

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA



ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UNA BIOJARDINERA DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EN
ZAPOTE, SAN JOSÉ.

INFORME DE PROYECTO FINAL PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Sharon Moncada Corrales

Mayo, 2011

**EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UNA BIOJARDINERA DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EN
ZAPOTE, SAN JOSÉ**

ACREDITACIÓN

Informe final presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica por Sharon Moncada Corrales como requisito parcial para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Ambiental

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Ing. Lilliana Gaviria Montoya
Asesor Interno

Ing. Macario Pino Gómez
Lector

Ing. Ana Lorena Arias
Lector

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen,
Por las bendiciones recibidas siempre.

A mis padres por su apoyo incondicional,
Por darme la oportunidad de estudiar,
Por confiar en mí, por aconsejarme, por estar ahí siempre.
Sin ellos no sería lo que soy.

A mi hermana,
Por tenerme paciencia muchas veces,
Por su apoyo.

A mis padrinos,
Por acogerme en su hogar durante los años de estudio,
Por el gran apoyo brindado. Estaré eternamente agradecida.

A mis abuelitas y madrina por tenerme siempre en sus oraciones.

Sharon.

AGRADECIMIENTOS

Ing. Lilliana Gaviria Montoya. Directora de Tesis

Ing. Elías Rosales. CIVCO

Ing. Maritza Marín. ACEPESA

Erick Romero. Director de CEQIATEC

Virgina Montero. CEQIATEC

Fabiola Jimenez Rodríguez. CEQIATEC

Ricardo Coy. CEQIATEC

BQ. Noemi Quirós Bustos. CEQIATEC

Alejandro Córdoba Campos. CEQIATEC

Edgardo Granados Thamez. CEQIATEC

Alex Marín. CEQIATEC

Lourdes Loaiza Leiva. CEQIATEC

Gilberto Brenes Navarro. CEQIATEC

Bernardo Morales. CEQIATEC

B.Q. Luis Chavez. CEQIATEC

Marco Antonio Méndez López. Asistente de Laboratorio Ingeniería Ambiental

Freddy Angulo Ramírez. Asistente de CIPA

Rafael Torres. Estadístico TEC y UNA

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN	11
PALABRAS CLAVE:	11
ABSTRACT.....	12
KEYWORDS.....	12
ACRÓNIMOS	13
I. INTRODUCCIÓN.....	14
II. ANTECEDENTES	15
III. OBJETIVOS	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos.....	18
IV. MARCO TEÓRICO	19
IV.1. Características de las aguas grises	19
IV.1. 2. Parámetros físicos	19
IV.1. 3. Parámetros químicos	20
IV.1.3. Parámetros microbiológicos.....	21
IV.2. Biojardineras	21
IV.2.1 Mecanismos de Remoción de Contaminantes en Biojardineras	23
IV.2.2. Mantenimiento de la Biojardineras	28
V. BIOJARDINERA DE ESTUDIO.....	30
V.1. Ubicación	30
V.2. Descripción del Sistema de Tratamiento.....	30
V. 3. Componentes del Sistema	31
V. 3.1 Unidades de pretratamiento:.....	31
V. 3.2 Biojardinera	33
V.3.3 Diagrama del sistema completo.....	38
V.4. Descripción del diseño de la Biojardinera.....	39
V.4.1 Parámetros de Diseño	39
V.4.2 Cálculo y validación de dimensiones	44
V. 5 Condiciones Climáticas.....	46
V.5.1 Zona de Estudio	46
V.5.2 Proyecto ASTEC	47

VI. METODOLOGÍA.....	48
VI.1. Periodo de Estudio	48
VI.2 Mediciones Realizadas.....	49
VI.2.1 Medición del área	49
VI.2.2 Medición del caudal	49
VI.2.3 Medición del nivel de agua	51
VI.2.4 Medición de Temperatura y pH	52
VI.2.5 Medición de Oxígeno Disuelto	53
VI.3. Muestreo y análisis	53
VI.4. Encuestas.....	57
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
VII.1. Caudal de Entrada.....	58
VII.1.1 Caudal día Martes	58
VII.1.2 Caudal día Miércoles	60
VII.1.3 Caudal día Jueves.....	62
VII.1.4 Caudal promedio diario.....	64
VII.2. Caudal de Salida	65
VII.3. Calidad del agua en el influente	68
VII.3. Calidad agua efluente	71
VII.4. Rendimientos	75
VII .4.1 Remoción de DBO^{20}_5	75
VII.4.2 Remoción de DQO.....	77
VII.4.3 Remoción de sólidos	78
VII.4.4 Remoción de Nitrógeno	81
VII.4.5 Remoción de Grasas y Aceites	85
VII.4.6 Remoción de Coliformes Fecales	86
VII.4.7 Remoción de Fósforo Total	89
VII.4.8 Otros parámetros de calidad	90
VII.5. Constantes de Degradación de primer orden(k)	91
VII.6. Otros parámetros de Diseño	93
VII.7. Hogares Encuestados.....	94
VII.8. Actividades de mantenimiento en la biojardinera de ACEPESA.....	98
VIII. CONCLUSIONES	99
IX. RECOMENDACIONES.....	101
X. REFERENCIAS	103
ANEXO A. Plan de Muestreo.....	107

ANEXO B: Mediciones de Caudal	108
ANEXO C. Resultados de los análisis físicos químicos y microbiológicos.....	112
ANEXO D. Constantes de Degradación.....	140
ANEXO E. Datos Meteorológicos.....	147
ANEXO F. Encuesta y Resultados	150
ANEXO G. Registro Fotográfico Encuesta.....	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales componentes de una biojardinera de flujo subsuperficial.	22
Figura 2. Ubicación de la biojardinera de estudio	30
Figura 3. Primera unidad	32
Figura 4. Segunda Unidad	32
Figura 5. Tercera Unidad.....	33
Figura 6. Bandera presente en la biojardinera	34
Figura 7. AVECILLA presente en la biojardinera	35
Figura 8. Platanillo presente en la biojardinera	36
Figura 9. Caña agria presente en la biojardinera	37
Figura 10. Papiro presente en la biojardinera	38
Figura 11. Diagrama del sistema de tratamiento de aguas grises de ACEPESA	38
Figura 12. Dimensiones de cada componente del sistema (Pretratamientos y Biojardinera)	39
Figura 13. Medición del área de la biojardinera	49
Figura 14. Recipiente recolector del agua gris proveniente del lavaplatos.	50
Figura 15. Recipiente aforado para la medición de caudal.....	50
Figura 16. Medición de caudal de salida	51
Figura 17. Medición del nivel de agua	52
Figura 18. Recolección de muestra en la entrada de la biojardinera	55
Figura 19. Recolección de muestra en la salida de la biojardinera.....	56
Figura 20. Comparación mediciones de Caudal día Martes	59
Figura 21. Caudal diario para cada martes de medición.....	60
Figura 22. Comparación mediciones de caudal día Miércoles	61
Figura 23. Caudal diario para cada miércoles de medición.....	62
Figura 24. Comparación mediciones de caudal día Jueves	63
Figura 25. Caudal diario para cada jueves de medición.	64
Figura 26. Caudal Promedio Diario.....	65
Figura 27. Caudal efluente diario para cada día de medición.....	66
Figura 28. Caudal influente y efluente de la biojardinera	67
Figura 29. Precipitación registrada durante los días de medición.	67
Figura 30. Concentración de varios parámetros en efluente de la biojardinera.....	73

Figura 31. Concentración de Coliformes Fecales en efluente de biojardinera.	73
Figura 32. Temperatura en efluente de biojardinera.	74
Figura 33. pH en efluente de biojardinera.	74
Figura 34. Concentración de DBO ₅ en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.	75
Figura 35. Remoción de DBO ₅ para cada campaña de muestreo	76
Figura 36. Concentración de DQO en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.	77
Figura 37. Remoción de DQO para cada campaña de muestreo	78
Figura 38. Concentración de sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.	79
Figura 39. Remoción de Sólidos Suspendidos para cada campaña de muestreo.	80
Figura 40. Concentración nitrógeno total en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.	81
Figura 41. Remoción de Nitrógeno Total para cada campaña de muestreo	82
Figura 42. Concentración nitrógeno orgánico en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.	82
Figura 43. Concentración nitrógeno amoniacal en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.	84
Figura 44. Concentración de grasas y aceites en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.	85
Figura 45. Remoción de Grasas y Aceites para cada campaña de muestreo.	86
Figura 46. Concentración de coliformes fecales en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.	87
Figura 47. Remoción de Coliformes Fecales para cada campaña de muestreo.	88
Figura 48. Concentración de fósforo total en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.	89
Figura 49. Remoción de Fósforo total para cada campaña de muestreo.	90
Figura 50. Comparación visual de las muestras de entrada y salida para la campaña 1. ..	91
Figura 51. Remoción de sólidos y grasas en pretratamiento de biojardinera de ACEPESA	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. DBO y DQO según fuentes de aguas residuales grises	20
Tabla 2. Dimensiones de las unidades de pretratamiento	31
Tabla 3. Concentraciones de entrada de DBO ₅ y coliformes fecales según el tipo de agua	40
Tabla 4. Parámetros utilizados en el diseño de la biojardinera de estudio	44
Tabla 5. Cronograma de muestreo del sistema	48
Tabla 6. Horas de recolección de cada submuestra	54
Tabla 7. Pruebas de análisis realizadas y su método	57
Tabla 8. Concentraciones promedio, máxima y mínima del agua influente.....	69
Tabla 9. Concentraciones promedio, máxima y mínima del agua efluente.....	72
Tabla 10. Comparación de las constantes de degradación obtenidas en el estudio y el proyecto ASTEC de Nicaragua.....	92
Tabla 11. Características de las biojardineras evaluadas.....	95

EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UNA BIOJARDINERA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EN ZAPOTE, SAN JOSÉ

Sharon Moncada Corrales*

RESUMEN

Las biojardineras o humedales artificiales, son una tecnología desarrollada bajo el concepto de ecosaneamiento y su implementación en Costa Rica es reciente, por lo tanto en nuestro país hay poca experiencia e información acerca de su funcionamiento y eficiencia en el tratamiento de aguas grises. El diseño de estos sistemas, se ha basado en la experiencia de otros países con mayor trayectoria en la implementación de la tecnología, con condiciones climáticas distintas a la de Costa Rica. Ante la falta de información existente acerca de su desempeño y la necesidad de adaptar estos sistemas a las condiciones nacionales, se evaluó la eficiencia de una biojardinera de flujo subsuperficial y se determinó la carga orgánica y las constantes de reacción de primer orden (k), parámetros teórico-prácticos utilizados en el diseño. El diseño implementado en la biojardinera en estudio, es el resultado de la investigación y experiencia de un proyecto de la Cooperación Técnica Austriaca (ASTECA), en Nicaragua.

La biojardinera de estudio se ubica en las oficinas de la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA) y da tratamiento a las aguas del lavaplatos de la cocina, esa agua residual pasa por tres pretratamientos antes de su ingreso a la biojardinera. La evaluación se realizó en los meses de setiembre y octubre, realizando un total de 12 muestreos. Las eficiencias promedio obtenidas fueron de 91% para DBO, 86% para DQO, 93% para SST, 100% para SS, 32% para PT, 50% para GyA y 83% para CF; en el caso del NT se obtuvieron eficiencias negativas, para un promedio de -111%. El predominio de condiciones anaerobias que limitan el proceso de nitrificación, además de la mineralización del nitrógeno orgánico existente, es la posible causa de que no exista remoción de NT. Las constantes de degradación obtenidas para DBO, DQO, NT, PT y CF fueron de 17,2 m/año, 13,9 m/año, -4,4 m/año, 2,5 m/año y 24,4 m/año, respectivamente. Las bajas cargas hidráulicas del sistema, son la posible razón por la que estos parámetros sean menores que los valores de Nicaragua.

PALABRAS CLAVE: Biojardinera, Aguas Grises, Parámetros de Diseño, Ecosaneamiento

* INFORME DE PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN, Escuela de Química, ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2011.

EVALUATION OF SUB-SUPERFICIAL FLOW WETLAND DESIGN FOR THE GREY WATERS TREATMENT IN ZAPOTE, SAN JOSÉ

Sharon Moncada Corrales *

ABSTRACT

Wetlands are a technology developed under an ecosanitation concept and the implementation in Costa Rica is recent. That is why, in our country there is a poor experience and information about its functionality and efficiency in the water treatment area. This system has been designed using the experience of countries that have a longer career in the implementation of technology and a different climate. Because of the poor information that exists in Costa Rica about the use of this technology and the need of adapt this system to our national weather, it was decided to evaluate the efficiency of a wetland and to determinate the organic content and the first order reaction constants (k), theoretical-practical parameters are used in the design of the wetlands and also they are the result of the investigation and the experience of the Austrian Technical Cooperation (ASTECC) in Nicaragua.

The studied wetland is located in the Central America Association for the Economy, Health and Environment (ACEPESA) building and it treats the water of the kitchen sink. This water suffers three primary treatments before it goes in to the wetland system. The evaluation was did it in the months of September and October and in total, 12 samples were obtained. The average efficiency values were: 91% for BOD5, 86% for COD, 93% for TSS, 100% for SS, 32% for TP, 50 % for O&G and 83% for FC; in the case of TKN, negative efficiency appeared with an average of -111%. The anaerobic conditions predominance, that restricts the nitrification process and the mineralization of organic nitrogen, is the possible cause of the inexistent TKN removal. The obtained degradation constants for BOD5, TKN, TP and FC were: 17,2 m/year, 13,9 m/year, -4,4 m/year, 2,5 m/year y 24,4 m/year, respectively. The low hydraulic loads of the system are the possible reason that made that these parameters values are lower than the Nicaraguan values.

KEYWORDS: Wetland, Grey water, Design parameters, EcoSanitation.

* GRADUATION PROJECT REPORT, Chemistry School, Enviromental Engineering, Costa Rican Institute Of Technology, Cartago, Costa Rica, 2011.

