias y anaerobias facultativas no esporulados. La capacidad de reproducción de estos bacilos fuera de los intestinos de los animales homeotérmicos (de sangre caliente) es favorecida por las condiciones adecuadas de Temperatura, materia orgánica, pH y humedad. También se pueden reproducir en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable (APHA et al, 1992).

5.4.3.2. Coliformes Fecales

Constituyen un subgrupo de los Coliformes Totales, son de tipo bastoncitos de 0.0002 - 0.0003 mm por 0.002 a 0.003 mm, son aerobios/anaerobios facultativos no esporulados. Se diferencian de los Coliformes Totales por ser tolerantes a Temperaturas elevadas (creciendo a 44.5° C), lo que les permite estar mejor adaptados a la vida al interior del animal (APHA et al, 1992).

5.4.4. pH

El pH indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se utiliza esta notación como medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa. Muchas propiedades de las sustancias químicas dependen de la concentración del ión hidrógeno en solución.

En las aguas residuales urbanas el pH se encuentra entre 6,5 y 8,5. Valores elevados (mayores a 9,2) tienen efectos inhibidores del crecimiento de *E. coli*. Cuando los valores están comprendidos entre 5 y 9 (situándose los más favorables entre 6,5 y 8,5) la vida de especies acuáticas es favorecida. En un vertido con pH ácido se disuelven los metales pesados; a su vez, el pH alcalino ocasiona que los metales precipiten (APHA et al, 1992).

5.4.5. Temperatura

La Temperatura del agua residual es mayor que la Temperatura de agua para abastecimiento, como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. Este parámetro es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que muchos procesos biológicos dependen de la Temperatura.

Así mismo, es determinante para el desarrollo de la actividad bacteriana, cuyo rango óptimo se encuentra entre 25° C a 35° C. Cuando la Temperatura se acerca a los 50° C, los procesos de digestión aerobia y nitrificación bacteriana se detienen; por otro lado, cuando la Temperatura es menor a 5° C la actividad microbiana se inhibe (APHA et al, 1992).

5.4.6. Nitratos

En las aguas residuales los Nitratos se forman por oxidación bacteriana de la materia orgánica, principalmente la eliminada por los animales. En las aguas superficiales y subterráneas la concentración de Nitratos tiende a aumentar como consecuencia del incremento del uso de fertilizantes y del aumento de la población.

La concentración de Nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/l como nitrógeno, dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento (APHA et al, 1992).

5.4.7. Fosfatos

El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales, subterráneas y residuales tratadas como diversos Fosfatos, especialmente como ortofosfato PO_4^{-3} , la distribución de varias especies de Fosfatos es una función estricta del pH; así, el ortofosfato se puede encontrar en un rango de pH de 12.35 - 14.

Las formas de Fosfatos provienen de una gran cantidad de fuentes, tales como: productos de limpieza (detergentes aplicados a lavadoras, lava vajillas, principalmente), fertilizantes, procesos biológicos, entre otros. Sólo una pequeña parte se origina en forma natural de los Fosfatos derivados del propio detritus.

El fósforo como nutriente es esencial para el desarrollo de diversos organismos por lo que la descarga de Fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento especialmente de organismos fotosintéticos en grandes cantidades, causando eutrofización de las aguas (APHA et al, 1992).

5.4.8. Aceites y Grasas

Se refiere a cualquier sustancia química no miscible en el agua pero soluble en solventes designados en los métodos de análisis recomendados en la NSO (CONACYT, 2009).

5.5. Origen y evolución del tratamiento de aguas residuales

De acuerdo a datos históricos, los primeros pobladores que empezaron a reutilizar el recurso hídrico fueron los de la isla de Creta, en la época Minoica. En esta cultura pre helenística de la edad de bronce, se interesaron por volver a usar las aguas residuales (Blanco, 2007).

Alejo Nabor et al (1999) distinguen en términos generales tres etapas de evolución de la situación de las aguas residuales: La primera hacia mediados del siglo XIX, a las aguas residuales no se les aplicaba ningún tratamiento y de forma directa se vertían en los cuerpos receptores posterior a su generación. Esta práctica llegó a provocar graves problemas de salud pública por su naturaleza y características implícitas.

La segunda etapa hacia mediados del siglo XX, es cuando se produce un gran avance sanitario, así, para antes de 1950 por ejemplo, ya se usaba el cloro para el tratamiento y purificación de agua para usos potables. Mientras en Inglaterra ya funcionaban los primeros procesos biológicos para depurar las aguas residuales, en California se empezaba a regular el uso de aguas residuales tratadas en la agricultura.

Pero sin duda es a partir de los años 60, la tercera etapa, cuando la regeneración (tratamiento, depuración), el reciclaje y la reutilización de las aguas residuales entran en su apogeo ante la creciente presión demográfica y los efectos y proyecciones respecto al cambio climático mundial.

La regeneración permite también enfrentar problemas como la contaminación y al mismo tiempo disminuye la necesidad de explotar las fuentes convencionales y agotables para el suministro de agua, por lo que viene a conformarse como una de las prácticas que mejor concuerda con los preceptos de un desarrollo sostenible.

El tratamiento de aguas residuales si bien es cierto es una práctica más investigada en los países desarrollados, está cobrando auge en países de América Latina, los que están tratando de incorporar en sus políticas de desarrollo estrategias enfocadas hacia su depuración, con proyecciones de su reutilización con fines no potables así, Brasil y México tienen importantes experiencias desarrolladas en el tratamiento y reutilización de aguas con fines de piscicultura, en el primero y, recarga de aguas subterráneas y el riego del paisaje urbano, en el segundo (Andrade, 2010).

5.6. El tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales

La primera preocupación real por la contaminación del agua se produjo a fines del siglo XIX, en ese momento, la revolución industrial había estimulado el crecimiento de las ciudades, así como el vertimiento de aguas residuales a los ríos cercanos, convirtiéndolos en no aptos para fines potables (Alejo Nabor et al, 1999).

Los humedales naturales fueron utilizados por la humanidad durante siglos como receptáculos de sus aguas residuales, debido a su cercanía a los ríos o corrientes de agua y no porque fueran conocidas sus propiedades para el tratamiento de las mismas. No fue sino hasta hace algunas décadas que se identificó su importancia económica para los ecosistemas y su participación en el mejoramiento de la calidad del agua residual, momento en el que a través de diversas plantas acuáticas e instalaciones especialmente diseñadas, los humedales artificiales, se trató de reproducir las condiciones y funciones que dichos ecosistemas tienen para la mejoría de la condiciones de las aguas residuales.

En ese sentido, en la década de los años 50 se inician las investigaciones con plantas como *Scirpus sp* o Jacinto de agua (*Eichhornia sp*), como posibles absorbentes de cargas de las aguas residuales. A partir de 1970, el gobierno, fundaciones y empresas alemanas dieron apoyo financiero y científico a las investigaciones de los sistemas de humedales artificiales en tres universidades de ese país, lo que llevó a que el sistema fuera reconocido e incorporado como propuesta técnica en algunos países (Freís, 2008).

A nivel internacional, desde 1976 se reportan en Sudáfrica, Estados Unidos y Gran Bretaña, experiencias en sistemas con áreas inundadas como pantanos y manglares naturales, y a partir de 1986 se empiezan a introducir los sistemas de humedales artificiales. En la actualidad este tipo de sistemas se aplica en varios países de Europa, América, África y Australia, no solamente para tratar aguas residuales domésticas sino también para tratar efluentes con muy distintas características.

En el caso de los países en vías de desarrollo el uso de humedales artificiales se ha enfocado principalmente al tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico y reúso en el riego de cultivos agrícolas (Freís, 2008).

5.6.1. Humedales naturales

RAMSAR Convention citada por Gómez Huertas (s.f.) define los humedales como extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros.

5.6.2. Humedales artificiales

Un humedal construido o artificial se puede considerar como aquel ambiente diseñado para el solo propósito de tratar aguas residuales, es una tecnología diseñada para imitar los procesos que ocurren en los humedales naturales, son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre el agua, plantas, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire; con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y proveer un mejoramiento ambiental (EPA, citado por Villaroel Avalos 2005).

5.6.2.1. Factores presentes en interacción en los humedales artificiales

En un humedal artificial se encuentran interactuando elementos bióticos como abióticos, en el proceso de tratamiento de aguas residuales, a saber:

- El agua y los elementos contenidos en ésta.
- Sustratos, sedimentos y restos de vegetación.

- Plantas.
- Otros componentes como los microorganismos y los invertebrados acuáticos.
- Por último todos los factores antes mencionados interactúan en un tiempo de retención hidráulica determinado bajo la influencia de los factores climáticos propios del lugar en que el humedal ha sido establecido.

5.6.2.2. Clasificación de los humedales artificiales

Existen básicamente dos tipos de humedales artificiales, de acuerdo al flujo de agua residual en el sustrato:

1. Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HFS)

En este tipo de humedales el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos de las plantas. Pueden considerarse como una variedad de los lagunajes clásicos, con las diferencias de que se opera con menores profundidades de la lámina de agua (inferiores a 0.4 m) y de que las balsas se encuentran colonizadas por plantas acuáticas emergentes (figura 1).

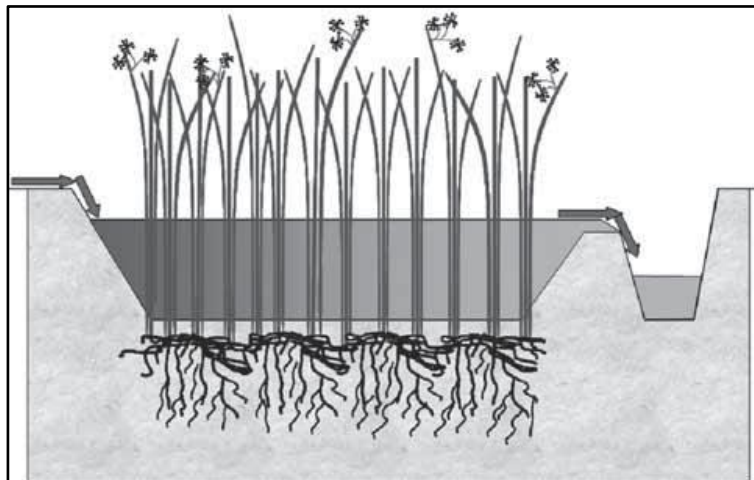


Figura 1. Vista esquemática de un humedal artificial de flujo superficial.

Este tipo de humedales suelen instalarse para tratar efluentes procedentes de tratamientos secundarios, y emplearse para crear y restaurar ecosistemas acuáticos. La alimentación a estos humedales se efectúa de forma continua y la depuración tiene lugar en el tránsito de las aguas a través de los tallos y las raíces de la vegetación emergente implantada. Tallos, raíces y hojas

caídas sirven de soporte para la fijación de la película bacteriana responsable de los procesos de biodegradación, y las hojas que están por encima de la superficie del agua dan sombra a la masa de agua, limitando el crecimiento de microalgas.

2. Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial (HFSs)

En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena, gravilla, grava), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación que habitualmente suele ser *Phragmites australis* (figuras 2 y 3).

Los HFSs son generalmente instalaciones de menor tamaño que los de Flujo Superficial, y que en la mayoría de casos se emplean para el tratamiento de aguas residuales generadas en núcleos de población de menos de 2,000 habitantes.

Este tipo de humedales presenta ciertas ventajas con respecto a los de Flujo Superficial, al necesitar menos superficie de terreno para su ubicación y al evitar los problemas de aparición de olores y de mosquitos al circular el agua de forma sub-superficial. Igualmente presentan una menor respuesta ante los descensos de la Temperatura ambiente (Gómez Huertas, s.f.).

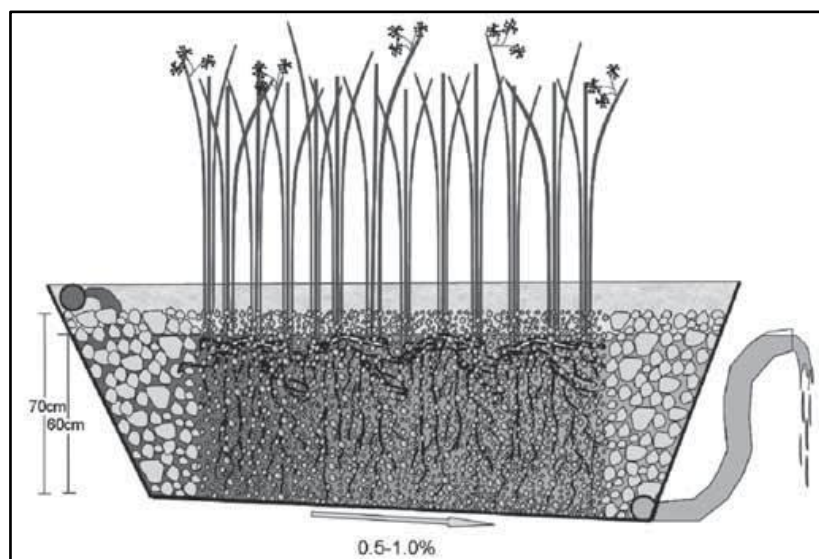


Figura 2. Vista esquemática de un humedal artificial sub-superficial de flujo horizontal.

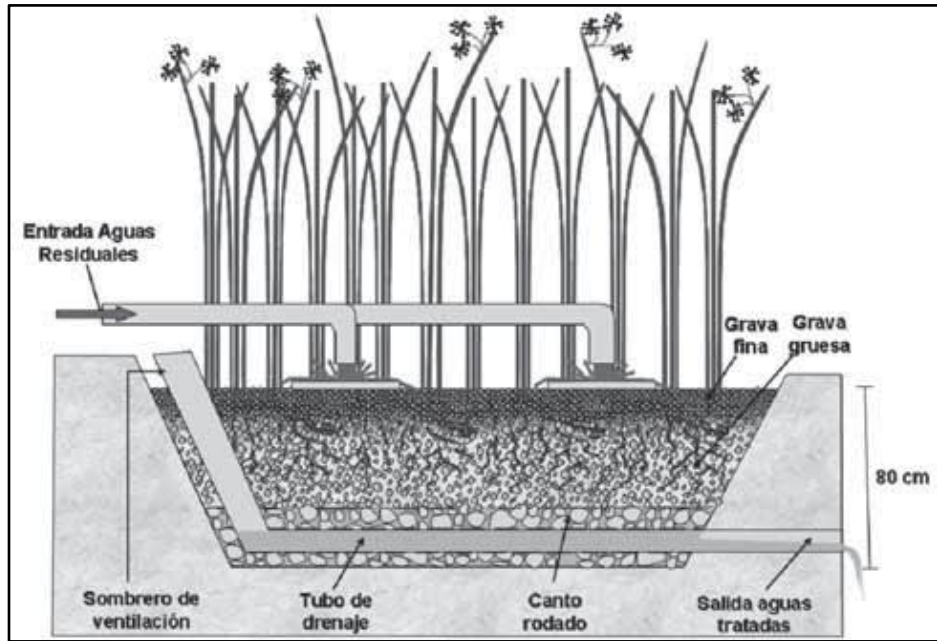


Figura 3. Vista esquemática de un humedal sub-superficial de flujo vertical.

5.6.3. Procesos de remoción de contaminantes en un humedal artificial

Freís (2008) establece tres mecanismos principales de acción por parte de los humedales artificiales sobre las aguas residuales:

- a. **Procesos de remoción físicos.** Los humedales artificiales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociados con material particulado.
- b. **Procesos de remoción biológicos.** La remoción biológica es quizá el camino más importante para la remoción de contaminantes en los humedales artificiales. Extensamente reconocido para la remoción de contaminantes en los humedales es la captación de algunas especies de plantas. Los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas de estos humedales.

Lo anterior fue sustentado por Colín Cruz et al (2009) en un estudio con unidades experimentales de humedales artificiales, éstas fueron capaces de mejorar las condiciones del efluente de aguas residuales tratadas en elementos químicos de nitrógeno, fósforo y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

c. **Procesos de remoción químicos.** El proceso químico más importante de la remoción de contaminantes en los humedales artificiales es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes.

En el cuadro 5 se hace referencia a los principales procesos que se desarrollan en los humedales artificiales para la remoción de contaminantes en las aguas residuales.

Cuadro 5. Principales funciones desarrolladas en los humedales artificiales para la depuración de aguas residuales.

Tipo	Proceso involucrado	Contaminación tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, Mercurio, Plomo, Plomo selenio, zinc.
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos.	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, Mercurio, Plomo, Plomo selenio, zinc, isótopos radioactivos, compuestos fenólicos.
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a capas subterráneas o al aire.	Lagunas de desecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poli aromáticos, benceno, tolueno, atrazina, otros.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzénico, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles, nitrilos y otros.

Fuente: Lara Borrero, 1999.

5.6.4. Mecanismos de depuración de los humedales artificiales

5.6.4.1. Eliminación de sólidos en suspensión

En la eliminación de la materia en suspensión mediante humedales artificiales intervienen procesos de:

- **Floculación:** permite la sedimentación de partículas de pequeño tamaño, o de menor densidad que el agua, al producirse agregados de las mismas con capacidad para decantar.
- **Sedimentación:** la materia en suspensión sedimentable (principalmente de naturaleza orgánica) presente en las aguas a tratar decanta por la acción exclusiva de la gravedad.
- **Filtración:** se produce la retención de materia en suspensión al pasar las aguas a través del conjunto que forma el sustrato, rizomas, raíces y los tallos de la vegetación.

5.6.4.2. Eliminación de materia orgánica

La materia orgánica presente en forma de materia en suspensión sedimentable en las aguas residuales a tratar irá decantando paulatinamente en los humedales y experimentará procesos de degradación biológica. Igualmente, parte de la materia orgánica presente en forma particulada, quedará retenida por filtración, al pasar las aguas por el entramado sustrato-raíces-tallos.

Sobre la materia orgánica disuelta, al igual que sobre la particulada, actúan los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizarán esta materia orgánica a modo de sustrato, tanto en procesos aerobios como anaerobios.

5.6.4.3. Eliminación de nutrientes

1. Remoción de Nitrógeno

Mediante procesos de amonificación por vía enzimática, las fracciones de nitrógeno en forma orgánica se transforman en formas amoniacales, parte de las cuales son asimiladas por los propios microorganismos que la incorporan a su masa celular.

En los humedales artificiales la eliminación del Nitrógeno en forma amoniacal transcurre por dos vías principales:

- Asimilación por las propias plantas del humedal con un 15-20% del Nitrógeno amoniacal presente en las aguas a tratar.
- Procesos de nitrificación - desnitrificación.

2. Remoción de fósforo

El fósforo está presente en las aguas residuales en tres distintas formas: como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El último es un constituyente menor de la alcantarilla y como los polifosfatos requieren una posterior descomposición a una forma de ortofosfato más asimilable.

Cerca del 25% del fósforo total fijado en la alcantarilla está presente como ortofosfatos, que están disponibles para el metabolismo biológico inmediato. Por lo tanto, en términos de utilización, en la planta de tratamiento lo que importa es la concentración de fosfato orgánico antes que la concentración de fósforo total (Gray, 1989, citado por Andrade et al, 2010).

La remoción de ortofosfato ocurre principalmente como una consecuencia de la adsorción, complejización y reacciones de precipitación con Al, Fe, Ca y materiales arcillosos en la matriz del sustrato. El consumo de fósforo por la planta puede ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción, valores de alrededor del 3% de la carga anual han sido reportados (Boerner en Kolb, 1998, citado por Andrade et al, 2010).

La eliminación de los dos elementos antes mencionados, nitrógeno y fósforo, cobra vital importancia en la depuración de aguas residuales, debido a que su vertido a cuerpos receptores en cantidades grandes puede causar lo que se ha dado en llamar “eutrofización”. Esto ocurre porque los nutrientes introducidos masivamente en el sistema generan una gran biomasa de organismos, de vida generalmente efímera, que al morir se acumulan sobre el fondo y no son totalmente consumidos por organismos degradadores.

La eutrofización está íntimamente asociada con la proliferación del fitoplancton, llamada “Bloom” o floración, que pasa a dominar la parcela del fitoplancton de un cuerpo de agua. La proliferación de las cianobacterias en la comunidad de fitoplancton bloquea o disminuye la luz en las capas más profundas. Por esta razón, toda la flora presente en los estratos inferiores no recibe luz y muere (Andrade et al, 2010).

Durante la proliferación masiva de cianobacterias el oxígeno disuelto (DO) en el agua disminuye, y durante la noche frecuentemente hay carencia de DO. Esto es debido a que las células muertas son descompuestas y esto requiere el consumo de mucho oxígeno. Este ambiente anóxico afecta negativamente a los organismo de diferentes niveles tróficos de la cadena alimentaria y además el agua pasa a tener un sabor y un olor desagradables (Andrade et al, 2010).

3. Remoción de metales pesados

Los metales traza tienen una alta afinidad para la adsorción y complejización con material orgánico y se acumulan en la matriz de un humedal construido. Los metales pueden encontrarse en formas solubles o como partículas asociadas, siendo las primeras las formas más biodisponibles.

Los procesos físico químicos tales como la adsorción, precipitación, complejación, sedimentación, erosión y difusión, determinan la distribución entre las partículas y las fases disueltas. Los parámetros específicos que controlan la sedimentación en el agua incluyen la relación de flujo/sólidos suspendidos, condiciones óxicas/anóxicas, fuerza iónica, pH, contenidos de carbono orgánico particulado y disuelto, concentraciones de ligantes orgánicos e inorgánicos y movilización de metales mediante reacciones bioquímicas.

5.6.4.4. Eliminación de organismos patógenos

La remoción de estos microorganismos está basada en una combinación de factores físicos, químicos y biológicos. Los factores físicos incluyen la filtración, sedimentación, agregación y acción de la radiación ultravioleta.

Los mecanismos biológicos incluyen la predación y el ataque por bacteriófagos y protozoos. Finalmente, los factores químicos son la oxidación, adsorción y la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las plantas (aunque la cantidad de estos antibióticos causa dudas respecto a su efectividad para afectar a los patógenos).

Kolb (1998) citado por Andrade et al (2010) menciona una relación directa entre el tiempo de retención hidráulica y la eficiencia en la remoción de patógenos de las aguas residuales. Para el caso de la bacteria *E. coli* la literatura recomienda un tiempo de retención hidráulica de 5 días para lograr su remoción efectiva en las aguas residuales.

Andrade et al (2010) manifiesta que ha sido reportada la remoción de bacterias (Coliformes Fecales) y enterobacterias en humedales artificiales con niveles de eficiencia de remoción de hasta 98%-99% para estos indicadores bacterianos registrándose las tasas más bajas, con tiempos de retención menores, de hasta aproximadamente 3 días.

5.6.5. Experiencia con humedales artificiales en El Salvador

El uso de humedales artificiales para la depuración de aguas residuales en el país, a diferencia de otros países de la región como México o Nicaragua, no es muy extendida, y las experiencias se limitan a regiones específicas, entre ellas pueden destacarse las siguientes:

5.6.5.1. Humedal artificial del Regimiento de Caballería, Fuerza Armada de El Salvador

Esta experiencia fue establecida a través de la puesta en marcha del proyecto piloto “Asesoría en suelos, producción y mantenimiento de plantas en construcción de humedales artificiales para el tratamiento de aguas servidas”, realizado entre el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) y la Universidad Internacional de Florida (FIU).

Fue establecido en la base militar del Regimiento de Caballería, durante el periodo de diciembre 2005 a septiembre de 2007, teniendo como objetivo mejorar la calidad de las aguas servidas como forma de protección del ambiente y la reutilización potencial de las aguas para propósitos agrícolas.

En este humedal fueron utilizadas especies vegetales cuyo hábitat son áreas pantanosas, los géneros utilizados son: *Typha sp*, *Thalía sp*, *Phragmites sp*, *Brachiaria sp*, *Cyperus sp* y *Elodea sp*. En la ejecución de este proyecto fue contemplada la determinación de los siguientes parámetros: Temperatura, Oxígeno Disuelto, pH, Potencial de óxido reducción (ORP), Conductividad Eléctrica, Salinidad, evaluación de sanidad de las plantas, mediciones de caudales y datos climáticos.

La investigación estipuló la cuantificación del parámetro microbiológico de Coliformes Totales, para el cual se reporta una reducción de población de aproximadamente 98-99%. Las plantas más eficientes en el proceso de depuración fueron: *Phragmites sp*, *Typha sp*, *Brachiaria sp* y *Cyperus sp* (Argueta Portillo et al, 2008).

Osnaya Ruiz (2012) especifica que la especie *Typha sp* debido a la profundidad de su sistema radicular se recomienda su uso principalmente en humedales artificiales de flujo superficial, lo que respalda la implementación secuencial realizada por Argueta Portillo et al (2008), al establecer dicha especie en dicho tipo de humedal.

Por los resultados obtenidos en la depuración de aguas residuales en la investigación desarrollada por Argueta Portillo et al (2008), se utilizará la misma metodología para llevar a cabo la presente investigación, es decir, la secuencia de humedal de flujo sub superficial cultivado con *Phragmites australis*, seguido de un humedal artificial de flujo superficial cultivado con *Typha sp*.

5.6.5.2. Humedal artificial del municipio de San José Las Flores, departamento de Chalatenango

La planta de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario del casco urbano del municipio de San José Las Flores, fue construida entre los años 1998- 1999, inició su funcionamiento en el año 2000 y actualmente es administrada por la municipalidad.

La planta de tratamiento incluye las siguientes etapas:

1. El tratamiento preliminar incluye una rejilla metálica con espacio entre rejillas de 2 cm; un desarenador de 6.6 m de largo. El canal del desarenador está dividido en dos canaletas para permitir una mejor limpieza y remoción de los sólidos decantados. El desarenador incluye un tubo de registro y un medidor de caudal tipo Parshall, con un caudal mínimo de 0.8 l/s y un máximo de 51 l/s.
2. El tratamiento primario es con un tanque Imhoff de dos cámaras, con un área superficial de 38 m² y una capacidad de 158 m³, con un cono de sedimentación de 25 m³, hecho de ladrillo de barro y concreto reforzado del cual sale una tubería de 2 pulgadas para sacar los lodos para su secado en un patio de 8.33 por 3.59 m. También tiene conectada una tubería de 2 pulgadas para sacar los gases hasta una caja de cemento que sirve como filtro para el biogás, que se debe llenar con corteza de pino a través de la cual se hacen pasar los gases provenientes del tanque Imhoff.
3. El tratamiento secundario es mediante una cascada de oxigenación que funciona por gravedad y tiene 11 caídas de agua, hasta un biofiltro constituido por un humedal de 25 por 50 m y de 0.9 m de profundidad. El fondo del biofiltro fue compactado con arcilla, y sobre la cual se colocó un relleno de piedra volcánica de 0.8 m; en la superficie se ha sembrado zacate Taiwanés (*Pennisetum purpureum*). El humedal está dividido en dos partes iguales por una división de ladrillo, lo cual permite dar mantenimiento a una parte mientras el agua circula por la otra.

El efluente del biofiltro es colectado en una caja de cemento y posteriormente descargado a la quebrada Guancora, que desemboca en el río Sumpul, que a la vez desemboca al embalse de la Presa 5 de Noviembre o Chorrera del Guayabo.

5.6.6. Experiencias desarrolladas en Centroamérica con humedales artificiales

5.6.6.1. Humedal artificial de Masaya, Nicaragua

El diseño del biofiltro de Masaya se realizó en base al área disponible del terreno adquirido para su construcción (7,000 m²), dividiéndose un área total de 1,300 m² en cuatro diferentes

unidades del biofiltro más las obras de pretratamiento, tratamiento primario por medio de un tanque Imhoff, el área de riego agrícola y los caminos de acceso a la planta de tratamiento.

La conexión de la planta piloto al alcantarillado sanitario de la Villa Bosco Monge se realizó por medio de la construcción de una caja que desvía una parte de las aguas residuales de la colectora principal.

El arranque del biofiltro se realizó con variaciones del caudal de entrada, monitoreando la eficiencia del sistema hasta determinar a qué valor del mismo se obtenía un comportamiento estable y adecuado. Este valor de caudal de entrada se fijó en 120 m³/día, lo que equivale a las aguas residuales generadas por 1,200 personas, calculándose un requerimiento aproximado de área de biofiltro de 1.1 m² por persona (Andrade et al, 2010).

5.6.6.2. Eficiencia de remoción de las unidades del biofiltro

La mayor eficiencia de un biofiltro de flujo horizontal se obtiene al usar la combinación de la planta herbácea llamada carrizo (*Phragmites australis*) y hormigón rojo como lecho filtrante.

Esta combinación es la que se utiliza en la unidad BF III del biofiltro Masaya, de la cual se han obtenido generalmente los mejores resultados, especialmente en la remoción de bacterias Coliformes Totales y *Escherichia coli*, con resultados que en la mayoría de los muestreos están por el orden de 10⁴ NMP/100 ml.

En cuanto a DBO₅ y DQO, el efluente de esta unidad ha presentado valores menores que 10 mg/l y 40 mg/l, lo que significa que en términos de la NSO se estarían generando efluentes con características legales de vertido a cuerpos receptores.

Los porcentajes de remoción de los principales parámetros (DBO₅ y DQO) tomando en cuenta el sistema total (pretratamiento, tanque Imhoff y unidades del biofiltro) están por encima del 90% para ambos parámetros si se considera en base al efluente de cualquiera de las cuatro unidades. En algunos casos, tomando los valores de DQO en la entrada del agua cruda y de salida de la unidad BF III, los porcentajes de remoción obtenidos han sido mayores que 98%,

lo cual constituye una prueba de los excelentes resultados que se pueden alcanzar con este tipo de sistema (Andrade et al, 2010).

5.7. Filtros biológicos y su función en los procesos de depuración de aguas residuales

Se definen como un sistema de lechos de distintos materiales sobre los cuales se vierten de manera continua o intermitente las aguas residuales.

En estos lechos las aguas residuales percolan por el lecho de material granular, entrando en contacto con las películas de limo biológico que crecen sobre la superficie del material, generalmente rocas; este proceso se desarrolla bajo condiciones aeróbicas mediante el flujo de aire a través del lecho de material filtrante.

A medida que las aguas residuales y el aire fluyen a través del lecho, el limo biológico hace uso de ellos para obtener de los compuestos orgánicos la energía necesaria para sus procesos biológicos, material y energía para sintetizar nueva masa celular, el oxígeno necesario para las reacciones de oxidación bioquímica y los nutrientes indispensables para la síntesis celular. Con ello, se logra la remoción de la materia orgánica mediante su conversión a masa celular, CO₂ y agua.

5.7.1. Aspectos microbiológicos

El buen funcionamiento de los filtros biológicos depende de que existan condiciones aeróbicas a lo largo del recorrido realizado por el agua residual en él, las cuales garantizan de igual manera el buen funcionamiento de los microorganismos que en él se desarrollan.

Uno de los factores que puede reducir la capacidad depuradora de los biofiltros es lo que se refiere al espesor de la capa de biopelícula que se forma alrededor del sustrato de relleno del mismo. En términos generales debe de tener un espesor que varía entre 0,1 a 2,0 mm.

Por ello, existe un efecto perjudicial en el proceso de depuración cuando dicha capa excede los 2,0 mm, principalmente por la obstrucción del material de relleno, perjudicando el flujo del agua residual y la transferencia de oxígeno a los microorganismos aerobios, con la

consecuente disminución de la capacidad de depuración de las aguas residuales (Osnaya Ruiz, 2012).

5.8. Diseño y dimensionamiento de los humedales artificiales

El dimensionamiento de los humedales artificiales se realiza en base a dos aspectos principales:

- a. La remoción de los contaminantes.
- b. El régimen hidráulico del sistema.

La remoción de contaminantes, que es el principal objetivo, depende en buena medida de las condiciones ambientales, fundamentalmente de la temperatura, así como de otros aspectos relacionados con la porosidad del material usado para la conformación del lecho filtrante, la profundidad y pendiente longitudinal del fondo de las unidades y del tipo de plantas sembradas. El régimen de flujo también depende de factores como la pendiente hidráulica, la porosidad, permeabilidad y la uniformidad granulométrica del material usado para el lecho filtrante.

En términos generales, los diseños de humedales artificiales se realizan para la remoción de un contaminante prioritario de depuración, por lo general, la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

5.8.1. Ecuación de Darcy para el flujo en un medio poroso

Para el diseño de los humedales artificiales se usó la metodología de Reed y colaboradores (s.f.)¹, sugerida por Lara Borrero (1999), que se basa en la ecuación de Darcy, la cual describe el flujo a través de un medio poroso. La ecuación que la describe es la siguiente:

$$Q = (Ks) (Ac) (s); \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Q= Caudal promedio (m³/día).

¹ S.f.: Sin fecha.

K_s = Conductividad hidráulica de una unidad de área del humedal perpendicular a la dirección del flujo ($m^3/m^2/día$).

A_c = Área de la sección transversal perpendicular al flujo (m^2).

s = Gradiente hidráulico o “pendiente” de la superficie del agua en el sistema (m/m).

5.8.2. Criterios de diseño de humedales en función de los requerimientos hidráulicos

El concepto de flujo a pistón es lo que se usa actualmente en el diseño de los humedales artificiales, y se supone que los organismos encargados de la remoción de contaminantes están constantemente en contacto con los constituyentes del agua residual que está siendo tratada.

La relación largo/ancho tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. Relaciones de 1:1 hasta aproximadamente 3:1 o 4:1 son aceptables. Los cortocircuitos pueden ser minimizados con una cuidadosa construcción en la cual las piedras se colocan a mano con pocas partículas finas y mantenimiento del fondo del humedal para asegurar que exista suficiente espacio para la buena circulación del agua residual.

La ley de Darcy no es estrictamente aplicable a los humedales de flujo sub superficial dadas las limitaciones físicas en el actual sistema. Este asume condiciones de flujo laminar, pero el flujo turbulento puede darse con gravas muy gruesas cuando el diseño usa un gradiente hidráulico alto. La ley de Darcy también asume que el flujo en el sistema es constante y uniforme, pero en la realidad puede variar por la precipitación, evaporación y filtración así como por los corto circuitos en el flujo que pueden llegar a presentarse por una desigual porosidad o mala construcción (Lara Borrero, 1999).

5.8.3. Diseño de humedales en función de la remoción de DBO_5

El diseño de humedales artificiales, como ya fue mencionado anteriormente puede ser realizado en función de la remoción de contaminantes así como del régimen hidráulico en los mismos. Las siguientes ecuaciones son retomadas de Lara Borrero (1999) para el diseño en función de la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

5.8.3.1. Ecuaciones utilizadas

El área superficial útil del humedal se calculará en función de la ecuación siguiente:

$$A_s = [Q (\ln (C_e - \ln (C_s))] / [K_t * y * n]; \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Q= Caudal promedio en el humedal (m³/día)

C_e= Concentración de DBO₅ a la entrada del humedal (mg/l)

C_s= Concentración de DBO₅ a la salida del humedal (mg/l)

K_t= es la constante de reacción de primer orden en base volumétrica (día⁻¹).

y= Profundidad del agua en el humedal (m)

n= Porosidad (decimal)

El valor de K_t viene determinado por la fórmula:

$$K_t = K_{20} * \theta_T^{(T-20)}; \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

K₂₀: 1.104 d⁻¹

θ_T=1.06.

T= Temperatura del agua (° C).

$$Tr = (L * W * y * n) / Q; \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

L: Largo del humedal (m).

W: Ancho del humedal (m).

y: Profundidad del humedal (m).

n: Porosidad del sustrato (decimal).

Q: Caudal de diseño (m³/día).

5.8.4. Descripción de las especies vegetales utilizadas

5.8.4.1. *Phragmites australis*

Taxonomía

Familia: Poaceae

Género: *Phragmites*

Nombre común: Carrizo

Hábitat

Se encuentra fácilmente en saladares, riberas, lagunas y otros cuerpos de agua. Se trata de una especie muy extendida.

Características botánicas

Es una planta perenne de hasta 4 metros de altura. Las hojas presentan un borde áspero y la lígula está formada por una banda de pelos largos. La inflorescencia en panícula es grande y plumosa de un color pardo violáceo o rojizo, tiene de 3 a 7 flores. Las glumas son muy desiguales. Su época de floración es de julio a septiembre.

Etnobotánica

Es una planta que tiene una gran historia en cuanto a su aprovechamiento. Se sabe que se han utilizado los tallos para obtener celulosa para papel como para cestería, esteras, techados y las inflorescencias para escobas e incluso de las panículas se obtiene un tinte verde. Para remedios populares, también se utiliza para carcinomas mamarios y la leucemia, e incluso es divulgado para artritis, bronquitis, tos y fiebre.

Origen del nombre

Phragmites, del griego "phragma", que significa cerca, referido a su modo de crecimiento similar a un muro o tapia que franquea la laguna. Australis, del latín, hace referencia a austral, del sur.

5.8.4.2. *Typha sp*

Taxonomía

Familia: Typhaceae

Género: *Typha*

Nombre común: Totorá.

Hábitat

Los miembros de este taxón crecen como plantas emergentes en estanques, acequias y pantanos. Suelen ser de las primeras especies en colonizarlos. Las colonias de totoras son muchas veces un paso importante en la desecación de lagunas y pantanos, formando una capa de denso tejido orgánico sobre la cual se deposita la tierra.

Características botánicas

Hierbas robustas, perennes, de 1 a 3 m de altura. Acuáticas emergentes, monoicas (flores masculinas y femeninas en la misma planta), de tallo rizomatoso. Hojas muy erectas, bifaciales, mayormente basales, dísticas, envainadoras, simples, sin dividir, planas, alargadas y delgadas, de venación paralela, con parénquima esponjoso.

Inflorescencia terminal, consta de una espiga cilíndrica de flores muy densas, las masculinas arriba y las femeninas debajo. Flores muy pequeñas, unisexuales, actinomorfas, las flores femeninas hipóginas.

El perianto consiste en 0 o 3 (o raramente 8) tépalos como cerdas en las flores masculinas, y numerosos tépalos como cerdas o escamas en las femeninas (en 1-4 verticilos).

Estambres 3 (raramente 1 u 8), separados entre sí y además libres de las demás piezas florales ("apostémonos"). Las anteras son basifijas, con el conectivo ancho, extendido más allá de la teca. El polen es liberado en tétradas o en mónadas.

El gineceo es de un solo carpelo, con un ovario súpero. El estilo es acrescente (se mantiene en el fruto). La placentación es apical, el óvulo es solitario, anátropo, bitégmico. No hay nectarios.

El fruto es dehiscente y de tipo aquenio, con un ginóforo acrescente y estilo también acrescente, y partes del perianto persistentes, que ayudan a la dispersión por viento. Las semillas poseen endosperma con almidón.

5.9. Índice de calidad de agua (ICA)

5.9.1. Caracterización de los efluentes obtenidos en el tratamiento terciario a través del Índice de Calidad del Agua Residual (ICA)

El Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) del MARN (s.f.), menciona que el índice de Calidad del Agua, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”.

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes, el cual fue diseñado en 1970 y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río, además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

5.9.1.1. Estimación del índice de calidad de agua general “ICA”

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del curso de agua en estudio. El índice de calidad del agua de acuerdo a la clasificación “General” se estratifica con base al cuadro 6.

Cuadro 6. Clasificación del Índice de Calidad del Agua.

Calidad del agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, s.f.

El cuadro 7 detalla el Índice de Calidad del Agua en función de usos específicos que el agua residual tratada pudiera tener.

Cuadro 7. Clasificación del Índice de Calidad del Agua de acuerdo a usos específicos.

ICA	CRITERIO GENERAL	ABASTECIMIENTO PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIAL Y AGRICOLA
100	NO CONTAMINADO	NO REQUIERE PURIFICACION	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO REQUIERE PURIFICACION
95					
90					
85					
80	ACEPTABLE	LIGERA PURIFICACION			LIGERA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS
75					
70	POCO CONTAMINADO	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
65				DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	
60					
55					
50	CONTAMINADO	DUDOSO	DUDOSO PARA EL CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
45					
40		NO ACEPTABLE	SIN CONTACTO CON EL AGUA		
35					
30	ALTAMENTE CONTAMINADO	NO ACEPTABLE	SEÑAL DE CONTAMINACION	NO ACEPTABLE	USO RESTRINGIDO
25					
20					
15					
10					
5					
0			NO ACEPTABLE		NO ACEPTABLE

Fuente: SNET, s.f.

5.9.2. Cálculo matemático del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para el cálculo del ICA se consideran los siguientes términos: (SNET, s.f.)

1. Alcance: número de variables que no se ajustan a los objetivos de calidad de agua.
2. Frecuencia: el número de veces que estos objetivos no se cumplen.
3. Amplitud: Cantidad de veces por la cual los valores de prueba no cumplen los objetivos.

F1: Alcance o Ámbito de aplicación representa el porcentaje de variables que hacen que no se pueda cumplir con sus objetivos por lo menos una vez durante el tiempo período considerado ("no variables"), relativa con el número total de variables medidas:

$$F1 = \frac{\text{Número de Variables Fallidas}}{\text{Número Total de Variables}} \times 100; \quad \text{Ecuación 5}$$

F2: Frecuencia, representa el porcentaje de cada una de las pruebas que no cumplen los objetivos ("no pruebas"):

$$F2 = \frac{\text{Número de testeos Fallidos}}{\text{Número Total de testeos}} \times 100; \quad \text{Ecuación 6}$$

F3: Amplitud, representa la cantidad por la que los valores de prueba no cumplen sus objetivos. Se calcula en tres pasos.

1. Cuando la prueba valor no debe superar el objetivo

$$\text{Excursión} = \frac{\text{Valores de Testeo Fallidos}}{\text{Objetivo}} - 1; \quad \text{Ecuación 7}$$

2. Cálculo de la suma normalizada de las excursiones a través de la siguiente expresión:

$$\text{NSE} = \sum \text{Excursiones} / \text{Número de valores de testeo}. \quad \text{Ecuación 8}$$

3. El valor de F3 se calculará mediante la expresión:

$$F3 = (\text{NSE} / (0.01 (\text{NSE}) + 0.01)); \quad \text{Ecuación 9}$$

El cálculo del Índice de calidad del Agua (ICA) se establece mediante la siguiente fórmula:

$$ICA=100-((F1^2+F2^2+F3^2)^{1/2}/1.732); \quad \text{Ecuación 10}$$

5.10. Descripción de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de ANDA

La Planta de Tratamiento para Aguas Residuales (PTAR) de Tipo Ordinario “San Luis Talpa” se encuentra ubicada en el municipio de San Luis Talpa, en el departamento de La Paz, en la zona central de El Salvador. En el cuadro 8 se muestran algunas generalidades de la misma.

Cuadro 8. Generalidades de la PTAR del municipio de San Luis Talpa, La Paz.

Año de construcción	2006
Caudal promedio	Actualmente el caudal promedio que procesa la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa es de 11.24 l/s.
Sistema de abastecimiento de agua potable	El sistema que abastece de agua potable a la población de San Luis Talpa proviene del pozo San Luis, ubicado en el mismo municipio.
Población servida	La población beneficiada por la construcción y operación de la PTAR de San Luis Talpa es de aproximadamente 7,040 habitantes.
Sitio de descarga	El efluente de aguas residuales tratadas es conducido hacia el río Comalapa que se encuentra cercano a la zona.
Tipo de funcionamiento	Aerobio
Tecnología utilizada	Filtros percoladores con material filtrante de piedra basalto

Fuente: ANDA, s.f.

La depuración de las aguas residuales se efectúa a través de su paso por diferentes unidades que se describen a continuación:

1. Rejilla

Está compuesta por placas metálicas inclinadas a 60°, las cuales se colocan en un canal, y su finalidad es retener material grande y flotante que pueda interferir con el tratamiento posterior en la parte de arriba posee una loseta perforada a la cual son rastrillados manualmente los objetos retenidos para deshidratación y posterior disposición final.

2. Desarenador

Consiste en una estructura de concreto de forma alargada y con una sección hidráulica que permite alcanzar la velocidad de sedimentación de la arena, inclusive para las fluctuaciones de caudales que llegan a la planta. Su función es retener partículas menores que pasan por la rejilla las cuales sedimentan en esta unidad; posee dos cámaras que se utilizan alternadamente por lo que a diario deben cambiarse de operación abriendo las válvulas para el drenado.

3. Canaleta Parshall

Es un dispositivo hidráulico que inicia con una sección convergente seguida, de un tramo angosto llamado garganta el cual lleva el agua hacia un tramo divergente con fondo en descenso y luego ascendente; con esta forma se controla el caudal que entra a la planta permitiendo también que éste sea medido a través de una regla graduada. La figura 4 muestra las estructuras antes mencionadas.

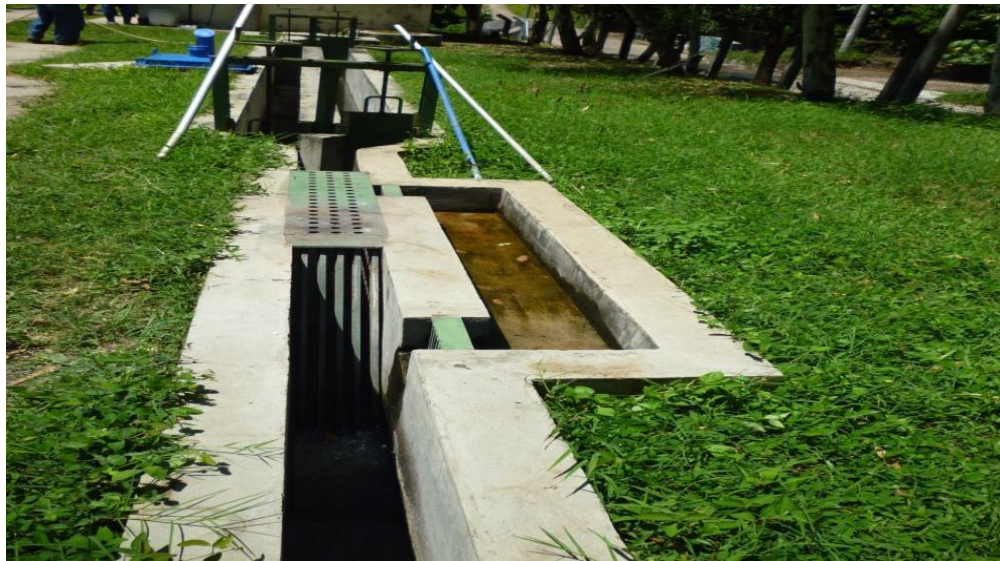


Figura 4. Rejilla, desarenador y canaleta Parshall de la PTAR de San Luis Talpa.

4. Decantador Primario

Consiste en un reactor cónico tipo Dortmund, donde el agua pasa por unas tuberías hacia el centro de esta unidad para distribuirla de manera uniforme; posee una pantalla deflectora que facilita la recolección de sólidos flotantes y a la vez contribuye a la formación de flóculos que sedimentan para luego ser purgados al Digestor de Lodos por presión hidrostática; además,

posee una canaleta perimetral para recolección del agua decantada que pasa a la siguiente unidad (figura 5).



Figura 5. Decantador primario en la PTAR de San Luis Talpa.

5. Filtro Biológico

Consta de vigas y vertederos en la parte superior que se encargan de distribuir uniformemente el agua residual sobre la superficie de esta unidad, de manera que el agua tenga el mayor contacto posible con la piedra volcánica contenida en su interior (lecho o medio filtrante), para que los microorganismos adheridos en la superficie de estas piedras degraden y estabilicen la materia orgánica de las aguas residuales, además, este lecho permite la circulación del aire necesario para que se realice el proceso aeróbico del tratamiento (figuras 6 y 7).



Figura 6. Filtro biológico de la PTAR de San Luis Talpa.



Figura 7. Vertederos para distribución de aguas en la parte superior del filtro biológico.

6. Decantador Secundario

La estructura y función es la misma que la del decantador primario, con la diferencia que remueve sólidos de menor tamaño y lodos que se formaron durante el paso de las aguas residuales a través del filtro biológico. Los lodos depositados en el fondo son enviados hacia el digestor por presión hidrostática; el agua decantada es colectada en la canaleta perimetral y enviada hacia un aireador de cascada, para ser incorporada al cuerpo receptor (figura 8).



Figura 8. Decantador secundario de la PTAR de San Luis Talpa.

7. Gradas de aireación

Consiste en un total de 11 gradas de cemento de aproximadamente 0.40 m de ancho por 0.80 m de largo, las cuales reciben las aguas residuales tratadas por los tratamientos primario y secundario, cuya función es básicamente la oxigenación del agua antes de su vertido al cuerpo receptor, en este caso, el río Comalapa. Se constituye en la última etapa de la planta de tratamiento (figura 9).



Figura 9. Gradas de aireación de la PTAR de San Luis Talpa.

8. Digestor de Lodos

Esta unidad recibe los lodos provenientes del decantador primario y secundario, se depositan en un tiempo de aproximadamente 30 a 45 días, durante el cual los lodos son digeridos por microorganismos en un proceso anaerobio. En ella se forman diversas capas derivadas del proceso: Una primera sobrenadante de lodos, Aceites y Grasas, la segunda se compone de lodos en proceso de digestión; la tercera y más inferior se forma de los lodos ya digeridos, que serán purgados hacia los patios de secado (figura 10).



Figura 10. Digestor de lodos de la PTAR de San Luis Talpa.

9. Patios de Secado

Los lodos digeridos son depositados en los patios de secado, los cuales tienen como función el reducir sus niveles de agua por acción del sol y el aire principalmente. Tiene tres compartimentos, todos con un fondo falso conformado con bloque de sáltex y arena, que permite el paso del exceso de agua de los lodos hacia unas tuberías ubicadas en la parte inferior (figura 11).



Figura 11. Patios de secado de lodos de la PTAR de San Luis Talpa.

10. Obras complementarias

Posee una caseta de seguridad para el resguardo de operadores, paneles de control y herramientas, está equipada con ducha y servicio sanitario para la adecuada higiene de los operadores. Otras estructuras con las que cuenta la planta son: cajas de distribución, canales de derivación, drenajes de aguas lluvias, estaciones de bombeo, cerca perimetral y obras de jardinería.

11. Utilización de los lodos

Los lodos digeridos que resultan del proceso de tratamiento de las aguas residuales son depositados en las obras de jardinería de la planta de tratamiento para cumplir la función de mejorador del suelo gracias a su alto contenido de nutrientes.

5.10.1. Caracterización de los efluentes obtenidos en el tratamiento secundario

Los parámetros rutinariamente monitoreados por ANDA para determinar la calidad del agua en la PTAR son: Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Aceites y Grasas. En los cuadros 9, 10 y 11 se detallan los registros de dichos parámetros realizados para el año 2011, 2012 y 2013, correspondientes a las evaluaciones a la salida del tratamiento secundario, es decir, del decantador secundario (efluente de la planta).

Como puede apreciarse en los cuadros antes mencionados, para los parámetros de Coliformes Totales y Coliformes Fecales, en ninguno de los análisis se logra una cuantificación menor a los límites máximos permisibles, por lo que, de acuerdo a la Licda. Claudia María Arriaza Alfaro, Personal Especializado del Centro de Investigación de la Dirección Ejecutiva de ANDA, la institución se ve obligada a realizar cloración de los efluentes antes de ser vertidos al río Comalapa.

Es lógico que las cuantificaciones de estos parámetros microbiológicos sobrepasen los límites legalmente permitidos pues el sistema del filtro percolador (biológico) y los decantadores existentes en la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis Talpa no son eficaces para brindar un tratamiento a los mismos.

Cuadro 9. Registro de análisis de la calidad del agua del efluente de la PTAR de tipo ordinario San Luis Talpa, 2011.

Parámetros	Valores Máximos NSO 13.49.01:09	Feb	Abr	Jul	Oct	Dic
*pH	5.5-9.0	7.38	7.20	7.55	7.60	7.73
*DBO ₅ (mg/l)	60.00	20.20	12.10	22.60	33.80	42.50
*DQO (mg/l)	150.00	74.45	66.13	131.20	112.0	107.20
Aceites y Grasas (mg/l)	20.00	17.00	3.00	6.50	15.0	20.0
*Coliformes Totales (NMP/100 ml)	10,000.00	5.4x10 ⁶	1.6x10 ⁶	7900	9.2x10 ⁶	---
*Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2,000.00	5.4x10 ⁶	1.6x10 ⁶	7900	9.2x10 ⁶	---
Color en (Upt-Co)	-	208	178	141	278	266
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1.00	ND	ND	ND	ND	0.1
Sólidos Suspendedos Totales (mg/l)	60.00	25	22	19	14	28.0
Turbiedad (en UNT)	-	38	33	27	51	46

Fuente: ANDA, s.f.

*: Parámetro usado en la investigación.

Cuadro 10. Registro de análisis de la calidad del agua del efluente de la PTAR de San Luis Talpa, 2012.

Parámetros	Valores Máximos NSO 13.49.01:09	Abril	Agosto	Nov.
*pH	5.5-9.0	7.50	7.34	7.30
* DBO ₅ mg/l	60.00	45.0	---	---
*DQO mg/l	150.00	81.30	44.35	76.03

*Aceites y Grasas mg/l	20.00	12.0	10.0	38.00
*Coliformes Totales NMP/100 ml	10,000.00	1.3x10 ⁷	2.2x10 ⁶	3.3x10 ⁷
*Coliformes Fecales NMP/100 ml	2,000.00	1.3x10 ⁷	2.2x10 ⁶	2.3x10 ⁷
Color en Upt-Co	-	205	181	185
Sólidos Sedimentables ml/l	1.00	ND	ND	ND
Sólidos Suspendidos Totales mg/l	60.00	16	32.0	18
Turbiedad en UNT	-	15.5	10.4	18

Fuente: ANDA, s.f.

*: Parámetro usado en la investigación.

Cuadro 11. Registro de análisis de la calidad del agua del efluente de la PTAR de San Luis Talpa.

Parámetros	Valores Máximos NSO 13.49.01:09	Meses muestreados		
		11/03/13	26/06/13	18/09/13
*pH	5.5-9.0	7.6	7.42	7.62
* DBO ₅ mg/l	60.00	27.5	87.00	87.00
*DQO mg/l	150.00	83.20	172.80	157.87
*Aceites y Grasas mg/l	20.00	4.0	36.00	28.00
*Coliformes Totales NMP/100 ml	10,000.00	4.3x10 ⁷	---	8 x10 ⁷
*Coliformes Fecales NMP/100 ml	2,000.00	3.1 x10 ⁷	---	5 x10 ⁷
*Temperatura °C	20-35	34	35	35
Color en Upt-Co	-	195	432	---
Sólidos Sedimentables ml/l	1.00	N.D	ND	ND
Sólidos Suspendidos Totales mg/l	60.00	25.00	50.70	46.00
Turbiedad en UNT	-	23.9	67.25	---

Fuente: ANDA, s.f.

*: Parámetro usado en la investigación.

VI. Metodología

6.1. Revisión de literatura

Para el desarrollo de la presente investigación, se procedió primeramente a realizar revisión de literatura relacionada al diseño, establecimiento e implementación de humedales artificiales como alternativa de tratamiento para aguas residuales, tanto para tener datos útiles para el establecimiento de la iniciativa desarrollada en esta investigación como para tener antecedentes de otras que hayan sido desarrolladas en otras condiciones.

6.2. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el municipio de San Luis Talpa, en el departamento de La Paz, conformándose como un tratamiento terciario en la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario generadas en el casco urbano de dicho municipio (figura 12).

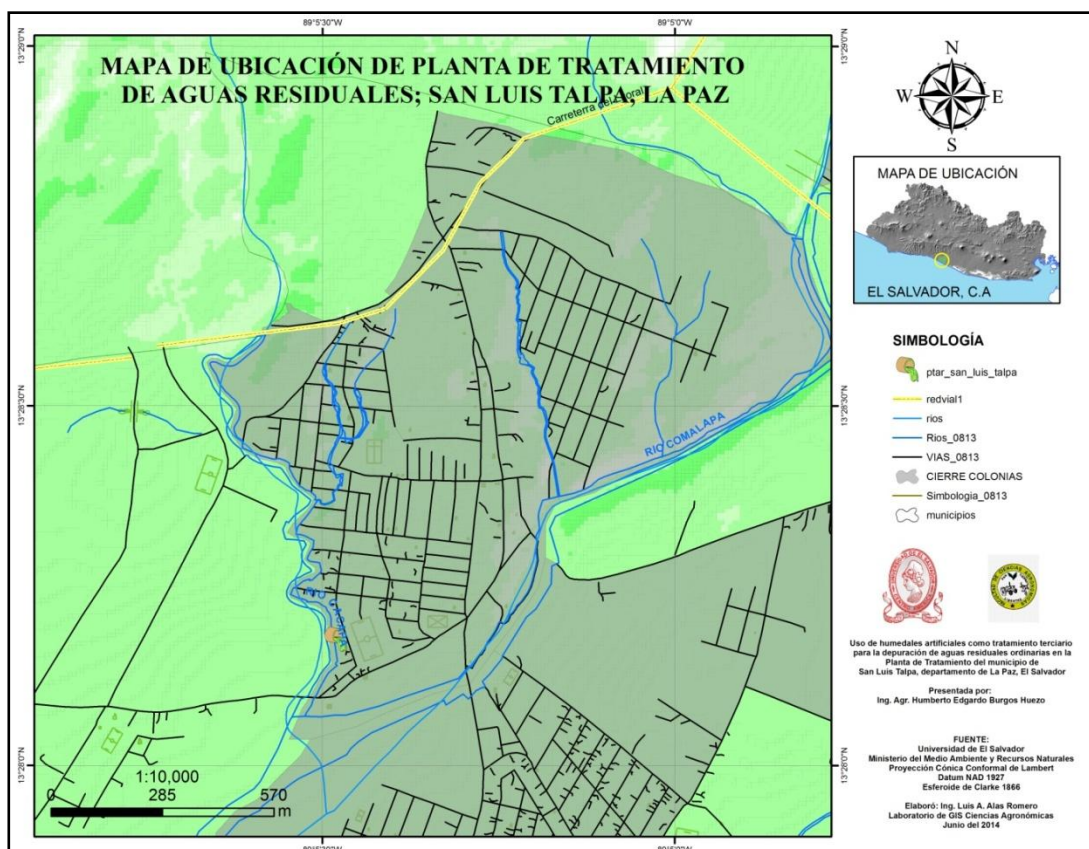


Figura 12. Ubicación de la PTAR de ANDA en San Luis Talpa, departamento de La Paz.

6.3. Selección de las aguas residuales a utilizar

Los humedales artificiales se utilizaron como un tratamiento terciario. A ellos fue derivado un caudal desde las gradas de aireación, que provenía del tratamiento realizado por el decantador secundario. Las aguas tratadas que llegan a las gradas de aireación son vertidas al río Comalapa.

6.4. Determinación de metales pesados en el afluente de la planta de tratamiento

Para tener una aproximación de la calidad del agua que está llegando a la planta de tratamiento, se realizó en el mes de enero de 2014 la cuantificación de los siguientes metales pesados: Boro (B), Plomo (Pb) y Mercurio (Hg). La NSO establece los siguientes niveles máximos permisibles para cada uno de ellos: 1.5 mg/l, 0.4 mg/l y 0.01 mg/l, respectivamente.

6.5. Descripción del humedal artificial y su ubicación en la planta de tratamiento

El establecimiento secuencial del humedal artificial fue basado, en la experiencia desarrollada por Argueta Portillo et al (2008), en el que se estableció primero un humedal artificial secuencial cultivado con *Phragmites australis*, y después un humedal cultivado con *Typha sp.*

Por ello, el humedal se constituyó por tres módulos secuenciales entre sí y en el orden siguiente: un módulo de captación de aguas residuales procedentes del decantador secundario, a partir del cual se derivaron las aguas hacia los humedales, y dos humedales individuales. El primero estuvo cultivado con la especie *Phragmites australis* y el segundo, con *Typha sp.* Los tiempos de retención hidráulica fueron de 0.63 y 1.02 días, respectivamente.

En la figura 13 se muestran los humedales artificiales secuenciales, así como la unidad de captación de aguas procedentes del decantador secundario de la planta. El agua se captaba en la unidad 1 de una capacidad aproximada de 0.512 m³, el cual es posteriormente vaciado a la unidad 2 cultivada con *Phragmites australis* y por gravedad era llevada hacia la unidad 3 cultivada con *Typha sp.*



Figura 13. Unidades de las que estaba compuesto el humedal artificial secuencial.

6.6. Cuantificación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para el diseño de los humedales artificiales

Puesto que la metodología propuesta para el diseño de los humedales artificiales se basó en la remoción del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), para fines de diseño, se consideró una carga de 60 mg/l, que es el promedio sugerido por Abarca Castellón et al (2011) para aguas domésticas.

Esta cuantificación fue considerada como la concentración de entrada a la primera etapa de los humedales artificiales, es decir, el cultivado con *Phragmites australis*. Esta concentración inicial de 60 mg/l se consideró adecuado pues el promedio de la cuantificación del efluente de la planta de tratamiento para los análisis de DBO_5 para los años 2011 y 2012 fue de 29.36 mg/l, es decir, con la concentración de diseño utilizada se estaba doblando la concentración promedio que se había estado obteniendo a la salida de la planta de tratamiento.

6.7. Dimensionamiento de los humedales artificiales

Para el diseño de cada módulo individual del humedal se retomó la metodología y granulometría sugerida por Abarca Castellón et al (2011). El diseño de los humedales artificiales se basó en la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Para el caso del humedal sub superficial, como ya se mencionó, se estimó una concentración de entrada de

DBO₅ de 60 mg/l. En el caso del efluente de la segunda sección del humedal, se consideró para su diseño una remoción del 50% de la concentración de entrada, es decir, una salida de 15 mg/l de Demanda Bioquímica de Oxígeno. Los cuadros 12 y 13 muestran los valores de diseño que fueron utilizados y finalmente implementados en los humedales artificiales tanto de flujo sub superficial como superficial. Las ecuaciones utilizadas fueron las presentadas y discutidas en la sección 5.8.3.1:

$$As = [Q (\ln (Ce - \ln (Cs)) / [Kt * y * n]; \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Q= Caudal promedio en el humedal.

Ce= Concentración de DBO₅ a la entrada del humedal (mg/l)

Cs= Concentración de DBO₅ a la salida del humedal (mg/l)

Kt= es la constante de reacción de primer orden en base volumétrica (día⁻¹).

y= Profundidad del agua en el humedal (m)

n= Porosidad (decimal)

El valor de Kt viene determinado por la fórmula:

$$Kt = K_{20} * \theta_T^{(T-20)}; \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

K₂₀: 1.104 d⁻¹

θ_T=1.06.

T= Temperatura del agua (° C).

La Temperatura no será considerada dentro de los cálculos, pues Kadlec y Knight (1996), citado por Mena Sanz (s.f.) determinaron que la remoción de DBO₅ es generalmente independiente de la Temperatura, por lo que, θ_T = 1.

$$Tr = (L * W * y * n) / Q;$$

Ecuación 4

Donde:

L: Largo del humedal (m).

W: Ancho del humedal (m).

y: Profundidad del humedal (m).

n: Porosidad del sustrato (decimal).

Q: Caudal de diseño (m³/día).

Cuadro 12. Parámetros de diseño del humedal artificial sub superficial cultivado con *Phragmites australis*.

Parámetro/característica	Unidad	Valor
Caudal (Q)	m ³ /s	0.50
Concentración de entrada de DBO ₅ (CE)	mg/l	60.00
Concentración de salida de DBO ₅ (CS)	mg/l	30.00
KT (Constante de reacción de primer orden en base volumétrica)	día ⁻¹	1.10
Altura de la lámina de agua (Y)	m	0.40
Porosidad (n)	m	0.38
Área superficial (AS)	m ²	2.07
As/3 ^{**}	m ²	0.69
Ancho (W)	m	0.83
Largo (L)	m	2.49
Tiempo de retención hidráulica (Tr)	días	0.63
Relación Largo: ancho (L:W)	adimensional	3.00
Plantas	Unidades	8.26
Total plantas	Unidades	11.48

Fuente: Elaboración propia.

**Se considera As/3 puesto que se consideró un diseño de relación largo:ancho de 3:1.

Para el humedal de flujo sub superficial las dimensiones deberían de ser:

- Ancho: 0.83 m, por motivos de simplificar la construcción se utilizó 0.85 m.
- Largo: 2.49 m, se diseñó a 2.5 m.

Este humedal tuvo una primera capa de aproximadamente 0.4 m de profundidad de grava número 1, y sobre ésta una capa de 0.1 m de espesor de grava número 2, donde fueron sembradas las plantas de *Phragmites australis*. La figura 14 muestra la disposición del material pétreo en el humedal.



Figura 14. Disposición de la grava utilizada como sustrato en el humedal artificial cultivado con *Phragmites australis*.

Cuadro 13. Parámetros de diseño del humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp.*

Parámetro/característica	Unidad	Valor
Caudal (Q)	m ³ /S	0.50
Concentración de entrada de DBO ₅ (CE)	mg/l	30.00
Concentración de salida de DBO ₅ (CS)	mg/l	15.00
KT	día ⁻¹	0.68
Altura de la lámina de agua (Y)	M	0.30
Porosidad (n)	adimensional	0.75
Área superficial (AS)	m ²	2.27
As/4	m ²	0.76
Ancho (W)	M	0.87
Largo (L)	M	2.61
Tiempo de retención hidráulica (Tr)	días	1.02
Relación Largo : Ancho (L:W)	adimensional	3.00
Densidad de plantas	Unidades/m ²	6.82
Total plantas	Unidades/m ²	15.48

Fuente: elaboración propia.

Para el humedal artificial de flujo superficial las dimensiones deberían de ser:

- a. Ancho: 0.87 m, por motivos de simplificar la construcción se utilizó 1 m.
- b. Largo: 2.61 m, se diseñó a 3 m.

Al fondo de este humedal fue colocada una capa de 0.1 m de tierra de textura franco arenosa, derivada de la construcción de los humedales en la que se sembraron las plantas de *Typha sp.* El diseño fue establecido para que hubiera de manera permanente una lámina de agua de aproximadamente 0.3 m de alto.

La caja de colecta y abastecimiento de aguas fue construida con dimensiones de 0.80 m de ancho, 0.80 metros de largo y una altura de 0.90 m, considerando que se trabajó con una lámina de agua de una profundidad de 0.8 m, generando un volumen útil de 0.51 m³ aproximadamente, volumen que a diario fue ingresado al humedal sub superficial (figura 15).

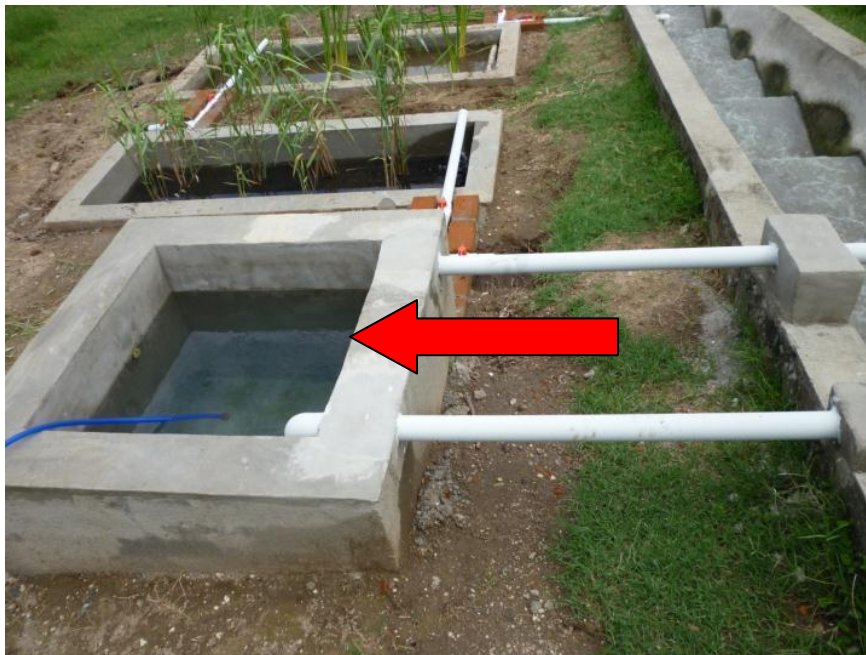


Figura 15. Caja de colecta y abastecimiento de aguas residuales para los humedales artificiales.

A la entrada y salida de cada módulo del humedal y de la caja de captación fueron colocadas válvulas de paso de PVC de 2", para facilitar el paso del agua entre las secciones y para la toma de muestras de las aguas residuales en los puntos considerados en la investigación. En la figura 16 se muestra (flecha roja derecha) el punto de muestreo del agua que proviene del humedal artificial sub superficial (cultivado con *Phragmites australis*) y la válvula para el control de flujo de un humedal al otro (Flecha roja izquierda).



Figura 16. Tubería de PVC y válvulas para control de flujo en los humedales.

6.8. Construcción de los humedales artificiales

La construcción de los humedales artificiales estuvo a cargo del personal de ANDA, quienes con las especificaciones brindadas procedieron a la construcción de las unidades respectivas. Para ello fueron cavados los agujeros respectivos en el suelo próximo a las gradas de aireación. Los materiales utilizados para la construcción fueron: ladrillo rojo de barro cocido tipo “calavera”, arena y cemento; como material impermeabilizante fue utilizada una capa de cemento alisado. En las figuras 17 y 18 se muestra el detalle de la construcción de los humedales.



Figura 17. Construcción de los humedales: Materiales utilizados.



Figura 18. Construcción de los humedales: Impermeabilización de la unidad.

6.9. Manejo de las especies vegetales *Phragmites australis* y *Typha sp*

Como parte de las actividades de la investigación fueron realizadas diversas labores, que pasaron desde la colecta de ejemplares de las dos especies vegetales, establecimiento en vivero, siembra, labores agronómicas, entre otras.

6.9.1. Obtención y propagación de la especie vegetal

Las plantas fueron colectadas de un humedal natural ubicado en la playa San Diego, en el municipio de La Libertad, en el departamento del mismo nombre. El procedimiento para la obtención de las plantas consistía en sacar con una pala el ejemplar identificado, con una sección de raíces adecuada para permitir una poda posterior para el acomodo de las plantas en las bolsas de vivero y así garantizar la sobrevivencia de las mismas. Los ejemplares así obtenidos se colocaron en sacos de polietileno para su traslado al lugar de establecimiento del vivero.

6.9.2. Manejo agronómico de las especies vegetales para su cultivo en vivero

- Recolección de los ejemplares: una vez seleccionado el ejemplar a obtener se procedía con una pala a extraerlo del conjunto de plantas con una sección abundante de sistema radicular.
- Transporte de plantas: Las plantas luego de su colecta fueron transportadas en saco, con el sistema radicular y foliar podado, para ser establecidas el mismo día o a más tardar al siguiente, en bolsas de almácigo 20 cm de ancho por 25 cm de altura.
- Preparación de las plantas para la siembra: los ejemplares extraídos fueron podados tanto del follaje como del sistema radicular para evitar la deshidratación y el riesgo de muerte de las mismas.
- Establecimiento en vivero: las plantas fueron sembradas en bolsas de polietileno de manera individual. Con la ayuda de una pala pequeña se abrió un agujero en el que se introdujo la planta y se realizó una compactación del sustrato (figura 19). Esta etapa duró aproximadamente 5 meses. Se debe aclarar que en la propuesta inicial se había contemplado un tiempo de vivero de solamente 3 meses, sin embargo, por el tiempo de construcción de los humedales se amplió a 5 meses. Posteriormente fueron trasplantadas a las respectivas unidades del humedal artificial.



Figura 19. Plantas de *Phragmites australis* en etapa de vivero.

- Distanciamiento de siembra de las plantas: Se sembraron las plantas a un distanciamiento de 0.30 m x 0.30 m, al cuadro.
- Control de malezas: se realizaron controles de malezas en forma manual, de acuerdo a la necesidad monitoreada en el seguimiento del establecimiento; En total se realizaron cinco limpiezas manuales en todo el periodo de vivero.
- Plagas y enfermedades: Se tuvo la presencia de áfidos y de una enfermedad causada por *Fusarium sp* pero solamente en los ejemplares de *Phragmites australis*. En el primer caso el control se realizó de manera manual; en el segundo, para prevenir la enfermedad por *Fusarium sp*, se realizaron fumigaciones al suelo y al follaje con una mezcla de Previcur y Derosal a razón de 25 cc, de cada uno, por bomba de 4 galones de agua.

Estas fumigaciones fueron realizadas solamente en la etapa de vivero, suspendiéndose las mismas en la etapa de establecimiento en los humedales artificiales, pues pudo observarse que la especie tiene una alta resistencia a los problemas antes mencionados y su respuesta ante la enfermedad fue el rebrote de las partes tanto aéreas como subterráneas de los ejemplares. El diagnóstico de la enfermedad por *Fusarium sp* fue realizado por el Departamento de

Parasitología Vegetal del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) (figura 20). La figura 21 muestra la presencia de áfidos en *Phragmites australis*.



Figura 20. Daño foliar causado por el hongo *Fusarium sp* en un ejemplar de *Phragmites australis*.



Figura 21. Ataque de áfidos en la especie vegetal *Phragmites australis*.

- Riego: Se regaba con manguera las plantas hasta la saturación del sustrato, de acuerdo a las necesidades verificadas.

- Fertilización: se realizó una fertilización generalizada que consistió en la aplicación de 15 gramos de fórmula 16-20-0 por planta en la etapa de crecimiento (15 días post siembra), y urea a razón de 15 gramos por planta luego de un mes y medio de desarrollo en vivero.

6.9.3. Trasplante a los humedales artificiales

El trasplante a los humedales se realizó aproximadamente cinco meses después del establecimiento del vivero. Los ejemplares fueron establecidos a una densidad de 12 plantas/m² para *Phragmites australis* y de 16 plantas/m², para *Typha sp.* Una vez establecidas se inició la provisión por un período de 21 días, de agua potable para que su acondicionamiento y desarrollo.

El procedimiento para el trasplante consistió en cortar por mitad el pilón de tierra en el que se había desarrollado la planta. Del sistema radicular que quedaba se eliminaba la mayor cantidad de tierra para tratar de sembrar la planta casi a raíz desnuda, dejando solamente una parte mínima de sustrato. En la figura 22 se muestra la forma en la que se preparaba el sistema radicular para el trasplante a los humedales.



Figura 22. Preparación del sistema radicular de *Phragmites australis* para su cultivo en el humedal artificial correspondiente.

6.9.4. Aclimatación de las especies vegetales en los humedales

Retomando la metodología sugerida por Colín Cruz et al (2009), las plantas fueron aclimatadas posterior a la siembra en los humedales para el establecimiento de su microbiología así como para permitir el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas, para tal fin, el agua residual que había pasado por los tratamientos primario y secundario en la PTAR fue derivada hacia los módulos cultivados por medio de válvulas de paso de PVC de 2".

Se esperó a que las plantas crecieran hasta un tamaño que osciló entre 0.75 m hasta 1 m, de acuerdo a las características de cada especie establecida.

El período de aclimatación duró un total de tres meses. Las tres primeras semanas de este período fue introducida al sistema de humedales agua potable; posterior a estas tres semanas se inició el flujo de aguas residuales provenientes del decantador secundario hacia los humedales. En este período no fueron realizados procesos de muestreo. El primer muestreo de los parámetros en estudio se realizó a partir del cuarto mes posterior al establecimiento de los humedales, es decir, en octubre de 2013. El estado de desarrollo de las especies vegetales hacia este mes se muestra en la figura 23.



Figura 23. Desarrollo de las especies vegetales sembradas en los humedales artificiales, octubre de 2013.

6.10. Fase de mantenimiento en campo: seguimiento de los humedales artificiales

A nivel de campo fueron realizadas actividades de monitoreo y labores agrícolas para el desarrollo y mantenimiento de las especies vegetales. Las principales actividades que fueron realizadas durante esta etapa y que duraron todo el período de establecimiento del ensayo fueron: poda de brotes (figura 24), limpieza de humedales y resiembra de ejemplares, remoción de especies vegetales diferentes a las cultivadas en las unidades.



Figura 24. Poda realizada a la especie *Phragmites australis* en enero de 2014.

6.11. Puntos y momentos de los muestreos

Fue realizado un total de 6 muestreos, desde el mes de octubre de 2013 hasta marzo de 2014. Los puntos de muestreo fueron cuatro: A la entrada del agua cruda a la planta (T0), a la salida del tratamiento secundario (T1), a la salida del humedal artificial sub superficial (T2) y por último, a la salida del humedal artificial de flujo superficial (T3). En ese mismo período se procedió a la toma de muestras para analizar los parámetros definidos en la investigación.

La figura 25, detalla esquemáticamente los puntos de muestreo de las aguas residuales, desde la entrada a la planta de tratamiento hasta la salida de la última etapa del humedal artificial.

Puede apreciarse en ella además la disposición secuencial seguida para su construcción e implementación.

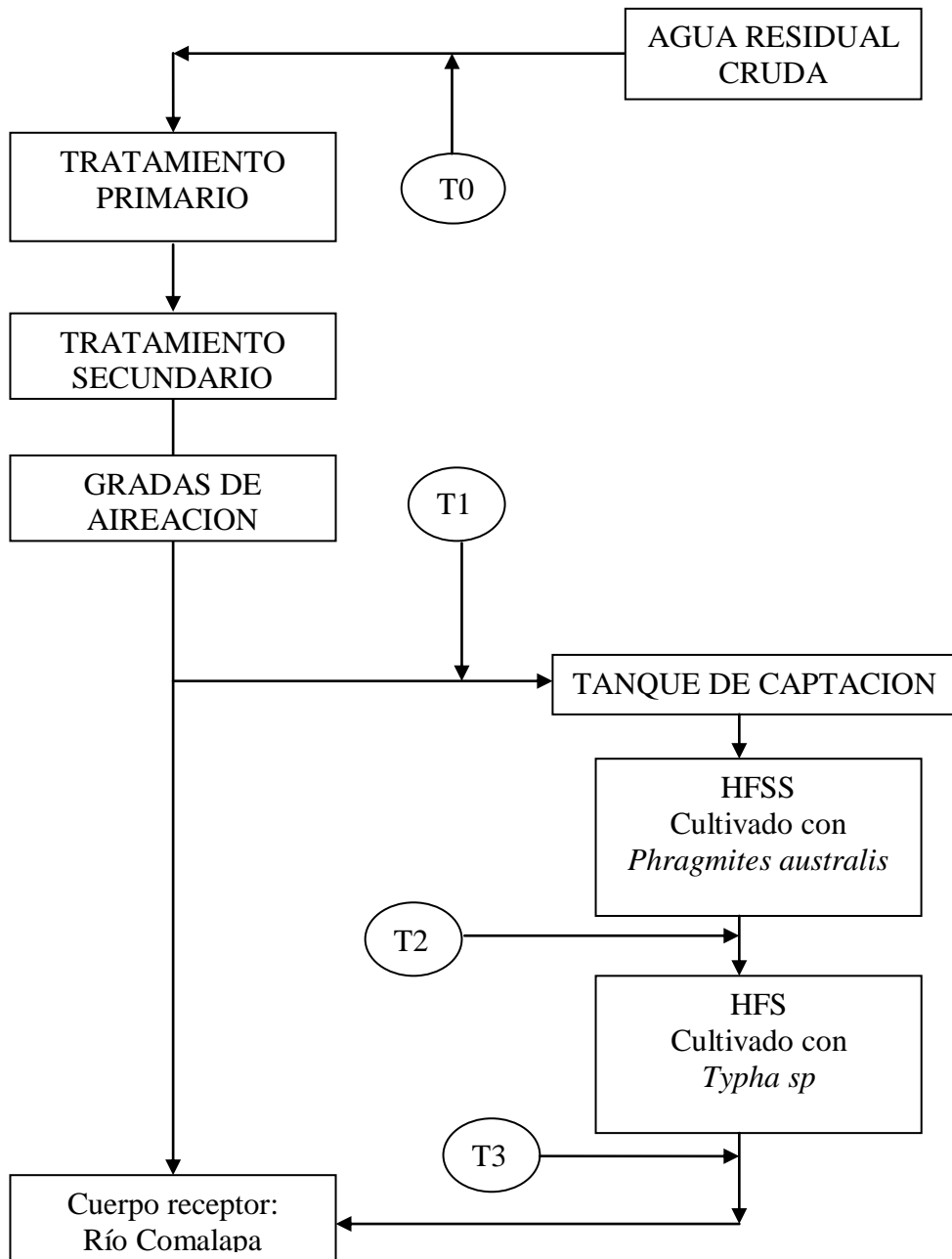


Figura 25. Esquema general del funcionamiento del humedal artificial: tratamientos primario y secundario, y humedales artificiales.