ACRÓNIMOS

ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
CEQIATEC	Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos del ITCR.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SS	Sólidos Sedimentables
PT	Fósforo Total
NHK	Nitrógeno Total Kjeldalh
CF	Coliformes Fecales
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
CO	Carga Orgánica
Q	Caudal
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
ACEPESA	Asociación Centroamericana para la Economía la Salud y el Ambiente
ISSUE	Iniciativa Integrada para un Ambiente Humano Sostenible

I. INTRODUCCIÓN

Entre las principales consecuencias de la progresiva contaminación de las fuentes de agua se encuentran el incremento en la incidencia de enfermedades tales como dengue, diarrea y cólera, los crecientes problemas de disponibilidad del recurso hídrico y el deterioro acelerado de ecosistemas.

Las tecnologías de saneamiento disponibles actualmente, además de complejas en su operación y mantenimiento, son altamente demandantes de energía y agua, lo que incrementa sus costos y en consecuencia, solo pueden ser obtenidas por quienes tienen un mayor poder adquisitivo. Lo anterior, ha propiciado que muchas familias costarricenses opten por tecnologías que, a pesar de ser más accesibles económicamente, no demuestran ser tan efectivas en el tratamiento de aguas; en otras circunstancias, existen hogares que carecen de sistemas de tratamiento, lo que implica una mayor incidencia en la contaminación del recurso hídrico por el vertido de agua crudas, sin previo tratamiento.

Ante esta situación, en nuestro país se ha comenzado a introducir el concepto de ecosaneamiento, como un nuevo paradigma para el manejo del agua. Esta propuesta, busca entre otras cosas, la separación de las aguas provenientes de una vivienda con el fin de darles un tratamiento por separado y obtener así aguas de mejor calidad y aprovechables en otras tareas (Rosales, 2005). El uso de biojardineras como una alternativa de tratamiento bajo este concepto, resulta bastante atractiva para las familias costarricenses, principalmente por su bajo costo y sencilla operación. Sin embargo, al tratarse de una tecnología reciente en el que nuestro país apenas incursiona, no se le ha dado seguimiento a su funcionamiento bajo ciertas condiciones en particular, por lo que existe poca evidencia acerca de su eficiencia y aplicabilidad en Costa Rica.

Siendo por tanto, de suma importancia la investigación científica y técnica para la mejora y adaptación de este tipo de tecnologías a las condiciones de territorio costarricense, en este estudio se evalúa el funcionamiento de una biojardinera de flujo subsuperficial y se determinan parámetros teórico-prácticos de diseño del sistema. Además, como actividad complementaria, se evalúa mediante encuestas los principales problemas que se han presentado en estos sistemas, las actividades de mantenimiento realizadas por los usuarios y la percepción acerca de la utilidad de las biojardineras.

II. ANTECEDENTES

Las biojardineras, conocidas también como humedales artificiales, son sistemas de tratamiento biológico ampliamente conocidos en países como Alemania y Estados Unidos, países que han sido pioneros en la investigación y desarrollo de este tipo de tecnología.

Los primeros estudios acerca de estos sistemas se iniciaron en la década de los cincuenta y fueron desarrollados en los años setenta y ochenta. A partir de los noventa su uso se expandió y hoy, se emplea para el saneamiento de pequeños núcleos urbanos y el tratamiento de aguas residuales de todo tipo, incluyendo escorrentía urbana, drenaje agrícola, lixiviados de vertederos, explotaciones mineras y un buen número de aguas industriales (García *et al*, 2004).

En países como España, se han desarrollado múltiples líneas de investigación enfocados en la evaluación de sistemas existentes con el fin mejorar el diseño y adaptarlo a sus condiciones ambientales.

En Centroamérica, Nicaragua comenzó a utilizar esta tecnología en 1996, construyendo inicialmente un sistema a escala piloto con el fin de investigar su viabilidad técnica y económica en las regiones tropicales de Centro América. Su monitoreo durante 5 años proporcionó una amplia base de datos que han permitido conocer el comportamiento de estos sistemas bajo condiciones tropicales. Los porcentajes de remoción obtenidos en este estudio fueron entre 89% y 95% para DBO₅, 75% y 86% para DQO, 21% y 39% para NT, 6% y 19% para PT, 52% y 73% para Sólidos Suspendidos y de 97% para E.Coli. Además, en esta experiencia, se determinaron las constantes de reacción de primer orden para DBO₅, DQO, NT, PT y E. Coli (Platzer *et al*, 2002).

La experiencia adquirida y los resultados satisfactorios obtenidos durante la construcción y operación de esta planta piloto estimularon la construcción de otros sistemas de este tipo en Nicaragua, así como en otros países de la región centroamericana como El Salvador, Honduras y Costa Rica.

En Costa Rica, la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA) en conjunto con el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) integraron un programa llamado Iniciativa Integrada para un Ambiente Urbano Sostenible (ISSUE) en el cual se desarrollaron diferentes proyectos para la implementación de biojardineras en distintas zonas del país a nivel doméstico¹.

Por ejemplo en el año 2006 y 2007 se desarrolló en la comunidad de Punta Morales en la provincia de Puntarenas, un proyecto piloto de instalación de biojardineras para el tratamiento de las aguas grises con el fin de disminuir el vertido de éstas a las calles y poder así colaborar con la disminución del impacto a la salud y al ambiente. Fue así que se coordinó con la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADA), se organizó la comunidad y se logró la instalación de las biojardineras de flujo subsuperficial en la zona (ACEPESA, 2007). En Heredia, Curridabat, Dominical y Cóbano este tipo de tecnología también ha sido instalada. En las oficinas de ACEPESA, ubicadas en Zapote, también se encuentra una biojardinería. Recientemente se desarrolló un proyecto en Puerto Jiménez en donde se instalaron 6 biojardineras.

El diseño de las biojardineras instaladas por ACEPESA, fue realizado por el Ing. Elías Rosales, el cual se basó en la experiencia y resultados del Proyecto ASTEC desarrollado en Nicaragua. Al utilizarse en el diseño parámetros teórico-prácticos que son resultado de la experiencia en otros países, resulta importante la evaluación de estos sistemas bajo condiciones costarricenses, sin embargo, son escasas las investigaciones realizadas acerca de estos sistemas en nuestro país. Por ejemplo, en la Universidad de Costa Rica (UCR), solo se conoce de tres trabajos que evalúan la eficiencia de las biojardineras, dos de ellos a pequeña escala (Solórzano, 2008; Di Lucca, 2009) y el otro es realizado en la biojardinería ubicada en Curridabat, la cual fue instalada por ACEPESA (Arrieta, 2009).

Ante tal situación, surge la necesidad de realizar investigaciones en este campo, evaluando el comportamiento de las biojardineras a escala real con el fin de verificar su eficiencia, determinar su aplicabilidad y obtener parámetros teóricos de diseño que ofrezcan un precedente a futuros investigadores.

¹ Marín, M. 2011. Entrevista a coordinadora de saneamiento de ACEPESA. Zapote, Costa Rica.

Por tanto, en este estudio, se realiza la evaluación de la biojardinera ubicada en las oficinas de ACEPESA, con el fin de aportar datos que muestren el comportamiento real de estos sistemas en Costa Rica y permitan ir optimizando la tecnología y adaptarla a las condiciones ambientales costarricenses. Para la escogencia de la biojardinera a estudiar, se tomaron en cuenta los costos de transporte, costos de análisis de muestras, distancia y tiempo.

III. OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluado el funcionamiento y diseño de una biojardinera de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises en sistema ubicado en Zapote, Oficinas Centrales de ACEPESA.

Objetivos Específicos

- Determinada las constantes de reacción de primer orden y carga orgánica en biojardinera de flujo subsuperficial.
- Determinada la eficiencia en el tratamiento de aguas grises de biojardinera.

IV. MARCO TEÓRICO

IV.1. Características de las aguas grises

Las aguas grises son específicamente aguas provenientes de las duchas, lavamanos, lavaplatos y lavandería. En comparación con las aguas negras, poseen una baja carga de nutrientes y materia orgánica. (Ochoa, 2007)

Sus características varían principalmente según la fuente de donde provengan (ya que no en todas las fuentes se realiza el mismo proceso), del estilo de vida y costumbres de los usuarios, de la calidad de abastecimiento de agua y del tipo de red de distribución que tenga. Además, la composición variará considerablemente tanto en términos del lugar como en términos del tiempo, debido a las variaciones en el consumo de agua en relación con las cantidades descargadas de contaminantes (Sierra, 2006).

IV.1. 2. Parámetros físicos

Dentro de los parámetros físicos relevantes se encuentran la temperatura y los sólidos suspendidos. La temperatura de las aguas grises varía entre 18 y 38 °C, siendo las altas temperaturas ocasionadas por el uso de agua caliente para la higiene personal. Las altas temperaturas pueden generar problemas ya que estas favorecen el crecimiento microbiológico (Sierra, 2006).

En cuanto a los sólidos suspendidos, estos se generan en mayor medida en la lavandería y cocina, pues las aguas grises provenientes de ambas zonas pueden contener partículas de arena y arcilla. En el caso de la cocina, la generación de estas partículas es el resultado del lavado de frutas y verduras, principalmente.

Se han reportado valores de sólidos suspendidos totales entre 113-2410 mg/L según Sierra (2006) y entre 7-330 mg/L según Schneider (2009).

IV.1.3. Parámetros químicos

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de las aguas grises difiere según la fuente de generación, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. DBO y DQO según fuentes de aguas residuales grises

Fuente	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
Baño	184 - 633	76 - 300
Lavandería	725 - 1815	48 - 472
Cocina	26 - 1380	5 - 1460

Fuente: Sierra, 2006

La concentración de nitrógeno total es menor en las aguas residuales grises (0,6 –7,4 mg/L) en comparación con la concentración en las aguas residuales domésticas (20-80 mg/L). La fuente principal de nitrógeno en aguas domésticas, es la orina; en las aguas grises la principal fuente de nitrógeno proviene de la cocina (Sierra, 2006).

En cuanto al fósforo, la principal fuente de este compuesto en el agua gris son los detergentes. En áreas en donde se usan detergentes con altos contenidos de fósforo, se han encontrado concentraciones de fósforo total entre 6 - 23 mg/L, mientras que en áreas en donde se ha reducido el uso de estos detergentes se han encontrado concentraciones en el orden de 4 - 14 mg/L (Sierra, 2006).

Respecto del pH, el ámbito característico encontrado en las aguas grises es de 6,5- 8,7. El uso de jabones y detergentes pueden incrementar el pH (Schneider, 2009). En agua de cocina sin tratar se han encontrado valores de 5,7 (Travis *et al*, 2008).

Las aguas grises provenientes de la cocina son la principal fuente de grasas y aceites (Friedler, 2004). Su presencia en estas aguas puede generar altos niveles de contenido orgánico y por ende dificultar aún más el tratamiento.

En un estudio realizado en el 2007 (Travis *et al*, 2008), en donde se caracterizaron aguas provenientes de diferentes fuentes, se obtuvo que la concentración promedio en las aguas de cocina sin tratar es de alrededor de 200 mg/l de grasas y aceites. En otro estudio se obtuvo un valor de 323 mg/L para las aguas grises de cocina (Friedler, 2004).

IV.1.3. Parámetros microbiológicos

Según estudios, las aguas grises pueden contener un gran número de indicadores fecales, lo cuál puede ser un riesgo para la salud humana por presencia de microorganismos patógenos. Su presencia en este tipo de aguas, proceden del lavado de manos, lavado de ropa, lavado de vegetales y carnes crudas, entre otros (Ochoa, 2007).

Los coliformes fecales son los indicadores de contaminación microbiana más usados, sin embargo, se considera que estos pueden sobreestimar la carga microbiana presente debido a su facilidad de reproducción bajo condiciones cálidas y húmedas que comúnmente se encuentran en tuberías y tanques de almacenamiento (Schneider, 2009).

Se han encontrado que la concentración de organismos fecales varía grandemente dependiendo de la fuente (Schneider, 2009):

- Aguas Negras: 10^6 - 10^8
- Agua gris de cocina: 10^7
- Agua de Lavandería: 10^1 - 10^4
- Agua de baño (ducha, lavamanos): 0- 10^3

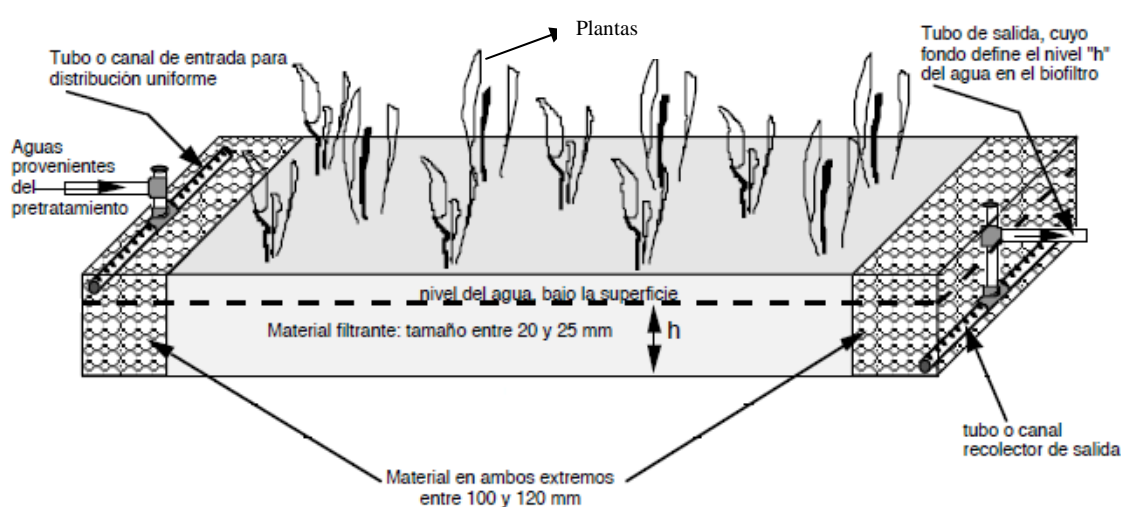
IV.2. Biojardineras

Las biojardineras o humedales construidos son un complejo ecosistema constituido de substrato saturado, vegetación, microorganismos y agua, cuyo objetivo es la remoción de contaminantes mediante diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Se utilizan como segundo paso de tratamiento, esto es después de haberle quitado a las aguas residuales los elementos pesados y grasosos (Quipuzco, 2002; Rosales, 2006).