Donde:

- Tratamiento primario: Realizado por decantador primario.
- Tratamiento secundario: Realizado por decantador secundario.
- HFSS: Humedal horizontal de flujo sub superficial cultivado con *Phragmites australis*.
- HFS: Humedal horizontal de flujo superficial cultivado con *Typha sp.*
- T0: Punto de muestreo de aguas crudas que llegan a la planta de tratamiento.
- T1: Punto de muestreo 1 (afluente que llega al humedal procedente del proceso de depuración de los tratamientos primario y secundario de la planta ya establecida.
- T2: Punto de muestreo de las aguas procedentes del HFSS.
- T3: Punto de muestreo de las aguas procedentes del HFS.

6.12. Metodología de muestreo

La toma de muestras era realizada en el siguiente orden: agua cruda, salida de planta de tratamiento, salida de humedal artificial de flujo sub superficial y finalmente, a la salida del humedal artificial de flujo superficial. El proceso de muestreo de la aguas a la entrada del agua a la planta de tratamiento, para lo cual se tomaba agua residual directamente de la canaleta Parshall y era vertida en los recipientes respectivos (figura 26). Para el caso de la toma de muestras a la salida de la planta de tratamiento, dicha muestra se tomaba de la parte directamente de las gradas de aireación.

Para el muestro de los efluentes de los humedales artificiales se procedió a llenar la unidad de abastecimiento de capacidad aproximada de 0.512 m^3 . Dicho volumen era vertido momentos antes del muestreo por gravedad hacia el primer humedal y al llenarse la lámina de agua útil el agua pasaba hacia el humedal 2, en ese momento, con esta agua ya tratada se llevaba a cabo el muestreo. De igual manera, el agua que por empuje y por efecto de la gravedad salía del humedal 2, cultivado con *Typha sp.*, era muestreada para realizar la cuantificación de los parámetros en estudio. De manera simultánea, durante cada uno de los procesos de muestreo se levantaba una cadena de custodia, en un formato previamente establecido desde ANDA. El conjunto de cadenas de custodia pueden revisarse en el anexo 4.

Una vez colectadas las muestras, se colocaban en hielera para preservarla, previo a su traslado y entrega para los análisis respectivos tanto en los laboratorios de la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES), ANDA y en la facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador (figura 27).



Figura 26. Proceso de muestreo en el punto T1: Afluente de la Planta de Tratamiento.



Figura 27. Acondicionamiento de las muestras de agua en hielera para su traslado.

Las muestras así trasladadas eran entregadas el mismo día del muestreo, en los lugares antes mencionados. El conjunto de muestras a la salida de cada etapa se muestra en la figura 28; su orden respectivamente es: a. Agua cruda, b. Salida del decantador secundario, c. Salida del humedal artificial sub superficial y, d. Salida del humedal superficial.



Figura 28. Muestras de aguas residuales listas para ser entregadas a los laboratorios.

6.13. Parámetros considerados en la investigación

Para la caracterización del agua residual y el cumplimiento de los objetivos planteados, se consideró un total de 9 parámetros. La selección se hizo en función de tratar de abarcar tanto aquellos microbiológicos, fisicoquímicos y nutrientes, para tener una tipificación diversa de las aguas residuales. Los mismos y su límite máximo permisible se muestran en el cuadro 14.

Cuadro 14. Parámetros en estudio para las aguas residuales de la PTAR de San Luis Talpa.

Parámetro	NSO ¹
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	60
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	2,000
Coliformes Totales (NMP/100ml)	10,000
Fosfatos (mg/l)	25

¹ Límite máximo permisible de acuerdo a la NSO.

Nitratos (mg/l)	50
pH	5.5-9.0
Temperatura (° C)	20-35 °C
Aceites y Grasas (mg/l)	20

Fuente: Elaboración propia.

6.13.1. Período de realización de pruebas de laboratorio y lugares de análisis de muestras

Cada uno de los parámetros en estudio fue cuantificado desde el cuarto hasta el noveno mes después del establecimiento de los humedales, que se corresponden con el semestre octubre 2014 a marzo de 2014.

Los análisis de los parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, pH , Aceites y Grasas fueron realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de ANDA, mientras que los de Nitratos y Fosfatos, en el Laboratorio de Calidad Integral de FUSADES. En el caso de los parámetros Plomo, Boro y Mercurio, fueron realizados en la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador. Los informes de los resultados de los análisis realizados para los parámetros antes mencionados se muestran en el anexo 5.

6.14. Análisis estadístico de los resultados obtenidos

Se realizó el análisis estadístico de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio. Para ello se utilizó el programa INFostat. En el análisis estadístico se contempló la determinación del coeficiente de correlación para tratar de establecer las variables que tenían interacción y así poder establecer relaciones numéricas a partir de los resultados obtenidos.

De igual manera se utilizó el coeficiente de correlación cofenética, el cual mide el grado de relación entre las variables en estudio.

VII. Análisis de resultados

7.1. Determinación del cumplimiento de parámetros de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”

Los resultados obtenidos en los análisis de agua durante los seis meses de muestreo para cada uno de los puntos de muestreo se presentan en los cuadros 15, 16, 18 y 21.

Cuadro 15. Resultados de los análisis de agua residuales realizadas a las muestras del afluente de la PTAR de San Luis Talpa.

PARAMETRO ¹	NSO ²	MES ³						Promedio
		Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014	
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	150	741.02	417.12	512.00	325.33	744.00	665.28	567.46
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	60	402.50	265.00	332.50	285.00	382.5	362.50	338.33
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2,000	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	10,000	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fosfatos (mg/l)	25	9.92	7.80	7.30	6.11	2.21	9.04	7.06
Nitratos (mg/l)	50	18.72	ND1	5.88	ND1	ND1	12.50	6.18
pH (Unidades)	5.5-9.0	6.90	7.15	7.25	7.30	7.25	7.09	7.16
Temperatura (° C)	20-35 °C	34.00	33.00	35.00	31.00	34.00	34.50	33.58
Aceites y Grasas (mg/l)	20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Fuente: elaboración propia.

NE: No específica; ND: No fue determinado; ND1: No detectado.

¹ Resultados corresponden a punto de muestreo T0.

² Límite máximo permisible de acuerdo a la NSO.

³ El mes hace referencia al número de muestreos realizados después del establecimiento del humedal.

En el cuadro 15, las celdas de color gris indican que para ese mes la cuantificación de dicho parámetro se encuentra bajo del límite máximo permisible por la NSO.

De este cuadro debe de analizarse, principalmente, el comportamiento durante los seis meses de muestreo de los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno. En el semestre analizado, la totalidad de las cuantificaciones del primero están arriba del segundo, lo que indica la entrada al sistema de aguas residuales de tipo especial en combinación con aguas residuales ordinarias, para las que fue diseñada y construida la PTAR de San Luis Talpa.

Debe hacerse notar el hecho de que para los parámetros Fosfatos, pH y Temperatura, se cuantifican tanto en promedio como en los seis análisis realizados, valores que se ubican por debajo del límite máximo permisible por la NSO; lo que estaría indicando que no se considerarían factores limitantes o determinantes en el tratamiento.

Por otra parte los parámetros microbiológicos: Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Aceites y Grasas no fueron determinados por parte de ANDA, pues no se encuentran dentro de los parámetros que rutinariamente se realizan a las aguas efluentes a la PTAR.

Puede apreciarse en la figura 29, que para el caso de los parámetros Demanda Química de oxígeno y Demanda Bioquímica de oxígeno, para todos los muestreos realizados, se está sobrepasando ampliamente el límite máximo permisible, que corresponde a 150 mg/l y 60 mg/l, respectivamente. Como ya fue mencionado, esto implicaría la entrada al sistema de aguas residuales de tipo especial que, lógicamente estarían ingresando de manera ilegal al mismo.

Lo anterior, implicaría la necesidad de realizar una caracterización de las aguas residuales afluentes de la planta de tratamiento, para determinar los elementos que podrían estar llegando a la misma, enfocado hacia la toma de decisiones por parte de ANDA.

El vertido de estas aguas residuales afluentes a la PTAR, directamente al cuerpo receptor, produciría contaminación, así como implicaciones en la calidad del agua del río Comalapa a diversos niveles: vida acuática, actividades humanas y otras relacionadas.

El hecho antes mencionado puede ser importante para ANDA, en el sentido de que puede servir de base para la introducción de mejoras en el sistema de tratamiento ya existente, o por el contrario, del cambio del sistema de tratamiento utilizado, en función del tipo de aguas residuales que efectivamente están llegando a la planta de tratamiento.

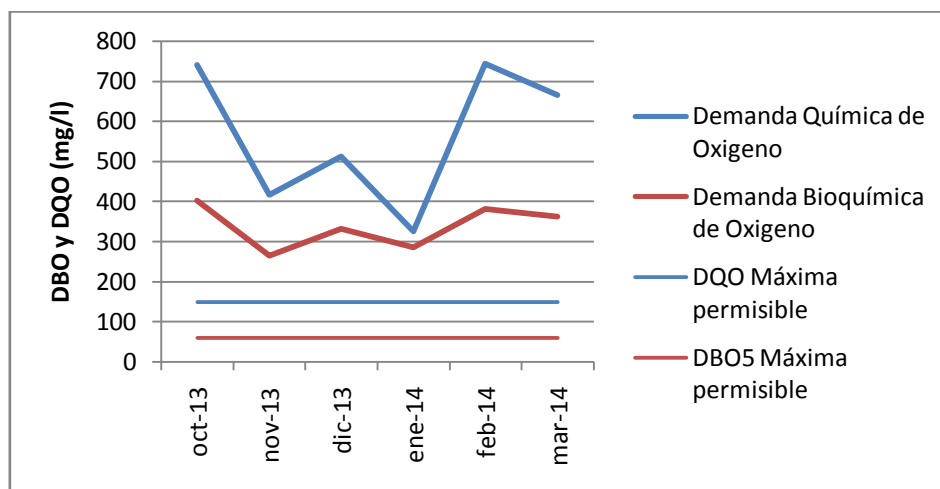


Figura 29. Sistematización de la DQO y DBO₅ en el afluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

Para el caso de los Nitratos y Fosfatos, en la figura 30, puede observarse que ambos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles. Para los Nitratos, el límite máximo permisible es de 50 mg/l¹ y, para los Fosfatos es de 25 mg/l². Se han considerado los límites anteriores, puesto que la normativa salvadoreña no los contempla y los mismos servirán de referencia para las cuantificaciones determinadas en la investigación.

Las tendencias presentadas en la figura 30, correspondientes a Nitratos y Fosfatos, permiten establecer el hecho de que los procesos de eutrofización no se estarían desarrollando de manera acelerada si las aguas fueran directamente vertidas al río Comalapa, al encontrarse su

¹ Límite máximo para la Organización Mundial de la Salud.

² Límite máximo para la Norma de vertidos de Costa Rica.

cuantificación bajo los límites máximos permisibles por las normativas utilizadas. De igual manera, ambos parámetros no se consideran prioridad para la formulación de nuevas tecnologías de depuración a implementarse en la PTAR de San Luis Talpa, por parte de ANDA.

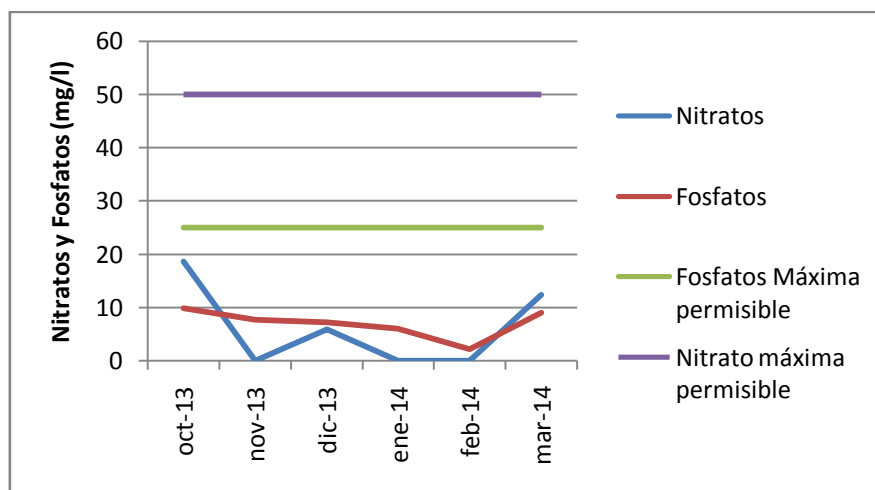


Figura 30. Sistematización de los Nitratos y Fosfatos para el afluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

La tendencia del pH y Temperatura en el período muestreado se presentan en las figuras 31 y 32. Para el pH todas las determinaciones se encuentran dentro del rango permitido por la NSO, entre 5.5-9 unidades de pH. Para la Temperatura, solamente dos determinaciones superan el límite superior del rango permitido, para los meses de noviembre de 2013 y marzo de 2014, con cuantificaciones de 36.0° C y 37.0° C.

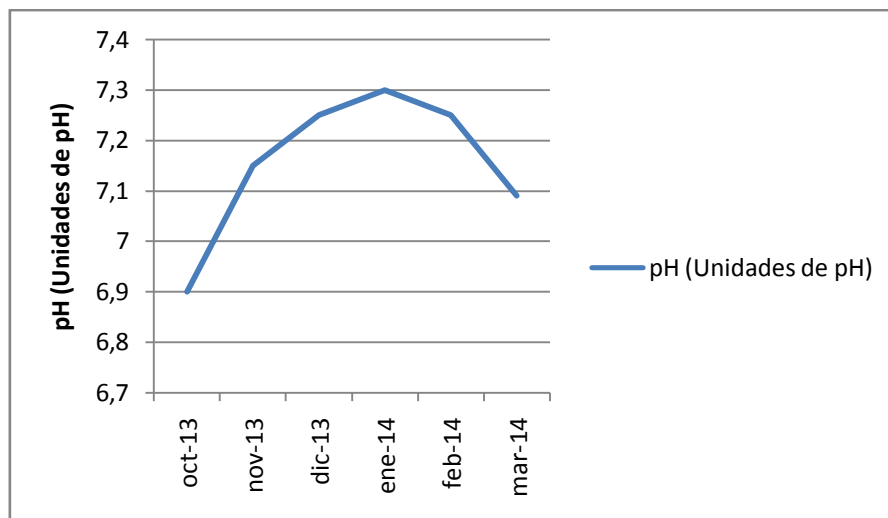


Figura 31. Sistematización del pH para el afluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

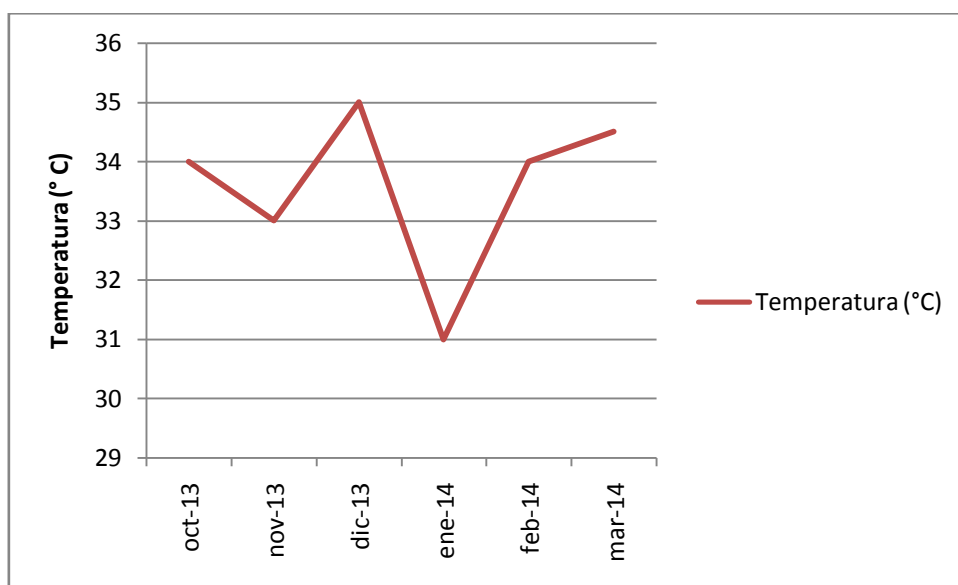


Figura 32. Sistematización de la Temperatura para el afluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

Para el caso de los parámetros Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Aceites y Grasas, no fueron cuantificados en las aguas afluentes a la planta de tratamiento; siendo analizados solamente para los demás puntos de muestreo: salida de planta de tratamiento y salidas de ambos humedales artificiales.

Cuadro 16. Resultados de los análisis de agua residuales realizadas a las muestras del efluente de la PTAR de San Luis Talpa.

Parámetro	NSO ¹	MES						PROMEDIO
		Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014	
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	150	150.90	396.00	236.00	88.53	218.4	112.99	200.47
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	60	66.50	342.00	85.62	37.00	82.00	57.00	111.69
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2,000	50,000,000	200,000,000	40,000,000	20,000,000	100,000,000	50,000,000	76,666,667
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	10,000	50,000,000	200,000,000	60,000,000	20,000,000	100,000,000	80,000,000	85,000,000
Fosfatos (mg/l)	25	13.87	12.75	11.03	11.98	14.18	12.60	12.74
Nitratos (mg/l)	50	3.69	ND1	ND1	ND1	58.36	10.20	24.08
pH (Unidades)	5.5-9.0	7.31	6.91	7.41	7.25	7.46	7.50	7.31
Temperatura (° C)	20-35 °C	33.5	36.00	34.00	32.50	35.00	37.00	34.67
Aceites y Grasas (mg/l)	20	31.00	74.00	37.00	11.00	27.0	15.00	32.50

Fuente: Elaboración propia.

ND1: No fue detectado.

NE: No específica.

¹ Límite máximo permisible de acuerdo a la NSO.

En la figura 33 puede observarse, que para cuatro de las seis determinaciones realizadas en las aguas efluentes de la planta de tratamiento, para los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Demanda bioquímica de Oxígeno, sus valores están por encima del límite máximo permisible por la NSO. Lo anterior pone en evidencia los problemas que la planta está teniendo para la depuración de las aguas.

En figura antes mencionada se muestra que al igual que en las aguas afluentes (analizadas anteriormente), las cuantificaciones del parámetro Demanda Química de Oxígeno, son superiores para el período de muestreo a las determinadas para el parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno; haciendo suponer dos puntos: a) La entrada al sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial y; b) La incapacidad de depuración de estos parámetros en la PTAR. Para ambos parámetros se logran cuantificaciones menores al límite máximo permisible para los meses de enero y marzo de 2014.

Igual consideración de análisis merece el parámetro Aceites y Grasas, para los cuales, solamente en dos de los cuatro muestreos realizados, se cumple con el límite máximo permisible por la NSO, que es de 20 mg/l; dichos muestreos corresponden a los meses de enero y marzo de 2014. Lo anterior implica, que la PTAR actualmente no está siendo adecuada para la reducción de este parámetro a cuantificaciones que permitan un vertido que no represente problemas ambientales.

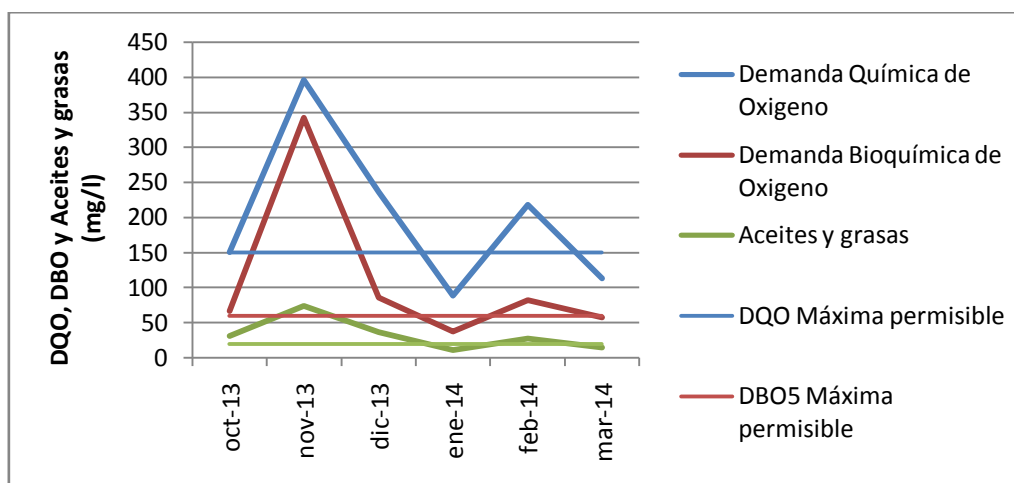


Figura 33. Sistematización de la DQO, DBO₅, Aceites y Grasas, para el efluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

Al tratar de establecer una relación entre los Aceites y Grasas con DQO y DBO₅, puede verse que existe una relación directa entre ellos, pues al aumentar gradualmente los Aceites y Grasas, se incrementan los otros dos parámetros.

Los Aceites y Grasas son solamente dos de los elementos que pueden influir en los incrementos de los mismos; por lo que, su reducción tanto en el lugar de su producción como en la entrada de la planta de tratamiento, estaría aportando a la reducción de este parámetro dentro de las aguas efluentes de la planta de tratamiento, brindando aguas residuales de mejor calidad a la entrada de un posible tratamiento terciario.

En ese sentido, una de las modificaciones que deberían de considerarse para la planta de tratamiento, podría consistir en el establecimiento de una trampa de grasa, previo al desarrollo de los tratamientos secundarios y terciarios.

La figura 34 muestra que para el caso de los Nitratos, en los análisis correspondientes a los meses de noviembre y diciembre de 2013 y enero de 2014, no pudieron ser detectables, subiendo a una cuantificación de 58.36 mg/l en el mes de febrero de 2014, para mostrar una tendencia a la baja a 10.20 mg/l en el mes de marzo del mismo año.

Para el caso del parámetro Fosfatos, todas las determinaciones estuvieron por debajo del límite máximo permisible, pero debe de recalcarse que en términos de promedio, ha habido un incremento desde 7.06 mg/l en el agua afluente, hasta 12.74 mg/l en el efluente de la planta. Posiblemente la planta de tratamiento ha venido sufriendo pérdidas de eficiencia de remoción de contaminantes.

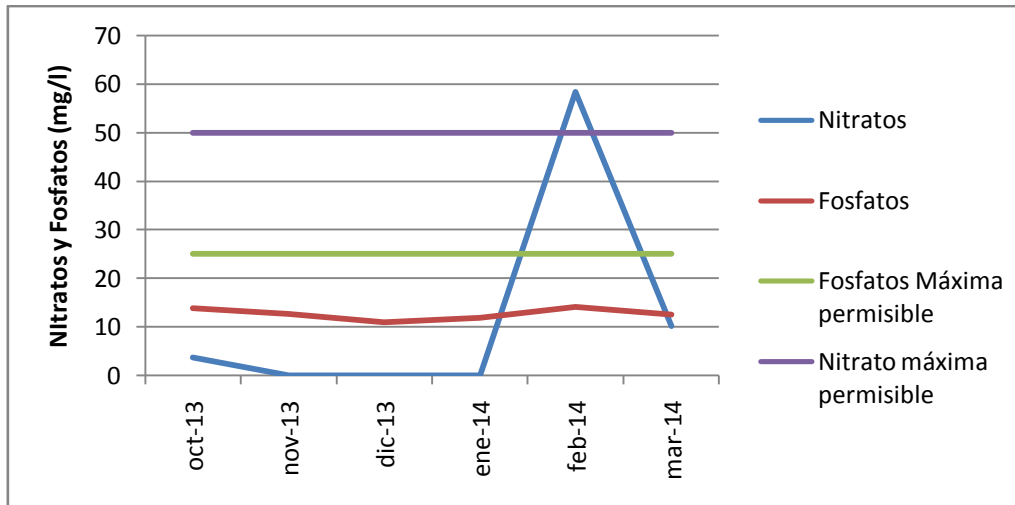


Figura 34. Sistematización de los Nitratos y Fosfatos para el efluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

La figura 35 muestra la tendencia en el tiempo de los parámetros Coliformes Fecales y Coliformes Totales. Puede verse que para ambos parámetros, en ninguno de los meses se logró la reducción debajo de los máximos permisibles por la NSO.

Al establecer una relación con el parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno, mostrado en la figura 33, puede inferirse que existe una relación directa entre ésta y la cuantificación de los Coliformes Totales y Coliformes Fecales. Así por ejemplo, para el mes de noviembre se registran las mayores cuantificaciones para los tres parámetros mencionados; en contraposición, para la menor cuantificación de DBO₅, 37.00 mg/l, lograda en el mes de enero de 2014, se cuantifica el menor valor tanto para Coliformes Fecales como Coliformes Totales, con 10⁷ NMP/100 ml.

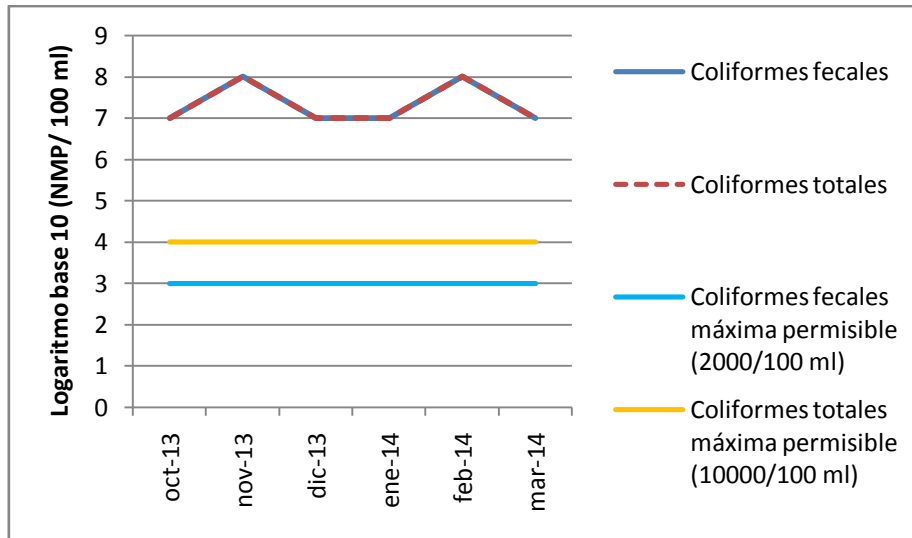


Figura 35. Sistematización de los parámetros microbiológicos Coliformes Fecales y Coliformes Totales para el efluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

Las figuras 36 y 37 muestran la evolución en el tiempo de los parámetros pH y Temperatura, respectivamente. Puede verificarse que para el 100% de las cuantificaciones de pH, éstas se encuentran en el rango permitido por la Norma. Mientras que solamente dos cuantificaciones para Temperatura, correspondientes a los meses de noviembre de 2013 y marzo de 2014, se encuentran arriba del rango máximo permisible.

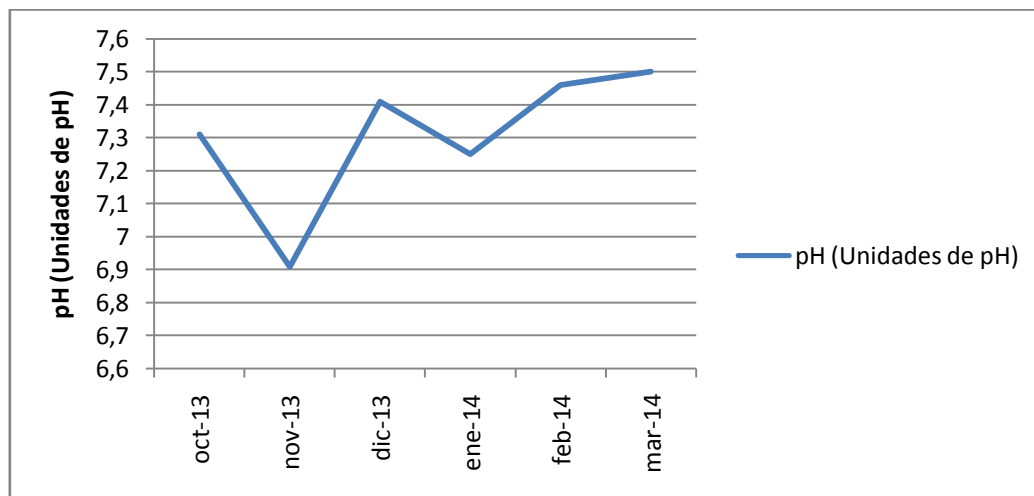


Figura 36. Sistematización del pH para el efluente de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

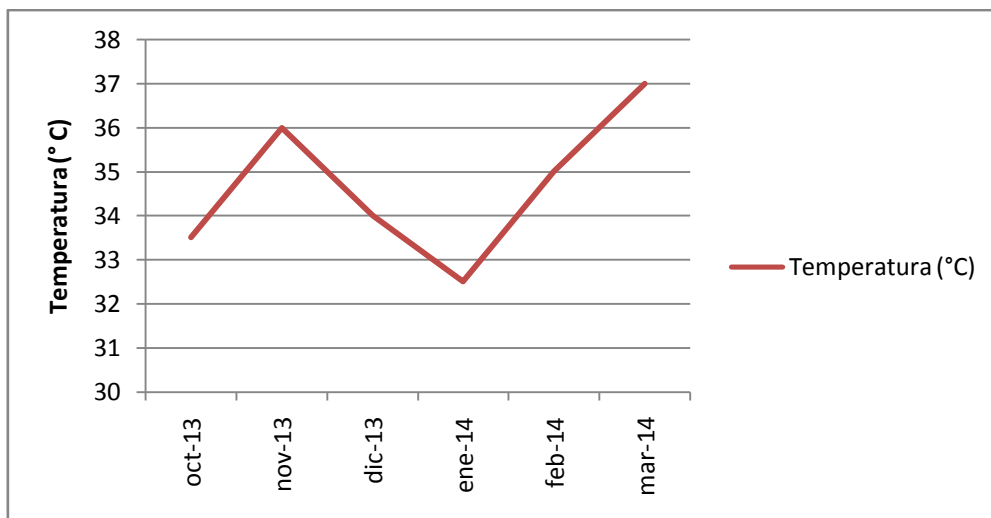


Figura 37. Sistematización de la Temperatura para el efluente de la planta de tratamiento “San Luis Talpa”.

En este punto, con base a la figuras 35 y 36, puede establecerse que un pH ligeramente ácido podría resultar conveniente para el desarrollo de Coliformes Fecales como Totales. Para el mes de noviembre de 2013, cuando se tiene una cuantificación del pH ligeramente ácida, se tiene el monto máximo de 10^8 NMP/100 ml para ambos parámetros microbiológicos considerados en la investigación. Igual consideración puede establecerse para el parámetro Temperatura, pues para el mismo mes en análisis (noviembre 2013), se registraron 36° C, la segunda más alta registrada en la investigación.

En términos generales, las cuantificaciones de los parámetros pH y Temperatura que se están obteniendo en la planta de tratamiento, se encuentran dentro de los rangos para el desarrollo óptimo de los parámetros microbiológicos: Coliformes Fecales y Coliformes Totales; por lo que, no son determinantes para que las poblaciones de los mismos se reduzcan a niveles debajo de los límites máximos permisibles.

En este punto, es importante verificar las tendencias que las cuantificaciones históricas de algunos parámetros analizados rutinariamente por ANDA en la planta de tratamiento, y que podrían ayudar a entender los resultados que se estarían obteniendo en el período de investigación desarrollada.

La evolución de la pérdida de la capacidad de depuración de la planta se muestra en el cuadro 17. El mismo muestra el promedio de cuantificación de cinco parámetros considerados en la presente investigación. Puede verse, que para todos los parámetros presentados, desde el año 2011 hacia el año 2013, se va generando un aumento en la cuantificación promedio, lo que hace inferir que la planta de tratamiento no está siendo funcional. Tal aspecto deberá de ser considerado por ANDA, en las decisiones que se tomen; ya sea para el funcionamiento y correcciones, previo a pensarse en el establecimiento de un tratamiento terciario a las aguas.

Cuadro 17. Evolución del promedio de las cuantificaciones de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en las determinaciones del efluente de la PTAR de San Luis Talpa.

Parámetro	Año		
	2011	2012	2013
DBO ₅ (mg/l)	26.24	45	115.94
DQO (mg/l)	98.20	67.23	199.46
Aceites y Grasas (mg/l)	12.3	20.0	35.0
*Coliformes Totales (NMP/100 ml)	7x10 ⁶	7x10 ⁷	3x10 ⁸
*Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	7x10 ⁶	7x10 ⁷	3x10 ⁸

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 18. Resultados de los análisis de agua residuales realizadas a las muestras del efluente del humedal artificial de flujo sub superficial cultivado con Carrizo, *Phragmites australis*.

Parámetro ¹	NSO ²	Mes						Promedio
		Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014	
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	150	143.42	116.16	96.00	182.40	88.00	140.45	127.74
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	60	19.50	72.50	52.50	82.50	26.00	19.75	45.46
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2,000	30,000	5,000,000	30,000,000	20,000,000	20,000,000	10,000,000	14,171,667
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	10,000	30,000	5,000,000	100,000,000	20,000,000	30,000,000	10,000,000	27,505,000
Fosfatos (mg/l)	25	13.17	22.00	14.69	18.75	1.48	13.35	13.91
Nitratos (mg/l)	50	1.97	2.18	ND1	ND1	21.54	ND1	8.56
pH (Unidades)	5.5-9.0	7.23	7.07	7.48	7.00	7.44	7.50	7.29
Temperatura (° C)	20-35° C	34.00	31.50	32.00	35.00	35.00	36.00	33.92
Aceites y Grasas (mg/l)	20	19.00	126.00	24.00	12.00	4.0	7.0	32.00

Fuente: Elaboración propia
 ND1: No fue detectado.
 NE: No específica.

¹ Resultados corresponden a punto de muestreo T2.

² Límite máximo permisible de acuerdo a la NSO.

La figura 38 muestra las tendencias de los parámetros Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Puede observarse que para el caso del parámetro DQO, solamente para una de las seis pruebas realizadas, su cuantificación está arriba del límite máximo permisible por la NSO y corresponde al mes de enero de 2015, con 182.40 mg/l.

Para el caso del parámetro DBO₅, se registraron dos valores por arriba del límite máximo permisible, correspondientes a los meses de noviembre 2013 y enero 2014, con cuantificaciones de 72.5 mg/l y 82.5 mg/l, respectivamente.

Debe observarse en este punto, el hecho de que, al igual que en el agua residual efluente de la planta de tratamiento, las cuantificaciones a la salida del humedal artificial cultivado con Carrizo, *Phragmites australis*, para el parámetro DQO, son en todos los casos mayores que las cuantificaciones de la DBO₅, lo que puede aportar una idea general de que al sistema se están vertiendo sustancias cuya reducción por medios biológicos no sería posible o muy difícilmente lograda.

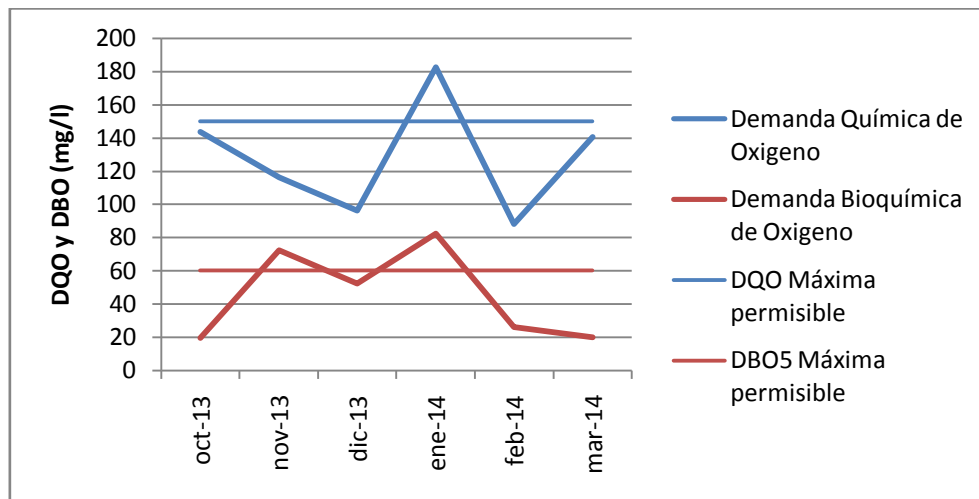


Figura 38. Sistematización de la DBO₅ y de la DQO, en el efluente del humedal artificial, cultivado con *Phragmites australis*.

La capacidad de depuración del sistema implementado en San Luis Talpa en términos de la DQO y la DBO₅, coincide con los resultados obtenidos en experiencia similares a nivel nacional y regional centroamericano; por ejemplo, en la planta de tratamiento de San José Las

Flores, ubicada en el departamento de Chalatenango, se registraron resultados inferiores al límite máximo permisible por la NSO, llegando, de acuerdo al anexo 6, a cuantificaciones de 35.5 mg/l y 69.7 mg/l para los parámetros antes mencionados. Esta capacidad depuradora, de acuerdo a León Rivas et al (2008), podría derivarse de un tiempo de funcionamiento mayor del humedal de San José Las Flores, con la consecuente implementación de la especie vegetal, así como de la microbiología relacionada al mismo.

De igual manera, experiencias desarrolladas en Nicaragua, corroboran los resultados obtenidos en esta investigación, en el que han sido utilizados humedales de tipo horizontal cultivados con Carrizo, *Phragmites australis*, para la depuración de aguas residuales. Como puede observarse en el anexo 7, para las aguas efluentes de los humedales, se logran tanto en la presente investigación como en la planta de tratamiento de Masaya (Nicaragua), cuantificaciones menores a la NSO; reportándose niveles de 3 mg/l y 38 mg/l para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de oxígeno, respectivamente.

Becerra Martínez et al (2003) especifican que los valores obtenidos para los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, en los humedales de tipo horizontal de flujo sub superficial, mejoran en el transcurso del tiempo, cuando los mismos alcanzan una cobertura vegetal total, y por lo tanto, una densidad de raíces más desarrollada, para favorecer el crecimiento de microorganismos que degraden la materia orgánica y favorezcan su mineralización, ofreciendo estos minerales para el consumo de las plantas, que son la principal fuente de reducción de este parámetro.

Lo anterior, puede verificarse con la tendencia registrada para los parámetros DQO y DBO₅, para los cuales se genera una cuantificación máxima en el mes de enero de 2014 para posteriormente reducirse hacia los meses de febrero y marzo del mismo año; sin embargo, una tendencia más clara del comportamiento de la capacidad depuradora de este tipo de humedal artificial solamente podrá establecerse con períodos mayores de seguimiento y monitoreo del mismo.

Lara Borrero (1999) detalla que para el caso de los humedales artificiales de flujo sub superficial, su gran capacidad para la remoción de la carga orgánica (expresada en términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno), se debe, entre otros factores, a la poca velocidad del agua residual en los mismos, así como a la deposición y filtración del material de soporte de la especie vegetal utilizada y a su proceso de remoción continua, siendo realizado al entrar ésta en contacto con los microorganismos que crecen en el sistema.

El autor antes mencionado detalla que en Norteamérica se han obtenido cuantificaciones del parámetro Demanda bioquímica de Oxígeno por debajo de los 20 mg/l, considerando concentraciones de entrada al humedal superiores a los 150 mg/l, es decir una reducción de aproximadamente 130 mg/l (87% de remoción).

Al establecer una comparación con los resultados obtenidos en esta investigación en los que se tiene una concentración promedio de entrada de 111.69 mg/l y una salida de *Phragmites australis* de 45.46 mg/l, es decir un reducción de 66.23 mg/l (59.29% de remoción), puede inferirse que conforme el humedal se vaya estableciendo la capacidad depuradora se irá estableciendo aún más debido a la interacción de los elementos que Lara Borrero (1999, especifica.

Colín Cruz et al (2009) utilizando humedales artificiales de tipo horizontal y flujo sub superficial determinó que un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 5 días era el necesario para lograr depuraciones de hasta un 50% de la Demanda Química de Oxígeno.