Estos sistemas se clasifican en flujo superficial o subsuperficial según la circulación del agua a través de un medio granular. En las biojardineras de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera, con vegetación emergente y suelo impermeabilizado.

En las biojardineras de flujo subsuperficial la circulación del agua es subterránea a través de un medio poroso (suelo, arena o grava), las plantas se siembran en la superficie y las aguas residuales pretratadas atraviesan de forma horizontal (biojardineras de flujo subsuperficial horizontal) o vertical (biojardineras de flujo subsuperficial vertical) el lecho filtrante. En este tipo de biojardinería al no encontrarse el agua expuesta, se evita la cría de mosquitos y malos olores (García *et al* ,2004; Proyecto ASTEC, 2004).

La figura 1 muestra los principales componentes de una biojardinería de flujo subsuperficial.



Fuente: Rosales, 2006

Figura 1. Principales componentes de una biojardinería de flujo subsuperficial.

Estas unidades para el tratamiento de aguas son muy sencillas y funcionan como filtros dado el flujo del agua a través de material filtrante granular y como unidades biológicas, dada la participación de las plantas al extraer materia orgánica y nutrientes, como también por la inoculación de oxígeno al agua que pueden hacer esas plantas por sus raíces. Las bacterias, que son responsables de la degradación de la materia orgánica, utilizan la superficie del lecho filtrante para la formación de una película bacteriana y de esta manera existe en el filtro una población bastante estable. Adicionalmente, es interesante tener en cuenta que es posible la remoción de agua por efecto de evapotranspiración a lograr con las plantas y las condiciones del sitio.

Las plantas a colocar deben poseer raíces largas y ser de las plantas que les gusta vivir en agua o con bastante humedad (Rosales, 2006; Proyecto ASTEC, 2004).

Las biojardineras deben construirse con materiales que aseguren su impermeabilidad como concreto, ferrocemento, bloques o ladrillos, plástico reforzado con fibra de vidrio, telas de plástico o incluso se puede usar suelo arcilloso. En el sistema, se coloca en la entrada, una tubería con perforaciones a todo lo ancho de la sección para procurar una descarga uniforme de flujo. En el otro extremo se coloca también una tubería con ranuras en el fondo, dispuesta a recoger el agua que viene por toda la sección transversal. Este “canal” colocado abajo permite conducir el agua por medio de otro ducto cerrado hacia arriba, hasta la altura conveniente (esta se define procurando una diferencia con el nivel de entrada, cercana al 1% de la longitud). La posición del fondo de la tubería de entrada siempre debe estar más alta que el nivel o posición del ducto de salida. Esto permite el gradiente hidráulico requerido para que haya flujo (Rosales, 2006).

El agua ya tratada que se obtiene al final de este proceso no está 100% purificada, pero ya tendrá una muy buena calidad como para ser utilizada en otras actividades. Actividades como riego de jardines y áreas verdes, principalmente durante la época seca y uso en servicios sanitarios o lavado de autos, por ejemplo. Así como, si esa agua tratada se deja correr por caños o ríos ya causará menos daños al ambiente, gracias a su mucho mejor calidad (Rosales, 2006).

Cabe mencionar que estos sistemas poseen un bajo o nulo consumo energético, producen pocos residuos durante su operación y se integran muy bien al medio ambiente natural (García *et al*, 2004).

IV.2.1 Mecanismos de Remoción de Contaminantes en Biojardineras

Las biojardineras pueden eliminar un gran número de contaminantes incluyendo orgánicos (DBO y DQO), materia en suspensión (MES), nutrientes (nitrógeno y fósforo), trazas de metales pesados y microorganismos. Esta reducción es llevada a cabo por procesos físicos, químicos y microbiológicos.

Materia en suspensión

Las partículas, cuando entran en una biojardinera de flujo subsuperficial, quedan retenidas principalmente por tres motivos: a) las constricciones del flujo producidas por el medio granular, b) la baja velocidad del agua y c) las fuerzas de adhesión entre partículas. A estos procesos físicos se les denomina filtración del medio granular. Las raíces y rizomas de las plantas contribuyen también a la retención de partículas mediante procesos similares. Por tanto, la eliminación de la MES en estos sistemas ocurre fundamentalmente por una combinación de mecanismos físicos. Después que la materia en suspensión es retenida en la biojardinera, comienza a degradarse y así representa una fuente interna de materia orgánica. Numerosos estudios han demostrado que la eliminación de la materia en suspensión tiene lugar cerca de la entrada de la biojardinera (García *et al*, 2004).

Materia Orgánica

La materia orgánica presente en el agua residual se puede clasificar en particulada y disuelta. La materia orgánica asociada a la materia en suspensión quedará retenida tal y como se ha descrito anteriormente. Así habrá una reducción de la DBO asociada a los sólidos retenidos. La degradación de la materia orgánica disuelta se produce por la presencia de los microorganismos que forman la biopelícula. En este sentido se asume que los compuestos orgánicos son degradados de forma simultánea mediante procesos aeróbicos y anaerobios, aunque resulta difícil cuantificar la proporción en que se producen cada uno de ellos (García *et al*, 2004).

Degradación aeróbica

La degradación aeróbica de químicos solubles orgánicos es gobernada por dos grupos de microorganismos: los quimioheterótrofos, que oxidan la materia orgánica y liberan amonio; y los quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrato y nitrito (nitrificación).



Ambos grupos consumen materia orgánica pero la proporción metabólica más rápida de los heterótrofos significa que ellos son los principales responsables de la reducción de la DBO en el sistema.

Si el oxígeno no está limitado, la degradación aeróbica dependerá de la cantidad de materia orgánica activa disponible para los organismos. El oxígeno necesario para llevar cabo la respiración aeróbica procede de la transferencia directa del aire o del transporte convectivo que realizan las plantas (Proyecto ASTEC, 2004).

Degradación anaeróbica

Es un proceso de dos etapas que se da en ausencia de oxígeno disuelto por bacterias heterotróficas de tipo anaeróbico estricto o facultativo. En el primer paso, las bacterias formadoras de ácido convierten la materia orgánica en nuevas células, ácidos y alcoholes. Un segundo grupo de bacterias, las bacterias formadoras de metano, continúan la oxidación utilizando de nuevo parte de la materia orgánica para sintetizar nuevas células pero convirtiendo el remanente a metano y dióxido de carbono.

- a. Materia orgánica + bacterias \longrightarrow alcoholes, ácidos y nuevas células + bacterias
- b. Alcoholes, ácidos y nuevas células + bacterias \rightarrow $\text{CH}_4(\text{g})$, $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$, $\text{NH}_3(\text{g})$, $\text{CO}_2(\text{g})$, $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, nuevas células

Las bacterias formadoras de ácido son adaptables pero las formadoras de metano son más sensibles y solamente operarán en el ámbito de pH de 6.5 a 7.5. Una sobre-producción de ácido por las bacterias formadoras de ácido puede resultar en un bajo pH, deteniendo la acción de las formadoras de metano y produciendo malos olores. La degradación anaerobia predomina en sistemas sobrecargados orgánicamente (Proyecto ASTEC, 2004).

Las bacterias aeróbicas obtienen, con un mismo sustrato, más energía que las bacterias anaeróbicas, por lo que las primeras son más eficientes. En consecuencia es conveniente favorecer condiciones ambientales que fomenten la vía aeróbica, sin embargo en estos sistemas, debido a la saturación e inundación del suelo, el oxígeno tiende a ser muy deficiente, lo que favorece el predominio de vías anaeróbicas (García *et al*, 2004).

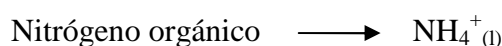
Nitrógeno

Los procesos de eliminación de nitrógeno dependen de la forma que este se encuentre: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal (NH_4^+) o nitrógeno oxidado (NO_2^- y NO_3^-).

El nitrógeno orgánico está en general asociado a la materia en suspensión presente en el agua residual, por tanto, se elimina en gran parte por retención de esta materia. Los compuestos orgánicos que contienen nitrógeno se degradan para producir amonio. El nitrógeno amoniacal presente en el agua residual se puede eliminar por diferentes vías (volatilización, absorción, consumo de plantas y nitrificación-desnitrificación). En las biojardineras de flujo subsuperficial, las vías principales son la adsorción y la nitrificación. En el caso de que la nitrificación no vaya acoplada con la desnitrificación, no se produce una pérdida neta de nitrógeno. El amonio afluente y el procedente de la degradación de moléculas orgánicas se adsorben temporalmente, mediante reacciones de intercambio iónico, sobre las partículas del medio y sobre las partículas orgánicas dotadas de carga. Debido a que la capacidad de adsorción es limitada, para que se libere el amonio adsorbido y poder regenerar los campos de adsorción, es necesario que se lleve a cabo el proceso de nitrificación. Por tanto, la nitrificación es el proceso de transformación principal para la reducción de concentraciones de amonio en las biojardineras de flujo subsuperficial (García *et al*, 2004).

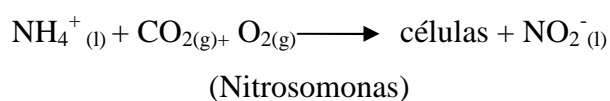
Amonificación (mineralización)

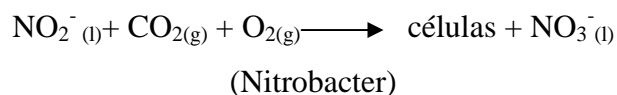
La materia orgánica que contiene nitrógeno es fácilmente mineralizada en ambas zonas (anóxica y aeróbica) a nitrógeno amoniacal. Este proceso es llamado amonificación (Proyecto ASTEC, 2004).



Nitrificación biológica

La nitrificación es un proceso quimioautotrófico. La energía para el crecimiento bacterial es derivado de la oxidación del amonio y dióxido de carbono, el cual es usado para síntesis de nuevas células. Dos géneros microbianos son los responsables de la nitrificación microbiana, Nitrosomonas y Nitrobacter. En el primer paso, el nitrógeno amoniacal es convertido a nitrito; en el segundo paso, el nitrito es convertido a nitrato (Proyecto ASTEC, 2004).





Se necesitan aproximadamente 4.3 mg de O₂ por mg de nitrógeno amoniacal oxidado a nitrógeno de nitrato.

Desnitrificación biológica

La remoción de nitrógeno en la forma de nitrato por conversión a gas nitrógeno se realiza biológicamente bajo condiciones anóxicas (donde no hay oxígeno disuelto presente pero el oxígeno está disponible de fuentes como el nitrato, nitrito o sulfato). Este proceso se llama desnitrificación. Hay varios géneros de bacterias heterotróficas que reducen el nitrato, siendo un proceso de dos etapas. El primero paso es la conversión de nitrato a nitrito, seguido por la producción de óxido nítrico, óxido nitroso y gas nitrógeno (Proyecto ASTEC, 2004).



La eliminación de nitratos por medio de biojardineras de flujo subsuperficial es muy efectiva ya que siempre hay zonas anóxicas favorables para la desnitrificación. Sin embargo, por lo general, en las aguas residuales la especie química de nitrógeno predominante es el amonio. Por tanto, la contribución en la eliminación de nitrógeno por desnitrificación depende del proceso de nitrificación. Es decir, cuanto más amonio pueda nitrificar el sistema, más desnitrificación se podrá llevar a cabo (García *et al*, 2004).

Consumo de las plantas

Las plantas que viven en los humedales necesitan nutrientes para desarrollar sus actividades vitales, y los obtienen principalmente a través de su sistema radicular. Sin embargo, las cantidades de nutrientes que asimilan las plantas suelen ser insignificantes en comparación con las cargas de nutrientes que reciben las biojardineras. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que sino se realiza periódicamente una cosecha de las partes aéreas de las plantas, la mayor parte de los nutrientes asimilados por las mismas volverán al agua, debido a los procesos de descomposición, lo que podría constituir una fuente adicional de nitrógeno. Por lo general, está comúnmente aceptado que las plantas asimilan aproximadamente el 10-20% de la carga de nitrógeno aplicada (García *et al*, 2004).

Fósforo

El fósforo está presente típicamente en aguas residuales como ortofosfato, ortofosfato deshidratado (polifosfato) y fósforo orgánico. La eliminación del fósforo en biojardineras de flujo subsuperficial se puede dar por procesos bióticos y abióticos. Los bióticos incluyen la asimilación por las plantas y microorganismos, y la mineralización de los restos de vegetación y del fósforo orgánico. Los procesos abióticos incluyen la sedimentación, la adsorción por el suelo y los intercambios entre el suelo y el agua residual que circula. No obstante, la eliminación del fósforo es difícil en cualquiera de los sistemas de depuración normalmente utilizados, y las biojardineras no son la excepción. Su eliminación resulta complicada debido a la escasa movilidad que presentan los compuestos que contienen el fósforo (García et al, 2004).

Patógenos

Los patógenos son removidos durante el paso de agua residual a través del sistema principalmente por sedimentación, filtración y adsorción por la biomasa. Una vez que estos organismos son atrapados dentro del sistema, su número cae rápidamente por los procesos de mortalidad natural y depredación. El sistema ofrece una combinación conveniente de factores físicos, químicos y biológicos para la remoción de organismos patógenos. Los factores físicos incluyen sedimentación y filtración mecánica. Los factores químicos incluyen oxidación, exposición a biocidas excretados por algunas plantas y absorción a materia orgánica. Los mecanismos biológicos incluyen antibiosis, depredación por nemátodos y protistas, ataque por bacterias y virus y mortalidad natural (Proyecto ASTEC, 2004).

IV.2.2. Mantenimiento de la Biojardineras

Para asegurar el buen funcionamiento de las biojardineras, es necesario que los usuarios den mantenimiento no solo a éstas, sino también a las unidades de pretratamiento, es decir, al sistema en subconjunto.

Unidad de tratamiento primario

- Revisión semanal de las unidades y remoción de grasas flotantes y sólidos depositados en el fondo.

- Tratamiento a los materiales que se recojan de las unidades; ya sea juntarlos con los otros desechos de la casa y que reciban el mismo tratamiento que estos tienen o hacer una excavación en el patio, colocar los desechos y taparlos con tierra. Es importante agregarles cal con el fin de evitar olores y además para que los sólidos se deshidraten.
- Verificar con cierta frecuencia el estado de la línea de ventilación, la cual siempre debe tener su salida en partes altas, superior al nivel de la nariz de las personas (Rosales, 2006).

Biojardinera

- Revisar periódicamente el canal o tubería de entrada y hacer la remoción de los flóculos sedimentados en ese canal de distribución. Esto se hace al menos una vez por mes.
- Cortar o deshijar las plantas que se siembren, la primera vez un año después de su siembra, y luego, al menos, cada seis meses.
- Llevar a cabo una limpieza periódica de la superficie de los lechos filtrantes, en forma especial después del corte o recorte de plantas, para evitar que la descomposición de esa materia orgánica en el sitio sature el lecho.
- Si se notan “charcos” o estancamientos de agua en la superficie, principalmente a la entrada a la biojardinera, se recomienda remover el material grueso y una sección (no menor a 50 cm) del material de menor tamaño del lecho filtrante, a todo el ancho. Es posible sacar el material y limpiarlo (lavarlo) o sustituirlo con material nuevo de las mismas características, para mantener durante varios años la alta eficiencia de remoción que posee el sistema.
- Mantener un buen control del espejo o nivel sumergido del agua. Ese nivel se debe mantener siempre a una profundidad muy cercana a los 10 cm por debajo de la superficie del material filtrante (Rosales, 2006).

V. BIOJARDINERA DE ESTUDIO

V.1. Ubicación

La biojardinera de flujo subsuperficial en estudio se encuentra localizada en las oficinas de ACEPESA, ubicada en la provincia de San José, distrito Zapote, 300 metros al noreste y 100 metros al sur de las oficinas administrativas de la Cruz Roja, en las coordenadas $9^{\circ}55'28.85''$ N y $84^{\circ}03'16.06''$ O. En la figura 2 se muestra su ubicación y ruta:



Fuente: Google Earth, 2011

Figura 2. Ubicación de la biojardinera de estudio

V.2. Descripción del Sistema de Tratamiento

El sistema estudiado tiene aproximadamente 4 años de funcionamiento y fue diseñado por el Ingeniero Elías Rosales, catedrático e investigador de la Escuela de Ingeniería en Construcción y del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, usando como referencia la experiencia y resultados del proyecto ASTEC (Cooperación Técnica Austriaca), desarrollado en Nicaragua y

cuyos resultados fueron expuestos en Costa Rica en octubre del 2004. La construcción de la biojardinera se llevo a cabo con el propósito principal de estimar los costos económicos de la implementación de uno de estos sistemas, es decir, para contar con información real que sirviera de base para la construcción de otras biojardineras; además de ofrecer una solución al tratamiento de las aguas grises generadas en las oficinas de ACEPESA.

La biojardinera estudiada trata específicamente las aguas provenientes del lavaplatos, cuyo uso se da durante la mañana (desayuno), mediodía (almuerzo) y tarde (merienda). El período de operación del sistema es de lunes a viernes de 8:00 am a 5:00 pm, correspondientes a los días laborales de las oficinas y con horarios pico de vertido en las horas de comida mencionadas anteriormente.

ACEPESA cuenta con un personal de 11 empleados, los cuales, en su gran mayoría, poseen el hábito de enjabonar primero la cristalería y/o utensilios de cocina y posteriormente enjuagar los mismos. Esta particular práctica, es parte de la política ambiental impulsada por la organización con el fin de disminuir la generación de aguas residuales.

V. 3. Componentes del Sistema

V. 3.1 Unidades de pretratamiento:

El sistema cuenta con tres unidades de tratamiento primario (Figuras 3-5), cuya función es remover las partículas gruesas y grasosas presentes en las aguas grises y evitar la obstrucción de la biojardinera con las mismas. Cada unidad posee diferentes dimensiones y en la tabla 2 se muestran las correspondientes a cada una de ellas:

Tabla 2. Dimensiones de las unidades de pretratamiento

Unidad	Diámetro(m)	Altura(m)
1	0,30	0,32
2	0,37	0,45
3	0,45	0,96

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.



Fuente: Moncada, S.

Figura 3. Primera unidad



Fuente: Moncada, S.

Figura 4. Segunda Unidad



Fuente: Moncada, S.

Figura 5. Tercera Unidad

Cada pretratamiento cuenta con tuberías de PVC de 1½ pulgadas, que conducen las aguas grises de una unidad a otra. Tanto en la tubería de entrada como de salida de cada recipiente, están colocadas unas TEE's de PVC que actúan como barreras, cuya función es reducir la velocidad de ingreso y facilitar procesos de sedimentación. Además, estas TEE's evitan que al ingresar el agua, la capa de grasas que se forma sobre los líquidos acumulados se perturbe y escape hacia la siguiente unidad. En la primera unidad de pretratamiento, existe una línea de ventilación a una altura considerable (por encima del edificio).

V. 3.2 Biojardinera

Una vez que las aguas grises han pasado por cada unidad de pretratamiento, se conducen hacia la biojardinera mediante tubería de PVC de 1½ pulgadas. Las dimensiones de la misma son de 5 m de largo, 1 m de ancho y 0,7 m de profundidad.

El lecho filtrante del sistema está constituido de piedra bola o piedra papa colocados en los extremos del sistema (primeros y últimos 0,5 m) y de piedra cuarta colocada en la sección central de la biojardinera (4 m).

Las plantas constituyen parte esencial de la biojardinera, y en este caso en particular, existen cinco especies diferentes. Las mismas se describen a continuación.

- Platanilla o Bandera (*Canna X generalis*)

La platanilla, pertenece a la familia *Cannaceae*. Es una planta tropical, herbácea, originaria de América y el Caribe. Crece mejor bajo el sol pero también puede crecer bajo una sombra parcial. Prefieren el suelo húmedo, crecen incluso en condiciones pantanosas y toleran cierto grado de contaminación, razones por las cuáles esta planta es muy utilizada en las biojardineras. La bandera, puede alcanzar hasta 2 metros de altura (Floridata, 2003).



Fuente: Moncada, S.

Figura 6. Bandera presente en la biojardinera

- Avecilla (*Heliconia psittacorum*)

Esta planta tropical es nativa de Suramérica y pertenece a la familia de la *Heliconiaceae*. Necesitan de mucha humedad por lo que prefiere suelos fértiles y bien drenados, además de los lugares soleados, aunque pueden crecer en sitios con una sombra parcial. Pueden alcanzar hasta 1,5 metros de altura (Plantencyclo, 2011).



Fuente: Moncada, S.

Figura 7. Avecilla presente en la biojardinera

- Platanillo (*Heliconia wagneriana*)

El platanillo, es una planta tropical que pertenece a la misma familia de la avecilla, la *Heliconiaceae*. Esta planta es nativa de zonas tropicales húmedas y bosques lluviosos de Centro y Suramérica. Crece entre 2,5 a 4,5 metros, necesita calor húmedo, semisombra o sol ligero para desarrollarse (Plantencyclo, 2011).



Fuente: Moncada, S.

Figura 8. Platanillo presente en la biojardinera

- Caña Agria (*Costus speciosus*)

Esta planta, nativa de la península Malaya del Sudeste de Asia, pertenece a la familia *Costaceae*. Necesita obtener de 3 a 5 horas de sol directo diariamente para favorecer su crecimiento, además requiere de una humedad regular. Puede alcanzar alturas entre 1,8 a 3,1 metros (Floridata, 2004).



Fuente: Moncada, S.

Figura 9. Caña agria presente en la biojardinera

- Papiro (*Cyperus involucratus*)

El papiro, pertenece a la familia *Cyperaceae* y es nativa de la isla de Madagascar. Pueden crecer bajo sol o sombra y se desarrollan en zonas húmedas y pantanosas, aunque también lo hacen en zonas secas. En climas cálidos estas plantas pueden ser invasoras. Pueden alcanzar una altura entre 0,6 y 1,8 metros (Floridata, 2003).

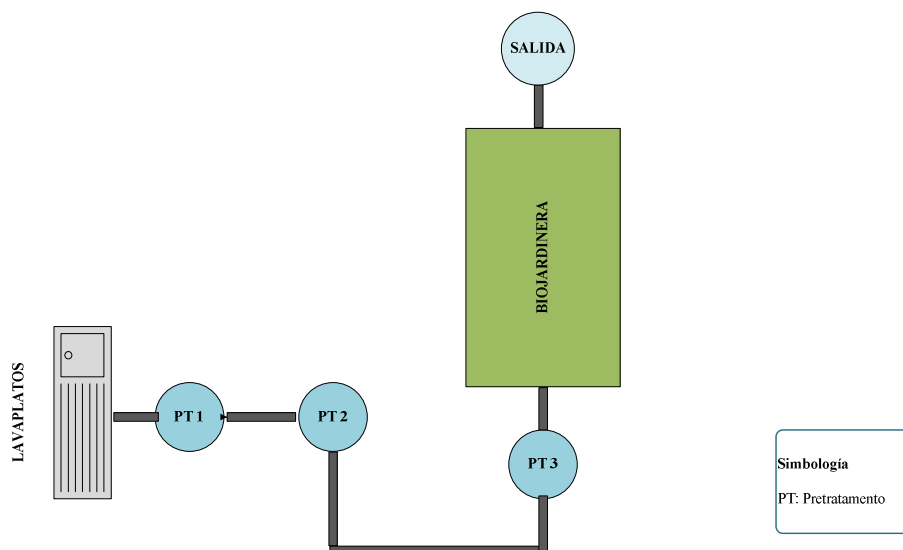


Fuente: Moncada, S.

Figura 10. Papiro presente en la biojardinera

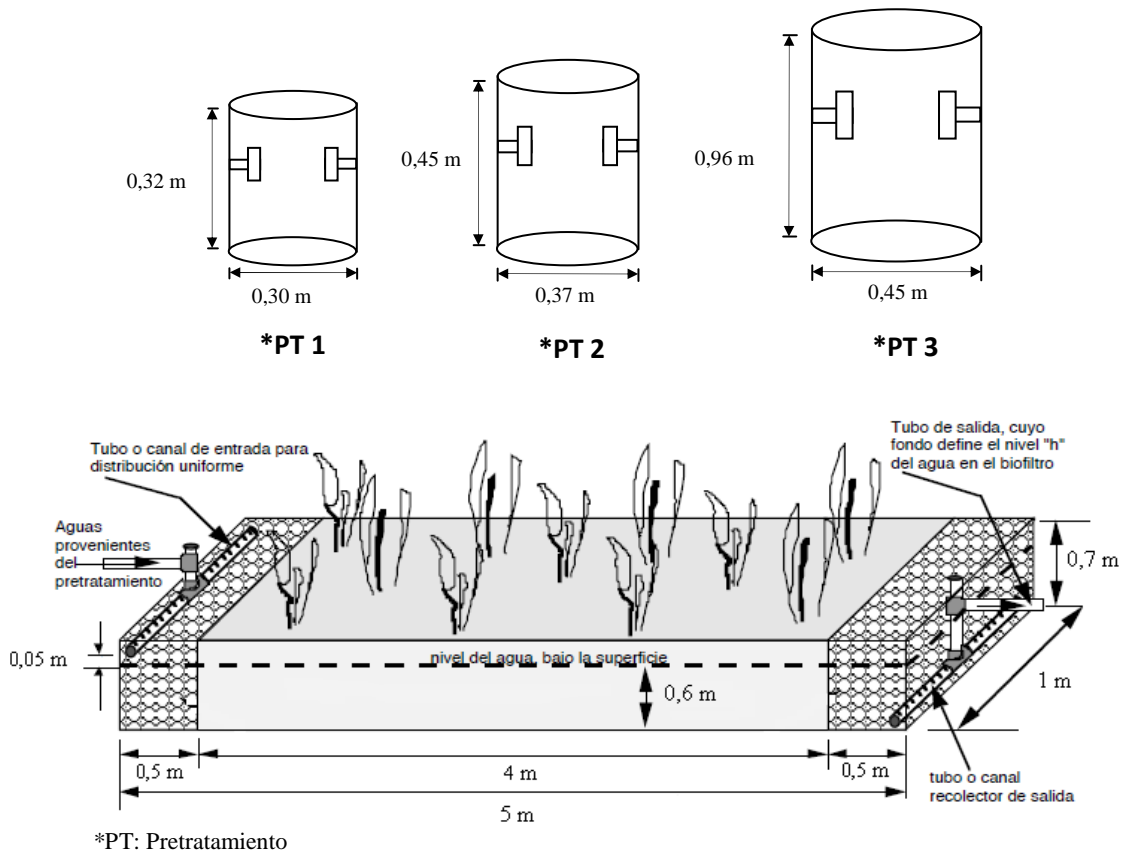
V.3.3 Diagrama del sistema completo

En la figura 11, se muestra el diagrama del sistema de tratamiento de las aguas grises de ACEPESA, es decir, los pretratamientos y la biojardinera. La figura 12, muestra en detalle las dimensiones de todos los componentes del sistema.