Es importante hacer notar que, comparando estos valores con los obtenidos en la presente investigación, para un tiempo de retención hidráulico de 0.63 días, se obtienen remoción promedio de 36% para el mismo parámetro, lo que haría pensar que una ampliación en el TRH aportaría aún más a bajar la cuantificación del mismo, pues se estaría dando mayor oportunidad de interacción de los diversos factores participantes en el proceso de depuración.

Korkusuz *et al* (2004) citados por Colín Cruz et al (2009), especifican que las concentraciones de los nutrimentos y de la carga orgánica en el afluente y el efluente, son afectadas por

cambios en el volumen del agua en el sistema, generados principalmente por factores climáticos de precipitación pluvial, evaporación y evapotranspiración. Al incrementar los dos últimos se reduce el volumen de agua y las concentraciones de nutrimentos y carga orgánica se incrementan, fenómeno que pudo haber ocurrido en el presente trabajo, para el caso de la DQO y la DBO₅ para el mes de enero de 2014, mes en el que se registran sus mayores cuantificaciones.

En los cuadros 19 y 20 se muestran los valores climáticos de la precipitación promedio y de la Temperatura ambiental registrados en San Luis Talpa para los meses de muestreo. Puede observarse que para enero se registra una de las menores concentraciones de precipitación con un valor de 2 mm, sumado al hecho del registro de la mayor Temperatura ambiental con un registro de 42° C, factor este último, que facilitaría los procesos de evapotranspiración y evaporación con la consecuente concentración de contaminantes. Estos dos factores combinados podrían estar generando, para el mes de enero de 2014, la cuantificación máxima de Demanda Química de Oxígeno, con 182.40 mg/l.

Esta cuantificación alta de DQO probablemente obedezca a que la capacidad de depuración de las plantas, así como la microbiología en el humedal artificial, no estaban aún establecidas.

A ello debe de agregarse, el hecho de que el carrizo, *Phragmites australis*, reportó un estado de senescencia en ese mismo mes (enero de 2014), con la consecuente muerte de la parte foliar (figura 39); lo que podría haber inducido en la planta un menor requerimiento de nutrientes para sus funciones vitales, y por ende, una reducción en su capacidad depuradora; ello sugiere que deberá de realizarse una actividad de manejo agrícola antes de dicho mes, para poder inducir en las plantas la necesidad de nutrientes para la generación de biomasa foliar.

Cuadro 19. Sistematización de la precipitación pluvial promedio de los últimos 20 años en la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de El Salvador.

Factor climático	Enero	Febrero	Marzo	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación (mm)	2	0	13	244	53	10

Cuadro 20. Sistematización de la Temperatura ambiental registrada en los procesos de muestreo en la investigación realizada en la planta de Tratamiento de San Luis Talpa.

Factor climático	Octubre 2013	Noviembre 2013	Diciembre 2013	Enero 2014	Febrero 2014	Marzo 2014
Temperatura ambiental (° C)	36.5	35	35	42	37	37.5

Para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno en general, podemos establecer las siguientes consideraciones respecto de la especie vegetal Carrizo, *Phragmites australis*, utilizada en humedal de flujo sub superficial:

- a. Es eficaz para la reducción de la cuantificación de los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, hasta niveles debajo de los límites máximos permisibles por la NSO; pues se obtuvieron cuantificaciones promedio de 127.74 mg/l y 45.46 mg/l, respectivamente.
- b. En algunos meses parece darse una acumulación en el sistema, respecto del agua residual de entrada, factor que podría estar siendo ocasionado por factores climáticos, así como por el desprendimiento de partes de la planta y del proceso de desarrollo de ella.



Figura 39. Estado de senescencia en *Phragmites australis* en enero de 2014, en el humedal artificial de flujo sub superficial.

Para el caso de los Aceites y Grasas, mostrados en la figura 40, dos de las seis cuantificaciones superan el límite máximo permisible por la NSO, con un máximo en noviembre de 2013, con 126 mg/l, a partir del cual se registra de manera continua un descenso en las cuantificaciones, así, para diciembre de 2013, enero, febrero y marzo de 2014, se logran cuantificaciones de 24,

12, 4 y 7 mg/l. Se aprecia una tendencia a la baja en la cuantificación, a medida el humedal se va estableciendo en el tiempo.

Al establecer una comparación con la figura 38, en la que se muestra las tendencias de los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, puede verse que a medida se va presentando la tendencia a la baja en las cuantificaciones de los Aceites y Grasas, se va generando igual tendencia en el parámetro DBO₅.

Efectivamente, al ir mejorando la capacidad depuradora de los Aceites y Grasas en el humedal artificial, se va reduciendo la necesidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica, así como la cantidad de oxígeno para degradación expresada en términos de DQO.

Comparando el parámetro Demanda Química de Oxígeno (figura 38) y el parámetro Aceites y Grasas de la figura 40, puede apreciarse que no existe una tendencia a la baja entre la variable antes mencionada y esta última. A pesar de que ésta última se encuentre a la baja, se generan incrementos en la Demanda Química de Oxígeno, que pueden responder a otras sustancias que llegan a las aguas residuales, cuya naturaleza no es conocida, factor éste que debe de ser verificado en las aguas residuales afluentes a la planta de tratamiento.

En este sentido, en caso de implementar humedales artificiales para depuración de Aceites y Grasas en aguas residuales, sería conveniente el tratar de establecer sistemas “in situ”, para lograr reducciones en el parámetro desde la entrada, con la consecuente reducción a la salida del humedal desde estadios tempranos del mismo.

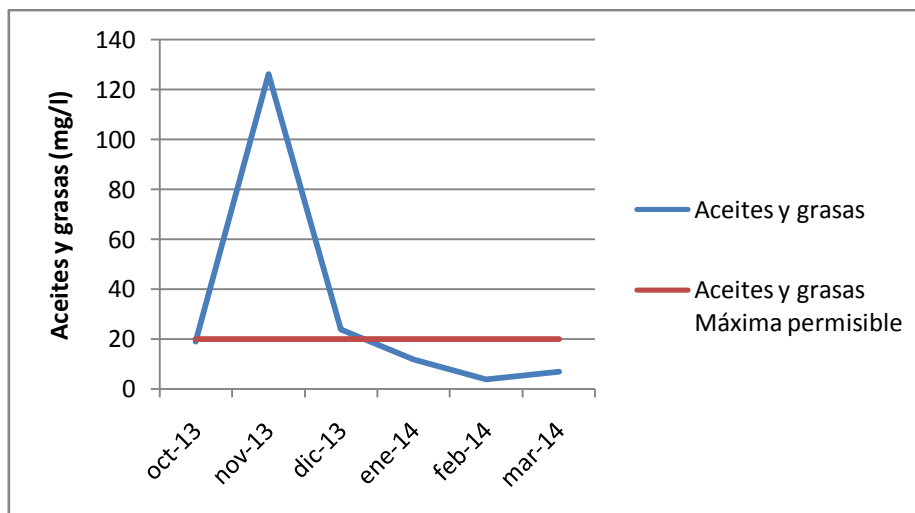


Figura 40. Sistematización de los Aceites y Grasas en el efluente del humedal sub superficial cultivado con *Phragmites australis*.

En el anexo 8 se muestra el resultado de la cuantificación del parámetro Aceites y Grasas en la PTAR de San José Las Flores, Chalatenango, en octubre de 2008. El humedal utilizado en este municipio es de flujo sub superficial y cultivado con la especie vegetal Pasto elefante, *Pennisetum purpureum*. Para este mes la cuantificación de este parámetro en el efluente del humedal artificial fue de 11.02 mg/l partiendo de una cuantificación de entrada de 19.04 mg/l a la salida del tanque Imhoff.

Esta cuantificación es aún mayor a algunas de las obtenidas en el humedal sub superficial utilizado en la planta de Tratamiento de San Luis Talpa en la que se obtuvieron cuantificaciones para las Aceites y Grasas que oscilan desde los 4 hasta los 19 mg/l, lo que implica que el humedal artificial de flujo sub superficial instalado en esta investigación se constituye en una alternativa para la depuración de este parámetro.

La tendencia muestra que conforme el humedal se va desarrollando, las cuantificaciones se van reduciendo; por lo que, la realización de pruebas durante períodos mayores de tiempo son necesarias para determinar con mayor nivel de certeza el funcionamiento a largo plazo de los mismos.

La figura 41 muestra la tendencia de las cuantificaciones de los parámetros Fosfatos y Nitratos, en la sección del humedal de flujo sub superficial.

Para el caso del parámetro Fosfatos, las cuantificaciones que se lograron en la presente investigación se asemejan con las logradas en experiencias similares a nivel centroamericano. Así por ejemplo, para los humedales artificiales de flujo sub superficial instalados en Masaya, Nicaragua, para este parámetro se obtuvieron cuantificaciones que oscilan entre los 14 y 10 mg/l, mientras que en el humedal establecido en la presente investigación se cuantificó, un promedio de 13.91 mg/l, con un rango que varía entre 1.48 y 22 mg/l.

Londoño Cardona (2009) especifica que la reducción de los Fosfatos en un humedal artificial responde al hecho de que el fósforo como tal es aprovechado por las plantas en sus primeras etapas de crecimiento, que es justo la tendencia que se ha logrado en la investigación, para la que, como ya fue mencionado, se obtuvo en promedio una cuantificación de 13.91 mg/l.

Este autor especifica que la capacidad de los humedales para la remoción de fósforo depende de la etapa de crecimiento de las plantas y del estado del suelo del humedal, en una fase inicial es natural que la remoción de fósforo sea elevada, ya que las plantas incorporan buenas cantidades de fósforo.

Colín Cruz et al (2009), evaluaron la remoción de fósforo en humedales de flujo sub superficial, llegando los análisis a cuantificaciones que varían desde 0.70 mg/l hasta los 0.87 mg/l; mientras que para la presente investigación se lograron cuantificaciones que van desde los 1.48 hasta los 22 mg/l rango que varía considerablemente con el obtenido por los autores citados.

Puede notarse que para febrero de 2014, se logra la menor cuantificación de Fosfatos para el período en el humedal de flujo sub superficial, con 1.48 mg/l; esto pudo haberse generado por el incremento de las necesidades nutricionales de la planta luego del estado de senescencia reportado en el mes de enero de 2014, es decir, hubo un mayor uso y aprovechamiento del

Fósforo para sus funciones vitales con la consecuente disminución del parámetro en el agua residual.

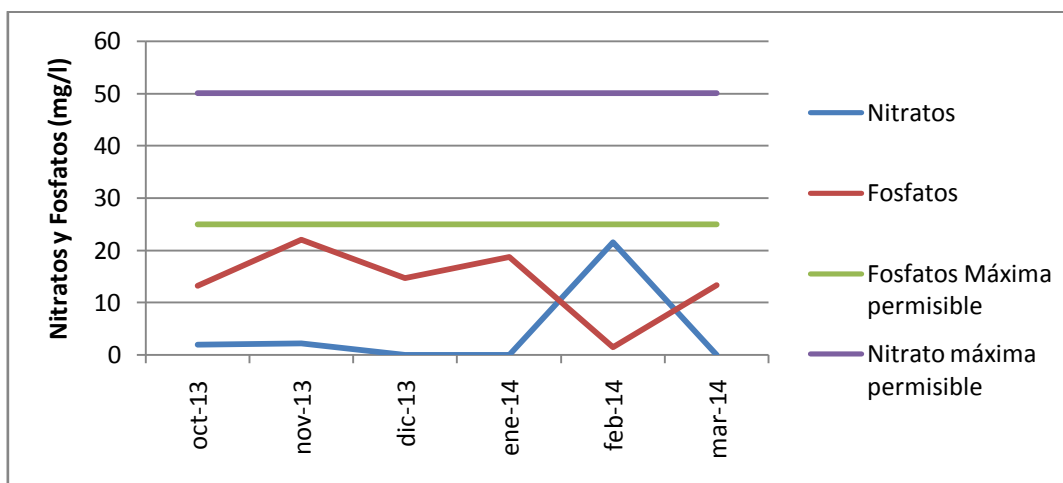


Figura 41. Sistematización de los Nitratos y Fosfatos en el efluente del humedal artificial sub superficial cultivado con *Phragmites australis*.

Los resultados de la investigación realizada en el municipio de San Luis Talpa, para el caso del humedal artificial de flujo sub superficial, muestran que éstos pueden servir como un método para la reducción de los niveles de Fosfatos, pues todas las cuantificaciones del efluente respecto de este parámetro son menores al límite máximo permisible utilizado de referencia (25 mg/l),

Aún cuando las cuantificaciones muestran buenos resultado, faltaría verificar su comportamiento a largo plazo considerando que, de acuerdo a Colín Cruz et al (2009), la eficiencia de remoción puede verse reducida con el paso del tiempo, cuando se genera la saturación del medio así como por el hecho de que la planta ha pasado a estadios de desarrollo diferentes y sus requerimientos de fósforo pueden ser menores.

En lo que respecta al parámetro Nitratos, el humedal artificial de flujo sub superficial puede considerarse como una herramienta eficiente de depuración, pues todas las determinaciones se encuentra abajo del límite máximo permisible por la norma utilizada como referencia, que es de 50 mg/l.

Como puede apreciarse, para los meses de diciembre 2013, enero y marzo de 2014, este parámetro (Nitratos) no pudo ser determinado en las cuantificaciones, lo que estaría indicando que el nitrógeno afluente, no estaría siendo convertido a esa forma química por parte de los organismos encargados de dicho proceso y estaría pasando a la siguientes sección del humedal en forma de nitrógeno orgánico o amoniacal (Lara Borrero, 1999).

Se genera la mayor cuantificación para el mes de febrero de 2014, con 21.54 mg/l, la que se corresponde con la mayor cuantificación para el agua efluente de la planta de tratamiento cuyo valor fue 58.36 mg/l, lo que significa un porcentaje de remoción del 63% del mismo.

Lara Borrero (1999) y Londoño Cardona (2009) especifican que en el proceso de nitrificación en los humedales artificiales intervienen diversos factores como: Temperatura, pH, fuente de carbón inorgánico, población microbial, concentración de oxígeno disuelto y nitrógeno amoniacal; para la investigación realizada el pH fluctuó desde 7 hasta 7.5 unidades, niveles que no se ubican en el rango óptimo de desarrollo de este proceso, que se da entre las 7.5-8.6 unidades; factor éste que aunque no es el único involucrado sí fue monitoreado.

Es necesario incluir en el análisis otro factor que está relacionado con el desarrollo de la especie vegetal; Londoño Cardona (2009) especifica que el potencial de remoción del nitrógeno puede tomar varios años en desarrollarse requiriendo incluso de dos o tres etapas de crecimiento de las plantas, sistemas de raíces, capa de residuos y material del medio, para alcanzar el equilibrio, por lo que, la capacidad depuradora de la especie *Phragmites australis* para el caso del parámetro Nitratos deberá de evaluarse en períodos más largos de tiempo pues es un humedal en un estadio de desarrollo no tan avanzado.

La necesidad de realización de pruebas en períodos mayores para el caso de la especie *Phragmites australis* es sustentada por Becerra et al (2003), quienes especifican que se espera que los resultados de depuración de formas nitrogenadas en los humedales artificiales mejoren una vez alcanzada una cobertura vegetal y radicular mayores.

Al depender el proceso de nitrificación de condiciones aeróbicas en el medio, un mayor aporte de oxígeno al sistema sub superficial podría lograrse con el establecimiento de una lámina de agua de menor profundidad a la utilizada en el sistema en la presente investigación que fue de 0.4 m; ello implicaría la necesidad de una mayor área para tratar un mismo caudal afluente en el sistema. Con una lámina de agua menor se estaría facilitando un mayor intercambio gaseoso entre el sistema y el ambiente.

En el caso de los Nitratos, al establecer una comparación con las cuantificaciones del agua efluente de la planta de tratamiento, que eran las que ingresaron al humedal artificial, puede verse que existe una reducción considerable de este parámetro, pasando de un promedio de 24.08 mg/l a 8.56 mg/l, lo que implica una reducción del 65% respecto de la concentración promedio de entrada.

Tanto a la salida de la PTAR de San Luis Talpa como a la salida del humedal artificial cultivado con *Phragmites australis* se logran cuantificaciones que cumplen con el límite máximo permisible establecido por la Guía de la Organización Mundial de la Salud para la Calidad del Agua Potable, que es de 50 mg/l. Esto implica que este parámetro no sería fundamental para el diseño e implementación de un tratamiento terciario de las aguas residuales generadas en el municipio.

La figura 42 muestra la tendencia en el tiempo de las cuantificaciones de Coliformes Totales y Coliformes Fecales; para el total de determinaciones realizadas para ambos parámetros, puede observarse que no se cumple con el límite máximo permisible estipulado en la NSO.

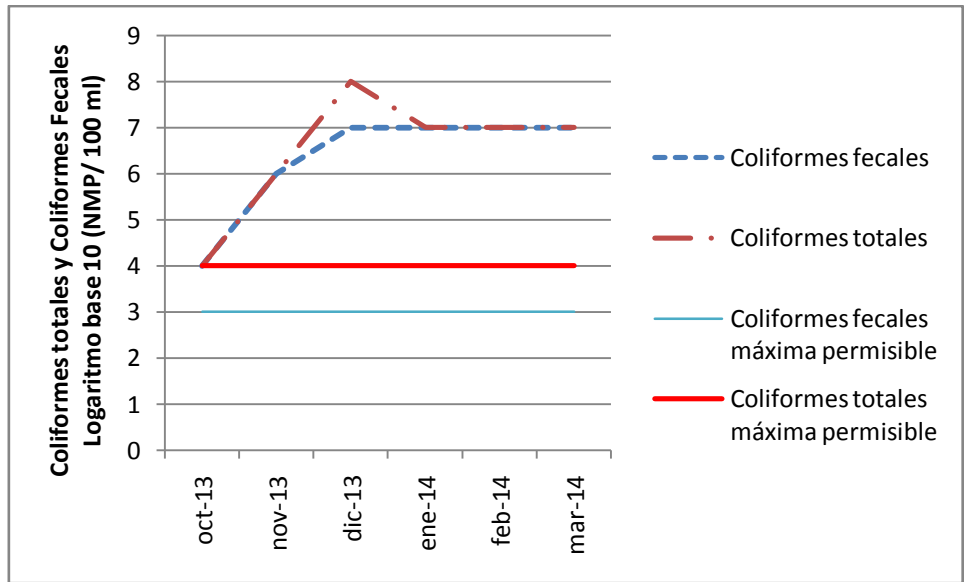


Figura 42. Sistematización de los parámetros microbiológicos Coliformes Fecales y Coliformes Totales en el efluente del humedal artificial sub superficial, cultivado con *Phragmites australis*.

Una de las principales razones que pueden definir esta tendencia, se refiere al tiempo de retención hidráulica teórica con el que fue diseñado el humedal artificial: 0.63 días. En ese sentido, Lara Borrero (1999) especifica que en el uso de humedales artificiales de flujo sub superficial en California, Estados Unidos, logró reducciones en un porcentaje de 99%, pasando de una cuantificación en el afluente de 10^7 NMP/100 ml a 10^6 NMP/100 ml en el efluente del tratamiento, con un tiempo de retención hidráulica de 5.5 días.

Los resultados obtenidos para el humedal sub superficial establecido en la PTAR de San Luis Talpa, difieren sustancialmente con los obtenidos en 2008 por Argueta Portillo et al (2008), quienes a la salida del humedal sub superficial cultivado con *Phragmites australis* obtuvieron en promedio un recuento de 10^3 NMP/100 ml, con un tiempo de retención hidráulica de 2 días. Cabe señalar que con esta cuantificación dicho humedal artificial estaría cumpliendo con el límite máximo permisible por la NSO que es de 10^3 NMP/100 ml.

Es de hacer notar que, en términos logarítmicos, aún con el tiempo de retención de 0.62 días, bastante menor a los utilizados en otras investigaciones, se obtienen reducciones de hasta dos y tres logaritmos, tanto en Coliformes Fecales como Coliformes Totales, valores que se

presentan en los estadíos iniciales del humedal, específicamente para los mes de octubre y noviembre de de 2013, hasta mantener una tendencia a mantenerse constante hacia las 10^7 NMP/ 100 ml.

Estos resultados difieren de las cuantificaciones logradas en experiencias similares de humedales artificiales; en ese sentido, en el anexo 9 se muestran los resultados de las cuantificaciones de los parámetros microbiológicos Coliformes Totales y Coliformes Fecales obtenidos en la PTAR de Masaya, Nicaragua. Sus valores son de 4.2×10^3 y 2.3×10^3 NMP/100 ml, respectivamente. Puede apreciarse que los efluentes de dicha planta han generado recuentos menores a las obtenidas en el humedal sub superficial instalado en San Luis Talpa, cuyo promedio asciende a 3×10^7 y 1×10^7 NMP/100 ml, correspondientemente.

De igual manera, en el Anexo 10 se muestra la cuantificación para el parámetro Coliformes Fecales en la PTAR de San José Las Flores, municipio de Chalatenango. Para el año 2008, su cuantificación asciende a 3.5×10^3 NMP/100 ml, cumpliéndose el límite máximo para la NSO. Esta cuantificación difiera a las 10^7 NMP/100 ml logradas en promedio para la sección de *Phragmites australis* en la presente investigación.

Al establecer una comparación entre la figura 38, que muestra la tendencia del parámetro DQO, y la figura 42, que muestra los Coliformes Totales y Fecales para el humedal de flujo sub superficial, puede observarse que se cuantificó el nivel máximo de DQO en enero de 2014 con 82.50 mg/l y que de ahí en adelante se va generando la tendencia a la baja en sus cuantificaciones; de manera coincidente, las cuantificaciones de los parámetros microbiológicos se mantienen constantes con 10^7 NMP/ 100 ml.

Puede concluirse que existen otros factores que pueden estar influenciando que los parámetros microbiológicos no bajen junto con las determinaciones de DQO, tales como incremento de las necesidades nutricionales de la especie posterior a su estado de senescencia, con el consecuente aprovechamiento del material orgánico contenido en el agua y la reducción de las necesidades de oxígeno para degradarla, pues estaría siendo utilizada por la planta para la

reanudación de sus funciones vitales; así como para la generación de la parte aérea que había sido perdida.

En la figura 43 puede verse la evolución en el tiempo del parámetro pH. Para el éste, las seis determinaciones realizadas están en el rango permitido por la NSO que oscila entre 5.5 y 9.0.

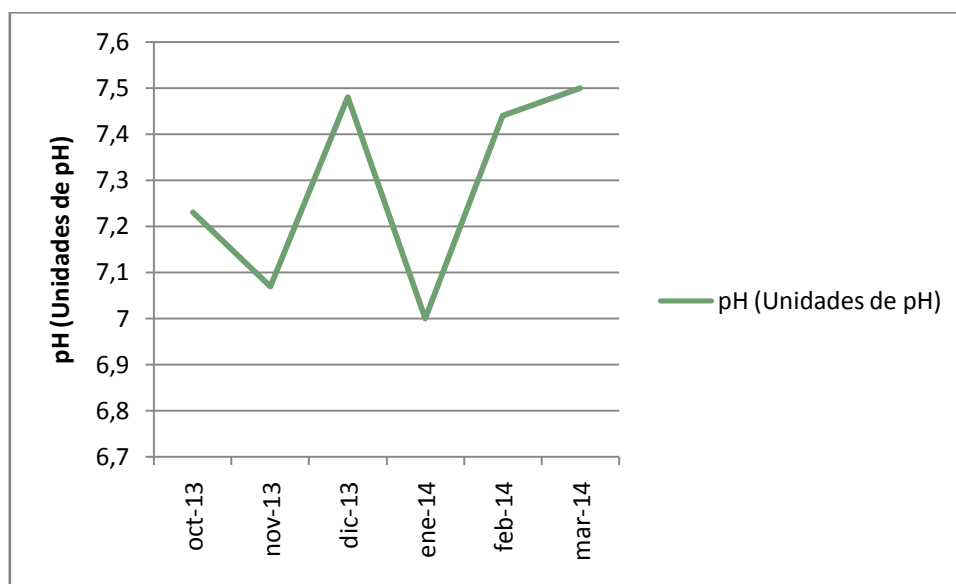


Figura 43. Sistematización del pH en el efluente del humedal artificial sub superficial, cultivado con *Phragmites australis*.

Romero (2002) citado por Correa Ramírez et al (2010), especifican que los humedales artificiales tienen un comportamiento amortiguador del pH. Así, por ejemplo, para el humedal de flujo sub superficial se tiene un promedio de pH para las seis determinaciones realizadas de 7.29, valor que se encuentra dentro del rango permitido por la NSO que es de 5.5-9.0, y que se halla, además, en el rango óptimo para el desarrollo de los parámetros microbiológicos Coliformes Fecales y Totales.

Al establecer una comparación entre las figuras 42 y 43, al ir incrementándose el pH hacia el mes de diciembre de 2014 a 7.48 unidades, los Coliformes Fecales y Totales se cuantifican en sus niveles máximos con 10^8 y 10^7 NMP/ 100 ml, respectivamente. Sus valores bajan en el mes de enero de 2014 a 10^7 NMP/ 100 ml y se mantienen así para el resto de las

determinaciones, esto a pesar de que existen leves fluctuaciones en el pH a lo largo del trimestre enero de 2014-marzo de 2014, que van desde las 7 hasta las 7.5 unidades.

Lo anterior indica que, al generarse en el humedal artificial un efecto buffer en las aguas residuales el pH oscila dentro del rango de desarrollo óptimo de las bacterias, por lo que no se constituiría en sí como un factor determinante para la reducción de las cuantificaciones de los parámetros microbiológicos a lo largo de la vida útil de las unidades de tratamiento.

Para el análisis del parámetro Temperatura, solamente una de las determinaciones sobrepasa el rango permitido (20-35° C), dicha cuantificación corresponde al mes de marzo de 2014 con 36° C. Su tendencia en el período de muestreo se presenta en la figura 44.

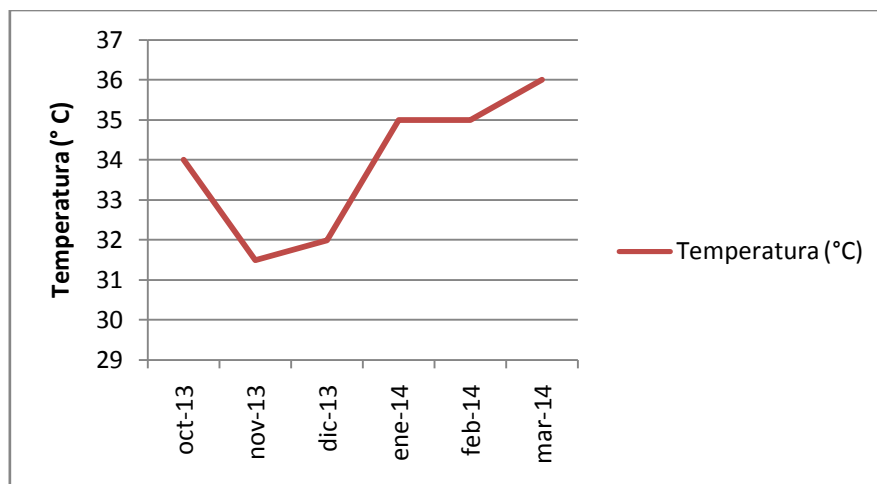


Figura 44. Sistematización del pH en el efluente del humedal artificial sub superficial, cultivado con *Phragmites australis*.

Al establecer una comparación entre la figura 42, en la que se muestra la evolución de los parámetros Coliformes Fecales y Coliformes Totales, y la figura 44, que detalla la Temperatura, puede verse que el recuento de los parámetros microbiológicos antes mencionados, tiende a subir conforme la Temperatura del agua va en aumento, así, mientras la Temperatura pasa de 34° C en octubre de 2013 hasta los 36° C en marzo de 2014, la cuantificación de Coliformes Totales como de Coliformes Fecales, pasa de 10^4 hasta 10^7 NMP/100 ml; indicando que la Temperatura del agua residual tiene una relación directa con el recuento microbiológico.

El humedal artificial de flujo sub superficial está generando Temperaturas que están dentro del rango tolerable de crecimiento para el grupo Coliformes, que es de 10 a 40° C. En términos generales, la Temperatura, al menos en las cuantificaciones que se hicieron en la presente investigación, no es limitante para el desarrollo bacterial y, por ende, tampoco para su reducción en términos de lograr niveles inferiores a los límites máximos permisibles por la NSO.

Cuadro 21. Resultados de los análisis de aguas residuales realizadas a las muestras del efluente del humedal artificial de flujo superficial cultivado con *Typha sp* en la PTAR de San Luis Talpa.

Parámetro ¹	NSO ²	Mes						Promedio
		Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014	
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	150	25.50	26.93	66.13	97.80	201.60	98.21	86.03
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	60	3.70	10.35	38.4	44.75	66.00	13.00	29.37
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2,000	4,600	70,000	50,000,000	10,000,000	200,000,000	5,000,000	44,179,100
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	10,000	80,000	500,000	50,000,000	30,000,000	200,000,000	5,000,000	47,596,667
Fosfatos (mg/l)	25	5.94	7.50	12.82	25.44	15.81	13.24	13.46
Nitratos (mg/l)	50	0.97	3.14	ND1	0.63	83.20	ND1	21.99
pH (Unidades)	5.5-9.0	7.12	7.40	7.53	7.19	7.08	7.66	7.33
Temperatura (°C)	20-35 °C	33.00	32.50	35.00	30.00	37.00	34.00	33.58
Aceites y Grasas (mg/l)	20.00	25.00	126.00	22.00	23.00	4.00	9.00	34.83

Fuente: Elaboración propia.
 NE: No específica;
 ND1: No fue detectado

¹ Punto de muestreo corresponde a T3.

² Límite máximo permisible de acuerdo a la NSO.

En la figura 45 puede observarse la tendencia en las cuantificaciones de la Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, para el humedal artificial cultivado con *Typha sp.* Las cuantificaciones de ambos parámetros se van incrementando desde octubre de 2013 hasta llegar a su máxima cuantificación hacia febrero de 2014 con valores de 201.60 y 66.00 mg/l, respectivamente.

En cuanto a estos parámetros en análisis, es conveniente hacer notar que las cuantificaciones para la Demanda Química de Oxígeno son siempre superiores a las logradas por la Demanda Bioquímica de Oxígeno, lo que podría confirmar, como fue mencionado en análisis anteriores que están llegando al flujo de aguas residuales ordinarias, otras de tipo especial y que los humedales mismos no están siendo capaces de reducir.

Al establecer una comparación con respecto a las determinaciones de estos parámetros en la sección de humedal anterior, puede determinarse que en algunos casos se reporta un incremento en lugar de una reducción de los mismos; así por ejemplo, en febrero de 2014, para el caso de la Demanda Química de Oxígeno, se tiene una cuantificación afluente de 88 mg/l y una en el efluente de 201.60 mg/l. Esto implicaría que se está generando una acumulación en el sistema de humedal de flujo superficial, cultivado con *Typha sp.*

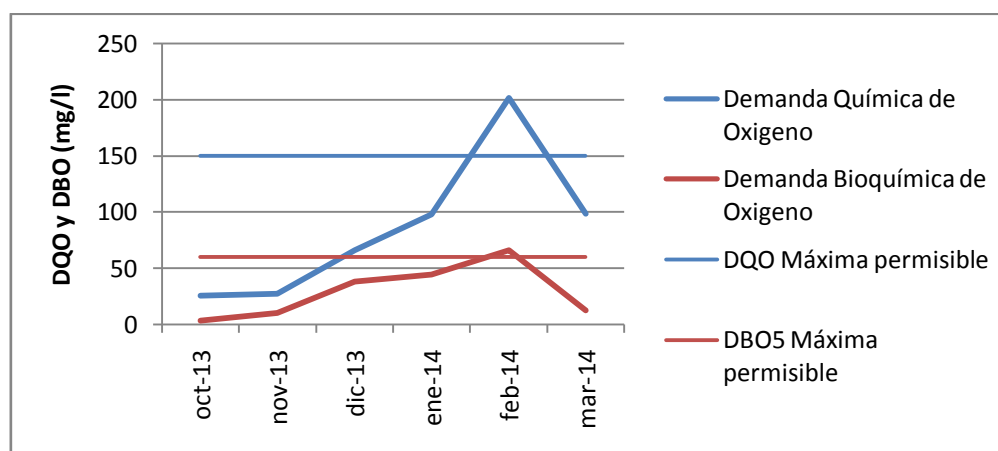


Figura 45. Sistematización de la DQO y DBO₅ en el efluente del humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp.*

Esta capacidad depuradora para el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, coincide con la de humedales similares reportados por Alianza por el Agua (2008), quien especifica que se

han obtenido efluentes con descargas promedio de 15 mg/l (Anexo 11). Añade el hecho de que al ser los humedales artificiales sistemas terciarios de tratamiento de aguas residuales, su eficiencia de depuración depende de la calidad de agua alcanzada en las etapas anteriores.

La cuantificación máxima que se generó en el mes de febrero de 2014 de los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno pudo tener su origen en la calidad del agua que estaba entrando al sistema proveniente de la sección de humedal cultivada con *Phragmites australis*; como ya fue mencionado, para el mes de enero de dicho año esta especie presentó un estado de senescencia que pudo haber reducido sus necesidades nutricionales y su capacidad depuradora.

A pesar de lo antes mencionado, para el humedal de flujo superficial para cinco de los seis muestreos realizados, se cumple con el límite máximo permisible para la NSO para los parámetros antes mencionados.

Argueta Portillo et al (2008) con el uso de humedales de flujo superficial cultivados con *Typha sp*, obtuvieron un promedio en el efluente de 23.33 mg/l para el parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno, valor inferior al promedio obtenido en el humedal de flujo superficial instalado en la PTAR de San Luis Talpa, que asciende a 29.37 mg/l.

En este punto es necesario introducir el concepto utilizado por Andrade et al (2010), quienes establecen que la relación DQO/DBO₅ puede servir como base para determinar qué tan biodegradable es el agua residual, para ello especifica que relaciones entre 1.8 y 2.2 son normales y esperables en aquéllas de tipo ordinario, y que valores más altos indican la entrada al sistema de aguas de tipo especial con contenido de derivados de metales pesados y otros de naturaleza química distinta.

En el cuadro 22 se muestra la tendencia de dicha relación a lo largo de los seis meses de muestreo establecidos en la investigación. Puede verificarse que existen cuatro meses en los que la relación DQO/DBO₅ supera los 2.2, lo que hace inferir el hecho de que la planta de tratamiento podría estar recibiendo además de vertidos de aguas ordinarias, otros de tipo

especial; de igual manera, podrían existir otros aportes a la cuantificación de la Demanda Química de Oxígeno a partir de los restos de las mismas especies vegetales utilizadas, así como del desprendimiento de la biopelícula formada alrededor de los rizomas (Colín Cruz et al, 2009).

Este es un argumento meramente descriptivo, pues no se determinó en la investigación los aportes anteriores para la cuantificación de DQO, considerando para fines de la investigación, que su aporte depende completamente de las aguas residuales ordinarias que llegan a la PTAR.

Cuadro 22. Sistematización de la relación Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno en las aguas efluentes del humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp.*

Parámetro	Octubre 2013	Noviembre 2013	Diciembre 2013	Enero 2014	Febrero 2014	Marzo 2014
DQO (mg/l)	25.5	26.93	66.13	97.8	201.6	98.21
DBO ₅ (mg/l)	3.7	10.35	38.4	44.75	66	13
Relación DQO/DBO ₅ (adimensional)	6.89	2.60	1.72	2.19	3.05	7.55

Fuente: Elaboración propia.

Al establecer una comparación entre la tendencia de las determinaciones de entrada, provenientes del humedal artificial sub superficial cultivado con *Phragmites australis* y la salida en el humedal artificial superficial, cultivado con *Typha sp* (cuadros 18 y 21), puede apreciarse que solamente para uno de los seis meses de análisis, hay un incremento en lugar de un descenso en la cuantificación de los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, que corresponde al mes de febrero de 2014.

Una de las causas que pudo haber generado variación en febrero de 2014, para el parámetro Demanda Química de Oxígeno, es que la estructura utilizada para cercar las plantas sufrió daños por parte de animales que se encontraban en la zona, específicamente bovinos, los cuales se alimentaron, sobre todo, de la especie *Typha sp*. La figura 46 muestra el estado de dicha especie vegetal para ese mes. Lógicamente esto pudo haber tenido implicaciones en las necesidades nutricionales de la especie, expresando en una reducción de su capacidad depuradora, con el consecuente incremento de los parámetros antes mencionados.



Figura 46. Estado de la especie vegetal *Typha sp* en febrero de 2014, posterior al daño sufrido.

A nivel de promedios, para la sección de *Typha sp* en cuanto a los parámetros Demanda Química de oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, se logran cuantificaciones de 86.03 mg/l y 29.37 mg/l, respectivamente. Las cuantificaciones para dichos parámetros en la primera sección del humedal (*Phragmites australis*) son de 127.74 mg/l y 45.46 mg/l; para ambos casos las cuantificaciones se hallan debajo de los límites máximos permisibles por la NSO, pudiendo concluirse que bastaría con la implementación de la primera sección del humedal para lograr aguas residuales con calidad de vertido al menos para los dos parámetros antes mencionados.

La figura 47 muestra la tendencia de los Aceites y Grasas en la segunda sección del humedal cultivado con *Typha sp*. Puede apreciarse que se genera una cuantificación máxima en noviembre de 2013, a partir de la cual las mismas van a la baja; llegando a cuantificaciones bajo la NSO en los dos últimos meses de muestreo; es decir, febrero y marzo de 2014, en que se lograron cuantificaciones de 4 y 9 mg/l, respectivamente.

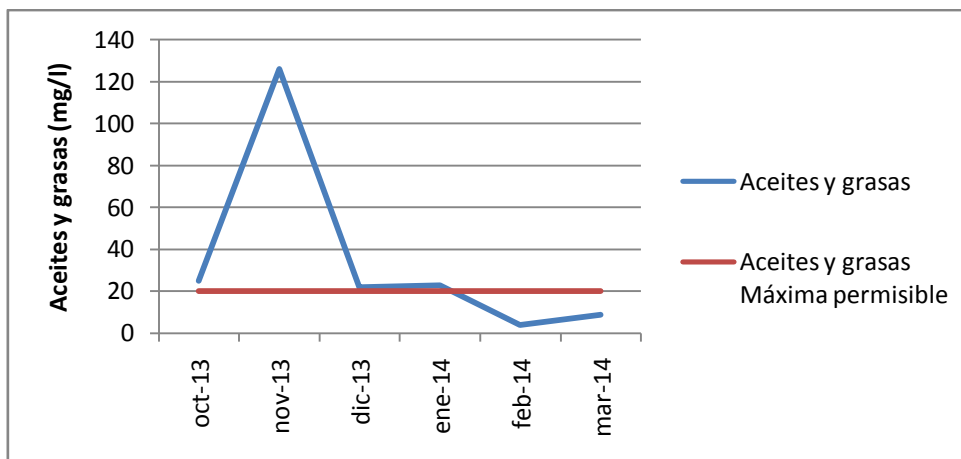


Figura 47. Sistematización de los Aceites y Grasas en el efluente del humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp.*

Al establecer una comparación con la cuantificación promedio a la entrada y salida del humedal artificial superficial, cultivado con *Typha sp.*, las cuantificaciones obtenidas respectivamente son de 32.0 y 34.83 mg/l, lo que indicaría un incremento. Se pone de manifiesto nuevamente que bastaría con la implementación del humedal artificial sub superficial cultivado con *Phragmites australis*, para lograr cuantificaciones aceptables de este parámetro.

Para el caso de los Aceites y Grasas, de acuerdo al registro con el que se cuenta de los efluentes de la planta de tratamiento (cuadros 9 y 10), para los años 2011-2012, también puede evidenciarse una tendencia al incremento del mismo hacia el último trimestre del año, lo que podría indicar que existe alguna actividad productiva en la zona para dicho período, y sus vertidos ingresan al sistema de la PTAR de San Luis Talpa, por lo que los esfuerzos de ANDA deberán de ir encaminados en dos vías: primero, la identificación de la fuente de origen y, segundo, de su control “in situ”, con el objetivo de generar afluentes que lleguen con la mejor calidad posible para iniciar el tratamiento.