Fuente: Moncada, S

Figura 11. Diagrama del sistema de tratamiento de aguas grises de ACEPESA



Fuente: Adaptado de Rosales, 2006

Figura 12. Dimensiones de cada componente del sistema (Pretratamientos y Biojardinera)

V.4. Descripción del diseño de la Biojardinera

El diseño de la biojardinera de flujo subsuperficial en estudio, se baso en la experiencia con biofiltros llevada a cabo en Masaya, Nicaragua (Proyecto ASTEC, 2004). Los parámetros del diseño, así como los cálculos algebraicos implicados, se describen en este apartado.

V.4.1 Parámetros de Diseño

- Volumen de agua a tratar o caudal

Generalmente, cuando se utiliza este tipo de sistemas para tratar las aguas grises de una vivienda, se toma un caudal de 165 lt/p-día, estimando que de este volumen, 100 litros corresponden a la ducha, 15 litros al lavamanos, 20 litros al lavaplatos de la cocina y 30 litros al lavado de ropa (Rosales, 2006).

En el caso de las oficinas de ACEPESA, la biojardinera solo trata las aguas del lavaplatos de la cocina, por lo que inicialmente el diseñador tomó un caudal de 20 lt/p-día¹. Sin embargo, debido a que en este caso el propósito principal de su diseño era la estimación de costos a incurrir en la construcción de una biojardinera que trate todas las aguas grises de una vivienda, el diseñador decide utilizar los 165 lt/p-día como caudal de retorno, ya que, tomando únicamente el caudal estimado para el lavaplatos, las dimensiones de la biojardinera resultaron muy pequeñas y poco representativas para el propósito buscado.

- Número de usuarios del sistema

La cantidad de usuarios se toma en cuenta en el diseño, ya que este parámetro en conjunto con el caudal de retorno por persona por día definido según sea el caso, determina el volumen total de agua a tratar en el sistema.

En el caso de la biojardinera de ACEPESA, no se cuenta con el dato usado por el diseñador, sin embargo, con base en las dimensiones reales del sistema y empleando el caudal de retorno por persona por día utilizado (165 lt/p-día), se determinó que la cantidad de usuarios usada para el diseño de la biojardinera en estudio fue de 3 personas. En el apartado V.4.2, se comprueba dicha estimación.

- Concentraciones de entrada de Coliformes Fecales y DBO₅

En el diseño de biojardineras, se consideran las concentraciones de entrada de los contaminantes que se desean eliminar o reducir al máximo. En este caso, por el tipo de agua que se trata, el diseñador utiliza las concentraciones de coliformes fecales y DBO₅. Con base en la experiencia, el diseñador establece los siguientes valores:

Tabla 3. Concentraciones de entrada de DBO₅ y coliformes fecales según el tipo de agua

Tipo de Agua	Concentración DBO ₅ (mg/l)	Concentración coliformes fecales (NMP/100 ml)
Agua gris	70	10000
Agua gris + agua de tanque compostero	176	6x10 ⁷

Fuente: ¹

¹ Rosales, E. 2011. Entrevista al diseñador. Cartago, Costa Rica, ITCR.

Respecto a la biojardinera de ACEPESA, los valores usados son los correspondientes al agua gris únicamente.

- Pendiente Hidráulica

La pendiente hidráulica (del espejo de agua) es necesaria para establecer el gradiente hidráulico requerido para el flujo a través de la biojardinera.

El valor usado del gradiente oscila entre 0,5 y 1%. (ASTECC, 2004). En el caso de la biojardinera en estudio, la pendiente usada fue de 1%¹.

- Porosidad del material filtrante

La porosidad del material filtrante juega un papel importante puesto que de ella depende la superficie disponible para la formación de la capa bacteriana, responsable en gran medida, de la depuración de las aguas grises. Además, tiene un efecto directo sobre el tamaño de la biojardinera, pues el uso de un material más poroso reduce el área a utilizar (Proyecto ASTEC, 2004).

El material filtrante utilizado para la construcción de la biojardinera, es piedra cuarta, cuya porosidad, según experiencias del diseñador, es de 50%¹.

- Profundidad útil

Se recomienda una profundidad útil entre 0,6 y 0,8 metros en promedio (Proyecto ASTEC, 2004). La profundidad útil seleccionada para el diseño de la biojardinera fue de 0,6 metros¹.

- Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica depende en gran medida del tamaño de partícula del lecho filtrante. (Proyecto ASTEC, 2004). La conductividad del material usado es de 0,0012 m/s , cuyo valor fue propuesto por el diseñador según experiencias previas¹.

- Tiempo de Retención

El tiempo de retención, es un parámetro determinado principalmente por el tipo de contaminante a remover.

¹ Rosales, E. 2011. Entrevista al diseñador. Cartago, Costa Rica, ITCR.

Se recomienda, un tiempo de retención de 3 a 5 días, si lo que se desea remover es materia orgánica y un tiempo mínimo de 8 días si se requiere remover E. Coli (Proyecto ASTEC, 2004).

Se supuso que las aguas que trata la biojardinera de ACEPESA, presentan una baja carga de E. Coli y un mayor contenido de materia orgánica, por lo que se utilizó en su diseño un tiempo de retención de 3 a 5 días¹.

- Carga Hidráulica

La carga hidráulica es el volumen de agua aplicado por unidad de superficie en un determinado período de tiempo. En países de clima templado, se recomienda una carga hidráulica de 29 m/año, sin embargo, en el proyecto ASTEC, llevado a cabo en Nicaragua, se obtuvieron buenos resultados de remoción de materia orgánica con cargas hidráulicas de hasta 37 m/año (para caudales de 120 m³/día).

Al presentar Costa Rica un clima tropical, similar al de Nicaragua, el diseñador utiliza la carga hidráulica obtenida en el proyecto ASTEC para biojardineras que traten únicamente aguas grises, a pesar de que en dicho proyecto la experimentación se realizó con aguas residuales (aguas negras y grises)¹.

Por otra parte, si se requiere que la biojardinera trate tanto las aguas grises como aguas de tanque compostero, el diseñador establece una carga hidráulica de 30 m/año¹.

- Constantes de degradación

Los valores de las constantes de degradación varían según el parámetro contaminante que se desea reducir. En las investigaciones realizadas en Nicaragua, se estimaron los valores de dichas constantes para los contaminantes más importantes (Proyecto ASTEC,2004):

$$k_{DBO5} = (81.8 \pm 13) \text{ m/año}$$

$$k_{DQO} = (60.8 \pm 12) \text{ m/año}$$

$$k_{NT} = (11.8 \pm 6) \text{ m/año}$$

$$k_{PT} = (6.9 \pm 4) \text{ m/año}$$

$$k_{E. COLI} = (125.9 \pm 50) \text{ m/año}$$

¹ Rosales, E. 2011. Entrevista al diseñador. Cartago, Costa Rica, ITCR.

En el diseño de la biojardinera de ACEPESA, se utilizaron las constantes de degradación para DBO_5 y coliformes fecales. Para la primera se utilizó el valor obtenido en Nicaragua y para la segunda se utilizó un valor de 170 m/año^1 .

- Carga Orgánica

Para validar las dimensiones de la biojardinera y garantizar el correcto funcionamiento del sistema, se establece como límite una carga orgánica de $15 \text{ g DBO/m}^2 \text{ día}$, valor sugerido por el diseñador¹

¹Rosales, E. 2011. Entrevista al diseñador. Cartago, Costa Rica, ITCR.

V.4.2 Cálculo y validación de dimensiones

El cálculo de las dimensiones de la biojardinera y su validación, se realiza con base en los parámetros de diseño descritos en el apartado anterior. En la tabla 4 se muestra un resumen de los valores que fueron utilizados para el diseño de la biojardinera de estudio.

Tabla 4. Parámetros utilizados en el diseño de la biojardinera de estudio

Parámetro		Valor
Número de usuarios	P	3
Caudal	Q	165 lt/p-día
Caudal total	Q _t	495 lt/día
Concentración de entrada de coliformes fecales	C _{ecf}	10000 NMP/100 ml
Concentración de entrada de DBO ₅	C _{eDBO}	70 mg/l
Pendiente	l	1%
Porosidad del material filtrante	n	50%
Profundidad útil	h	0,6 m
Conductividad Hidráulica	k _f	0,0012 m/s
Tiempo de Retención	TRH	3 a 5 días
Carga Hidráulica	C _H	37 m/año
Constantes de degradación	K _{DBO}	81,8 m/año
	K _{col.fec}	170 m/año
Carga orgánica menor a	CO	15 g DBO/(m ² /día)

Fuente: ¹

- Dimensiones

Ancho mínimo (B'):

$$B' = Q / (k_f * l * h) \quad (1)$$

$$B' = (495 \text{ lt/día} / (86400 * 1000)) / (0,0012 \text{ m/s} * 0,01 * 0,6 \text{ m}) = 0,796 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

Longitud (L'):

$$L' = Q / (B' * C_H) \quad (2)$$

$$L' = (495 * 365 / 1000) / (1 * 37) = 4,883 \text{ m}$$

Dimensiones Finales:

$$B = 1 \text{ m y } L = 5 \text{ m}$$

¹ Rosales, E. 2011. Entrevista al diseñador. Cartago, Costa Rica, ITCR.

En el diseño además, se establece una diferencia entre el fondo de la tubería de distribución en la entrada y el fondo del ducto de salida final; dicha diferencia es conocida como “e” y se utiliza para propiciar el gradiente hidráulico requerido para el movimiento del agua a través del sistema. La “e” es, en este caso, el 1% del largo de la biojardinera (porcentaje correspondiente al valor de la pendiente), por lo que teóricamente, el valor de la “e” en la biojardinera de estudio es de 0,05 m (Ver Figura 12).

- Validación de las Dimensiones

Las dimensiones calculadas, se validan respecto del tiempo de retención hidráulica propuesto, a las concentraciones de salida de DBO₅ y coliformes fecales requeridas y a la carga orgánica establecida.

Tiempo de Retención Hidráulica:

$$TRH=L*B*h*n/Q \quad (3)$$

$$TRH= (5m*1m*0,6 m*0,5) / (495lt/per-día/1000 lt)=3,03 días$$

Concentración de salida DBO y coliformes fecales:

El diseño de las biojardineras se realiza ajustando su comportamiento a un modelo ideal de flujo pistón combinado con un balance de masa de agua (Proyecto ASTEC, 2004):

$$C_s/C_e= \exp (-k / C_H) \quad (4)$$

Donde:

C_s: concentración del contaminante en el efluente.

C_e: concentración del contaminante en el afluente.

k: constante de degradación (m/año)

C_H: carga hidráulica por unidad de área (m/año)

Reacomodando la ecuación anterior y utilizando los parámetros establecidos en la tabla 4, se predice la concentración en el efluente, tanto de DBO como de coliformes fecales.

De esta forma, se verificó si las dimensiones y parámetros utilizados, garantizan el cumplimiento de las normas establecidas en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales en cuanto a los límites máximos permisibles.

$$C_{s \text{ DBO}} = \exp(-k_{\text{DBO}}/C_H) * C_e \quad (5)$$

$$C_{s \text{ DBO}} = \exp(-81,8/37)*70 = 7,67 \text{ mg/lt}$$

$$C_{s \text{ col.fec}} = \exp(-k_{\text{col.fec}}/C_H) * C_e \quad (6)$$

$$C_{s \text{ col.fec}} = \exp(-170/37) * 10000 = 101,06 \text{ NMP/100 ml}$$

Carga Orgánica:

$$CO = Q * C_{e\text{DBO}} / A \quad (7)$$

$$CO = ((495/1000)*70) / (5*1) = 6,93 \text{ g DBO/m}^2\text{día}$$

V. 5 Condiciones Climáticas

V.5.1 Zona de Estudio

Como se mencionó anteriormente, la biojardinera se encuentra ubicada en el distrito de Zapote de la provincia de San José. La estación meteorológica de Aranjuez, propiedad del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), es la que se encuentra más cercana al sitio en estudio. Dicha estación se ubica en las coordenadas 9°56' latitud Norte y 84°05' longitud oeste, a una elevación de 1172 metros sobre el nivel del mar.

Según un resumen climático del IMN, correspondiente a la estación de Aranjuez con datos registrados desde 1995 hasta el 2010, se tiene una temperatura máxima anual de 24,9 °C, una temperatura mínima anual de 17,4 °C y una temperatura media de 21,2 °C; la precipitación total media es de 149, 2 mm/año. Este resumen consiste en un reporte de los valores medios de los elementos meteorológicos con que cuenta la estación durante su tiempo de servicio y se puede observar en el anexo E.

Las condiciones climatológicas registradas durante el periodo de estudio, fueron solicitadas posteriormente al IMN y se encuentran en detalle en el anexo E.

V.5.2 Proyecto ASTEC

La ciudad de Managua, Nicaragua en donde se realizó el proyecto ASTEC, presenta una temperatura máxima de 33°C, temperatura media de 26.5 °C y una temperatura mínima de 19.6 °C. La precipitación y evaporación promedio en la zona es de 1,321 mm/año y 169,2 mm/año, respectivamente (Proyecto ASTEC, 2004).

VI.METODOLOGÍA

VI.1. Periodo de Estudio

El periodo de estudio inició el 14 de setiembre y finalizó el 20 de octubre del 2010. Durante este periodo se realizaron los muestreos tanto para análisis físico-químico como microbiológico, según el cronograma mostrado en la tabla 5. Las mediciones de flujo, nivel de agua, área, oxígeno disuelto, pH y temperatura, se realizaron los mismos días de muestreo.

Tabla 5. Cronograma de muestreo del sistema

Mes	Día		Muestreo	Número de muestras	Descripción
Setiembre	Martes	14	1	2	Muestras entrada y salida para análisis FQ*
	Jueves	16	2	4	Muestras entrada y salida para análisis FQ* y MB**
	Martes	21	3	2	Muestras entrada y salida para análisis FQ*
	Miércoles	22	4	4	Muestras entrada y salida para análisis FQ* y MB**
	Miércoles	29	5	2	Muestras entrada y salida para análisis FQ*
	Jueves	30	6	4	Muestras entrada y salida para análisis FQ* y MB**
Octubre	Martes	05	7	4	Muestras entrada y salida para análisis FQ* y MB**
	Jueves	07	8	4	Muestras entrada y salida para análisis FQ* y MB**
	Miércoles	13	9	2	Muestras entrada y salida para análisis FQ*
	Jueves	14	10	4	Muestras entrada y salida para análisis FQ* y MB**
	Martes	19	11	2	Muestras entrada y salida para análisis FQ*
	Miércoles	20	12	4	Muestras entrada y salida para análisis FQ* y MB**

*FQ: Físico- químico

**MB: Microbiológico

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Los análisis microbiológicos solo se realizaron en aquellos días en que la muestra de agua residual podría ser preservada adecuadamente para su posterior análisis. En este caso la muestra no debe estar sin analizar durante un período mayor a 24 horas.

VI.2 Mediciones Realizadas

VI.2.1 Medición del área

Para comprobar las dimensiones calculadas en el diseño, se midió la longitud y ancho de la biojardinera. Las mismas fueron realizadas con una cinta métrica.



Fuente: Moncada, S.

Figura 13. Medición del área de la biojardinera

VI.2.2 Medición del caudal

Para la medición del caudal de entrada, se utilizó el método volumétrico.

En primer lugar, se colocó un recipiente en la tubería proveniente del lavaplatos y que se encuentra conectada directamente al primer tanque sedimentador, esto con el fin de recolectar el total de agua residual generada. En la figura 14 se muestra dicho método recolección.



Fuente: Moncada, S.

Figura 14. Recipiente recolector del agua gris proveniente del lavaplatos.

Una vez recolectada agua en el recipiente, esta se trasvasó constantemente a una cubeta de 10 litros, previamente aforada con una probeta de (250 ± 1) ml para su medición. En la figura 15, se muestra la cubeta:



Fuente: Moncada, S.

Figura 15. Recipiente aforado para la medición de caudal

En cuanto al caudal de salida, este fue medido directamente del recipiente recolector del agua tratada.

Al inicio de cada jornada de medición, se vació el recipiente de salida hasta dejar la mínima cantidad de agua posible y se midió la altura del agua remanente. Al final de cada jornada, se determinó la altura final del agua en el recipiente para, posteriormente, por diferencia de alturas, determinar el volumen de salida

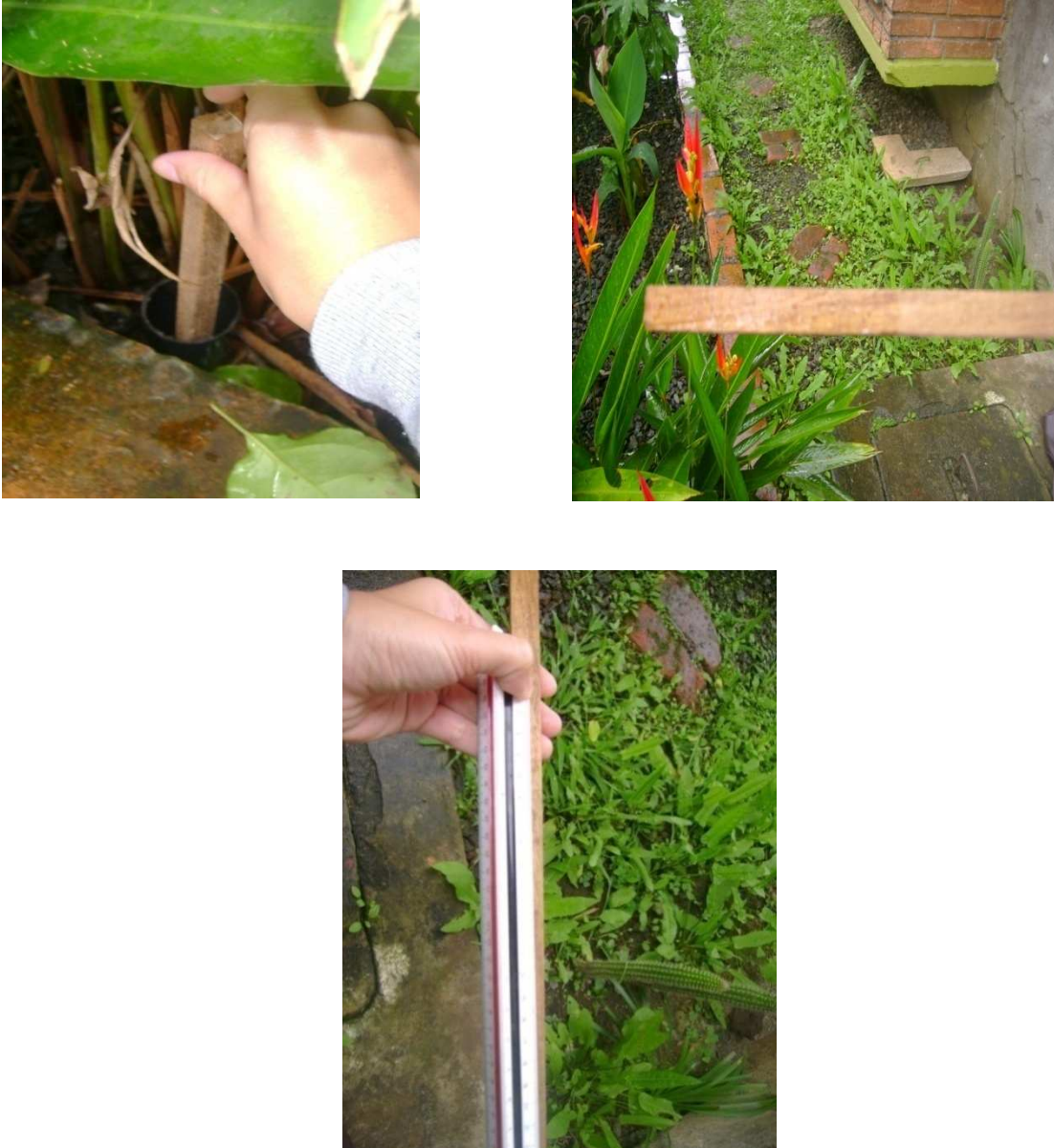


Fuente: Moncada, S.

Figura 16. Medición de caudal de salida

VI.2.3 Medición del nivel de agua

El nivel de agua de la biojardinera se midió en el tubo de inspección de 1 ½ pulgada que se encuentra en el extremo final de la biojardinera. Se utilizó una vara de madera para detectar el nivel, tal como se muestra en la figura 17.



Fuente: Moncada, S.

Figura 17. Medición del nivel de agua

VI.2.4 Medición de Temperatura y pH

La medición de temperatura y pH se realizó utilizando un pH metro digital, previamente calibrado. El pH metro fue proporcionado por el Laboratorio de la escuela de Ingeniería Ambiental y es de marca Oakton.

Las mediciones se realizaron en todas las campañas de muestreo, tanto en el afluente como en el efluente del sistema.

VI.2.5 Medición de Oxígeno Disuelto

El oxígeno se midió con un medidor de oxígeno disuelto de marca YSI, modelo 85, el cual se calibró previo a las mediciones en campo. La medición de este parámetro se realizó únicamente las últimas cuatro campañas de muestreo, pues se dificultó el préstamo del medidor los días anteriores. Las mismas se realizaron tanto en el afluente como en el efluente del sistema. El medidor de oxígeno disuelto utilizado fue proporcionado por el laboratorio del Centro de Investigación de Protección Ambiental (CIPA).

VI.3. Muestreo y análisis

Diseño Experimental

Con el fin de determinar la cantidad de muestras necesarias para la obtención de resultados representativos, se realizó un diseño experimental, tomando en cuenta aspectos estadísticos, además de ciertas restricciones como los costos de transporte, costos de análisis, distancia y tiempo.

En primera instancia, para definir el número de muestras a recolectar, se realizaron mediciones de caudal durante una semana en la biojardinera de ACEPESA; esto con el fin de obtener una aproximación del caudal promedio diario que ingresa al sistema y a partir de este, determinar, con base en la Regla de Aproximación (Torres, 2008), la cantidad de muestras a recolectar.

La Regla de Aproximación dice que, cuando el tamaño de la población (N) es muy grande, es decir, que tiende al infinito y no existe un comportamiento constante, se procede a realizar un muestreo preliminar para conocer el comportamiento de la población y lograr determinar parámetros estadísticos al estudio en interés, a través de un criterio porcentual para determinar la cantidad de muestras a recolectar (Torres, 2008). En este caso, se recomienda usar un criterio de 10%.

El caudal promedio diario obtenido, después de una semana de medición en la biojardinera en estudio fue de 75 litros/día.

Con base en este resultado y usando el criterio fijado, se determinó que solo era necesario recolectar tres muestras para obtener resultados representativos; en el anexo A se muestra dicho cálculo. Debido a que el número de muestras a recolectar calculadas era muy bajo, se decidió realizar un total de doce muestreos con el fin de recolectar un mayor número de datos para la mejor caracterización del sistema.

La experiencia previa de medición de caudal, permitió determinar que el flujo de agua es discontinuo, es decir, el periodo de operación de la biojardinera se subdivide, básicamente, en tres intervalos de tiempo: mañana (desayuno), mediodía (almuerzo) y tarde (café). En la noche no existe flujo de agua, pues son oficinas y tal como se mencionó en el capítulo anterior, estas operan de 8:00 a.m. a 5:00 p.m. Ante tal comportamiento de flujo, se decidió realizar muestreos compuestos de ocho horas, recolectando tres submuestras durante el transcurso del día.

Los cálculos para definir las horas de recolección de cada submuestra, se detalla en el anexo A. En la tabla 6 se muestran los resultados de dichos cálculos:

Tabla 6. Horas de recolección de cada submuestra

Submuestra	Hora
1	8:10 am
2	12:05 pm
3	3:11 pm

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Recolección de muestras y análisis

Las muestras de agua de entrada a la biojardinera, se tomaron del tubo de inspección que se encuentra en el extremo inicial del sistema. Para la recolección de las mismas se utilizó una manguera flexible y una jeringa para la succión del agua influente, tal como se muestra en la figura 18.



Fuente: Moncada, S.

Figura 18. Recolección de muestra en la entrada de la biojardinera

En el caso de las muestras para el análisis microbiológico, se empleó para cada submuestra una manguera previamente esterilizada y jeringas diferentes en cada toma.

Las muestras de agua de salida de la biojardinera, se tomaron del tubo de descarga del efluente, tal como se muestra en la figura 19.



Fuente: Moncada, S.

Figura 19. Recolección de muestra en la salida de la biojardinera

Respecto de las muestras efluentes para el análisis microbiológico, estas se recolectaron directamente de la tubería de salida del sistema.

Los recipientes usados para el análisis físico-químico fueron envases plásticos de un galón para recolectar la muestra compuesta y posteriormente se subdividía la misma en recipientes de plástico de distintas capacidades según el volumen requerido para el análisis de cada parámetro. En el caso de las grasas y aceites, los envases usados fueron de vidrio de un litro, los cuáles fueron suministrados por el laboratorio CEQIATEC del ITCR.

Para las muestras de análisis microbiológico se utilizaron bolsas esterilizadas suministradas también por CEQIATEC.

Las pruebas de análisis físico químico realizadas se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Pruebas de análisis realizadas y su método

Parámetro	Método
DBO5	Standard Methods 20th ed. APHA-AWWA-WEF . 5210B.
DQO	Standard Methods 20th ed. APHA, AWWA, WEF 5220B 4b 5220B 4a
Sólidos Suspendidos totales	Standard Methods 20th ed. APHA, AWWA, WEF 2540D
Sólidos Sedimentables	Standard Methods 20th ed. APHA, AWWA, WEF 2540F
Nitrógeno Total	Standard Methods 19th ed. APHA, AWWA, WEF 4500-Norg B.
Fósforo Total	Standard Methods 21th ed. APHA, AWWA, WEF 4500-P C.
Grasas y Aceites	Standard Methods 20th ed. APHA, AWWA, WEF 5520B

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

En cuanto al análisis microbiológico, se realizó la prueba de coliformes fecales mediante el método del número más probable (NMP), según el Standard Methods 20 th ed. APHA-AWWA-WEF.9221.

Todos los análisis fueron realizados en el Laboratorio CEQIATEC del ITCR.

VI.4. Encuestas

Los factores evaluados mediante encuestas aplicadas a hogares que utilizan una biojardinera para el tratamiento de sus aguas grises fueron el estado actual de las biojardineras, las actividades de mantenimiento realizadas por los usuarios, la frecuencia con que efectúan las mismas y los problemas más comunes presentados en estos sistemas.

La recolección de la información se realizó a través de entrevista personal y las preguntas fueron de tipo abiertas, cerradas y abiertas de registro cerrado (Gómez, 1999). Los 6 hogares entrevistados se ubican en Punta Morales, Puntarenas y corresponden a todas las biojardineras de la zona que se encuentran actualmente en uso y que fueron construidas por ACEPESA como parte del proyecto de saneamiento realizado por la organización.

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII.1. Caudal de Entrada

Las mediciones del caudal de entrada se realizaron en los mismos días del muestreo (apartado VI. 1), durante un periodo de 8 horas comprendido entre las 8:00 am y las 4:00 pm.

En su totalidad se obtuvieron doce datos de caudal diario, subdivididos de la siguiente forma:

- Cuatro correspondientes al día martes
- Cuatro correspondientes al día miércoles
- Cuatro correspondientes al día jueves

Con base en las mediciones realizadas, se realiza un análisis individual de cada día (Véase anexo B), un análisis comparativo semanal para cada uno de los tres días y finalmente un análisis global para obtener el caudal promedio diario que caracteriza el influente de la biojardinera en estudio.

VII.1.1 Caudal día Martes

Se presenta en la figura 20, los valores de caudal correspondientes a los días martes durante el periodo de estudio, como resultado del análisis individual por día.