En la figura 48 se muestra la tendencia de los Fosfatos para el humedal artificial de flujo superficial puede verse que solamente una de las determinaciones, la correspondiente a enero de 2014, con una cuantificación de 25.44 mg/l, se encuentra arriba del límite máximo utilizado como parámetro, que es de 25 mg/l. Las cuantificaciones para este parámetro oscilaron en el

rango de los 5.94 hasta los 25.44 mg/l, con un promedio para el período en estudio de 13.46 mg/l.

Argueta Portillo (2008) utilizando la especie vegetal *Typha sp* en un humedal de flujo superficial, obtuvo reducciones significativas de Fosfatos en el agua residual utilizada, con valores que oscilan desde los 0.06 mg/l hasta los 8.73 mg/l y un promedio general de 4.07 mg/l, los cuales son valores inferiores a los cuantificados en el humedal establecido en San Luis Talpa; sin embargo, el humedal utilizado por dichos autores utiliza tiempos de retención hidráulica superiores, de aproximadamente 14 días, factor éste que interviene en los procesos de depuración, al haber mayor oportunidad de interacción de todos los elementos presentes.

En el caso de los Nitratos, la figura 48 muestra que para dos de los seis meses muestreados, los mismos no pudieron ser detectables, mientras que para tres determinaciones, sus valores se hayan abajo del límite máximo, oscilando entre los de 0.63 y 3.14 mg/l.

Se genera una cuantificación máxima en febrero de 2014, con 83.20 mg/l. La remoción de nitrógeno, al igual que en los humedales de flujo sub superficial, es generada en menor cuantía por las especies vegetales implementadas, considerándose que niveles de 10 o 15% del nitrógeno en estos sistemas, es asimilado por las plantas.

La remoción de nitrógeno en humedales de tipo superficial puede alcanzar niveles por encima del 80%. En climas cálidos se podría llegar a requerir entre 6 a 8 días de retención hidráulica para lograr niveles de nitrificación adecuados (Lara Borrero, 1999). Este resultado difiere de los obtenidos en la investigación pues para la investigación se obtuvo una remoción promedio de 50% de Nitratos en el sistema de humedal de flujo superficial en el que se utilizó un tiempo de retención hidráulica de 1.02 días.

Argueta Portillo et al (2008) utilizando *Typha sp* para la depuración de aguas residuales, obtuvo para los Nitratos un promedio de cuantificación de 2.30 mg/l con valores que oscilan desde los 0.00 hasta los 6.05 mg/l.

Estos valores se contraponen a los obtenidos en el humedal de flujo superficial instalado en la PTAR de San Luis Talpa, donde las cuantificaciones obtenidas son superiores, con un rango que oscila desde 0.63 hasta 83.20 mg/l. Esta última cuantificación es de febrero de 2014 y se corresponde con un punto máximo de agua afluyente proveniente del humedal artificial sub superficial que para dicho mes presentó un nivel de 21.54 mg/l, esto indica que se ha desarrollado una acumulación en el sistema desde su entrada hacia su salida.

Lo anterior podría estar generándose por un predominio de condiciones anaerobias en el humedal superficial, condición que no permitiría la reducción de Nitratos a partir del Amoníaco afluyente, lo que podría indicar la necesidad de revisar otros factores como la densidad de siembra y la realización de prácticas como el raleo o poda adecuados, así como de realizar pruebas con láminas de agua de menor altura, que permitan el intercambio de oxígeno con la atmósfera y posibilite la reducción de los Nitratos en la misma.

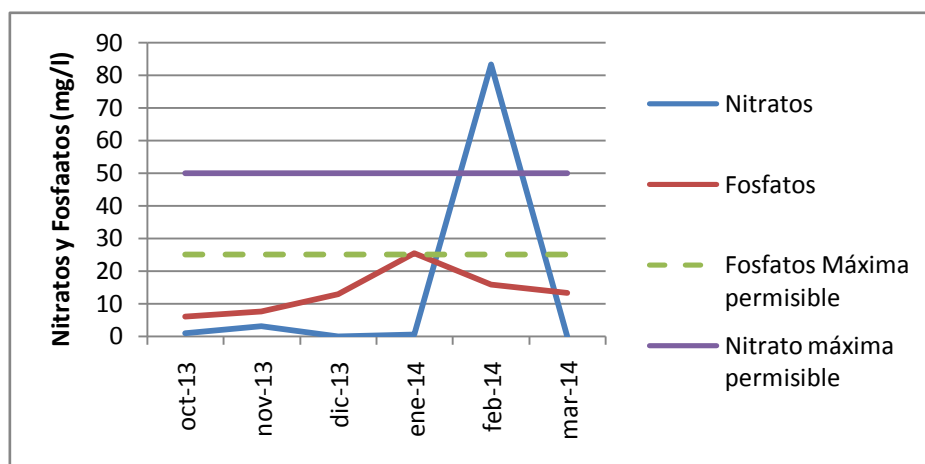


Figura 48. Sistematización de los Fosfatos y Nitratos en el efluente del humedal artificial superficial, cultivado con *Typha* sp.

Para el parámetro Nitratos puede concluirse a partir de la revisión de los promedios de aguas residuales afluentes y efluentes del mismo, que corresponden a 8.56 y 21.99 mg/l, que el sistema ha sido incapaz de reducir las cuantificaciones, muy por el contrario, se está generando una acumulación en el mismo.

Lo anterior implica que se necesita en un proceso de diseño y establecimiento de humedales artificiales, solamente la sección de flujo sub superficial cultivada con *Phragmites australis*, con la cual se logran cuantificaciones adecuadas para vertido.

En la figura 49 puede apreciarse la evolución en el tiempo de los parámetros Coliformes Fecales y Coliformes Totales. En ninguna de las cuantificaciones se lograron resultados menores al límite máximo permisible por la NSO para ambos parámetros. Puede verse que hay un aumento continuo en las cuantificaciones, hasta un nivel máximo en febrero de 2014, con 10^8 NMP/100 ml.

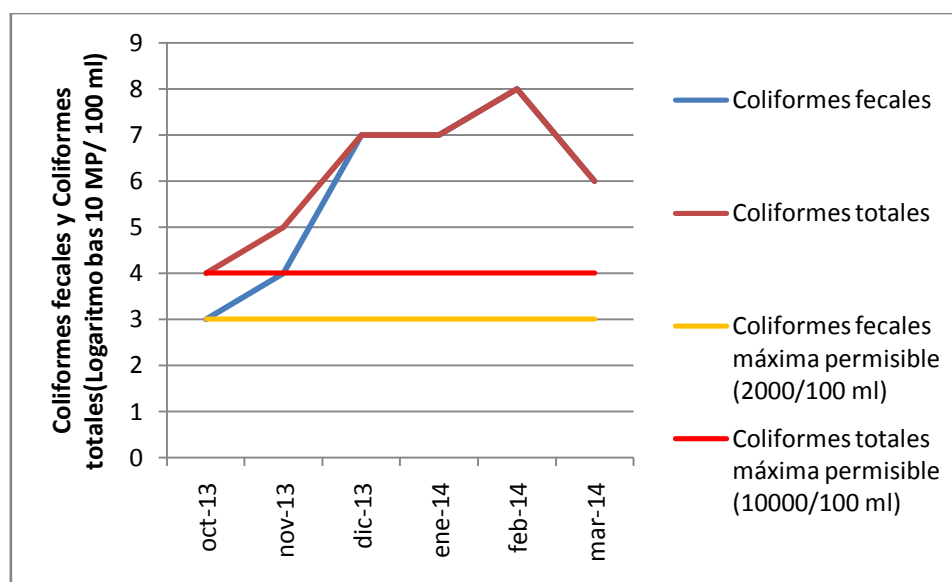


Figura 49. Sistematización de los parámetros Coliformes Totales y Coliformes Fecales en el efluente del humedal artificial superficial, cultivado con *Typha sp.*

Lara Borrero (1999) establece que en humedales de flujo superficial, es posible obtener depuraciones de hasta un 99% de Coliformes Fecales, con tiempos de retención hidráulica (TRH) desde 6 hasta 7.5 días; el autor especifica que con estos TRH podrían obtenerse cuantificaciones de hasta 10^2 NMP/100 ml.

La capacidad de remoción de parámetros microbiológicos está íntimamente relacionada a TRH mayores a los utilizados en la investigación, por lo que esta variable fue la principal

limitante para la depuración de los parámetros microbiológicos en ambas secciones de humedal artificial establecidas.

El mismo autor considera que se requerirían TRH mayores a los 14 días para lograr reducciones de 3 o 4 logaritmos en parámetros microbiológicos de Coliformes Fecales y Totales y, considerando que a la salida de la planta de tratamiento de San Luis Talpa se tiene una cuantificación de 10^7 NMP/100 ml, se deberá de realizar ajustes en el diseño y posterior construcción de los humedales en función de que dicha reducción llegue a niveles legales de vertido.

La idea de implementar tiempos de retención hidráulica mayores para la depuración de parámetros microbiológicos, es reforzada por la experiencia desarrollada por Argueta Portillo et al (2008), pues con un tiempo de retención de 14 días en el humedal superficial cultivado con *Typha sp*, obtuvieron en promedio una cuantificación de 10^2 NMP/100 ml de Coliformes Fecales, cuantificación que sí cumple con la NSO, que es de 10^3 NMP/100 ml.

Al establecer una comparación entre las figuras 45 y 49, puede apreciarse que hay una relación directa entre los parámetros Coliformes Fecales, Coliformes Totales y la Demanda Bioquímica de Oxígeno, ya que a medida ésta aumenta, lo hacen de igual forma los microbiológicos, lo que indica que ante incrementos de los parámetros microbiológicos, se estarían requiriendo mayores cantidades de oxígeno para degradar la parte biológica que se halla en las aguas residuales.

De igual manera, puede observarse que la cuantificación máxima para ambos parámetros microbiológicos se corresponde con la máxima de la Demanda Química de Oxígeno, esto podría implicar interferencias en la capacidad depuradora de la especie vegetal, pues ante el descenso en las cuantificaciones de DQO, se generan descensos en los Coliformes Fecales, que varían desde uno hasta dos 2 logaritmos, por lo que, la mejoría de este parámetro en una sección anterior ayudaría a reducir la cuantificación de los parámetros microbiológicos antes mencionados.

En la figura 50 se cuantifica un máximo de Temperatura del agua en febrero de 2014, la cual se corresponde con el pico máximo de Coliformes Fecales y Totales para dicho mes, donde se genera la cuantificación máxima con 108 NMP/100 ml para ambos parámetros, lo que haría inferir una relación directa entre el aumento de la Temperatura registrada en el agua y la cuantificación de ambos parámetros microbiológicos.

Como se ha hecho referencia en secciones anteriores, el comportamiento de sistemas de tratamiento como los humedales artificiales, se ve influenciado por factores climáticos, principalmente precipitación y evapotranspiración; en este sentido, puede establecerse nuevamente la existencia de una relación entre la temperatura ambiental y el recuento de los parámetros microbiológicos ya que es en febrero de 2014, en el que se registra el mayor recuento, tanto de Coliformes Fecales como de Coliformes Totales, lo que deriva en una baja en la capacidad depuradora del sistema, o en la misma vía, se estarían generando las condiciones que facilitan la multiplicación de las bacterias.

En la figura 50 se muestra la tendencia de la Temperatura para las aguas residuales del efluente del humedal artificial de flujo superficial cultivado con *Typha sp.*

La Temperatura óptima de crecimiento de estas bacterias es de cerca de los 37° C, Temperatura que se generó en febrero del 2014, que coincide con la máxima cuantificación determinada para Coliformes Fecales y para Coliformes Totales, con un total de 10⁸ NMP/100 ml. Es necesario agregar que todas las Temperaturas cuantificadas en el agua se encuentran en el rango de crecimiento óptimo de las bacterias, por lo que este parámetro está relacionado con recuentos altos de los parámetros microbiológicos antes mencionados.

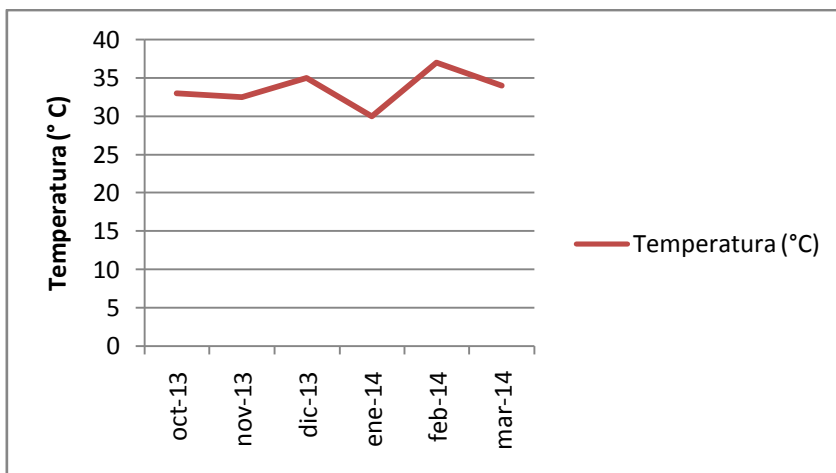


Figura 50. Sistematización de la Temperatura en el efluente del humedal artificial superficial, cultivado con *Typha sp.*

La figura 51 muestra la tendencia del pH durante los seis meses de muestreo. Las seis determinaciones realizadas se cuantificaron dentro del rango permitido por la NSO, que es de 5.5-9.0 unidades de pH. Puede inferirse que a medida el pH del agua se va acercando a neutro (7.0), el recuento de Coliformes es mayor; así, para febrero de 2014 se tiene un pH de 7.08 y hay un recuento de 10^8 NMP/100 ml, y con el pH más básico obtenido de 7.66, baja el recuento hasta 10^6 NMP/100 ml.

Como ya se mencionó anteriormente, los humedales ejercen una acción buffer en las aguas, cuantificándose así la mayoría de las muestras cercanas a un pH neutro. El rango de pH para el crecimiento óptimo de estas bacterias sucede en el rango de 7.0-7.5, con un mínimo de 4 y un máximo de 8.5. Como Para la cuantificación de marzo de 2014, donde con un pH de 7.66 se logra un descenso tanto de Coliformes Totales como Coliformes Fecales hasta las 10^6 NMP/100 ml; es decir, un descenso de dos logaritmos con respecto al mes anterior.

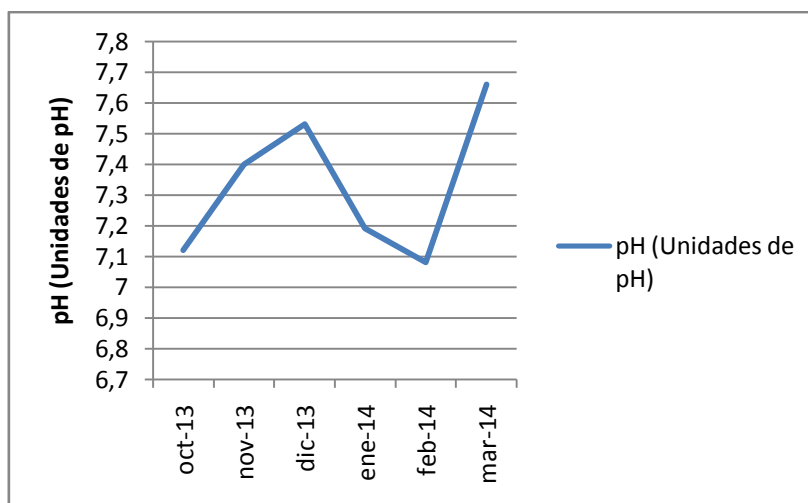


Figura 51. Sistematización del pH, para el efluente del humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp.*

En el cuadro 23, se detallan los promedios de las cuantificaciones de los parámetros en estudio, para el período entre octubre 2013 y marzo 2014, en cada uno de los puntos de muestreo establecidos en la investigación. Han sido sombreados en gris los resultados que sí cumplen con el criterio de estar bajo el límite máximo permisible estipulado por la NSO.

Cuadro 23. Sistematización de los promedios de los resultados de cada uno de los parámetros en estudio para el período octubre 2013 hasta marzo 2014 en los cuatro puntos de muestreo en la PTAR de San Luis Talpa.

Parámetro	NSO	Afluente planta	Efluente planta	Efluente Humedal 1	Efluente humedal 2
DQO (mg/l)	150	567.46	200.47	127.74	86.03
DBO ₅ (mg/l)	60	338.33	111.69	45.46	29.37
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2,000 (10 ³)	ND	76,666,667 (10 ⁷)	14,171,667 (10 ⁷)	44,179,100 (10 ⁷)
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	10,000 (10 ⁴)	ND	85,000,000 (10 ⁷)	27,505,000 (10 ⁷)	47,596,667 (10 ⁷)
Fosfatos (mg/l)	25	7.06	12.74	13.91	13.46
Nitratos (mg/l)	50	6.18	24.08	8.56	21.99
PH	5.5-	7.16	7.31	7.29	7.33

(Unidades de pH)	9.0				
Temperatura (° C)	20-35 °C	33.58	34.67	33.92	33.58
Aceites y Grasas (mg/l)	20	ND	32.50	32.00	34.83

Fuente: Elaboración propia.
 ND: No fue determinado.

Puede observarse que el promedio cuantificado para la Demanda Química de Oxígeno, para el afluente de la planta de tratamiento como del efluente de la misma, se encuentran arriba del límite máximo permisible por la NSO, con valores de 567.46 y 200.47 mg/l, respectivamente. Su máximo permisible es de 150 mg/l.

Para el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, se cuantifican, en el mismo orden con valores de 338.33 y 11.69 mg/l, cuando su límite máximo es de 60 mg/l. Esta situación cambia para ambos parámetros, pues los mismos para la salida de cada uno de los humedales cumplen con el límite máximo permisible. A partir de este análisis puede concluirse que para ambos parámetros, DQO y DBO₅, bastaría con la implementación de la primera sección del humedal artificial, es decir, la cultivada con *Phragmites australis*.

Para los parámetros Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Aceites y Grasas, los promedios estimados se encuentran para cada uno de los puntos muestreados, siempre sobre el límite máximo permisible; sin embargo, para el caso del parámetro Aceites y Grasas, como ya fue discutido en secciones anteriores, para cada uno de los humedales artificiales la tendencia en los últimos meses de muestreo realizados, es a la baja, llegando incluso a cuantificaciones abajo del límite permisible por la NSO que es de 20 mg/l.

Por ejemplo, para el caso del humedal artificial de flujo sub superficial cultivado con *Phragmites australis*, con base en el cuadro 18, existen determinaciones que van desde los 4 hasta los 7 mg/l para el último trimestre de análisis de muestras. Igual análisis merece el humedal artificial de flujo superficial cultivado con *Typha sp*, para el cual en el último bimestre de pruebas, las cuantificaciones de Aceites y Grasas varía desde 4 hasta los 9 mg/l, este hecho muestra la necesidad de ampliar el tiempo de realización de pruebas para verificar

durante un tiempo mayor el comportamiento de los humedales artificiales en la depuración de las aguas residuales.

En el caso los Fosfatos, pH y Temperatura, los promedios de las determinaciones se encuentran para todas las etapas analizadas, dentro de los límites y rangos legalmente permitidos para vertido, los cuales son los siguientes: Fosfatos con un límite máximo de 25 mg/l, para el pH el rango legal es de 5.5.-9 y, para Temperatura, desde 20 hasta 35° C. Debe de hacerse notar para el caso de los Fosfatos, que existe un aumento en la cuantificación respecto de la salida de la planta de tratamiento y los humedales artificiales, pues se genera acumulación en ellos.

Para los Nitratos, que el límite máximo permisible es de 50 mg/l, se presenta su cuantificación menor en el agua de la entrada de la planta de tratamiento, con 6.18 mg/l; mientras que sus niveles más altos se presentan a la salida de la planta, con 24.088 mg/l.

Para los dos humedales, los niveles promedios menores de Nitratos se determinaron a la salida del humedal artificial de flujo sub superficial cultivado con *Phragmites australis*, aumentando hacia la salida del segundo humedal, lo que indica que los niveles de nitrificación son mayores en el humedal artificial superficial, debido a factores como la provisión de oxígeno al medio por las raíces de las plantas, así como una mayor capacidad de intercambio gaseoso entre la lámina de agua y el exterior al que está expuesta.

7.2. Porcentaje de remoción de parámetros contaminantes

El cálculo del porcentaje de remoción de contaminantes se realizó a través de la fórmula:

$$\text{Remoción (\%)} = (C_i - C_f) \times 100 / C_i;$$

Donde:

C_i= Concentración inicial;

C_f= Concentración final.

La sistematización de los porcentajes de remoción en cada sección del humedal se muestra en los cuadros 24, 25 y 27. El cuadro general para el cálculo de cada uno de los procesos se muestra en el anexo 12. Para el cálculo de cada uno de los datos mostrados en el cuadro 24, se utilizó como concentración inicial la cuantificación de cada parámetro en el efluente de la planta de tratamiento; mientras que como concentración final se utilizó la cuantificación del parámetro a la salida del humedal artificial sub superficial cultivado con *Phragmites australis*.

Para el cálculo del porcentaje promedio de remoción se consideraron únicamente aquellos valores positivos, descartando los valores negativos y aquellos que no pudieron ser detectados en el proceso de análisis de laboratorio. En los casos en que aparece reportado como NC, se refiere a que no pudo ser calculado; pues su cuantificación no pudo ser detectada en el proceso de análisis, ya sea en la concentración inicial, final o en ambas.

Para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, en la presente investigación se obtuvieron remociones de 64.36 y 48.67%, respectivamente. En humedales artificiales de flujo sub superficial se registran tasas mayores de remoción que superan incluso el 90% de eficiencia (Lara Borrero, 1999).

Colín Cruz et al (2009) refieren que estos porcentajes de remoción y la capacidad depuradora de los parámetros antes mencionados, mejoran a medida que las especies vegetales se van estableciendo en el humedal, debido al correcto establecimiento y desarrollo de la microbiología asociada al sistema, así como a la capacidad misma de los vegetales para absorber los nutrientes contenidos en el agua residual.

La eficiencia de remoción de estos parámetros está influenciada por el tipo de sustrato utilizado como sostén de las especies vegetales; así, Correa Ramírez (2010) especifica haber obtenido depuraciones para DBO₅ y DQO de 92.21% y 84.31%, respectivamente, utilizando arena como sustrato, contra remociones de 72.88% y 64.35% al utilizar grava. Estas remociones son superiores a las obtenidas utilizando grava como sustrato en el humedal de flujo sub superficial en la PTAR de San Luis Talpa, para los cuales se obtuvieron porcentajes de 64.36% y 48.67%, respectivamente.

La diferencia en la capacidad depuradora de la investigación contra los resultados obtenidos por Correa Ramírez (2010), puede deberse a que las plantas se encontraban aún en un estadio temprano de desarrollo y, como ya fue mencionado anteriormente, de él depende en buena parte la capacidad de depuración de las mismas.

El efecto depurador del material de soporte de las especies vegetales se basa en la acción de filtro realizada por el mismo y una mayor exposición de los elementos contenidos en el agua residual a los microorganismos involucrados en el sistema.

Para los parámetros microbiológicos Coliformes Fecales y Coliformes Totales, en esta investigación se determinaron porcentajes de remoción de 63.36 y 71.86% respectivamente. Bernal et al (2003) reportan remociones que oscilan entre el 90-99% para el primer parámetro y entre 93.33-99.27%, para el segundo.

Cuadro 24. Remoción de los contaminantes en estudio para el humedal artificial sub superficial cultivado con *Phragmites australis*, en la PTAR de San Luis Talpa.

Parámetros	Meses						Porcentaje promedio de remoción
	Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014	
DQO	4.96	70.67	59.32	-106.03	59.71	-24.3	48.67
DBO ₅	70.68	78.8	38.68	-122.97	68.29	65.35	64.36
Coliformes Fecales	99.93	97.12	23.26	0	82.31	77.55	63.36
Coliformes Totales	99.93	97.12	-74.6	0	76.15	86.08	71.86
Fosfatos	5.05	-72.55	-33.18	-56.51	89.56	-5.95	47.31
Nitratos	46.61	NC	NC	NC	63.09	NC	54.85
Aceites y Grasas	38.71	-70.27	35.14	-9.09	85.19	53.33	53.09

Fuente: Elaboración propia.
NC: No calculable.

El Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA, 1999) refiere que en cuanto a los parámetros microbiológicos, su reducción podría verse influenciada por factores como el tipo de medio granular utilizado, así como del aumento del tiempo de retención hidráulica lograda en el sistema, pudiendo obtener así cuantificaciones de hasta 1.0×10^4

NMP/100 ml. A pesar de esta cuantificación, el mismo autor señala que se pueden aumentar las tasas de eliminación de Coliformes Fecales con la implementación de una etapa de desinfección o ampliando, como ya se mencionó, los tiempos de retención hidráulica en los sistemas de humedales artificiales.

En cuanto al parámetro Fosfatos, Londoño Cardona (2009) especifica que CENAGUA (1999) reporta rendimientos en la remoción de fósforo en el rango del 39%, aunque no especifica la forma química en la que este elemento fue muestreado. Para el caso del humedal de flujo sub superficial implementado en San Luis Talpa, se obtuvieron rendimientos de depuración para Fosfatos de 47.31%, promedio que es superior al logrado por el autor.

A pesar de que se lograron remociones de 47.31% de Fosfatos en la presente investigación, deberán de realizarse cuantificaciones del mismo en períodos más largos ya que, el trabajo desarrollado por Corzo Hernández (2008) determinó que este potencial depurador tiende rápidamente a perderse debido a que la capacidad de adsorción que el material tiene se va perdiendo en el tiempo, viéndose la necesidad de sustituirlo.

La reducción de Nitratos en la investigación desarrollada en la PTAR de San Luis Talpa llega al 54.85%, valor por debajo del logrado en el humedal de Masaya, Nicaragua, donde se han obtenido valores de remoción de hasta un 100%.

En cuanto a los Aceites y Grasas, en esta investigación se obtuvo en promedio 53.09% de remoción, valor superior a la remoción lograda en el humedal establecido en San José Las Flores, en el departamento de Chalatenango, con un 42.12%.

En el cuadro 25, se muestran los porcentajes de remoción de contaminantes logrados en la segunda sección del humedal; es decir, la cultivada con *Typha* sp. Para cada uno de los datos mostrados se utilizó como concentración inicial la cuantificación de cada parámetro en el efluente del humedal artificial de flujo sub superficial cultivado con *Phragmites australis*, mientras que como concentración final se utilizó la cuantificación del parámetro a la salida del

humedal artificial de flujo superficial cultivado con *Typha sp.* El resumen para la elaboración de los mismos puede verse en el anexo 13.

Para el cálculo del porcentaje promedio de remoción se consideraron únicamente aquellos valores positivos, descartando los valores negativos y aquellos que no pudieron ser detectados en el proceso de análisis de laboratorio. El hecho de que se obtengan porcentajes negativos de remoción de contaminantes, implica que a su paso por el humedal superficial se ha desarrollado una acumulación en el mismo; así por ejemplo, para febrero de 2014 todas las remociones fueron negativas.

Como ya ha sido mencionado, los humedales artificiales como sistema de tratamiento, se ven influenciados por las condiciones climáticas imperantes en el momento de su funcionamiento; de esa manera, para el mes de febrero de 2014 se registró la menor precipitación del período muestreado, con cero mm, y una Temperatura ambiental de 37° C (la segunda mayor del período de investigación); factores ambos que generan concentración de contaminantes en el agua residual y, por ende, una acumulación de los mismos a la salida de esta segunda sección del humedal.

A estos factores climáticas (abióticos) debe de agregarse características inherentes a la fisiología de la especie (*Typha sp.*), en el que inducida por las condiciones climáticas antes descritas, podría haber generado tasas de transpiración mayores a las de *Phragmites australis*, puesto que su desarrollo foliar es mayor que esta última, con la consecuente concentración de contaminantes a la salida del sistema con respecto a la entrada de los mismos.

Cuadro 25. Remoción de los contaminantes en estudio para el humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp.*

Parámetros	Meses						Promedio porcentaje de remoción
	Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014	
DQO	82.22	76.82	31.11	46.38	-129.09	30.07	53.32
DBO ₅	81.03	85.72	26.86	45.76	-153.85	34.18	54.71
Coliformes Fecales	86.86	98.61	-39.39	43.48	-639.13	55.45	71.10
Coliformes	-125.71	90.45	58.18	-43.48	-448.39	55.45	68.03

Totales							
Fosfatos	54.9	65.91	12.73	-35.68	-968.24	0.82	33.59
Nitratos	50.76	-44.04	NC	NC	-286.26	NC	50.76
Aceites y Grasas	-31.58	0	8.33	-91.67	0	-28.57	2.78

Fuente: Elaboración propia.

NC: No calculable.

En el cuadro 26 se muestra el comparativo de remoción lograda en la presente investigación y los obtenidos por Argueta Portillo et al (2008) en el mismo tipo de humedal artificial (flujo superficial cultivado con *Typha sp*).

Para la presente investigación se obtuvieron porcentajes de remoción mayores para los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno. Para los parámetros: Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Fosfatos, Nitratos, Aceites y Grasas, los porcentajes de remoción obtenidos por Argueta Portillo et al (2008) superan a los logrados en la presente investigación; haciendo la aclaración de que este autor utiliza tiempos de retención hidráulica mayores a los utilizadas en la PTAR de San Luis Talpa.

Cuadro 26. Remoción de contaminantes en estudio para el humedal artificial de flujo superficial cultivado con *Typha sp* en el Regimiento de Caballería y en la PTAR de San Luis Talpa

Parámetro	Porcentaje de remoción ¹	Porcentaje de remoción ²
DQO	-9.92	53.32
DBO ₅	42.63	54.71
Coliformes Fecales	94.45	71.10
Coliformes Totales	ND	68.03
Fosfatos	56.93	33.59
Nitratos	52.18	50.76
Aceites y Grasas	64.13	2.78

Fuente: Elaboración propia.

1. Argueta Portillo et al, 2008.

2. Logrados en la presente investigación.

ND: No determinado

En el cuadro 27 se muestran los porcentajes de remoción de contaminantes en el sistema total de humedales artificiales. Para el cálculo de cada uno de los datos mostrados se utilizó como concentración inicial la cuantificación de cada parámetro en el efluente de la planta de tratamiento (salida del tratamiento secundario); mientras que como concentración final se

utilizó la cuantificación del parámetro a la salida del humedal artificial de flujo superficial cultivado con *Typha* sp, con el objetivo de tener la cuantificación de la remoción de contaminantes realizada por el sistema en su conjunto.

Para el cálculo del promedio de remoción sistematizado, se consideró únicamente aquellos valores positivos, descartando los valores negativos y aquellos que no pudieron ser detectados en el proceso de análisis de laboratorio. Su sistematización puede verse en el anexo 14.

Cuadro 27. Remoción de contaminantes en el sistema conjunto de humedales artificiales en la PTAR de San Luis Talpa.

Parámetros	Meses						Promedio remoción (%)
	Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014	
DQO	83.1	93.2	71.98	-10.47	7.69	13.08	53.81
DBO ₅	94.44	96.97	55.15	-20.95	19.51	77.19	68.65
Coliformes Fecales	99.99	99.97	-25	50	-100	90	84.99
Coliformes Totales	99.84	99.75	16.67	-50	-100	93.75	77.5
Fosfatos	57.17	41.18	-16.23	-112.35	-11.5	-5.08	49.18
Nitratos	73.71	NC	NC	NC	-42.56	NC	73.71
Aceites y Grasas	19.35	-70.27	40.54	-109.09	85.19	40	46.27

Fuente: Elaboración propia.

NC: No calculable.

En el cuadro 28, se muestran los porcentajes de remoción de contaminantes en el conjunto del sistema de humedales secuenciales desarrollados en el Regimiento de Caballería por Argueta Portillo et al (2008), puede observarse que para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, los valores son similares; mientras que para los parámetros Coliformes Fecales, Aceites y Grasas, el autor antes mencionado logra remociones mayores a las logradas en la presente investigación.

Por el contrario, la experiencia desarrollada en la PTAR de San Luis Talpa, logra remociones mayores para los parámetros Fosfatos y Nitratos, factor que puede responder al estadio juvenil de las especies vegetales establecidas, pues como Londoño Cardona (2009) expresa, estos nutrientes son utilizados en mayor cuantía al inicio del establecimiento de los humedales, contra ejemplares establecidos durante mayor período de tiempo.

Cuadro 28. Remoción de contaminantes en el sistema conjunto de humedales artificiales cultivados con *Phragmites australis* seguido por *Typha sp* en el regimiento de Caballería y en el municipio de San Luis Talpa.

Parámetro	Porcentaje de remoción ¹	Porcentaje de remoción ²
DQO	60.00	53.81
DBO ₅	60.53	68.65
Coliformes Fecales	99.54	84.99
Coliformes Totales	ND	77.5
Fosfatos	24.90	49.18
Nitratos	61.01	73.71
Aceites y Grasas	87.70	46.27

Fuente: Elaboración propia.

1. Argueta Portillo et al, 2008.

2. Logrados en la presente investigación.

En el cuadro 29 se muestra el resumen de los porcentajes de remoción para el efluente del primer humedal, así como para el conjunto de humedales. Para todas las variables puede verse que el conjunto de humedales proporciona la mayor remoción de contaminantes, excepto para Aceites y Grasas, donde el efecto conjunto parece generar una acumulación del parámetro, por lo que, podría inferirse que para reducir este parámetro sería necesario solamente el humedal artificial de flujo sub superficial cultivado con *Phragmites australis*.

Esto lleva a la conclusión de que, como lo demuestra Argueta Portillo et al (2008), en este tipo de sistemas se obtienen los mejores resultados en la reducción de contaminantes; es decir, al efecto combinado de humedales de flujo sub superficial con humedales de flujo superficial.

A pesar de lo antes expuesto, el análisis se realiza en función de las cuantificaciones promedio obtenidas para cada uno de los parámetros, por lo que, Sería necesario solamente la primera sección del humedal, con las modificaciones pertinentes, en aspectos como la ampliación del tiempo de retención hidráulica.

Cuadro 29. Remoción de contaminantes en el agua efluente del humedal artificial cultivado con *Phragmites australis* y el conjunto de sistemas de humedales en la PTAR de San Luis Talpa.

Parámetro	<i>Phragmites australis</i>	Conjunto de sistema de humedal ¹
DQO (%)	48.67	53.81
DBO ₅ (%)	64.36	68.65
Coliformes Fecales (%)	63.36	84.99
Coliformes Totales (%)	71.86	77.5
Fosfatos (%)	47.31	49.18
Nitratos (%)	46.61	73.71
Aceites y Grasas (%)	53.09	46.27

Fuente: Elaboración propia.

1. A la salida del humedal artificial cultivado con *Typha sp.*

7.3. Determinación del tiempo adecuado de estabilización para la remoción de contaminantes

Para determinar el momento en que los humedales artificiales han llegado a su momento óptimo para la remoción de contaminantes, se procedió a monitorear el parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO) desde octubre de 2013 hasta marzo de 2014. La matriz que se utilizó para cada uno de los humedales artificiales se muestra en los cuadros 30, 31 y 32.

En términos teóricos la DQO es una medida aproximada del contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable de una muestra de agua. En condiciones naturales, dicha materia orgánica puede ser biodegradada lentamente (oxidada) hasta CO₂ y H₂O, mediante un proceso que puede tardar desde unas pocas semanas hasta unos cuantos cientos de años; esto dependiendo del tipo de materia orgánica presente y de las condiciones de la oxidación.

En las pruebas de DQO se acelera artificialmente la biodegradación que realizan los microorganismos mediante un proceso de oxidación forzada utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados, que tienen por objeto garantizar la reproducibilidad y la comparación de las mediciones.

Para la presente investigación, la DQO fue utilizada por su naturaleza para determinar la tendencia de depuración de las aguas residuales en los humedales artificiales, estableciendo

una comparación con la determinación del mismo parámetro en el agua efluente de la planta de tratamiento.

El Cuadro 30 muestra la tendencia del parámetro DQO para los efluentes de la planta de tratamiento durante seis meses de muestreo. Puede apreciarse que se tiene un valor máximo para el mes de noviembre de 2013 de 396 mg/l, a partir del cual inicia un descenso continuo hasta llegar al mes de marzo de 2014, en el que se cumple con el límite máximo permisible por la NSO.

Cuadro 30. Sistematización de la Demanda Química de Oxígeno para las aguas efluentes de la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

Parámetro	NSO ¹	Mes					
		Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014
DQO (mg/l)	150	150.90	396.00	236.00	88.53	218.4	112.99

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 31 muestra la tendencia del parámetro Demanda Química de Oxígeno para la primera sección del humedal cultivada con *Phragmites australis*. Puede apreciarse que en el trimestre octubre-diciembre de 2013, las cuantificaciones bajan hasta generar en enero 2014, la cuantificación máxima del parámetro, con 182.40 mg/l, volviendo a reducirse la cuantificación en febrero de 2014, con 88 mg/l; para posteriormente subir en el siguiente mes con 140.45 mg/l.

En términos generales, se da una tendencia a la baja en las cuantificaciones. El incremento en el registro del mes de enero de 2014 se debió a que en ese mes se generó un estado de senescencia en la planta, que generó menor demanda de nutrientes por parte de la especie vegetal.

El humedal como ya ha sido mencionado, tuvo la influencia de los factores climáticos, además del estado de senescencia mencionado. Así, para enero se registra la mayor Temperatura, 42° C y una de las menores precipitaciones promedios, con 2 mm. Puede concluirse con lo antes

¹ Cuantificación máxima esperable de acuerdo a la NSO.

mencionado, que la instalación de la capacidad depuradora de DQO de *Phragmites australis*, se estaría expresando desde los primeros meses de funcionamiento.

Cuadro 31. Sistematización de la Demanda Química de Oxígeno para las aguas efluentes del humedal artificial sub superficial cultivado con *Phragmites australis*.

Parámetro	NSO	Mes					
		Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014
DQO (mg/l)	150	143.42	116.16	96.00	182.40	88.00	140.45

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 32 se muestra la sistematización del parámetro Demanda Química de Oxígeno para el humedal artificial de flujo superficial cultivado con *Typha sp*, puede notarse que existe un ascenso continuo en las cuantificaciones hasta llegar a un máximo en febrero de 2014 (201.60 mg/l), a partir del cual inicia nuevamente un descenso en la cuantificación con un registro de 98.21 mg/l. En este mes se generó la tercera mayor cuantificación de la Temperatura ambiental y el menor de todos los registros de precipitación con 0 mm.

Cuadro 32. Sistematización del parámetro de Demanda Química de Oxígeno para las aguas efluentes del humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp*.

Parámetro	NSO ¹	Mes					
		Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2014	Feb 2014	Mar 2014
DQO (mg/l)	150	25.5	26.93	66.13	97.60	201.60	98.21

Fuente: elaboración propia.

Para ambos humedales, al parecer existe una relación entre el aumento de la Temperatura ambiental (cuadro 33) y la cuantificación de la Demanda Química de Oxígeno. Se registraron aumentos en ambos humedales para la cuantificación de dicho parámetro, a partir de enero de 2014, momento en el cual la Temperatura ambiental iba en aumento. Esta cuantificación máxima está relacionada con la generación de mayores tasas de evaporación y evapotranspiración, las cuales generan un aumento de la concentración de contaminantes en las aguas residuales.

¹ Cuantificación máxima esperable de acuerdo a la NSO.

Cuadro 33. Sistematización de la Temperatura ambiental en la planta de tratamiento de San Luis Talpa.

Punto de muestreo	Temperatura ambiental (° c)					
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Afluyente	35	36	35	34	36	34.5
Efluente	36.5	37	36	39	37	40
Humedal 1	36.5	35	35	42	37	37.5
Humedal 2	36.5	37	35	42	37	38
Promedio	36.1	36.3	35.3	39.3	36.8	37.5

Fuente: Elaboración propia.

7.4. Análisis estadístico de los resultados obtenidos

Como parte complementaria de la investigación se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos, para ello se utilizó el programa informático INFOSTAT, con el que se calcularon los parámetros de coeficiente de correlación y coeficiente de correlación cofenética, a través de los cuales se buscó establecer numéricamente las relaciones generadas en los humedales artificiales.

7.4.1. Coeficiente de correlación

A través del programa INFOSTAT se determinaron los coeficientes de correlación entre las variables en estudio (cuadro 34).

Cuadro 34. Coeficientes de correlación de Pearson para las variables en estudio.