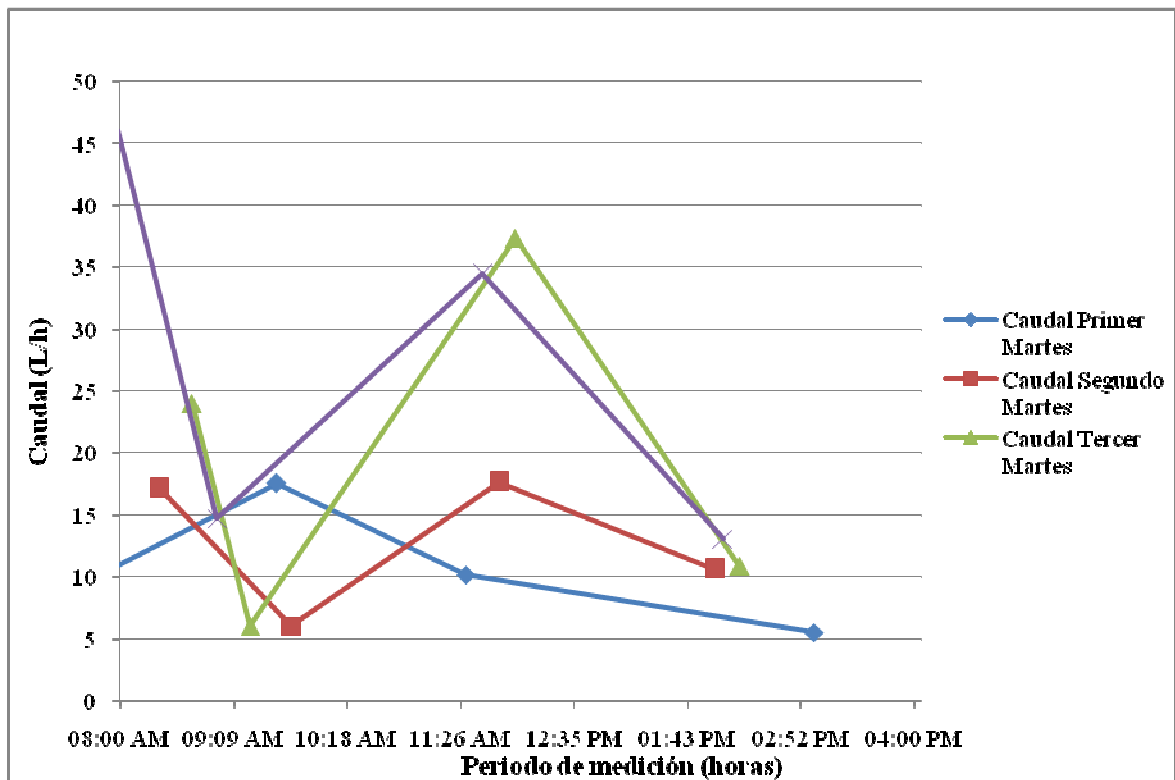


Figura 20. Comparación mediciones de Caudal día Martes

En la figura 20, se puede observar una tendencia similar en los últimos tres días, siendo el punto uno y el punto tres de los graficados, los que reflejan el mayor consumo. Este comportamiento es de esperar ya que durante este tiempo, el personal de ACEPESA realiza la preparación del desayuno y el almuerzo, respectivamente.

La diferencia entre el primer martes y el resto de los días de medición se debió a que, en ese día en particular, parte del personal realizó un poco más tarde el desayuno, reflejado por el segundo punto y además, algunos de ellos almorzaron fuera de las oficinas, reflejando un consumo más bajo en el tercer punto.

En lo que respecta al cuarto punto graficado, éste refleja el consumo durante la hora del café de la tarde, siendo este valor más bajo, en todas las gráficas, que los valores correspondientes al desayuno y el almuerzo.

En la figura 21 se presentan el caudal diario para cada martes en los que se realizaron las mediciones.

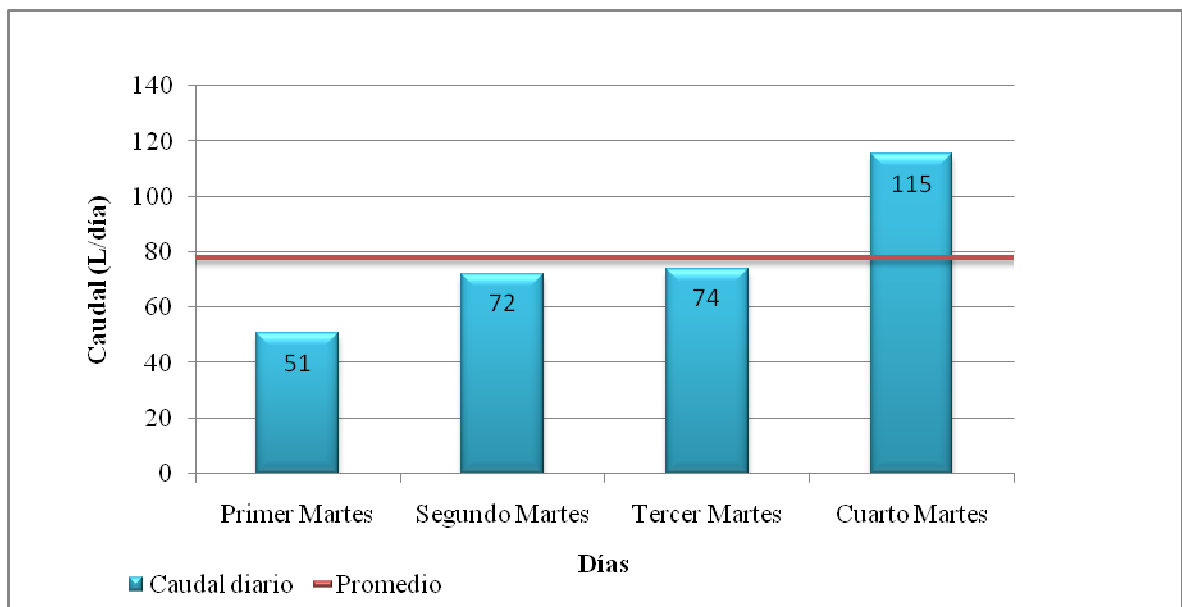


Figura 21. Caudal diario para cada martes de medición.

Tal como se aprecia, los valores correspondientes al segundo y tercer martes son los únicos que presentan gran similitud. Con base en estos resultados, se obtiene que el caudal promedio para el día martes fue de 78 litros/día.

VII.1.2 Caudal día Miércoles

De igual forma que el día martes, se realiza un análisis individual y se presentan gráficamente los valores de cada miércoles según las horas de inicio de las mediciones, en la figura 22.

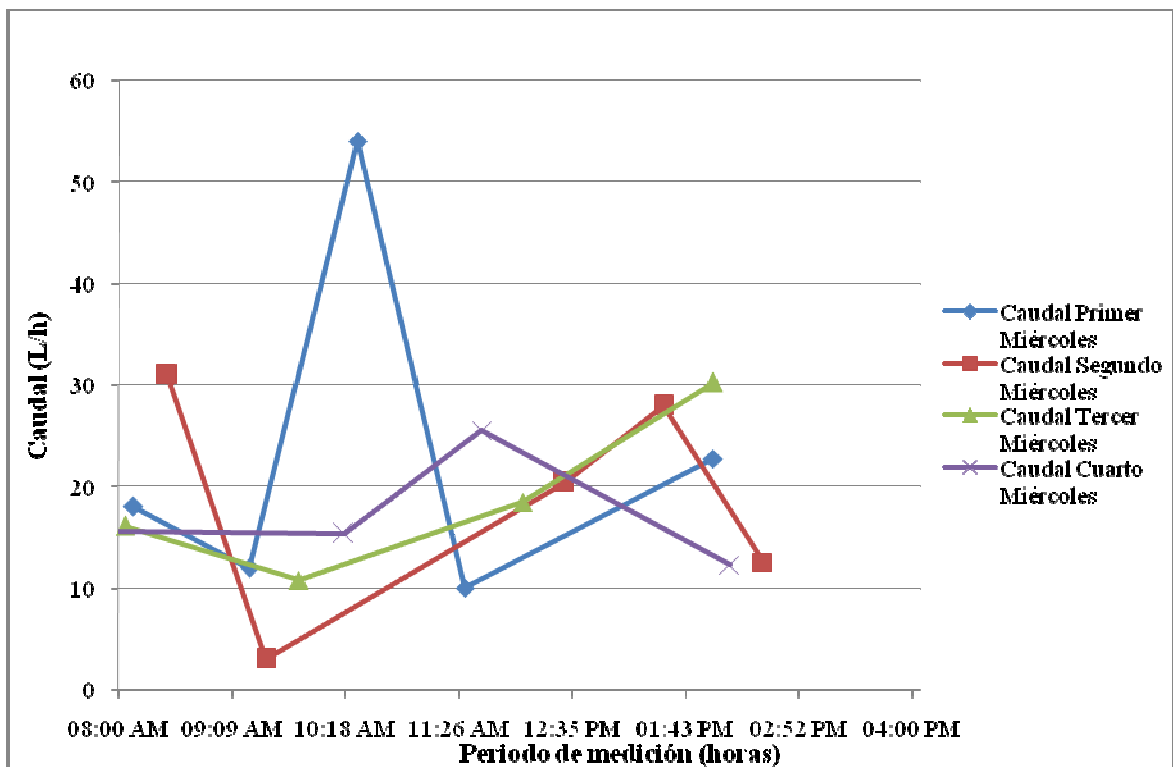


Figura 22. Comparación mediciones de caudal día Miércoles

Como se puede apreciar en la figura anterior, no se define una tendencia en este caso. Los picos de consumo no tienen una hora definida pues es variable en todas las gráficas.

La causa de esta variabilidad es debido a que, durante estos días, laboró en las oficinas de ACEPESA la auxiliar de aseo, la cuál hace uso del lavaplatos con más frecuencia y en horas no específicas. Además, su presencia provoca un incremento en el caudal respecto a los demás días (martes y jueves), dando un caudal promedio de 98 litros/día, tal como se muestra en la figura 23.

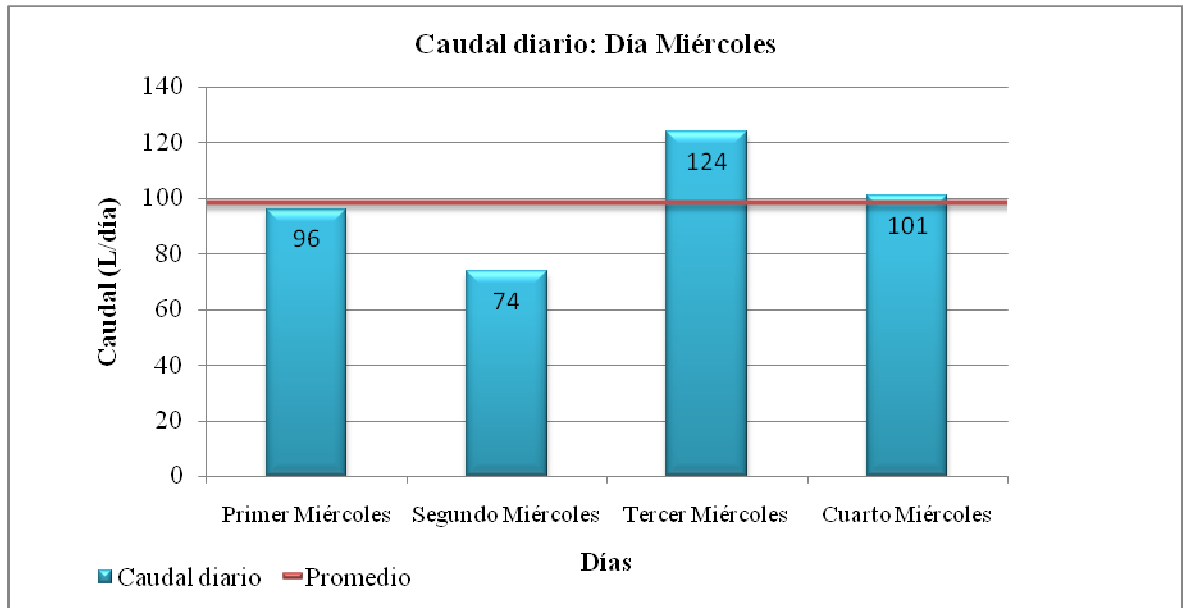


Figura 23. Caudal diario para cada miércoles de medición

VII.1.3 Caudal día Jueves

En la figura 24, se muestra los valores de caudal del día jueves según las horas de inicio de las mediciones.