Variables	DQO	DBO5	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	Fosfatos	Nitratos	pH	Temperatura	Aceites y Grasas
DQO	1	0.02	0.07	0.12	0.11	0.09	0.21	0.10	0.21
DBO₅	0.65	1.00	0.17	0.13	0.02	0.35	0.06	0.95	0.88
Coliformes Fecales	0.54	0.42	1.00	0.0000065	0.75	0.0000078	0.46	0.06	0.36
Coliformes Totales	0.48	0.47	0.94	1.00	0.66	0.00059	0.65	0.22	0.32
Fosfatos	0.48	0.66	0.10	0.14	1.00	0.88	0.20	0.23	0.73
Nitratos	0.50	0.30	0.94	0.84	-0.05	1.00	0.36	0.07	0.48
pH	-0.39	-0.56	-0.24	-0.15	-0.40	-0.29	1.00	0.74	0.60
Temperatura	0.50	0.02	0.55	0.38	-0.37	0.54	0.11	1.00	0.08
Aceites y Grasas	-0.39	0.05	-0.29	-0.31	0.11	-0.23	-0.17	-0.52	1.00

Fuente: Elaboración propia

Para el estudio se consideraron como correlaciones adecuadas a aquellas que tienen un valor mayor o igual a 0.70, todas aquellas que cumplen con este criterio se han sombreado de color gris.

Puede verificarse a partir del cuadro anterior que para los parámetros Coliformes Fecales y Totales existe una correlación común con la variable Nitratos. Este aspecto ya ha sido reportado por Colín Cruz et al (2009), quienes especifican que la concentración de éstos puede disminuir en las aguas residuales, siempre y cuando sea utilizada por los microorganismos y por las plantas establecidas en el sistema.

De igual manera, los Fosfatos están correlacionados con el grupo de Coliformes Fecales, esto, por el hecho de que este elemento puede ser aprovechado por los microorganismos en su metabolismo; sin embargo, Karpiscak y Foster (2000) citados por Colín Cruz et al (2009), especifican que la remoción del fósforo en los humedales artificiales es eficiente en un período corto hasta que el medio se satura, generando a largo plazo que los procesos sean más limitados y reduzcan la asimilación por parte de las plantas y la biomasa.

Otra de las relaciones que se ponen en evidencia es la existente entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Temperatura, pues ésta interviene en la primera, posibilitando el desarrollo de los microorganismos encargados del consumo de los nutrientes que el agua residual lleva, por lo que cambios en la Temperatura estarían generando descensos o ascensos en la DQO.

En el caso de los Aceites y Grasas, existe correlación con la DBO₅. Un aumento en la cuantificación de entrada de Aceites y Grasas, involucra un aumento del oxígeno necesario para degradarlos biológicamente, por lo que su correlación es alta, con 0.88.

La figura 52 muestra el gráfico Biplot para las variables Nitratos, Fosfatos, Coliformes Fecales y Coliformes Totales. Puede inferirse a partir de ella que el proceso de depuración de los Coliformes Fecales y Coliformes Totales está sucediendo con mayor intensidad en el humedal artificial sub superficial, debido probablemente a su efecto de filtro realizado por el lecho de

grava utilizado como sustrato, así como por las raíces de las plantas establecidas, y con otras relacionadas a la especie vegetal misma.

Dicho efecto de depuración fue menor en el caso del humedal artificial superficial, probablemente por el efecto reducido de la radiación solar conforme las plantas de *Typha sp* fueron desarrollando follaje, a pesar de las actividades de poda a las que fueron sometidas.

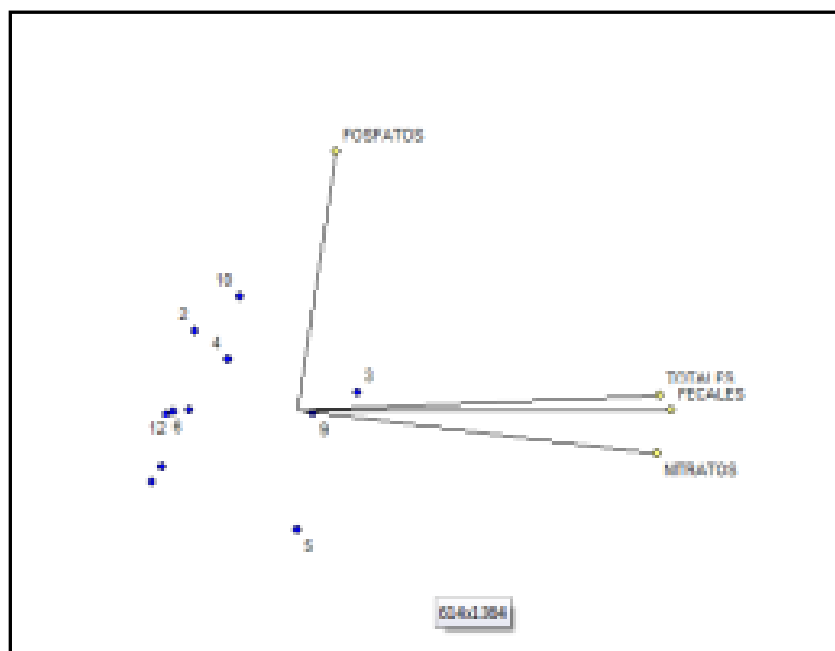


Figura 52. Gráfico Biplot para las variables Fosfatos, Nitratos, Coliformes Fecales y Coliformes Totales.

7.4.2. Coeficiente de correlación cofenética

El coeficiente de correlación cofenética (CCC) mide el grado de relación entre las variables en estudio. Se analizaron las variables de Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Nitratos y Fosfatos. La cuantificación del CCC para las mismas es de 0.996, lo que indica que existe una alta relación entre ellas. Esto implicaría el hecho de que al implementar humedales artificiales para la depuración de aguas residuales ordinarias y al reducir las cuantificaciones de nutrientes en las aguas, se estaría aportando a la reducción de la cuantificación de los parámetros microbiológicos, pues ante mayores concentraciones de nutrientes en la misma, se estarían brindando las condiciones para el crecimiento bacteriano.

7.5. Determinación de metales pesados en las aguas afluentes de la planta de tratamiento

La presencia de metales pesados en el agua puede ser de origen natural o antropogénico. Las fuentes de este último tipo de contaminación, para el caso de los metales, son muy diversas y pueden derivar de actividades domésticas, comerciales e industriales. Algunas de estas fuentes de contaminación se pueden clasificar de la siguiente manera, en función de la naturaleza de la misma:

- a. Productos químicos agrícolas.
- b. Actividades de minería y fundición.
- c. Cenizas de la combustión de carbón y petróleo de las centrales térmicas.
- d. Aguas residuales industriales de diversos sectores (industria metalúrgica, fábricas de baterías, sector metal-mecánico, entre otras).
- e. Residuos urbanos e industriales.

Uno de los principales problemas de los metales pesados es la tendencia de algunos de ellos a bioacumularse, es decir, a acumularse en los tejidos de los animales que los consumen, así como a biomagnificarse, que hace referencia al paso de estos elementos en el desarrollo de la cadena trófica.

Dentro de la metodología planteada en la investigación se especificó que se muestrearían los metales pesados Boro, Mercurio y Plomo, para tener una aproximación de la presencia de los mismos en las aguas afluentes de la planta de tratamiento. Como puede apreciarse en el Cuadro 35, para los casos del Boro y Plomo, su cuantificación se encuentra abajo del límite máximo permisible por la NSO, mientras que para el Mercurio, éste no pudo ser detectado en el proceso de análisis.

Se infiere que al momento puntual del muestreo no existía vertido de desechos industriales ni similares al sistema de tratamiento de aguas residuales puesto que se cumplía con los límites máximos de estos elementos en las aguas afluentes a la PTAR de San Luis Talpa.

Cuadro 35. Resultados de la determinación de los elementos Boro, Plomo y Mercurio en el agua afluente de la PTAR de San Luis Talpa, enero de 2014.

Parámetros	Norma CONACYT Agua, Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09	Resultados de análisis
Boro	1.5 mg/l	0.076 mg/l
Mercurio	0.01 mg/l	No detectado
Plomo	0.4 mg/l	0.07 mg/l

Fuente: elaboración propia

7.6. Cálculo del Índice de Calidad del Agua

Para fines de tener una panorámica de la calidad del agua en cada una de las secciones analizadas, se calculó el ICA en tres puntos de la PTAR: en el efluente de la planta de tratamiento, a la salida del humedal cultivado con *Phragmites australis* y a la salida del humedal cultivado con *Typha sp.*

7.6.1. Cálculo del ICA para las aguas efluentes de la PTAR de San Luis Talpa

Los cálculos fueron realizados con base al cuadro 16.

De acuerdo a la ecuación 5: $F1 = \frac{\text{Número de Variables Fallidas}}{\text{Número Total de Variables}} \times 100$;

$$F1 = 2/9 = 0.22$$

De acuerdo a la ecuación 6: $F2 = \frac{\text{Número de testeos Fallidos}}{\text{Número Total de testeos}} \times 100$;

$$F2 = (27/51) * 100 = 52.94.$$

De acuerdo a la ecuación 7: $\text{Excursión} = \frac{\text{Valores de Testeo Fallidos}}{\text{Objetivo}} - 1$.

Excursiones:

Su cálculo procede de la siguiente manera:

Excursión para el dato de octubre de 2014 = $(150.9/150) - 1 = 0.006$, lo que equivale a 0.01.

De lo anterior se desprende el anexo 15, en el que se detallan las excursiones para los datos en el agua efluente de la planta de tratamiento. En él, las celdas cuyos valores no se muestran la cuantificación del parámetro cumple con el límite máximo permitido por la NSO.

$$\text{NSE} = \text{Sumatoria total} / \text{Número de datos} = 281,001.31 / 51 = 5,509.83$$

De acuerdo a la ecuación 9: $F3 = (\text{NSE} / (0.01 (\text{NSE}) + 0.01))$;

$$F3 = (5,509.83 / ((5,509.83 * 0.01) + 0.01)) = 99.98$$

De la ecuación 10: $\text{ICA} = 100 - ((F12 + F22 + F32) / 1.732)$;

El ICA para el agua efluente de la planta de tratamiento es:

$$\text{ICA efluente} = 34.68\%$$

7.6.2. Cálculo del ICA para las aguas efluentes del humedal artificial sub superficial cultivado con *Phragmites australis* en la PTAR de San Luis Talpa

Los cálculos fueron realizados con base en el cuadro 18.

De acuerdo a la ecuación 5: $F1 = \frac{\text{Número de Variables Fallidas}}{\text{Número Total de Variables}} \times 100$;

$$F1 = 2/9 = 0.22$$

De acuerdo a la ecuación 6: $F2 = \frac{\text{Número de testeos Fallidos}}{\text{Número Total de testeos}} \times 100$;

$$F2 = (18/51) * 100 = 35.29.$$

De acuerdo a la ecuación 7: $\text{Excursión} = \frac{\text{Valores de Testeo Fallidos}}{\text{Objetivo}} - 1$.

El cálculo de las excursiones procede de la siguiente manera:

Excursión para el dato de enero de 2014 = $(182.4/150) - 1 = 0.216$, lo que equivale a 0.22.

De lo anterior se desprende el anexo 16, en el que se detallan las excursiones para los datos en el agua efluente de la primera sección del humedal artificial. En él las celdas cuyos valores no se muestran son aquellas en las que la cuantificación del parámetro cumple con el límite máximo permitido por la NSO y no se utiliza para el cálculo del ICA.

$NSE = \text{Sumatoria total} / \text{Número de datos} = 59017994.61/51 = 1157215.58$

De acuerdo a la ecuación 9: $F3 = (NSE / (0.01 (NSE) + 0.01))$;

$F3 = (1157215.58 / ((1157215.58 * 0.01) + 0.01)) = 99.99$

De la ecuación 10: $ICA = 100 - ((F12 + F22 + F32) / 2 / 1.732)$;

El ICA para el agua efluente del humedal sub superficial es:

$ICA \text{ Phragmites} = 38.78\%$

7.6.3. Cálculo del ICA para las aguas efluentes del humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp* en la PTAR de San Luis Talpa

Los cálculos fueron realizados con base en el cuadro 21.

De acuerdo a la ecuación 5: $F1 = \frac{\text{Número de Variables Fallidas}}{\text{Número Total de Variables}} \times 100$;

$F1 = 2/9 = 0.22$.

De acuerdo a la ecuación 6: $F2 = \frac{\text{Número de testeos Fallidas}}{\text{Número Total de testeos}} \times 100$;

$F2 = (20/52) * 100 = 38.46$.

De acuerdo a la ecuación 7: $Excursión = \frac{Valores\ de\ Testeo\ Fallidos}{Objetivo} - 1$.

Excursiones:

Su cálculo procede de la siguiente manera:

Excursión para el dato de febrero de 2014 = $(201.6/150) - 1 = 0.344$, lo que equivale a 0.34.

De lo anterior se desprende el anexo 17, en el que se detallan las excursiones para los datos en el agua efluente de humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp.* En el anexo 17, las celdas cuyos valores no se muestran son aquellas en las que la cuantificación del parámetro cumple con el límite máximo permitido por la NSO.

$NSE = \text{Sumatoria total} / \text{Número de datos} = 161,090.55 / 52 = 3,097.90$

De acuerdo a la ecuación 9: $F3 = (NSE / (0.01 (NSE) + 0.01))$;

$F3 = (3097.90 / ((3097.90 * 0.01) + 0.01)) = 99.96$

De la ecuación 10: $ICA = 100 - ((F1^2 + F2^2 + F3^2)^{1/2} / 1.732)$;

El ICA para el agua efluente de la planta de tratamiento es:

ICA *Typha* = 38.16%

De acuerdo a los resultados anteriores, puede concluirse que en ninguna de las etapas del proceso de depuración se logra un índice de calidad de agua (ICA) superior al 40%, pues se llega a valores de 34.68%, 38.78 y 38.16%, para los efluentes de la planta de tratamiento, el de *Phragmites australis* y el de *Typha sp.*, respectivamente.

De acuerdo al cuadro 6 elaborado por el SNET (s.f.), se puede establecer que la calidad del agua, según un criterio general, es mala. De igual manera, para los tres ICA obtenidos existen restricciones para el uso de las aguas originadas en las etapas analizadas; de acuerdo al cuadro

7, las aguas obtenidas tendrían usos limitados para las funciones de abastecimiento público, recreación, pesca y vida acuática, así como para la industria y la agricultura.

VIII. Conclusiones

- El registro histórico de las cuantificaciones promedios anuales de los parámetros DBO₅, DQO, Aceites y Grasas, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, evidencia que la PTAR ha venido perdiendo su capacidad depuradora en el período 2011-2013.
- Las cuantificaciones del parámetro Demanda Química de Oxígeno a la entrada de la planta de tratamiento son mayores que la Demanda Bioquímica de Oxígeno, lo que hace suponer que podrían estar llegando a la PTAR además de aguas residuales de tipo ordinario, otras de tipo especial.
- Los humedales artificiales establecidos en la investigación son útiles para la remoción de la carga orgánica en términos de los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, para los cuales se registran cuantificaciones promedio de 127.74 mg/l y 45.46 mg/l para el humedal cultivado con *Phragmites australis*, respectivamente, y de 86.03 mg/l y 29.37 mg/l, para el cultivado con *Typha sp.*
- Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que solo con la construcción y uso del humedal cultivado con *Phragmites australis*, se cumple con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”, para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.
- La PTAR de San Luis Talpa genera aguas residuales efluentes con cuantificaciones aptas para vertido, ya que cumplen con lo establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”, para los parámetros Fosfatos (12.74 mg/l), Nitratos (24.08 mg/l), pH (7.31) y Temperatura (34.67 ° C).
- Los parámetros Fosfatos, Nitratos, pH y Temperatura, no se consideran prioritarios para la implementación de un tratamiento terciario de aguas residuales en la planta de tratamiento,

ya que sin ese tratamiento se están logrando cuantificaciones bajo los límites máximos permisibles para ser vertidas a cuerpos receptores.

- En las condiciones del manejo implementado en esta investigación, ninguna de las secciones de los humedales logro disminuir los límites máximos permisibles de los parámetros Coliformes Fecales, Coliformes Totales y, Aceites y Grasas.
- La remoción de los Nitratos y Fosfatos fue bien realizada en ambas secciones del humedal artificial secuencial establecido, pues sus cuantificaciones se mantuvieron bajo los límites máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.
- En cuanto a los parámetros pH y Temperatura, los humedales fueron eficientes al lograr cuantificaciones que se mantuvieron dentro de los rangos permitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.
- Con los humedales artificiales se logró disminuir las concentraciones para varios de los parámetros en estudio, a pesar de los problemas en el funcionamiento del sistema de bombeo de la Planta de Tratamiento el cual generaba variaciones en la calidad del agua obtenida en la misma.
- En las condiciones establecidas en el sistema de humedales artificiales, los índices de calidad del agua obtenidos en la investigación no superan el 40%.
- El Índice de Calidad del Agua de los efluentes en las salidas de la Planta de Tratamiento, del humedal artificial de flujo sub superficial y del humedal de flujo superficial, se clasifica como “Mala” y no puede utilizarse para el abastecimiento público, recreación, pesca, vida acuática, uso industrial ni agrícola.

- La evolución de la capacidad depuradora de los humedales al ser medida a través de la capacidad de remoción de la Demanda Química de Oxígeno, demuestra que la misma se estableció a partir del primer mes de funcionamiento.
- La instalación secuencial de los humedales artificiales de Carrizo, *Phragmites australis*, seguido por Espadaña, *Typha sp*, genera los mejores rendimientos de depuración, comparados con el efecto de solamente la primera sección del mismo, la cultivada con *Phragmites australis*.
- La remoción de contaminantes para los parámetros DQO, DBO₅, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Fosfatos y Nitratos, en la primera sección del humedal cultivada con *Phragmites australis*, corresponden a 48.67, 64.36, 63.36, 71.86, 47.31, 46.61 y 53.09%, respectivamente.
- La remoción de contaminantes para los parámetros DQO, DBO₅, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Fosfatos y Nitratos, en la segunda sección del humedal cultivada con *Typha sp*, corresponden a 53.81, 68.65, 84.99, 77.5, 49.18, 73.71 y 46.27%, respectivamente.
- El análisis estadístico demuestra que existe correlación estadística entre el parámetro microbiológico Coliformes Fecales con los Fosfatos y Nitratos, los cuales son utilizados por los microorganismos como nutrientes para el desarrollo de sus actividades básicas.
- Existe correlación estadística entre el parámetro Coliformes Totales y Nitratos, lo que demuestra que los Nitratos son utilizados por los microorganismos para sus funciones vitales.

IX. Recomendaciones

- La ANDA debe de invertir en el corto plazo en el mantenimiento y mejora del funcionamiento sostenible de la PTAR de San Luis Talpa, para generar efluentes que cumplan con la Normativa legal existente en el país.
- La mejora de la calidad del agua de los efluentes de la PTAR de San Luis Talpa, puede lograrse a través de cambios en el funcionamiento del biofiltro, como: cambio del material filtrante y limpieza del mismo, así como del establecimiento de una trampa de Grasas para las aguas afluentes a la misma.
- ANDA debe de caracterizar a los actores locales que realizan sus vertidos al sistema de aguas residuales, ya que los resultados de los análisis de agua de la Planta de Tratamiento demuestran que hay vertido de aguas residuales de tipo especial.
- Investigaciones similares a futuro deben de introducir cambios en el funcionamiento de los humedales artificiales, para garantizar tiempos de retención hidráulica mayores para la remoción de Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Aceites y Grasas.
- La caracterización de las aguas residuales afluentes de la PTAR debe de ser prioridad para ANDA, pues las cuantificaciones de la Demanda Química de Oxígeno muestran que las mismas contienen además de las aguas residuales ordinarias, aguas de tipo especial, que podrían estar siendo vertidas clandestinamente desde empresas locales al alcantarillado municipal.
- En cuanto al funcionamiento de los humedales artificiales, deberá de establecerse pruebas de los parámetros en estudio y otros adicionales, de acuerdo a los criterios y necesidades establecidos por ANDA, para determinar a largo plazo el funcionamiento de los mismos y la evolución de su capacidad depuradora.

- Debido a que los humedales artificiales son sistemas que se ven afectados por las condiciones climáticas como la precipitación, Temperatura y la evapotranspiración, deberán de realizarse investigaciones para evaluar en cada sitio el comportamiento de los mismos en períodos de muestreo mayores.
- En investigaciones a futuro sobre humedales artificiales, deberá de controlarse con más rigurosidad factores como el mantenimiento de un caudal adecuado de aguas residuales y los manejos agronómicos en el momento adecuado de las plantas sembradas en los humedales para garantizar mejores resultados en la capacidad depuradora de los sistemas.

X. Bibliografía

Abarca Castellón, BA; Palacios Solís, CE; Villanueva Cárdenas, ME. 2011. Propuesta de un Modelo de Humedal a Escala para el Tratamiento y Aprovechamiento de las Aguas Residuales en el Riego de Jardines, en los Asentamientos aledaños al Río Acelhuate. El Salvador. Trabajo presentado para optar al grado de Ingeniero Civil. 166 p.

Alejo Nabor, ML; Castellano de Rosas, E; Arcos Ramos, R; García Morales, R; Solís Casas, R. 1999. Remoción de la materia orgánica mediante la utilización de humedales artificiales en la comunidad de Santa María Nativitas, Texcoco, Edo. de México. México, MX. UNAM. Consultado 15 feb. 2010. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/107.pdf>

Alianza por el Agua. 2008. Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas. España. 264 p.

ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, SV). s.f. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ordinarias San Luis Talpa. El Salvador. 2012

Andrade, M; Camacho, A; Delgadillo, O; Pérez, L. 2010. Depuración de Aguas Residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Bolivia. 115 p.

APHA (American Public Health Association, EU), AWWA (American Water Works Association, EU), WPCF (Water Pollution Control Federation, EU). 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, España. 1714 p.

Argueta Portillo, Q; García, JM; Quintanilla, R; de Amaya, M. 2008. Asesoría en Suelos, Producción y Mantenimiento de Plantas en Construcción de Humedales Artificiales para Tratamiento de Aguas Servidas. El Salvador. 46 p.

Becerra Martínez, C; Laureano Valentín, G; Lovera Dávila, D; Quipuzco Ushñahua, L; Valencia Pereda, ND. 2003. Adaptación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en la Comunidad Urbana de Lacabamba, Región Ancash, Perú; Usando Tecnologías de Humedales Artificiales”. Perú. 23 p.

Bernal, F; González, D; Guerra, R; Maury, HA; Mosquera, D; Pomare, A; Silva, M. 2003. Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la Corporación Universitaria de la Costa (en línea). Departamento del Atlántico, CO. Consultado 3 feb. 2010. Disponible en http://www.epa.gov/owm/mtb/cs_00_024.pdf.

Blanco, M. 2007. Agua reciclada, ahorro hacia el futuro. *Aquavitae*. 3 (4): 34-37. Brasil. Editorial AQUAVITAE. Amanco. Consultado el 15 ene. 2015. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/223759486/revista-aquavitae-04>.

CIEMA (Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente, MX). 1999. Estudio Microbiológico de los Cultivos Irrigados con el Efluente del Biofiltro Masaya: Reúso del Efluente del Biofiltro en el Riego Agrícola. Nicaragua. 66 p.

Colín Cruz, A; Ortiz Hernández, MA; Romero Aguilar, M; Sánchez Salinas, E. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica (en línea). Morelos, MX. Consultado 10 feb. 2010. Disponible en http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/contaminacion/acervo/vol_25_3/4.pdf

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV). 2009. Agua. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. NSO 13.49.01:09. Diario Oficial de la República de El Salvador 382: 1-17. Consultado 10 feb. 2010. Disponible en <http://faolex.fao.org/docs/pdf/els87596.pdf>

Correa Ramírez, JC; Marín Montoya, JP. 2010. Evaluación de la Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales en Humedales Artificiales Utilizando *Guadua angustifolia* Kunth. Colombia. 100 p.

Corzo Hernández, A; García Serrano, J. 2008. Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Sub Superficial. España. 108 p.

COSUDE (Cooperación Suiza en América Central, SV). 2012. Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en El Salvador. Situación Actual y Perspectivas. 120 p.

EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EU). 2000. Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales Humedales de Flujo Sub Superficial. 13 p.

Freís, C. 2008. Notas: El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Observatorio Medioambiental 20: 301-305. Consultado 3 feb. 2010. Formato pdf. Disponible en <http://revistas.ucm.es/ccca/11391987/articulos/>.

FUSADES (Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social, SV). 2008. Informe trimestral de Coyuntura: Primer trimestre de 2008. El Salvador. 1ed. 95 p.

Gómez Huertas, R. s.f. Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales: Costes de construcción de un humedal artificial (en línea). s.l. s.n.t. Consultado 30 ene. 2010. Disponible en [http:// http://www.agropecuariosegovia.com/2Documentacion.pdf](http://www.agropecuariosegovia.com/2Documentacion.pdf)

Gutiérrez Osorio, A; Ortega Silva, MM; Ortiz Hernández, ML; Sánchez Salinas, E. 2003. Tratamiento de aguas residuales por medio de la instalación secuencial de humedales artificiales. Morelos, México, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Consultado 3 feb. 2010. Formato pdf. Disponible en http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EC/TAC-52.pdf.

Lara Borrero, JA. 2009. Depuración de aguas residuales Municipales con Humedales Artificiales. España. Trabajo presentado para optar al grado de Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental. 122 p.

León Rivas, EA; Rodríguez Duarte, AM. 2008. Sistematización de la experiencia del 2003 al 2008, en operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas negras del municipio de San José Las Flores en el departamento de Chalatenango. El Salvador. 28 p.

Londoño Cardona, LA. 2009. Evaluación de la Eficiencia de Remoción de Materia Orgánica en Humedales Artificiales de Flujo Horizontal Sub superficial Alimentados con Agua Residual Sintética. Trabajo presentado para optar al título de: Tecnólogo Químico. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 215 p.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SV). 2007. Ley del Medio Ambiente y sus Reglamentos. Leyes Anexas. MARN. El Salvador. DISGRAFIC. 348 p.

Mena Sanz, J. s.f. Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. Colombia. 25 p.

Osnaya Ruiz, M. 2012. Propuesta de diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad de la Sierra Juárez. Tesis para obtener el título de: Licenciado en Ciencias Ambientales. México.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, SV). 2006. El agua: Una valoración económica de los recursos hídricos en El Salvador. Cuadernos sobre Desarrollo Humano N° 5, San Salvador. 121 p

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SV). s.f. Índices de Calidad del Agua General "ICA". El Salvador. 14 p

Villaroel Avalos, CM. 2005. Tratamiento terciario del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales el cortijo para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial. Lima, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. Consultado 3 feb. 2010. Formato pdf. Disponible en http://www.ciiq.org/varios/peru_2005/Trabajos/III/3/3.3.15.pdf.

XI. Anexos

Anexo 1. Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a Un Cuerpo Receptor”

40

DIARIO OFICIAL Tomo Nº 382

**NORMA
SALVADOREÑA**


NSO 13.49.01:09

AGUA.

AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR.

CORRESPONDENCIA: Esta norma es una adaptación de la Propuesta de Norma de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. Ministerio de Salud, El Salvador. Octubre de 1996.

ICS 13.060

Editada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, Colonia Médica, Avenida Dr. Emilio Alvarez, Pasaje Dr. Guillermo Rodríguez Pacas, # 51, San Salvador, El Salvador, Centro América. Teléfonos: 2234-8400, 2225-6222; Fax. 2225-6255; e-mail: info@ns.conacyt.gob.sv.

Derechos Reservados.

1. OBJETO

Esta norma establece las características y valores físico-químicos, microbiológicos y radiactivos permisibles que debe presentar el agua residual para proteger y rescatar los cuerpos receptores.

2. CAMPO DE APLICACION

Esta norma se aplica en todo el país para la descarga de aguas residuales vertidas a cuerpos de agua receptores superficiales. Deberá observarse el cumplimiento de los valores permisibles establecidos en esta norma, de forma que no se causen efectos negativos en el cuerpo receptor, tales como color, olor, turbiedad, radiactividad, explosividad y otros.

El aprovechamiento del suelo como elemento para el reuso o tratamiento de las aguas residuales queda sujeto a lo establecido en el Reglamento Especial de Aguas Residuales, los respectivos permisos ambientales emitidos y la norma de Reuso de Aguas Residuales que se adopte.

3. DEFINICIONES

3.1 Agua residual: es el agua resultante de cualquier uso, proceso u operaciones de tipo agropecuario, doméstico e industrial, sin que forme parte de productos finales.

3.2 Aguas residuales de tipo especial: agua residual generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario.

3.3 Aguas residuales de tipo ordinario: agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.

3.4 Aceite y grasa: sustancia química no miscible en el agua pero soluble en solventes designados en los métodos de análisis recomendados en esta norma.

3.5 Compuestos fenólicos sintéticos: son compuestos orgánicos que se clasifican como: mono, di, o polihídricos dependiendo del número de grupos hidróxilos unidos al anillo aromático del benceno.

3.6 Contaminación: es la alteración de la calidad física, química, biológica y radiactiva en detrimento de la biodiversidad.

3.7 Cuerpo de agua superficial: masa de agua estática o en movimiento permanente, tales como: ríos, lagos, lagunas, fuentes, mares, embalses y humedales.

3.8 Cuerpo receptor: se refiere al cuerpo de agua superficial expuesto a recibir descargas. No aplican como cuerpo receptor el suelo y los mantos acuíferos.

3.9 Descarga: agua residual vertida a un cuerpo receptor.

3.25 Sólidos suspendidos totales o en suspensión: son los sólidos no solubles que representan la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos totales disueltos.

3.26 Tratamiento de aguas residuales: es la utilización de procesos físicos, químicos y/o biológicos, definidos para depurar las condiciones de las aguas residuales a través de operaciones y procesos unitarios: preliminares, primarios, secundarios o avanzados a fin de cumplir con las normas vigentes.

3.27 Turbiedad (Turbidez): es la medida de la transparencia de una muestra de agua debido a la presencia de partículas en suspensión, expresada en NTU.

3.28 Vertido: sinónimo de descarga.

3.29 Valores máximos permisibles: son los valores, rangos y concentraciones de los parámetros establecidos en esta norma, que debe cumplir el responsable de cada descarga.

4. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

°C	Grado Celsius ó Centígrado
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días a 20°C
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ml	Mililitro
ml/l	Mililitros por litro
mg/l	Miligramos por litro
NMP	Número más Probable
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbiedad
ST	Sólidos totales
STD	Sólidos totales disueltos
Pt – Co	Unidades platino cobalto
SAAM	Sustancias activas al azul de Metileno

5. REQUISITOS

Los niveles máximos permisibles de los parámetros de esta norma deberán ser alcanzados por medio de los tratamientos respectivos. Para alcanzar dichos niveles no permite la dilución.

NORMA SALVADOREÑA

NSO 13.49.01:09

Tabla 1. Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario, para descargar a un cuerpo receptor.

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO _{5,20} (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO	150	60	1	60	20

Tabla 2. Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor por tipo de actividad

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO _{5,20} (mg/l)	Sólidos sedimentables (ml/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
I. ANIMALES VIVOS Y PRODUCTOS DEL REINO ANIMAL					
1. Producción agropecuaria ¹⁾	800	300	15	150	50
2. Matanza de ganado y preparación y conservación de carnes	400	200	15	125	50
3. Procesamiento de camarón, mariscos en forma congelada	750	250	15	350	130
4. Enlatados de mariscos y fabricación de sus harinas	300	150	15	100	50
5. Productos avícolas	800	300	15	150	50
6. Porcicultura	1800 ²⁾	300	15	150	50
7. Procesamiento del atún y sus derivados	1800	600	15	350	50
II. PRODUCTOS DEL REINO VEGETAL					
1. Productos de molinería	400	200	15	200	50
2. Beneficiado de café	2500 ²⁾	2000 ²⁾	40	1000	30
3. Fabricación de productos de panaderías	250	200	15	70	100
4. Fabricas y refinarias de azúcar	600	400	30	150	30
5. Fabricación de chocolate y artículos de confitería, procesamiento de cacao	400	250	15	150	100
6. Elaboración de alimentos preparados para animales	250	60	15	100	50
7. Industria del tabaco	100	60	15	60	20
III. GRASAS Y ACEITES ANIMALES Y VEGETALES					
1. Extractoras de aceites y grasas	700	400	15	150	200
2. Refinadora de aceites y grasas	300	150	15	100	200
IV. PRODUCTOS DE LAS INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, BEBIDAS, LIQUIDOS ALCOHOLICOS, TABACO Y SUCEDÁNEOS					
1. Fabricación de productos lácteos	900	600	75	300	75
2. Envasado y conservación de frutas y legumbres, incluyendo la elaboración de jugos	400	150	15	150	60
3. Elaboración de productos alimenticios diversos	400	150	15	150	45
4. Destilación, rectificación y mezclas de bebidas espirituosas	3500	3000	15	1000	20
5. Bebidas malteadas y de malta	800	260	30	100	30
6. Industrias de bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas	400	200	30	100	30
V. PRODUCTOS MINERALES					
1. Extracción de minerales no ferrosos	100	60	15	100	20
2. Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana	300	100	15	100	20
3. Fabricación de vidrio y productos de vidrio	100	60	15	40	30
4. Fabricación de productos minerales no metálicos	100	60	15	100	20
5. Industrias básicas de hierro y acero	200	60	10	30	30
6. Industrias básicas de metales no ferrosos	200	60	10	30	30

¹⁾ No estarán incluidas en esta actividad las ya expuestas en la tabla

²⁾ Siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita.

Continuación...

NORMA SALVADOREÑA

NSO 13.49.01:09

Continuación...

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO _{5,20} (mg/l)	Sólidos sedimentables (ml/l)	Sólidos suspensidos totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
VI. PRODUCTOS DE LAS INDUSTRIAS QUIMICAS					
1. Fabricación de abonos	180	60	10	50	30
2. Fabricación de resinas sintéticas, materias plásticas y fibras artificiales, excepto el vidrio	500	250	15	100	20
3. Fabricación de pinturas, barnices y lacas	300	100	15	100	30
4. Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos	300	100	15	100	30
5. Fabricación de jabones y preparados de limpieza, perfumes, cosméticos y otros productos de tocador	450	300	15	200	40
6. Refinación y/o Fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón	600	200	30	200	30
7. Industrias de llantas y cámaras	100	60	15	60	20
8. Expendios de combustibles	100	60	15	70	20
9. Lavado de vehículos	100	40	15	60	30
10. Lavanderías, tintorerías	300	100	15	100	30
11. Rellenos sanitarios y otras instalaciones de manejo de desechos	1500	500	15	200	20
12. Fabricación de baterías	400	200	15	800	20
VII. MATERIAS PLASTICAS, CAUCHO Y SUS MANUFACTURAS					
1. Fabricación de productos plásticos	100	50	15	60	30
VIII. PIELÉS, CUEROS, TALABARTERÍA Y PELETERIA					
1. Curtidurías y talleres de acabado	1500	850	15	150	50
IX. PASTAS DE MADERA, PAPEL Y CARTÓN, MANUFACTURAS Y APLICACIONES					
1. Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón	350	200	15	300	20
2. Fabricación de envases y cajas de cartón	400	150	15	100	30
3. Fabricación de envases y cajas de papel y de cartón	400	150	15	100	30
X. MATERIAS TEXTILES Y SUS MANUFACTURAS					
1. Hilados, tejidos y acabados textiles	400	200	15	150	35
XI. CALZADO Y ARTICULOS ANALOGOS					
1. Fabricación de productos de cuero y artículos sucedáneos de cuero	180	60	15	60	30
XII. PERLA, PIEDRAS Y METALES PRECIOSOS					
1. Fabricación de joyas y artículos conexos	300	100	15	100	30
XIII. METALES COMUNES Y SUS MANUFACTURAS					
1. Fabricación de cuchillería, herramientas manuales y artículos generales de ferretería	300	100	15	100	30
2. Fabricación de muebles y accesorios principalmente metálicos	300	100	15	100	30
3. Fabricación de productos metálicos estructurales	300	100	15	100	30
4. Fabricación de productos metálicos exceptuando maquinaria y equipo	300	100	15	100	30

Continuación...

NORMA SALVADOREÑA

NSO 13.49.01:09

Continuación...

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO _{5,20} (mg/l)	Sólidos sedimentables (ml/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
XIV. MAQUINARIA Y APARATOS, MATERIAL ELECTRICO Y MANTENIMIENTO					
1. Construcción de maquinaria para trabajar los metales y la madera	300	100	15	100	30
2. Construcción de materiales y equipos especiales para las industrias, excepto la maquinaria para trabajar los metales y la madera	300	100	15	100	30
3. Construcción de maquinas y aparatos eléctricos industriales	300	100	15	100	30
4. Fabricación y reparación de automóviles, motocicletas	300	100	15	100	30
5. Fabricación de equipos para diferentes usos	300	100	15	100	30
6. Fabricación de instrumentos de música	300	100	15	100	30
7. Fabricación y ensamble de componentes electrónicos	1500 ²⁾	100	15	100	30

¹⁾ No estarán incluidas en esta actividad las ya expuestas en la tabla

²⁾ Siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita

Dependiendo del tipo de industria o actividad productiva, la caracterización del vertido deberá incluir, además de los análisis descritos en las tablas 1 y 2, otros parámetros de calidad para determinar y controlar la presencia de los contaminantes de las aguas residuales, descritos en la tabla 3 de esta norma, de conformidad con la clasificación de actividades contenidas en el Reglamento Especial de Aguas Residuales. Emitido por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales.

Tabla 3. Parámetros Complementarios sobre Valores Permisibles para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor

Parámetros	Valores máximos permisibles
Aluminio (Al)	mg/l 5
Arsénico (As)	mg/l 0,1
Bario total (Ba)	mg/l 5
Berilio (Be)	mg/l 0,5
Boro (B)	mg/l 1,5
Cadmio (Cd)	mg/l 0,1
Cianuro total (CN ⁻)	mg/l 0,5
Cinc (Zn)	mg/l 5
Cobalto (Co)	mg/l 0,05
Cobre (Cu)	mg/l 1
Coliformes fecales	NMP/100ml 2 000
Coliformes totales	NMP/100ml 10 000
Color	0 ¹⁾
Compuestos fenólicos sintéticos	mg/l 0,5
Cromo hexavalente (Cr ⁺⁶)	mg/l 0,1
Cromo total (Cr)	mg/l 1
Detergentes (SAAM)	mg/l 10
Fluoruros (F)	mg/l 5
Fósforo total (P)	mg/l 15
Organofluorina	mg/l 0,1
Fosfatina	mg/l 0,1
Benzimidazol	mg/l 0,1
Piretroides	mg/l 0,1
Bipiridilos	mg/l 0,1
Fenoxi	mg/l 0,1
Triazina	mg/l 0,1
Fosfónico	mg/l 0,1
Hierro total (Fe)	mg/l 10
Litio (Li)	mg/l 2

Continúa

¹⁾ efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor

Continuación...

Tabla 3. Parámetros Complementarios sobre Valores Permisibles para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor

Parámetros		Valores máximos permisibles
Manganeso total (Mn)	mg/l	2
Materiales flotantes	mg/l	Ausentes
Mercurio (Hg)	mg/l	0,01
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,1
Níquel (Ni)	mg/l	0,2
Nitrógeno total (N)	mg/l	50
Organoclorados	mg/l	0,05
Organofosforados y Carbamatos	mg/l	0,1
pH	Unidades	5,5 – 9,0 ²⁾
Plata (Ag)	mg/l	0,2
Plomo (Pb)	mg/l	0,4
Selenio (Se)	mg/l	0,05
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	mg/l	1000
Sustancias radiactivas	-	0
Temperatura	°C	20-35 °C ³⁾
Turbidez (Turbiedad)	NTU	⁴⁾
Vanadio (V)	mg/l	1

²⁾ El valor de pH 5,5-9,0 aplica para descargas en aguas limnias; definiéndose un valor de pH entre 6.0-9.5 para vertidos en aguas costero marinas

³⁾ En todo caso la temperatura del H₂O de descarga al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5 °C, con respecto a la temperatura natural del cuerpo hídrico receptor.

⁴⁾ No se incrementara en 5 Unidades la turbidez del cuerpo receptor.

**Tabla 4. Requerimiento para toma de muestras
Recipientes para Muestreo y Preservantes de Componentes en Agua**

Parámetros	Recipientes	Preservante	Tiempo máximo de almacenamiento	Vol. mínimo de muestra mL
Aceites y grasas	Vidrio	5 mL (1+1) H ₂ SO ₄ /L muestra. Enfriar a 4 °C	24 horas	1 000
Acido fenoxicético, herbicida	Vidrio	H ₂ SO ₄ a pH < 2, inferior a 4 °C	Preferible extraer inmediatamente	1 000
Aluminio	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Arsénico	Polietileno	Enfriar 4 °C	6 meses	1 000
Bario	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Berilio	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Boro	Polietileno	Enfriar 4 °C	6 meses	1 000
Cadmio	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Carbamato (plaguicida)	Vidrio	H ₂ SO ₄ a pH < 4 y 10 g Na ₂ SO ₄ /L muestra	Preferible extraer inmediatamente	2 500
Cianuro	Polietileno	1 mL NaOH al 10 % / 100 mL muestra	24 horas	500
Cinc	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Color	Polietileno	Enfriar 4 °C	24 horas	500
Cromo	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	24 horas	1 000
DBO	Polietileno	Enfriar 4 °C	4 horas	1 000
DQO	Polietileno	Enfriar 4 °C	24 horas	1 000
Fenoles	Vidrio	H ₃ PO ₄ a pH < 4 y 1,0 g CuSO ₄ /L, enfriar 4 °C	24 horas	1 000
Fluoruro	Polietileno	Enfriar 4 °C	7 días	300
Fósforo disuelto inorgánico ortofosfato total	Vidrio	Filtrando in situ, usando membrana filtrante de 0,45 µm enfriar 4 °C	24 horas	1 000
Hierro	Polietileno	2 mL. conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Litio	Polietileno	2 mL. conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000

Parámetros	Recipientes	Preservante	Tiempo máximo de almacenamiento	Vol. mínimo de muestra mL
Manganeso	Polietileno	2 mL. conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Mercurio	Vidrio o teflón	1 mL. conc. H ₂ SO ₄ y 1 mL solución K ₂ Cr ₂ O ₇ al 5% / 100 mL muestra	1 mes	1 000
Molibdeno	Polietileno	2 mL. conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Níquel	Polietileno	2 mL. conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Nitrógeno amoniacal por Kjeldahl nitrato+nitrato	Polietileno	Enfriar 4 °C	24 horas	1 000
Pentaclorofenol	Vidrio	H ₂ SO ₄ a pH < 4 y 0,5 g CuSO ₄ /L enfriar 4 °C	24 horas	1 000
pH	Polietileno	Ninguno	Preferible tomar de inmediato	200
Plaguicidas organoclorados	Vidrio	Enfriar 4 °C	Preferible extraer inmediatamente	2 500
Plata	Polietileno	0,4 g disódico EDTA/100 mL muestra	10 días	1 000
Plomo	Polietileno	2 ml. conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Selenio	Polietileno	Enfriar 4 °C	6 meses	1 000
Sulfato	Polietileno	Enfriar 4 °C	7 días	1 000

6. METODOS DE ANALISIS

Tabla 5. Métodos de Análisis para la Determinación de los Parámetros Contemplados en la Norma

Parámetros	Número de referencia Standard Methods	Número de referencia ASTM
Aceites y grasas	5520	D 3921 - 96
Aceites y grasas (Refinerías de petróleos)	5520	D 3921 - 96
Aluminio	3500 - Al	D 857 - 02
Arsénico	3500 - As	D 2972 - 97
Bario total	3500 - Ba	D 4382 - 02
Berilio	3500 - Be	D 3645 - 02
Boro	4500 - B	D 3082 - 92
Cadmio	3500 - Cd	D 3557 - 02
Cianuro total	4500 CN ⁻	D 2036 - 98

NORMA SALVADOREÑA

NSO 13.49.01:09

Parámetros	Número de referencia Standard Methods	Número de referencia ASTM
Cinc (Zinc)	3500 - Zn	D 1691 - 02
Cloruros	4500 - Cl ⁻	D 512 - 89
Cobalto	3500 - Co	D 3558 - 94
Cobre	3500 - Cu	D 1688 - 02
Coliformes fecales	9221	-
Coliformes totales	9221	-
Color	2120	-
Compuestos fenólicos sintéticos	5530 y 6420	D 1783 - 01
Cromo hexavalente	3500 - Cr	D 5257 - 97
Cromo total	3500 - Cr	D 1687 - 92
DBO (aguas domésticas)	5210	-
DBO (aguas industriales)	5210	-
Detergentes aniónicos	5540	-
DQO (aguas industriales)	5220	D 1252 - 02
DQO (aguas domésticas)	5220	D 1252 - 02
Fluoruros	4500 - F ⁻	D 1179 - 99
Fósforo total	4500 - P	D 515 - 88
Herbicidas totales	6640 y 6651	D 5812 - 96
Hierro total	3500 - Fe	D 1068 -96
Litio	3500 - Li	-
Manganeso total	3500 - Mn	-
Material flotante	2530	-
Mercurio	3500 - Hg	D 3223 - 02
Molibdeno	3500 - Mo	D 3372 - 02
Níquel	3500 - Ni	D 1886 - 94
Nitrógeno total	4500 - N	D 3590 - 02
Organoclorados	6630	D 5812 -96
Organos fosforados y carbamatos	6610	-
pH	4500 - H ⁺	D 1293 - 99
Plata	3500 - Ag	D 3866 - 02
Plomo	3500 - Pb	D 3559 - 96
Recolección y preservación de las muestras	1060	-
Selenio	3500 - Se	D 3859 - 98
Sólidos sedimentables	2540 F	-
Sólidos suspendidos (aguas domésticas)	2540 D	-
Sólidos suspendidos (aguas industriales)	2540 D	-
Sulfatos	4500 - SO ₄ ⁻²	D 516 - 02
Temperatura	2550	-
Trihalometanos	6232	-
Turbidez (Turbiedad)	2130	D 1889 - 00
Vanadio	3500 - V	D 3373 - 93

Nota 1. Se recomienda el uso de los métodos "ASTM" y "STANDARD METHODS". Pueden utilizarse también los métodos empleados para los laboratorios acreditados por el CONACYT.

7. DOCUMENTO DE REFERENCIA

- Propuesta de norma de las Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. El Salvador, 1996. **MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL**
- Análisis del impacto de establecimiento de normas de vertidos y tratamiento d aguas residuales en la tarifas de disposición final y tratamiento para el subsector de agua potable y alcantarillado.

8. CUMPLIMIENTO Y VERIFICACION

8.1 Corresponde al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), velar por el cumplimiento de esta norma obligatoria, de conformidad con lo establecido por la Ley del Medio Ambiente.

8.2 De conformidad a lo establecido por los Arts. 107, 108 y 109 de la Ley del Medio Ambiente y Art. 5 del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental y Art. 5 del Reglamento Especial de Aguas Residuales, los titulares de las actividades, obras o proyectos que se encuentren en ejecución a la entrada en vigencia de esta norma, podrán presentar un Programa de Adecuación Ambiental, o en su caso, solicitar al MARN la realización de una Auditoria Ambiental, cuyos resultados servirán de insumo al Titular para presentar a la aprobación del expresado Ministerio un Diagnostico Ambiental y su correspondiente Plan de Aplicación Voluntaria que impliquen el cumplimiento de las presentes normas técnicas dentro del plazo que el mismo Programa o Plan establezca. El Plazo estará sujeto a lo estipulado por los mencionados artículos.

8.3 Las actividades, obras o proyectos que cuenten con Permiso Ambiental de construcción y/o funcionamiento, deben cumplir con los parámetros establecidos en dicho Permiso, aunque aquellos sean más restrictivos a lo establecido en la presente norma. En caso que sean menos restrictivos deben adecuarse a esta norma.

Para toda actividad no regulada en la presente norma, el MARN establecerá los parámetros de descarga tomando en cuenta los elementos técnicos de la actividad, las características del cuerpo receptor y la normativa técnica internacional.

8.4 Las nuevas actividades, obras o proyectos, estarán sujetas a lo establecido por los Arts. 21 y 22 de la Ley del Medio Ambiente.

ANEXO A

Bibliografía

1. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. NSO 13.07.01:97. Agua Potable. El Salvador, 1997.
2. Superintendencia de Servicios Sanitarios. Norma técnica relativa a Descargas de Residuos Industriales Líquidos. Chile, 1992.
3. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y el Lago de Amatitlán, Propuesta de modificación. Guatemala. Julio, 1997.
4. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. La Gaceta. Costa Rica. Junio, 1997.
5. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Venezuela. Diciembre de 1995.
6. Pollution Control Measures. Water Pollution Control Law. International Center for Environmental Technology Transfer, ICETT. Japón, 1995.
7. Aguas Limpias para Colombia al menor costo. Ministerio del Medio Ambiente. Colombia. Agosto, 1997.
8. Legislación Ambiental en Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Colombia. Agosto, 1997.
9. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Norma para las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales. México 1996.
10. Manual de Gestión de la Calidad Ambiental. Ing. Raúl Prando. Uruguay. OEA/GTZ, 1996.
11. Normas de Laboratorio, Standard Methods. Edición 1998.
12. Anual Book of ASTM standards; Water and Environmental Technology. American Society for Testing and Materials, ASTM. USA, 2002.
13. Análisis del impacto de establecimiento de normas de vertidos y tratamiento de aguas residuales en las tarifas de disposición final y tratamiento para el subsector de agua potable y alcantarillado

- FIN DE LA NORMA -

2º) El presente Acuerdo entrará en vigencia seis meses después de su publicación en el Diario Oficial, de acuerdo a la Conferencia Ministerial de la OMC, Cuarto Período, DOHA, 9 – 14 de noviembre de 2001. COMUNÍQUESE. RICARDO ESMAHAN, MINISTRO

¹ LAS GUIAS OMS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE Y LAS NORMAS DE CALIDAD DE AGUA DE LOS PAISES DEL MERCOSUR

Felipe Solsona
CEPIS-OPS/OMS
Los Pinos 259
Lima, Perú
+511 437 1077
fsolsona@cepis.ops-oms.org

Resumen

Para prevenir la transmisión de enfermedades de vehiculación hídrica, los países deben desarrollar normas de calidad de agua de consumo humano. Cuentan para ello con una herramienta fundamental, que son las Guías de la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua potable. El trabajo analiza la importancia de las normas y el alcance y contenido de las Guías OMS. Se da un listado con los parámetros y sus valores de tal documento junto con los de las normas de los países del Mercosur.

Las enfermedades de origen hídrico son las que más vulneran la salud de la población humana. Cuatro billones de episodios de diarrea a nivel mundial por año son clara muestra de ello.

Por tal razón (con mayor énfasis en los países desarrollados y con algunas intermitencias e irregularidades en los países en vías de desarrollo); tanto las autoridades de salud pública como las compañías de agua potable, desarrollan medidas tendientes a prevenir la transmisión de este tipo de enfermedades a través de planes y programas de control y de vigilancia de la calidad del agua de consumo humano.

El término de "control" se aplica a todas las actividades de monitoreo y ajuste de los procesos técnicos que realiza una compañía, para asegurar que el agua entregada sea de la calidad requerida. Esto es semejante a los controles que una fábrica realiza para garantizar la calidad del producto que manufactura.

El término de "vigilancia" se aplica en cambio al control que un organismo, generalmente gubernamental y de salud, desarrolla sobre el producto específico (en este caso el agua de consumo), como una forma de cuidar la salud de la población. Dicho de otra forma: el control asegura la calidad del producto, la vigilancia asegura la salud de los usuarios.

Existen varias herramientas para que esto sea llevado a la práctica. Partiendo desde una legislación que debe ser coherente, clara y delimitando los derechos y atribuciones de todas las partes, hasta la existencia de los recursos técnicos, humanos, materiales y económicos necesarios para poder operar esa vigilancia y control con eficiencia.

¹ Trabajo presentado en el Taller sobre Normas de Calidad de Aguas para distintos usos en el Mercosur, Rosario, Argentina; 9 y 10 de setiembre de 1999

Dependiendo de que los programas sean de vigilancia o de control los recursos utilizados serán distintos. Sin embargo habrá una herramienta que será común a ambos lados de la ecuación, tanto a los organismos de supervisión como a las compañías productora de agua potable. Esa herramienta es la Norma de calidad del agua de consumo.

Siendo un solvente tan noble, el agua permite la disolución de un número alto de sustancias de todo tipo. Se han individualizado en aguas crudas muchos miles de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. A ello se suma la capacidad de acarrear y permitir el desarrollo de microorganismos, algunos de los cuales son los causantes de los mencionados datos de diarrea a nivel mundial.

Será imposible desde un punto de vista práctico, poder detectar todos y cada uno de los componentes que pueda tener un agua; pero será fundamental poder individualizar los más importantes desde el punto de vista de la salud y conocer en que concentración están presentes.

Una norma de calidad de agua de bebida, es un listado de los parámetros y de las concentraciones que se consideran permisibles a los fines de que el agua no constituya un riesgo para la salud.

En función de las posibilidades técnicas, y de recursos tanto humanos como de infraestructura (laboratorios, equipos de muestreo, etc.), los países desarrollan sus propias normas teniendo en cuenta también las etiologías de las enfermedades prevalentes en sus territorios, y las ocurrencias de ciertos contaminantes en las aguas crudas que se utilicen como fuentes de provisión.

Es decir que si bien el ser humano es uno solo y sus características generales y su disposición a estar sano o enfermo no difiere mucho si esa persona es un habitante de Latinoamérica o del Asia, en virtud de lo anotado en el párrafo anterior, es posible aceptar que si bien no podrá haber una gran diferencia entre ellas, distintos países podrán tener distintas normas de calidad de aguas de consumo.

En el desarrollo de una norma, cada país deberá utilizar una aproximación tipo riesgo-beneficio y los parámetros y valores que se escojan deberán ser consistentes con todos los condicionantes que tiene ese país para que la norma pueda ser bien utilizada, respetada y cumplida. Por ejemplo la adopción de valores demasiado exigentes puede limitar la disponibilidad de agua que cumpla con los límites impuestos, lo que puede generar grandes conflictos o directamente el incumplimiento en regiones donde no haya suficiente agua cruda de buena calidad y poca posibilidad técnica o económica de reducir las cargas a los niveles exigidos.

El juicio sobre cuanto se debe arriesgar en ese juego de riesgo-beneficio es una consideración en que debe tomar parte la sociedad como un todo.

No es fácil para las autoridades de un país desarrollar una norma de tal tipo. Para ello es necesario juntar un caudal muy importante de información clínica, epidemiológica, fisiológica. Son necesarias muchas investigaciones y un trabajo largo y complejo.

Por esa razón la Organización Mundial de la Salud ha venido contribuyendo a los países con el aporte de un documento que cumple con todos esos requisitos. Son la **Guías para la calidad del agua potable**.

La primer versión de las mismas fue producida en 1958, la segunda en 1963, la tercera en 1971. La siguiente versión fue publicada en 1984 y fue la primera vez que se publicó en tres versiones.

Es decir, que las Guías son documentos que se reproducen en versiones actualizadas cada 12 años aproximadamente, a partir del trabajo mancomunado de cientos de expertos de decenas de países, los que recogen la última información disponible en el mundo sobre el tema. Son documentos de distribución global, que se traducen a los idiomas oficiales de las Naciones Unidas; a otros idiomas de trabajo de la Organización, y aún a idiomas no oficiales.

Los tres volúmenes mencionados tienen las siguientes características.

Volumen 1: Recomendaciones.

Es el más popular y en él se exponen los valores guía para numerosos contaminantes del agua relacionados con la calidad del agua potable. El libro proporciona asimismo una explicación de la forma en que deberían aplicarse los valores guía, los criterios utilizados para seleccionar los diversos contaminantes químicos, físicos, microbiológicos y radiológicos considerados; una descripción de los métodos utilizados para obtener los valores guía, así como breves exposiciones resumidas en las que se fundamentan los valores guía recomendados o se explica por qué no es necesario en la actualidad, un valor guía basado en la salud.

El objeto de los valores guía, tal como se ha mencionado, es servir de base para la elaboración de normas nacionales que, debidamente aplicadas, aseguren la inocuidad del agua abastecida, mediante la eliminación o la reducción a una concentración mínima de los componentes considerados peligrosos para la salud. La obra pone de relieve que los valores guía recomendados no son límites obligatorios. Para definir límites de ese tipo, es necesario considerar los valores guía en el contexto de las condiciones locales o nacionales de carácter ambiental, social, económico y cultural.

La obra tiene seis capítulos. El primero brinda una orientación general sobre la interpretación y utilización de los valores guía recomendados, incluidas varias precauciones que deben tomarse al establecer normas nacionales o decidir cuando se necesita una medida correctiva. Los valores guía se exponen después por separado, en capítulos dedicados a contaminantes microbiológicos, químicos y radiológicos. Con respecto a los químicos, el libro se concentra en numerosas sustancias seleccionadas porque representan un peligro potencial para la salud humana y se detectan con bastante frecuencia y en concentraciones relativamente altas en el agua de bebida. También se examinan los desinfectantes y los productos derivados de los desinfectantes del agua de bebida.

Como la apariencia, el sabor y el olor del agua de bebida inciden en su aceptación por el consumidor, hay un capítulo, el quinto, donde se estudian los componentes físicos, inorgánicos y orgánicos que pueden suscitar quejas a los consumidores. En el último capítulo se da una explicación general de los métodos de protección y mejoramiento de la calidad del agua, incluida la selección y protección de las fuentes de agua, la elección de los procesos de tratamiento, la protección de las redes de distribución y el control de la corrosión.

Volumen 2: Criterios relativos a la salud y otra información de base.

Este documento contiene las monografías sobre los criterios aplicables a cada sustancia o contaminante. Esto es: contiene toda la información clínica, epidemiológica y sanitaria que respalda la elección de los parámetros y el valor de sus concentraciones tal como se muestran en el Volumen 1.

Para cada uno de los parámetros que se describen en el Volumen 1, el presente documento hace una descripción general del mismo, bajo que rutas y en la forma como se verifica la exposición y la infección en el ser humano; el significado específico que tiene la exposición a través del agua; los efectos sobre la salud humana y como se ha llegado al valor guía recomendado.

Volumen 3: Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad.

Este documento describe los métodos empleados en la vigilancia de la calidad del agua teniendo en cuenta los problemas especiales de los sistemas de abastecimiento para las pequeñas comunidades, en particular las de los países en desarrollo, y se exponen a grandes rasgos, las estrategias necesarias para conseguir que la vigilancia sea eficaz. También se examinan allí los vínculos entre vigilancia y acción correctiva, así como la forma que debe adoptar esta última. La estructura del volumen 3, refleja en su primer capítulo, las principales etapas del desarrollo de la vigilancia. El capítulo 2 trata de la planificación, y los capítulos siguientes versan sobre los procedimientos usados en el acopio de información (inspección sanitaria y encuestas en la comunidad) (capítulo 3), y sobre el análisis de la calidad del agua (capítulo 4). En el capítulo 5 se

trata del análisis y la interpretación de la información reunida y de su empleo en el mejoramiento de los servicios de abastecimiento de agua. Los tres últimos capítulos describen las estrategias de mejoramiento, a saber, intervenciones técnicas (capítulo 6), educación en materia de higiene (capítulo 7) y legislación y reglamentación (capítulo 8).

Valor guía

Las Guías OMS giran alrededor de un nuevo concepto que es importante destacar y difundir. Ese concepto es el de valor guía, que sirve para estimar la calidad del agua de bebida y que se define de la siguiente forma:

- Un valor guía representa la concentración de un componente que no supone un riesgo significativo para la salud del consumidor si éste bebe el agua durante toda su vida.
- La calidad definida en las *Guías para la calidad del agua potable*, es la adecuada para el consumo humano y para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal. Sin embargo, se puede necesitar una mejor calidad para propósitos especiales, como la diálisis renal.
- Cuando se sobrepasa un valor guía, esto se debe considerar como una indicación de que es preciso: i) investigar la causa con miras a tomar medidas correctivas y ii) solicitar el asesoramiento de las autoridades responsables de la salud pública.
- Si bien los valores guía describen una calidad aceptable para el consumo humano durante toda la vida, no ha de entenderse que su establecimiento permita degradar la calidad del agua potable para aproximarla a los niveles recomendados. Por el contrario, debe hacerse un esfuerzo constante por mantener la mejor calidad posible.
- Las desviaciones por un período breve durante el cual se sobrepasan los valores guía, no significan necesariamente que el agua no sea apta para el consumo. La proporción en que pueda rebasarse un valor guía y el período durante el cual pueda prolongarse esta situación sin que ello repercuta en la salud pública dependerá de la sustancia de que se trate. Cuando se sobrepase un valor guía, se recomienda que se consulte al organismo de vigilancia competente (por lo general, la autoridad responsable de la salud pública) para que aconseje medidas adecuadas, teniendo en cuenta la ingesta de la sustancia procedente de fuentes distintas del agua de bebida (si se trata de componentes químicos), la toxicidad de la sustancia, la probabilidad de efectos negativos y la naturaleza de éstos, las posibilidades prácticas de adoptar medidas correctivas y otros factores similares.
- Al elaborar las normas nacionales para el agua potable basadas en estos valores guía, será necesario tener en cuenta una serie de condiciones geográficas, socioeconómicas, alimentarias y de otro tipo que influyen en la exposición potencial. Esto puede hacer que las normas nacionales difieran apreciablemente de los valores guía.
- En el caso de las sustancias radioactivas, se proporcionan valores límite para la radiactividad alfa global y la radioactividad beta global, sobre la base de un nivel de dosis de referencia.

A continuación se presenta una tabla con los valores guía pertenecientes a la última edición (1995) de las **Guías OMS para la calidad del agua potable**, y se adicionan los valores correspondientes a la normas de los países del Mercosur para su comparación.

PARAMETRO	UNID.	OMS	ARG	BRA	PAR	URU
Año		95	94	90		96
Origen		V.Guia	Codigo Aliment	Port/36	Resol 397	Dto 2733
Microbiológicos						
Coli fecales o E. Coli	UFC/100ml	0	0	0	0	0
Coliformes totales	UFC/100ml	0	≤3	0	0	0
Bact. Heterotróficas	UFC/ml	-	-	-	-	500
Químicos de importancia para la salud						
Inorgánicos						
Antimonio	Mg/L	0.005	-	-	0.005	-
Arsénico	"	0.01	0.05	0.05	0.01	0.05
Bario	"	0.7	-	1	0.7	-
Boro	"	0.3	-	-	0.3	-
Cadmio	"	0.003	0.005	0.005	0.003	0.005
Cianuro	"	0.07	0.1	0.1	0.07	0.1
Cobre	"	2	1	1	2	1
Cromo	"	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Fluoruro	"	1.5	1.7	Var	1.5	1.5
Manganeso	"	0.5	0.1	0.1	0.5	0.1
Mercurio	"	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Molibdeno	"	0.07	-	-	0.07	-
Níquel	"	0.02	-	-	0.02	-
Nitrato	"	50	45	10	50	10
Nitrito	"	3	0.1	-	3	-
Plomo	"	0.01	0.05	0.05	0.01	0.05
Selenio	"	0.01	-	0.01	0.01	0.01
Orgánicos						
Tetracloruro de carbono	µg/L	2	3	3	2	-
Diclorometano	"	20	-	-	20	-
1,1 Dicloroetano	"	NDS	0.3	-	NDS	-
1,2 Dicloroetano	"	30	10	10	30	-
1,1,1 Tricloroetano	"	2000	-	-	2000	-
Cloruro de vinilo	"	5	2	-	5	-
1,1 Dicloreteno	"	30	-	0.3	30	-
1,2 Dicloroetano	"	50	-	-	50	-
Tricloroetano	"	70	-	30	70	-
Tetracloroetano	"	40	-	10	40	-
Benceno	"	10	10	10	10	-
Tolueno	"	700	-	-	700	-
Xilenos	"	500	-	-	500	-
Etilbenceno	"	300	-	-	300	-
Estireno	"	20	-	-	20	-
Benzopireno	"	0.7	0.01	0.01	0.7	-
Monoclorobenceno	"	300	3	-	300	-
1,2 Diclorobenceno	"	1000	500	-	1000	-
1,3 Diclorobenceno	"	NDS	-	-	NDS	-
1,4 Diclorobenceno	"	300	400	-	300	-
Triclorobencenos	"	20	-	-	20	-
Adipato de di (2etilhexilo)	"	80	-	-	80	-
Ftalato de di(2etilhexilo)	"	8	-	-	8	-

Acrilamida	"	0.5	-	-	0.5	-
Epiclorhidrina	"	0.4	-	-	0.4	-
Hexaclorobutadieno	"	0.6	-	-	0.6	-
EDTA	"	200	-	-	200	-
Ac. Nitrilotriacético	"	200	-	-	200	-
Oxido de tributilestaño	"	2	-	-	2	-
Plaguicidas						
Alacloro	µg/L	20	-	-	20	-
Aldicarb	"	10	-	-	10	-
Aldrina/Dieldrina	"	0.03	0.03	0.03	0.03	-
Atrazina	"	2	-	-	2	-
Bentazona	"	30	-	-	30	-
Carbofurano	"	5	-	-	5	-
Clordano	"	0.2	0.3	0.3	0.2	-
DDT	"	2	1	1	2	-
2,4 D	"	30	100	100	30	-
1,2 Dicloropropano	"	20	-	-	20	-
1,3 Dicloropropeno	"	20	-	-	20	-
Heptacloro y HCl-epóxido	"	0.03	0.1	0.1	0.03	-
Hexaclorobenceno	"	1	0.01	0.01	1	-
Lindano	"	2	3	3	2	-
Metoxicloro	"	20	30	30	20	-
Metolacloro	"	10	-	-	10	-
Molinato	"	6	-	-	6	-
Pendimetalina	"	20	-	-	20	-
Pentaclorofenol	"	9	10	10	9	-
Permetrina	"	20	-	-	20	-
Fenoprop	"	9	-	-	9	-
2,4,5 T	"	9	-	-	9	-
Desinfectantes y productos secundarios						
Monocloramina	µg/L	3	-	-	3	-
Cloro aplicado	"	5	-	-	5	-
Cloro residual	"	-	0.2	0.2	-	-
Plata	"	-	0.05	0.05	-	-
Bromato	"	25	-	-	25	-
Clorito	"	200	-	-	200	-
2,4,6 Triclorofenol	"	200	10	10	200	-
Formaldehido	"	900	-	-	900	-
Trihalometanos	"	Nota	100	100	Nota	-
Bromoformo	"	100	-	-	100	-
Dibromoclorometano	"	100	-	-	100	-
Cloroformo	"	200	-	-	200	-
Radiocativos						
Radiactividad Alfa global	Bq/L	0.1	-	-	0.1	0.1
Radiactividad Beta global	"	1	-	-	1	1
Sustancias que pueden producir quejas en los usuarios						
Color	UCV	15	5	5	5	20
Olor	Varias	Sin	Sin	No obj	Sin	Caract
Sabor	Varias	-	Sin	No obj	-	Caract
Turbiedad	UNT	5	3	1	5	5
Temperatura	°C	-	-	-	-	-
Conductividad	µS/cm	-	-	-	-	-
Aluminio	Mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5

Amoniaco	"	1.5	0.2	-	1.5	-
Cloruro	"	250	350	250	250	300
Dureza	"	-	400	500	-	500
Calcio	"	-	-	-	-	-
Magnesio	"	-	-	-	-	-
Hierro	"	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
PH	Unidad	-	8.5	8.5	-	9
Sodio	Mg/L	200	-	-	200	200
Sulfato	"	250	400	400	250	400
Alcalinidad total	"	-	-	-	-	-
Detergentes	"	-	0.5	0.2	-	0.2
Sulfuro de hidrógeno	"	0.05	-	0.25	0.05	-
Sólidos disueltos totales	"	1000	1500	1000	1000	1000
Zinc	"	3	5	5	3	5
Tolueno	µg/L	170	-	-	170	-
Xileno	"	1800	-	-	1800	-
Etilbenceno	"	200	-	-	200	-
Monoclorobenceno	"	120	-	-	120	-
Triclorobencenos (total)	"	50	-	-	50	-

Nota para los trihalometanos: La suma de las razones entre la concentración de cada uno y su respectivo valor guía no debe superar la unidad.

NDS: No hay datos suficientes para permitir la recomendación de un valor guía basado en criterios sanitarios

Anexo 3. Artículo 21 del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales de Costa Rica.

Artículo 21.—Límites para el vertido de aguas residuales a un cuerpo receptor. Parámetros complementarios de análisis obligatorio. Los parámetros complementarios de análisis obligatorio de las aguas residuales que se viertan en un cuerpo receptor deberán cumplir con los límites contenidos en la Tabla 5 dada a continuación.

TABLA 5
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS PARÁMETROS OBLIGATORIOS COMPLEMENTARIOS DE AGUAS RESIDUALES VERTIDAS EN UN CUERPO RECEPTOR

Parámetro	Límite Máximo
- Materia flotante	Ausente
- Mercurio	0,01 mg/L
- Aluminio	5 mg/L
- Arsénico	0,1 mg/L
- Bario	5 mg/L
- Boro	3 mg/L
- Cadmio	0,1 mg/L
- Cloro residual	1 mg/L
- Color (pureza) ¹	15%
- Cromo	1,5 mg/L
- Cianuro total	1 mg/L
- Cianuro libre	0,1 mg/L
- Cianuro libre en el cuerpo receptor, fuera del área de mezcla	0,005 mg/L
- Cianuro disociable en ácido débil	0,5 mg/L
- Cobre	0,5 mg/L
- Plomo	0,5 mg/L
- Estaño	2 mg/L
- Fenoles	1 mg/L
Parámetro	Límite Máximo
- Fosfatos	25 mg/L
- Nitrógeno total	50 mg/L
- Níquel	1 mg/L
- Zinc	5 mg/L
- Plata	1 mg/L
- Selenio	0,05 mg/L
- Sulfitos	1 mg/L
- Sulfuros	25 mg/L
- Fluoruros	10 mg/L
- Hidrocarburos	10 mg/L

Anexo 4. Cadenas de custodia para los muestreos realizados en el período octubre de 2013 a marzo de 2014 en la planta de tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		CÓDIGO: PG-25F1	
REGISTROS			
NOMBRE: CADENA DE CUSTODIA		NÚMERO: CD-1999-2013	
LABORATORIO		PAGINA: 1 de 1	
Fecha de Muestreo: 23/10/2013		Fecha de Recepción: 23-10-13	
Hora de Muestreo: 13:30		T° Preservación: 22°C	
Muestreador: VICTOR GALANZ		Firma: <i>[Firma]</i>	
Entrega: VICTOR GALANZ		Firma: <i>[Firma]</i>	

N° Asignado Laboratorio (ID Muestra)	Código (ID solicitante)	No. Frascos	Punto de Muestreo					Análisis solicitados / Hora Muestreo					Temperatura °C					Tipo de Agua					Ci. Residual Mgl	Origen	Modificación en el Número de Análisis (Especificar)	Observaciones											
			M	N	C	M	R	O	R	O	C	R	O	S	MX	AMB	OTROS	C	R	A	T	R					A	I	N	F	L	U	E	C	O	M	P
LC136957	08130101	1									10:25						34.0°	36.0°				✓												0.0		FISICO QUIMICO	
LC136958	08130058	2									10:40						33.5°	36.5°				✓												0.0		FISICO QUIMICO + A GRASAS + MICROBIO.	
LC136959	57C	3									10:50						34.0°	36.5°				✓												0.0		FISICO QUIMICO + A GRASAS + MICROBIO.	
LC136960	57C	4									11:05						33.0°	36.5°				✓												0.0		FISICO QUIMICO + A GRASAS + MICROBIO.	

Receptivo: *[Firma]* Analistas: *[Firma]*

Microbiología Fiscoquímico Investigación Fiscoquímico Res. Microbiología Res.

LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
REGISTROS
CÓDIGO: PG-25F1
NÚMERO: CD-2214-2013
PAGINA: 1 de 1

LABORATORIO CADENA DE CUSTODIA
REGISTROS
CÓDIGO: PG-25F1
NÚMERO: CD-2214-2013
PAGINA: 1 de 1

Fecha de Muestreo: 27/11/2013 Fecha de Recepción: 29/11/13 Hora de Recepción: 13:58 T° Preservación: 23.2

Muestrador: VICTOR GALAN

Entrega: VICTOR GALAN

Solicitante:	REG. CENTRAL SAVENIMIENTO	Muestreo	Análisis solicitados/ Hora Muestreo	Temperatura °C		Tipo de Agua	Cl. Residual Mg/l	Origen				Modificación en el Numero de Análisis (Especificar)	Observaciones			
				MX	AMB			C R U	T R A	I N F	E F L U			C O M P U	P R O D	D I S T
No. Frascos																
Código (ID solicitante)																
No. Asignad Laboratorio (ID Muestra)																
1	08130101			11:00	33°	36°	A							7	FISICO QUIMICO	
2	08130108			11:20	36.0°	37.0°	A								7	FISICO QUIMICO A.GRASAS + MICROBIO L.
3	5:0			11:30	31.5°	35.0°	A								7	FISICO QUIMICO A.GRASAS + MICROBIO L.
4	5:0			11:50	32.5°	37.0°	A								7	FISICO QUIMICO A.GRASAS + MICROBIO L.

Recepción: CC Analistas: CC Investigación: Fisiocuimico Fisiocuimico Res. Microbiología Res. Microbiología Res.

Boulevard del Hipódromo #609, Col. San Benito
 laboratorio@anda.gob.sv



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
REGISTROS

CÓDIGO: PG-25F1
NÚMERO: CD-2368-2013
PAGINA: 1 de 1

NOMBRE: CADENA DE CUSTODIA

Fecha de Muestreo: 16/12/2013 Fecha de Recepción: 16/12/13 Hora de Recepción: 13:48 T° Preservación: 19°C

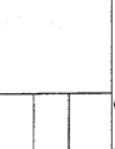
N° Asignado Laboratorio (ID Muestra)	Código Solicitante	No. Frascos	Punto de Muestreo	Análisis solicitados / Hora Muestreo					Temperatura °C				C. Residual Mg/l	Origen			Observaciones		
				M	N	C	M	O	R	O	C	R		OTROS	OTROS	FUENTES		pH	Modificación en el Numero de Análisis (Especificar)
LC13528 F	08130071	1	P.T.A.R.D SAN JUIS TALPA DE PTO. LA PAZ.				11:00				35.0°	35.0°						FISICO QUIMICO	DUPLICADO DE FISICO QUIMICO.
LC13523	0813008	2	EFUENTE DE PLANTA				11:10				34.0°	36.0°	0.0					FISICO QUIMICO + A. GRASAS + MICROBIOL.	DUPLICADO ACEITES Y GRASAS.
LC13823	S.V.	3	EFUENTE HUMEDAL I				11:20				35.0°	35.0°	0.0					FISICO QUIMICO + A. GRASAS + MICROBIOL.	
LC138237	S.V.	4	EFUENTE HUMEDAL II				11:30				35.0°	35.0°	0.0					FISICO QUIMICO + A. GRASAS + MICROBIOL.	

Firma: [Firma]
Firma: [Firma]

Muestreador: VICTOR GALAN
Entrega: VICTOR GALAN


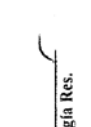
Recepción: LC Analistas: [Firma] Microbiología: [Firma] Fisiocoquímico: [Firma] Investigación: [Firma] Fisiocoquímico Res.: [Firma] Microbiología Res.: [Firma]

Boulevard del Hipódromo #609, Col. San Benito
laboratorio@anda.gob.sv


LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
REGISTROS
NOMBRE: CADENA DE CUSTODIA
 IDIGO: PG-25F1
 NÚMERO: CD-0176-2014
 PAGINA: 1 de 1

Fecha de Muestreo: 22/01/2014 Fecha de Recepción: 22/01/2014 Hora de Recepción: 14:34 T° Preservación: 18°

Solicitante:	Muestreador:	Análisis solicitados / Temperatura °C										Modificación en el Número de Análisis (Especificar)	Observaciones															
		Entrega: Hecctor Cañas																										
		Muestreo		Temperatura °C		Tipo de Agua		Origen		Cl. Residual																		
Nº Asignado Laboratorio (ID Muestra)	Código (ID solicitante)	No. Frascos	M	N	C	R	O	R	O	C	R	OTROS	AMB	MX	CRU	TRA	INF	EFLU	COMPU	C. Residual	PROD	DIST	FUENTES	OTROS	pH			
Saneamiento Región Central																												
P.T.A.R.O San Luis Tapa																												
Punto de Muestreo La Paz																												
02130101	02130101	1		05:01										31	34	X	X				-					7	Físico-Químico	Duplicado Físico-Químico
05130108	05130108	2		11:05										32.5	39		X	X			-					7	Físico-Químico	Duplicado Aceites y Grasas Microbiológico
02140529	02140529	3		11:45										35	42		X	X			-					7	Físico-Químico	
02140529	02140529	4		12:05										30	42		X	X			-					7	Físico-Químico	

Firma: 
 Firma: 

Recepción:  Analistas: 
 Microbiología Físicoquímico Investigación Físicoquímico Res. Microbiología Res.

Boulevard del Hipódromo #609, Col. San Benito laboratorio@anda.gob.sv

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
REGISTROS

CÓDIGO: PG-25F1
NÚMERO: CD-0440-2014
PAGINA: 1 de 1

NOMBRE: CADENA DE CUSTODIA

Fecha de Muestreo: 26-02-14 Fecha de Recepción: 26-02-14 Hora de Recepción: 11:05 T° Preservación: 24.5°C

N° Asignado Laboratorio (ID Muestra)	Código (ID solicitante)	No. Frascos	Punto de Muestreo	Análisis solicitados / Hora Muestreo				Temperatura °C				Tipo de Agua	Cl. Residual Mg/l	Origen				Modificación en el Número de Análisis (Especificar)	Observaciones						
				M	N	C	R	M	O	R	O			CR	AMB	CU	TRA			INF	EFLU	COMPU	PROD	DIST	FUENTES
LC14104	8130101	1	efluente de planta				11:20	34.0	34.0	34.0	34.0	1	1									7	f.d.e.		
LC14105	8130102	2	efluente de planta				11:30	35.0	37.0	37.0	37.0	1	1										7	f.d.e. microb	
LC14106	8130103	3	Umedad I				11:40	35.0	37.0	37.0	37.0												7	f.d.e. microb	
LC14107	8130104	4	Umedad II				12:30	37.0	37.0	37.0	37.0												7	f.d.e. microb	

Muestreador: Proter ceros
Entrega: Proter ceros

Firma: [Signature]
Firma: [Signature]

Recepción: CE Análisis: CE Microbiología: CE Fisicoquímico: CE Investigación: CE Fisicoquímico Res.: CE Microbiología Res.: CE

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
 REGISTROS
 CÓDIGO: PG-20F1
 NÚMERO: CD-0657-2014
 PAGINA: 1 de 1

NOMBRE: CADENA DE CUSTODIA
 Fecha de Muestreo: 26-03-14 Fecha de Recepción: 26-03-14 Hora de Recepción: 13:38 Tr. Preservación: 20.1





M. Asignado	Laboratorio	ID Muestra	ID Solicitante	No. Frascos	Análisis solicitado (Hora Muestra)							Temperatura (C)	Tipo de Agua	C D R E S U	C O M P U	E F L U	T R A F	G R U	Origen	pH	Modificación en el Método de Análisis (Especificar)	Observación
					M N C M R	O C R	O T R O S	M X	A B D	P R O D	D I S T											
				1						10:29												
				2						16:41												
				3						11:10												
				4						11:30												

Muestreador: Federico Castro
 Entrega: Federico Castro

Requisición: Región Central
 Punto de Muestreo: L. Boy

Firma: [Signature]
 pH: 7
 Modificación en el Método de Análisis (Especificar): L.O.R
 Observación: 7 P y 6 duplicados de muestra
L.O.R
7 P y 6
L.O.R
7 P y 6
L.O.R
7 P y 6

Anexo 5. Resultados de análisis realizados para los parámetros en estudio por los laboratorios de ANDA y FUSADES, correspondientes al período octubre 2013 a marzo 2014, para las aguas residuales de la planta de tratamiento “San Luis Talpa”.

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		CODIGO: P G - 28 F 2	
	REGISTRO		N° <u>LC136957</u>	
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES		PAGINA: 1 de 1	
Código de Muestra: 8130101		Identificación de Muestra: LC136957		
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL		Fecha de Recepcion: 23-10-2013 Hora: 13:30		
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA DEPTO. LA PAZ		Fecha de Análisis: 23-10-2013 Hora: 13:50		
Muestreador: VICTOR GALAN		Tipo de Muestra Analizada:		
Punto de Muestreo: AFLUENTE DE AGUA PLANTA		Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09		
Plan de Muestreo: Puntual		ORDINARIO COMPLEMENTARIO		
Fecha de Muestreo: 12-10-2013		Hora: 10:25		
Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	34.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	--	mg/L	-----	4500- CI G DPD Colorimetric Method APHA
RESULTADOS ANALITICOS				
Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	741.02	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	402.5	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test
Sólidos Sedimentables *	5.5	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	246.67	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried al 103 - 105° APHA
pH *	6.90	—	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	210.5	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1370	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
* Métodos Acreditados		Revisado Por: 		
Observaciones:				
Autorizado por:		 LIC. DOUGLAS E. GARCIA JEFE LABORATORIO DE CALIDAD		
				
Boulevard del Hipodromo , No. 609, Colo. San Benito, San Salvador Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada				
				laboratorio@anda.gob.s.v

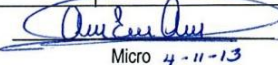
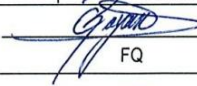
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: PG-28F2
	REGISTRO	N° <i>LC136959</i>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LC136959
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 23-10-2013 Hora:13:30
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA DEPTO. LA PAZ	Fecha de Análisis: 23-10-2013 Hora:14:45
Muestreador: VICTOR GALAN	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: EFLUENTE HUMEDAL I	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 23-10-2013 Hora: 10:50	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	34.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	143.42	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirometric Method APHA
DBO Total *	19.5	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	0.2	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	11.60	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	19.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.23	----	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	89.5	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	433	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	3.5(E+4)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	3.5(E+4)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados	Revisado por:  Micro 4-11-13	 FQ
Observaciones:		


Autorizado por:


 LIG. DOUGLAS E. GARCIA
 JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
 Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

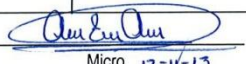

laboratorio@anda.gob.s.v

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <u>LC136960</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LC136960
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 23-10-2013 Hora:13:30
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA DEPTO. LA PAZ	Fecha de Análisis: 23-10-2013 Hora:15:03
Muestreador: VICTOR GALAN	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: EFLUENTE HUMEDAL II	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 23-10-2013 Hora: 11:05	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	33.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	25.5	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tririmetric Method APHA
DBO Total *	3.70	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	14.00	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	25.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.12	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	3.28	NTU	No se incrementará en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	84.5	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	7.9(E+4)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	4600	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA
* Métodos Acreditados	Revisado por: 			 FQ
Observaciones:				

Autorizado por:


LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRO

N° *Lc 137731*

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130101	Identificación de Muestra: LC137731
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 27-11-2013 Hora: 13:58
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA DEPTO. LAPAZ.	Fecha de Análisis: 27-11-2013 Hora: 15:11
Muestreador: VICTOR GALAN	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: AFLUENTE DE PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual	ORDINARIO COMPLEMENTARIO
Fecha de Muestreo: 27-11-2013 Hora: 11:00	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	33	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 3^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	417.12	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tririmetric Method APHA
DBO Total *	265	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test
Sólidos Sedimentables *	2.0	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	185.0	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried al 103 - 105° APHA
pH *	7.15	—	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	230.0	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1540	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH

* Métodos Acreditados

Revisado Por:

Observaciones:

Autorizado por:

LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



Boulevard del Hipodromo , No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gcb.s.v



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: PG-28F2

REGISTRO

N° LC137732

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

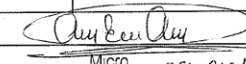
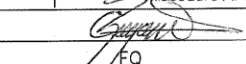
PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130108	Identificación de Muestra: LC137732
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 27-11-2013 Hora:13:58
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA DEPTO. LA PAZ.	Fecha de Análisis: 27-11-2013 Hora:14:15
Muestreador: VICTOR GALAN	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: EFLUENTE DE PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 27-11-2013 Hora: 11:20	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	36.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	396.0	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	342	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	150.0	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	74.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	6.91	----	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	155.5	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1215	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	1.7(e+8)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	1.7(e+8)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA


* Métodos Acreditados	Revisado por:	 Micro 28-01-14	 FQ
Observaciones:			

Autorizado por:


 LIC. DOUGLAS E. GARCIA
 JEFE LABORATORIO


Boulevard del Hipódromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
 Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v

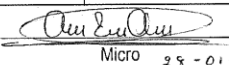
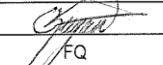
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° LC 137733
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LC137733
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 27-11-2013 Hora:13:58
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA DEPTO. LA PAZ.	Fecha de Análisis: 27-11-2013 Hora:14:45
Muestreador: VICTOR GALAN	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: AFLUENTE DE HUMEDAL #1	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 27-11-2013	Hora: 11:30

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	31.5	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	116.16	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirometric Method APHA
DBO Total *	>72.5	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	1.5	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	98.67	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	126.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.07	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B ELECTrometric Method APHA
Turbidez	147.75	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	710	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	4.9(e+6)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	4.9(e+6)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados	Revisado por:  Micro 29-01-14	 FQ
Observaciones:		

Autorizado por:


LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIO



Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRON° **LC138234****NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES**

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130101	Identificación de Muestra: LC138234
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 16-12-2013 Hora: 13:48
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, DPTO. DE LA PAZ.	Fecha de Análisis: 16-12-2013 Hora: 14:16
Muestreador: VICTOR GALAN	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: AFLUENTE DE PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual	ORDINARIO COMPLEMENTARIO
Fecha de Muestreo: 16-12-2013 Hora: 11:00	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	35.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podra alterar ± 3 °C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	--	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	512.0	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	332.5	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test
Sólidos Sedimentables *	4.0	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	280.0	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried al 103 - 105° APHA
pH *	7.25	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	186.5	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1220	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH

* Métodos Acreditados

Revisado Por:

Observaciones:

Autorizado por:

 H. DOUGLAS E. GARCIA
 JEFE LABORATORIO DE CALIDAD


Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
 Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRO

N° LC138235

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130108	Identificación de Muestra: LC138235
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 16-12-2013 Hora:13:48
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, DPTO. DE LA PAZ.	Fecha de Análisis: 16-12-2013 Hora:14:30
Muestreador: VICTOR GALAN	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: EFLUENTE DE PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 16-12-2013 Hora: 11:10	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	34.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	236.0 ✗	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitimetric Method APHA
DBO Total *	85.62 ✗	mg/L	60	5210 B 5 - . Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D ✓	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	35.0 ✓	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	37.0 ✗	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.41 ✓	---	5.5 - 9. 0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	54.0	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	667.5	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	6.3(E+7) ✗	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	4.3(E+7) ✗	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados Revisado por: [Signature] 09/01/14 [Signature]
Mico FQ

Observaciones:

Autorizado por:

[Signature]
LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIO



Boulevard del Hipodromo , No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRO

N° LC138236

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LC138236
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 16-12-2013 Hora:13:48
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, DEPTO. LA PAZ	Fecha de Análisis: 16-12-2013 Hora:14:56
Muestreador: VICTOR GALAN	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: EFLUENTE HUMEDAL I	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 16-12-2014 Hora: 11:20	


Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	32.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
DQO Total *	96.0	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	52.5	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	0.1	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	57.77	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	24.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.48	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	41.0	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	541	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	1.1(E+8)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	3.3(E+7)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados	Revisado por:  Micro	 FQ
Observaciones:		

Autorizado por:


 LIC. DOUGLAS E. GARCIA
 JEFE LABORATORIO


Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
 Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: PG-28F2

REGISTRO

N° LC138237


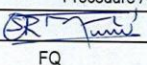
NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LC138237
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 16-12-2013 Hora:13:48
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ.	Fecha de Análisis: 16-12-2013 Hora:15:07
Muestreador: VICTOR GALAN	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: EFLUENTE HUMEDAL II	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 16-12-2013 Hora: 11:30	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	35.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	66.13	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirometric Method APHA
DBO Total *	38.4	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	34.67	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	22.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.53	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	25.9	NTU	No se incrementará en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	422	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	4.6(E+7)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	4.6(E+7)	NMP/100ml	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA
* Métodos Acreditados	Revisado por: 	09/01/14	Micro	 FQ
Observaciones:				

Autorizado por:

LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIOBoulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRO

N° LC140524

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130101	Identificación de Muestra: LC140524
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 22-01-2014 Hora: 14:34
Dirección: P.T.A.R.O SAN LUIS TALPA LA PAZ	Fecha de Análisis: 22-01-2014 Hora: 14:50
Muestreador: HECTOR CAÑAS(REGION CENTRAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: AFLUENTE DE LA PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual	ORDINARIO COMPLEMENTARIO
Fecha de Muestreo: 22-01-2014 Hora: 10:55	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	31	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
DQO Total *	325.33	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirometric Method APHA
DBO Total *	285.0	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test
Sólidos Sedimentables *	3.0	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	233.33	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried al 103 - 105° APHA
pH *	7.30	—	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	199.0	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1305	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH

* Métodos Acreditados

Revisado Por:

Observaciones:

Autorizado por:

LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

CODIGO: P G - 28 F 2

REGISTRO

N° LC 140526

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LC140526
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 22-01-2014 Hora:14:34
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ	Fecha de Análisis: 22-01-2014 Hora:14:30
Muestreador: JOSE ALEXANDER ALVARADO	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: HUMEDALI	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 22-01-2014 Hora: 11:45	

Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	35	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	182.4	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	82.5	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	0.1	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendedos Totales *	33.33	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	12.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.00	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	133.75	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	925	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	2.3(E+7)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	2.3(E+7)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados

Revisado por:

Micro 06-02-14

FQ

Observaciones:

Autorizado por:

LIC. DOUGLASE GARCIA
JEFE LABORATORIO

Boulevard del Hipodromo , No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRO

N° LC140527

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LC140527
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 22-01-2014 Hora:14:34
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ	Fecha de Análisis: 22-01-2014 Hora:15:15
Muestreador: HECTOR CAÑAS(REGION CENTRAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: HUMEDAL II	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 22-01-2014 Hora: 12:05	

Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	30	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	97.6	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Titrimeric Method APHA
DBO Total *	44.75	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	N.A	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	18.67	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	23.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.19	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	29.0	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	419	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	3.3(E+7)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	1.3(E+7)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados Revisado por: Amir Escobar Micro 05-02-14 [Firma] FQ

Observaciones:

Autorizado por:

LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIO





LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRO

N° LC141404

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1


Código de Muestra: 8130101	Identificación de Muestra: LC141404
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 26-02-2014 Hora: 14:05
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ.	Fecha de Análisis: 26-02-2014 Hora: 14:22
Muestreador: HECTOR CAÑAS(REGION CENTRAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: AFLUENTE DE PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual	ORDINARIO COMPLEMENTARIO
Fecha de Muestreo: 26-02-2014 Hora: 11:20	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	34.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	--	mg/L	-----	4500- CI G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	744.0	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitometric Method APHA
DBO Total *	382.5	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test
Sólidos Sedimentables *	2.5	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	206.67	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried al 103 - 105° APHA
pH *	7.25	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	168.25	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1300	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH

* Métodos Acreditados

Revisado Por: 

Observaciones:



Autorizado por:


 LIC. DOUGLASE GARCIA
 JEFE LABORATORIO DE CALIDAD

 Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
 Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v

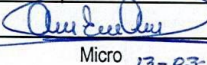

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° LC141405
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130108	Identificación de Muestra: LC141405
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 26-02-2014 Hora:14:05
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ.	Fecha de Análisis: 26-02-2014 Hora:15:15
Muestreador: HECTOR CAÑAS(REGION CENTRAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: EFLUENTE DE PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 26-02-2014 Hora: 11:30	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	35.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	218.4	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	82.0	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	40.0	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	27.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.46	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	48.75	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	537.5	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	1.3(E+8)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	1.3(E+8)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados	Revisado por: 	
	Micro 13-03-14	FQ
Observaciones:		

Autorizado por:


LIC. DOUGLASE E. GARCIA
JEFE LABORATORIO



Boulevard del Hipodromo , No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRO

N° LC141406

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LC141406
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 26-02-2014 Hora:14:05
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ.	Fecha de Análisis: 26-02-2014 Hora:15:30
Muestreador: HECTOR CAÑAS(REGION CENTRAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: UMEDAL I	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 26-02-2014 Hora: 11:40	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	35.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	88.0	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tridimetric Method APHA
DBO Total *	26.0	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	18.67	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	4.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.44	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	16.7	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	227	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	3.1(E+7)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	2.3(E+7)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados

Revisado por:

[Signature]
Micro 13-03-14

[Signature]
FQ

Observaciones:


Autorizado por:

[Signature]
LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIO



Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° LC141407
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LC141407
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 26-02-2014 Hora:14:05
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ.	Fecha de Análisis: 26-02-2014 Hora:15:45
Muestreador: HECTOR-CAÑAS(REGION CENTRAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: UMÉDAL II <input checked="" type="checkbox"/>	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 26-02-2014 Hora: 12:30	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	37.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	--	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
DQO Total *	201.6	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	66.0	mg/L	60	5210 B 5 - . Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	32.0	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	4.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.08	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	33.72	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	535	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	1.7(E+8)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	1.7E+8)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure ABHA

* Métodos Acreditados	Revisado por:  Micro 13-03-14	 FQ
Observaciones:		

Autorizado por:


LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIO



Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRON° *Lc 142078***NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES**

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130101

Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL

Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ.

Muestreador: HECTOR CAÑAS(REGION CENTRAL)

Punto de Muestreo: AFLUENTE DE PLANTA

Plan de Muestreo: Puntual

Fecha de Muestreo: 26-03-2014 Hora: 10:25

Identificación de Muestra: LC142078

Fecha de Recepcion: 20-03-2014 Hora: 13:38

Fecha de Análisis: 26-03-2014 Hora: 14:00

Tipo de Muestra Analizada:

Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09

ORDINARIO COMPLEMENTARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	34.5	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	--	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	665.28	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirometric Method APHA
DBO Total *	362.5	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test
Sólidos Sedimentables *	5.0	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	245.0	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Turbidez	7.09	—	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	180.0	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1360	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH

* Métodos Acreditados

Revisado Por:

Observaciones:

Autorizado por:

 LIC. DOUGLAS E. GARCIA
 JEFE LABORATORIO DE CALIDAD

 Boulevard del Hipodromo, No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
 Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRO

N° *Lc 142079*

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130108	Identificación de Muestra: LC142079
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 26-03-2014 Hora:13:38
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ.	Fecha de Análisis: 26-03-2014 Hora:14:20
Muestreador: HECTOR CAÑAS(REGION CENTRAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: EFLUENTE DE PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 26-03-2014 Hora: 10:41	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	37	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	0.0	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	112.99	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	57.0	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	46.67	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	15.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.50	----	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	79.20	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1275	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	7.9(E+7)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	4.9(E+7)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados

Revisado por:

[Signature]
Micro 02-04-14

[Signature]
FQ

Observaciones:

Autorizado por:

[Signature]
LIC. DOUGLASE GARCIA
JEFE LABORATORIO



Boulevard del Hipodromo , No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

CODIGO: P G - 2 8 F 2

REGISTRO

N° LC142081

NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES

PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130112	Identificación de Muestra: LC142081
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 26-03-2014 Hora:13:38
Dirección: P.T.A.R.O. SAN LUIS TALPA, LA PAZ.	Fecha de Análisis: 26-03-2014 Hora:15:20
Muestreador: HECTOR CAÑAS(REGION CENTRAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: HUMEDAL II	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS
Fecha de Muestreo: 26-03-2014 Hora: 11:30	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	34	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podra alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	--	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	98.21	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	>13	mg/L	60	5210 B 5 -. Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	0.2	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	<10.80	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	9.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.66	----	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	9.72	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	236	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	4.9(E+6)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	4.9(E+6)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

* Métodos Acreditados

Revisado por:

Micro 02-04-14

Observaciones:

Autorizado por:

LIC. DOUGLAS E. GARCIA
JEFE LABORATORIOBoulevard del Hipodromo , No. 609, Colo. San Benito, San Salvador
Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra ensayada

laboratorio@anda.gob.s.v



FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL

Laboratorio de Calidad Integral

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE

INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL

MUESTRA 131009870-01

Pag 1 / 1



DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO #2
 Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
 Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
 Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gua

FECHAS	
Recibido :	23/10/2013
Análisis :	28/10/2013
Reporte :	05/11/2013

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	13.87	mg/L	15	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	3.69	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
 µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
 UnidadesCo-Pt.Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
 color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnias. *3: En todo caso la temperatura
 del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
 cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
 ***NSO.13.49.01:09 "Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor"

OBSERVACIONES


 Lic. Meyra López de Carcamo
 Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
 El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
 Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
 No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 35.01 V.7 10/08/12

Urb. y Blvd. Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C. A. e-mail: laboratorio@fusades.org
 Tel. (503) 2248-5681 Fax: (503) 2248-5669, sitio web: www.fusades.org o www.fusadeslab.org

UN PROGRAMA DE LA FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL



Laboratorio de Calidad Integral
UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 131009871-01



DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 3
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gma

Table with 2 columns: FECHAS, and rows for Recibido, Análisis, and Reporte with corresponding dates.

ANÁLISIS

Table with 6 columns: DETERMINACIÓN, RESULTADOS, Unidades, NORMA***, MÉTODO, REFERENCIA*. Rows include Fosfatos and Nitratos.

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt.Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo recepto. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnicas *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo recepto. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***NSO 13.49.01:09 " Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor"

OBSERVACIONES

Signature of Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente
Logo of Laboratorio de Calidad Integral Medio Ambiente

Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.



FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL

Laboratorio de Calidad Integral

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE

INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL

MUESTRA 131009872-01

Pag 1/1



DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO #4
 Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
 Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
 Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gma

FECHAS

Recibido : 23/10/2013
 Análisis : 31/10/2013
 Reporte : 05/11/2013

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	5,94	mg/L	15	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	0,97	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
 μmhos:micronhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
 UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efuyente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnicas. *3: En todo caso la temperatura del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
 ***NSO.13.49.01:09 "Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor"

OBSERVACIONES


 Lic. Morena López de Cárcamo
 Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
 Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
 No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urb. y Blvd. Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C. A. e-mail: laboratorio@fusades.org
 Tel. (503) 2248-5681 Fax: (503) 2248-5669, sitio web: www.fusades.org o www.fusadeslab.org

UN PROGRAMA DE LA FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL



FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL

Laboratorio de Calidad Integral



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
 INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
 MUESTRA 131111169-01

Pag. 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 2
 Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
 Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
 Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 Teléfono: 7797-0972 Fax: Carreo Electronico: hburgoshuezo@gma

FECHAS

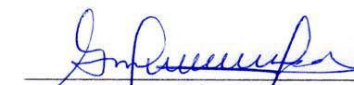
Recibido :	27/11/2013
Análisis :	03/12/2013
Reporte :	09/12/2013

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	12.75	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	N.D.	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-E

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
 μmhos:microhmhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
 UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
 color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnias. *3: En todo caso la temperatura
 del agua de descarga al cuerpo recepto. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
 cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
 ***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
 fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES


 Lic. Morena López de Carcano
 Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
 Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
 No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urb. y Blvd. Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C. A. e-mail: laboratorio@fusades.org
 Tel. (503) 2248-5681 Fax: (503) 2248-5669, sitio web: www.fusades.org o www.fusadeslab.org

UN PROGRAMA DE LA FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL



FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL

Laboratorio de Calidad Integral



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 131111170-01

Pag 1/1

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO #3
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@ema

FECHAS

Recibido: 27/11/2013
Análisis: 03/12/2013
Reporte: 09/12/2013

ANÁLISIS

Table with 6 columns: DETERMINACIÓN, RESULTADOS, Unidades, NORMA***, MÉTODO, REFERENCIA*. Rows include Fosfatos and Nitratos.

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnicas. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES

Handwritten signature of Lic. Morena López de Carcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/06/12

Urb. y Blvd. Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C. A. e-mail: laboratorio@fusades.org
Tel. (503) 2248-5681 Fax: (503) 2248-5669, sitio web: www.fusades.org o www.fusadeslab.org

UN PROGRAMA DE LA FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL



FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL

Laboratorio de Calidad Integral

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
 INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
 MUESTRA 131111171-01

Pag. 1 / 1



DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO #4
 Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
 Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
 Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gma

FECHAS

Recibido : 27/11/2013
 Análisis : 03/12/2013
 Reporte : 09/12/2013

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA ***	MÉTODO	REFERENCIA *
A008 Fosfatos	7.50	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	3.14	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
 μmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
 UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
 color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnicas. *3: En todo caso la temperatura
 del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
 cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
 ***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
 fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES


 Lic. Morena López de Cárcamo
 Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
 Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
 No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urb. y Blvd. Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C. A. e-mail: laboratorio@fusades.org
 Tel. (503) 2248-5681 Fax: (503) 2248-5669, sitio web: www.fusades.org o www.fusadeslab.org

UN PROGRAMA DE LA FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL



Laboratorio de
Calidad Integral



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 131211730-01

Pag. 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 2
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gmail

FECHAS

Recibido: 16/12/2013
Análisis: 18/12/2013
Reporte: 26/12/2013

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	11.03	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	N.D.	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm.centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnias. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES


Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 35.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 131211731-01

Pag 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO #3
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gmail.com

FECHAS

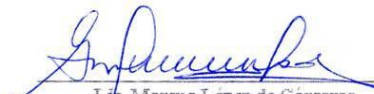
Recibido: 16/12/2013
Análisis: 18/12/2013
Reporte: 26/12/2013

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA ***	METODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	14.69	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	N.D.	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platinio mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnias. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4.No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES


I.K. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 131211732-01

Pag 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO #4
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Carreo Electronico: hburgoshuezo@gma

FECHAS

Recibido :	16/12/2013
Análisis :	18/12/2013
Reporte :	26/12/2013

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	12.82	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	N.D.	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL: mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnias. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES

Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



Pag 1 / 1

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 140100830-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 2
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax : Correo Electronico: hburgoshuezo@gmail.com

FECHAS	
Recibido :	22/01/2014
Análisis :	27/01/2014
Reporte :	31/01/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	11.98	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	N.D.	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL: mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1: Efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor. *2: El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnias. *3: En todo caso la temperatura del agua de descarga al cuerpo receptor. *4: No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5: Siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES

Lc. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



Pag 1 / 1

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 140100831-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 3
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax : Correo Electronico: hburgoshuezo@gma

FECHAS	
Recibido :	22/01/2014
Análisis :	27/01/2013
Reporte :	31/01/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA ***	MÉTODO	REFERENCIA *
A008 Fosfatos	18.75	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	N.D.	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micronhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnicas. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES

Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



Pag 1 / 1

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 140100632-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO #4
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gmail.com

FECHAS

Recibido :	22/01/2014
Análisis :	27/01/2014
Reporte :	31/01/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	25.44	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	0.63	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo recepto. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnicas. *3: En todo caso la temperatura del agua de descarga al cuerpo recepto. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES

Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



Pag. 1 / 1

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 140201592-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 2
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gma

FECHAS

Recibido : 26/02/2014
Análisis : 27/02/2014
Reporte : 11/03/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA ***	MÉTODO	REFERENCIA *
A005 Fosfatos	14.18	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	58.36	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnias. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES


Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



Fundación Salvadoreña para
el Desarrollo Económico y Social

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 140201593-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 3
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gmail.com

FECHAS

Recibido : 26/02/2014
Análisis : 27/02/2014
Reporte : 11/03/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	1.48	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	21.54	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micronhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL: mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efuyente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnias. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES


Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V:7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 140201804-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO #4
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico: hburgoshuezo@gma

FECHAS

Recibido : 26/02/2014
Análisis : 27/02/2014
Reporte : 11/03/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	15.81	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P-E
A011 Nitratos	83.20	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo recepto. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnias. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo recepto. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. Acta N°1937 Punto XIV de
fecha 15 de Octubre de 2004.

OBSERVACIONES


Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 35.01 V.7 10/08/12



Laboratorio de
Calidad Integral



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 140302289-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 1
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico hbureshuevoz@gmail.

FECHAS

Recibido :	24/03/2014
Análisis :	25/03/2014
Reporte :	09/04/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA *
AD06 Fosfatos	9.04	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórb	4500-P E
AD11 Nitratos	12.50	mg/L	45	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
*Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES

Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 140302290-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 2
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico hburgoshuezo@gmail

FECHAS	
Recibido :	24/03/2014
Análisis :	27/03/2014
Reporte :	09/04/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA*
A008 Fosfatos	12.60	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	10.20	mg/L	45	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg.miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt.Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
'Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES

Lic. Mojena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.

No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 140302291-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO # 3
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico hburgoshuezo@gmail.

FECHAS	
Recibido :	24/03/2014
Análisis :	25/03/2014
Reporte :	09/04/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA*
AD08 Fosfatos	13.36	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórb	4500-P E
AD11 Nitratos	N.D.	mg/L	45	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05
*Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES

Lic. Morena López de Cárcario
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



Laboratorio de
Calidad Integral



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 140302292-01

DATOS GENERALES

Muestra: PUNTO #4
Solicitante: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Responsable: HUMBERTO EDGARDO BURGOS HUEZO
Dirección: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Teléfono: 7797-0972 Fax: Correo Electronico hburgoshuezo@gmail.

FECHAS

Recibido :	24/03/2014
Análisis :	25/03/2014
Reporte :	09/04/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA *
A008 Fosfatos	13.24	mg/L	S.R.O.	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A011 Nitratos	N.D.	mg/L	45	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg:miligramos L.litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05
¹Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES

Lid. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
El informe no debe ser reoroducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 35.01 V.7 10/06/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



F - 09

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO N° 04-14		INFORME DE RESULTADOS		
Nombre y dirección del cliente: HUMBERTO EDGARDO BURGOS. REPARTO SAN ANTONIO ABAD, POLÍGONO "B", PASAJE 2 # 14. CUSCATANCINGO. SAN SALVADOR.				Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL			N° DE MUESTRAS: 1	
Lugar de toma de muestra: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN LUIS TALPA. (AGUA CRUDA).				
Fecha de elaboración del informe: MIERCOLES, 29 DE ENERO DE 2014.				
Fecha de recepción de muestra: 22 DE ENERO DE 2014.			Fecha de Análisis: DEL 22 AL 29 DE ENERO DE 2014.	
Método de Análisis: ION SELECTIVO, FOTOMETRICO.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Agua, Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09.
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
BORO	04-14	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN LUIS TALPA (AGUA CRUDA)	0.076 mg/L	1.5 mg/L
MERCURIO			No Detectado	0.01 mg/L
PLOMO			0.07 mg/L	0.4 mg/L
Observaciones:				
1. La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 31 JAN 2014

Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Analista

aek*

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com

Anexo 6. Resultados de análisis de aguas residuales realizados en la planta de tratamiento de San José Las Flores, Chalatenango, en octubre del 2008.

Parámetro	Afluyente	Efluente Imhoff	Efluente biofiltro	Exigencia de la norma
DBO ₅ (mg/l)	280	54.2	35.5	60
DQO (mg/l)	443.52	107.61	69.7	150
Aceites y Grasas (mg/l)	36.67	19.04	11.02	20
Coliformes Fecales	-	2.8x10 ⁶	3.5x10 ³	2.0x10 ³

Fuente: León Rivas et al, 2008.

Anexo 7. Resultados de aforos y análisis de aguas residuales realizados en la planta de tratamiento de Masaya, Nicaragua.

Parámetro	Afluyente	Efluente Imhoff	Efluente biofiltro 1	Efluente biofiltro 2	Exigencia de la norma
DBO ₅ (mg/l)	265	53	8	3	60
DQO (mg/l)	605	243	56	38	150
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	9.8x10 ⁵	5.8x10 ⁵	4.2x10 ³	4.2x10 ³	1.0x10 ⁴
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	4.9x10 ⁵	2.2x10 ⁵	2.3x10 ³	2.3x10 ³	2.0x10 ³
Fosfatos (mg/l)	18	15	14	10	25

Fuente: Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente, 2009.

ND: No determinado.

Anexo 8. Cuantificación de las Grasas y Aceites en la planta de Tratamiento del municipio de San José Las Flores, de Chalatenango, octubre de 2008.

Parámetro	Afluyente	Efluente Imhoff	Efluente biofiltro	Exigencia de la norma
Aceites y Grasas (mg/l)	36.67	19.04	11.02	20

Fuente: León Rivas et al, 2008.

Anexo 9. Resultados de aforos y análisis de aguas residuales realizados en la planta de tratamiento de Masaya, Nicaragua.

Parámetro	Efluente Imhoff	Efluente biofiltro 1	Efluente biofiltro 2	Exigencia de la Norma Salvadoreña Obligatoria
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.8x10 ⁵	4.2x10 ³	4.2x10 ³	1.0x10 ⁴
Coliformes Fecales (NMP/100)	2.2x10 ⁵	2.3x10 ³	2.3x10 ³	2.0x10 ³

ml)				
-----	--	--	--	--

Fuente: CIEMA, 1999.

Anexo 10. Resultados de aforos y análisis realizados en la planta de tratamiento de San José Las Flores en octubre del 2008.

Parámetro	Afluente	Efluente Imhoff	Efluente biofiltro	Exigencia de la norma
Coliformes Fecales	-	2.8×10^6	3.5×10^3	2.0×10^3

Fuente: León Rivas et al, 2008.

Anexo 11. Parámetros promedios registrados en 27 humedales artificiales de flujo superficial en el año 2000 monitoreados por la EPA.

Parámetro	Afluente	Efluente
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	70	15
Nitratos (mg/l)	3	1
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	73,000	1,320

Fuente: Alianza por el Agua, 2008.

Anexo 12. Remoción de parámetros en estudio estipulados en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor” en el humedal artificial sub superficial en la PTAR “San Luis Talpa”.

Parámetro	Mes																	
	Octubre 2013			Noviembre 2013			Diciembre 2013			Enero 2014			Febrero 2014			Marzo 2014		
	Ci ¹⁵	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	150.90	143.42	4.96	396.00	116.16	70.67	236.00	96.00	59.32	88.53	182.40	-106.03	218.4	88.00	59.71	112.99	140.45	-24.30
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	66.50	19.50	70.68	342.00	72.50	78.80	85.62	52.50	38.68	37.00	82.50	-122.97	82.00	26.00	68.29	57.00	19.75	65.35
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	4.9x10 ⁷	3.5x10 ⁴	99.93	1.7x10 ⁸	4.9x10 ⁶	97.12	4.3x10 ⁷	3.3x10 ⁷	23.26	2.3x10 ⁷	2.3x10 ⁷	0.00	1.3x10 ⁸	2.3x10 ⁷	82.31	4.9x10 ⁷	1.1x10 ⁷	77.55
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	4.9x10 ⁷	3.5x10 ⁴	99.93	1.7x10 ⁸	4.9x10 ⁶	97.12	6.3x10 ⁷	1.1x10 ⁸	-74.60	2.3x10 ⁷	2.3x10 ⁷	0.00	1.3x10 ⁸	3.1x10 ⁷	76.15	7.9x10 ⁷	1.1x10 ⁷	86.08
Fosfatos (mg/l)	13.87	13.17	5.05	12.75	22.00	-72.55	11.03	14.69	-33.18	11.98	18.75	-56.51	14.18	1.48	89.56	12.60	13.35	-5.95
Nitratos (mg/l)	3.69	1.97	46.61	ND1	2.18	NC	ND1	ND1	NC	ND1	ND1	NC	58.36	21.54	NC	10.20	ND1	NC
Aceites y Grasas (mg/l)	31.00	19.00	38.71	74.00	126.00	-70.27	37.00	24.00	35.14	11.00	12.00	-9.09	27.0	4.0	85.19	15.00	7.0	53.33

Fuente: Elaboración propia.

Donde: Ci: concentración inicial.

Cf: Concentración final.

¹⁵ Concentración a la salida del tratamiento secundario (decantador secundario, es decir, el efluente de la planta).

Anexo 13. Remoción de parámetros estipulados en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor en el humedal artificial superficial en la PTAR “San Luis Talpa”.

Parámetro	Mes																	
	Octubre 2013			Noviembre 2013			Diciembre 2013			Enero 2014			Febrero 2014			Marzo 2014		
	Ci ¹⁶	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	143.42	25.50	82.22	116.16	26.93	76.82	96.00	66.13	31.11	182.40	97.80	46.38	88.00	201.60	-129.09	140.45	98.21	30.07
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	19.50	3.70	81.03	72.50	10.35	85.72	52.50	38.4	26.86	82.50	44.75	45.76	26.00	66.00	-153.85	19.75	13	34.18
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	3.5x10 ⁴	4600	86.86	4.9x10 ⁶	6.8x10 ⁴	98.61	3.3x10 ⁷	4.6x10 ⁷	-39.39	2.3x10 ⁷	1.3x10 ⁷	43.48	2.3x10 ⁷	1.7x10 ⁸	-639.13	1.1x10 ⁷	4.9x10 ⁶	55.45
Coliformes Totales (NMP/100ml)	3.5x10 ⁴	7.9x10 ⁴	-125.71	4.9x10 ⁶	4.68x10 ⁵	90.45	1.1x10 ⁸	4.6x10 ⁷	58.18	2.3x10 ⁷	3.3x10 ⁷	-43.48	3.1x10 ⁷	1.7x10 ⁸	-448.39	1.1x10 ⁷	4.9x10 ⁶	55.45
Fosfatos (mg/l)	13.17	5.94	54.90	22.00	7.50	65.91	14.69	12.82	12.73	18.75	25.44	-35.68	1.48	15.81	-968.24	13.35	13.24	0.82
Nitratos (mg/l)	1.97	0.97	50.76	2.18	3.14	-44.04	ND1	ND1	NC	ND1	0.63	NC	21.54	83.20	-286.26	ND1	ND1	NC
pH (Unidades)	7.23	7.12	1.52	7.07	7.40	-4.67	7.48	7.53	-0.67	7.00	7.19	-2.71	7.44	7.08	4.84	7.50	7.66	-2.13
Temperatura (°C)	34.00	33.00	2.94	31.50	32.50	-3.17	32.00	35.00	-9.38	35.00	30.00	14.29	35.00	37.00	-5.71	36.00	34.00	5.56
Aceites y Grasas (mg/l)	19.00	25.00	-31.58	126.00	126.00	0.00	24.00	22.00	8.33	12.00	23.00	-91.67	4.0	4.00	0.00	7.0	9.00	-28.57

Fuente: Elaboración propia.

NC: No calculable.

ND1: No detectable.

¹⁶ Concentración a la salida del tratamiento del humedal artificial sub superficial (cultivado con *Phragmites australis*).

Anexo 14. Remoción de parámetros estipulados en Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor comparando el efluente de la planta de tratamiento contra el efluente del humedal artificial superficial en la PTAR “San Luis Talpa”.

Parámetro	Mes ¹⁷																		promedio	
	Octubre 2013			Noviembre 2013			Diciembre 2013			Enero 2014			Febrero 2014			Marzo 2014				%
	Ci ¹⁸	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción	Ci	Cf	% remoción		
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	150.90	25.5	83.10	396.00	26.93	93.20	236.00	66.13	71.98	88.53	97.80	-10.47	218.4	201.60	7.69	112.99	98.21	13.08	53.81	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	66.50	3.70	94.44	342.00	10.35	96.97	85.62	38.4	55.15	37.00	44.75	-20.95	82.00	66.00	19.51	57.00	13	77.19	68.65	
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	5x10 ⁷	5x10 ³	99.99	2x10 ⁸	7x10 ⁴	99.97	4x10 ⁷	5x10 ⁷	-25.00	2x10 ⁷	1x10 ⁷	50.00	1x10 ⁸	2 x10 ⁸	-100.00	5x10 ⁷	5x10 ⁶	90.00	84.99	
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5x10 ⁷	8x10 ⁴	99.84	2x10 ⁸	5x10 ⁶	99.75	610 ⁷	5x10 ⁷	16.67	2x10 ⁷	3x10 ⁷	-50.00	1 x10 ⁸	2 x10 ⁸	-100.00	8x10 ⁷	5x10 ⁶	93.75	77.50	
Fosfatos (mg/l)	13.87	5.94	57.17	12.75	7.50	41.18	11.03	12.82	-16.23	11.98	25.44	112.35	14.18	15.81	11.50	12.60	13.24	-5.08	49.18	
Nitratos (mg/l)	3.69	0.97	73.71	ND1	3.14	NC	ND1	ND1	NC	ND1	0.63	NC	58.36	83.20	42.56	10.20	ND1	NC	73.71	
pH (Unidades)	7.31	7.12	2.60	6.91	7.40	-7.09	7.41	7.53	-1.62	7.25	7.19	0.83	7.46	7.08	5.09	7.50	7.66	-2.13	2.84	
Temperatura (°C)	33.5	33.00	1.49	36.00	32.50	9.72	34.00	35.00	-2.94	32.50	30.00	7.69	35.00	37.00	-5.71	37.00	34.00	8.11	6.75	

¹⁷ El mes hace referencia al número de meses pos establecimiento del humedal.

¹⁸ Concentración a la salida del tratamiento del humedal artificial sub superficial (cultivado con *Phragmites australis*).

Aceites y Grasas (mg/l)	31.00	25.00	19.35	74.00	126.00	-70.27	37.00	22.00	40.54	11.00	23.00	-109.09	27.0	4.00	85.19	15.00	9.00	40.00	46.27
--------------------------------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	---------	------	------	-------	-------	------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia.

ND1: No detectable.

NC: No calculable.

Anexo 15. Excursiones para las cuantificaciones de los parámetros en estudio en el agua efluente de la planta de tratamiento San Luis Talpa

Parámetro	Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2013	Feb 2013	Mar 2013
Demanda Química de Oxígeno	0.01	1.64	0.57		0.46	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.11	4.70	0.43		0.37	
Coliformes Fecales	24,999	99,999	19,999	9,999	49,999	24,999
Coliformes Totales	4,999	19,999	5,999	1,999	9,999	7,999
Fosfatos						
Nitratos					0.17	
pH						
Temperatura		0.07				0.35
Aceites y Grasas	0.55	2.70	0.85		0.35	
Sumatorias parciales	29,998.66	120,007.11	25,999.85	11,998.00	59,999.34	32,998.35
Sumatoria total	281,001.31					

Fuente: Elaboración propia

Anexo 16. Excursiones para las cuantificaciones de los parámetros en estudio en el agua efluente del humedal artificial sub superficial cultivado con *Phragmites australis* en la PTAR San Luis Talpa.

Parámetro	Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2013	Feb 2013	Mar 2013
Demanda Química de Oxígeno				0.22		
Demanda Bioquímica de Oxígeno		0.21		0.38		
Coliformes Fecales	14,999	2,499,999	14,999,999	9,999,999	9,999,999	4,999,999
Coliformes Totales	2,999	499,999	9,999,999	1,999,999	2,999,999	999,999
Fosfatos						
Nitratos						
pH						
Temperatura						0.31
Aceites y Grasas		5.30	0.20			
Sumatorias parciales	17,998.00	3,000,003.51	24,999,998.20	11,999,998.59	12,999,998.00	5,999,998.31
Sumatoria total	59,017,994.61					

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17. Excursiones para las cuantificaciones de los parámetros en estudio en el agua efluente del humedal artificial superficial cultivado con *Typha sp* en la planta de tratamiento San Luis Talpa.

Parámetro	Oct 2013	Nov 2013	Dic 2013	Ene 2013	Feb 2013	Mar 2013
Demanda Química de Oxígeno					0.34	
Demanda Bioquímica de Oxígeno					0.10	
Coliformes Fecales	1.30	34	24,999	4,999	99,999	2,499
Coliformes Totales	7	49	4,999	2,999	19,999	499
Fosfatos						
Nitratos					0.66	
pH						
Temperatura					0.35	
Aceites y Grasas	0.25	5.30	0.10	0.15		
Sumatorias parciales	8.55	88.30	29,998.10	7,998.15	119,999.45	2,998.00
Sumatoria total	161,090.55					

Fuente: Elaboración propia