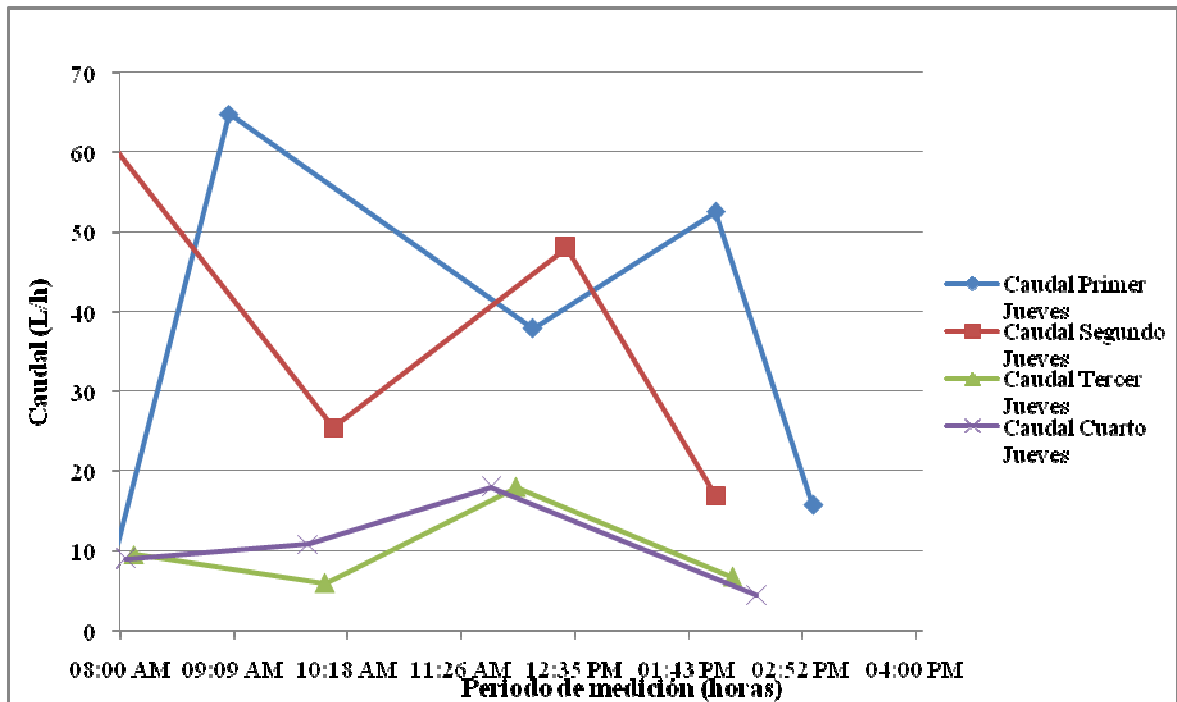


Figura 24. Comparación mediciones de caudal día Jueves

Tal como se observa en la figura anterior, si existe una tendencia respecto del día jueves, específicamente en los últimos tres días.

Los picos de consumo en el segundo y tercer día coinciden con las horas de desayuno y almuerzo, como es de esperar. En este caso también, la hora del café presenta el menor consumo en comparación a las anteriores.

La variabilidad se presenta en el primer jueves de medición, presentándose los mayores caudales un poco más tarde de la hora acostumbrada para la preparación del desayuno y en la hora de café. Ese día, parte del personal almorzó fuera de las oficinas, por ello el consumo es más bajo respecto a los demás.

El caudal diario para cada jueves de medición es variable, tal como se observa en la figura 25, dando como resultado un caudal promedio de 93 litros/día.

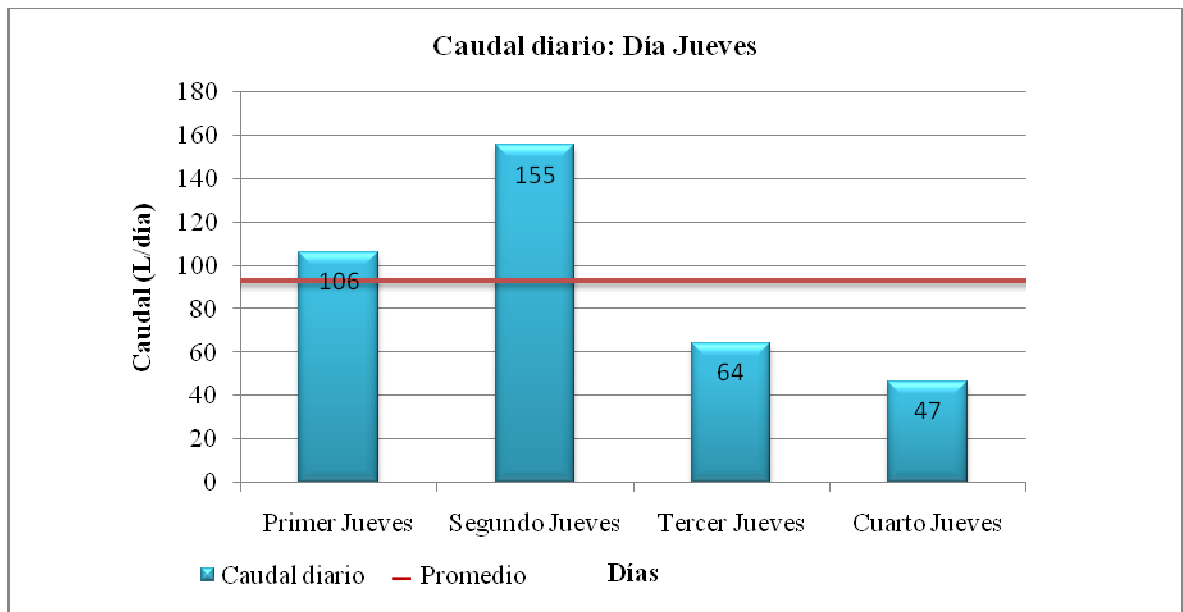


Figura 25. Caudal diario para cada jueves de medición.

VII.1.4 Caudal promedio diario

Con base en los resultados expuestos en los apartados anteriores para los tres distintos días (martes, miércoles y jueves), se determina el caudal promedio diario que caracteriza el influente de la biojardinera en estudio, siendo este valor de (90 ± 11) litros/día. El valor obtenido es menor que el caudal diario de diseño (495 litros/día).

Tomando en cuenta el número de personas que laboran en las oficinas (11 personas) y el caudal promedio diario obtenido (90 litros) se determina que el caudal promedio por persona por día en las oficinas de ACEPESA es de aproximadamente 8 litros.

El día miércoles es el que presenta el mayor caudal respecto de los otros días, como se aprecia en la figura 26.

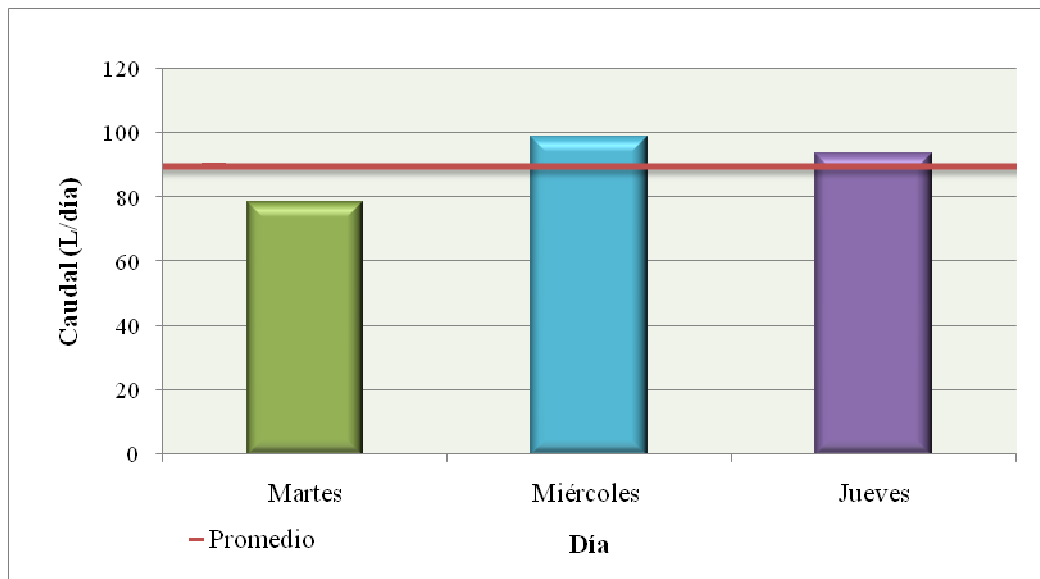


Figura 26. Caudal Promedio Diario

Esta variación se debe a la presencia de la auxiliar de aseo los días miércoles, tal como se mencionó en el apartado VII.1.2, incrementándose el flujo influente por un uso más frecuente del lavaplatos durante esos días.

VII.2. Caudal de Salida

El caudal de salida se determinó mediante variaciones del nivel de agua en el recipiente recolector del efluente, tal como se explicó en la metodología del proyecto, en el capítulo anterior.

La lectura inicial y final del nivel de agua, se realizó durante todos los días del período de estudio a las 8:00 am y a las 4:00 pm respectivamente. En el Anexo B se encuentran los datos recolectados con los volúmenes y caudales respectivos.

Con base en los datos recolectados, es posible obtener el caudal efluente diario para cada día de medición, tal como se muestra en la figura 27.

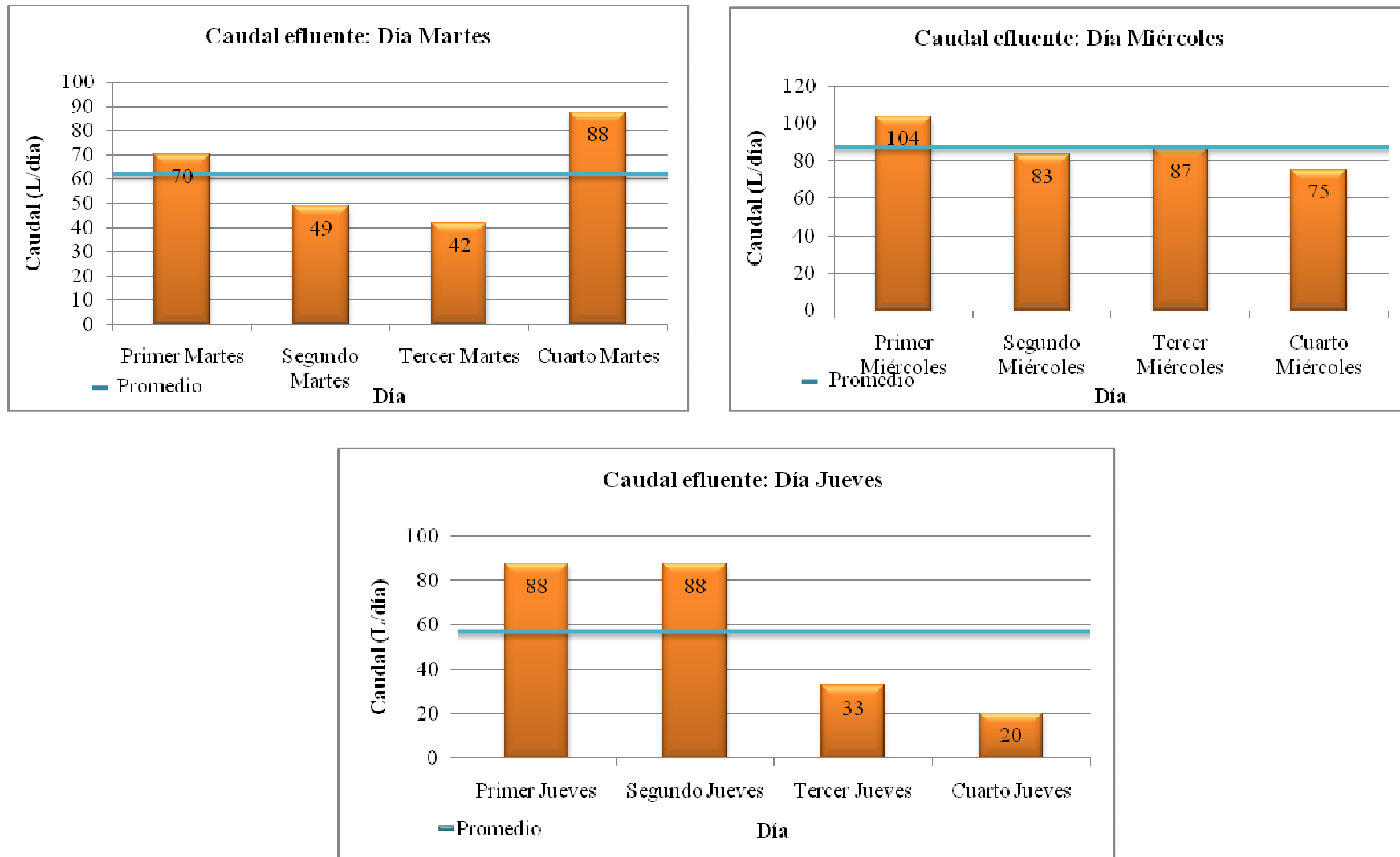


Figura 27. Caudal efluente diario para cada día de medición

Los valores promedio obtenidos para martes, miércoles y jueves son de 62 litros/día, 87 litros/día y 57 litros/día, respectivamente.

El caudal efluente está en función tanto del caudal influente, como de las condiciones climáticas de la zona donde se ubica la biojardinería (precipitación y temperatura), además de la evapotranspiración o capacidad de absorción de agua de las plantas usadas en el sistema de tratamiento. La variabilidad del caudal de salida en relación con el caudal de entrada, como se muestra en la figura 28, puede atribuirse a la influencia de algunos de estos factores como lo es la precipitación (figura 29).

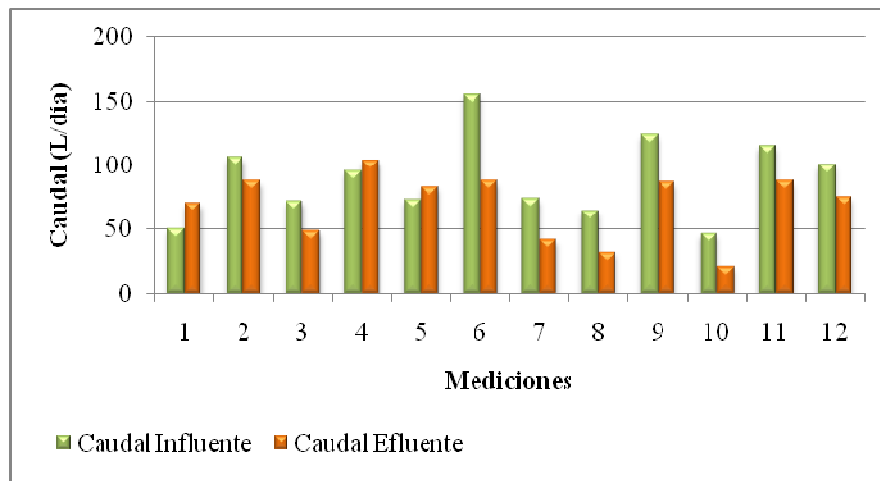


Figura 28. Caudal influente y efluente de la biojardinería

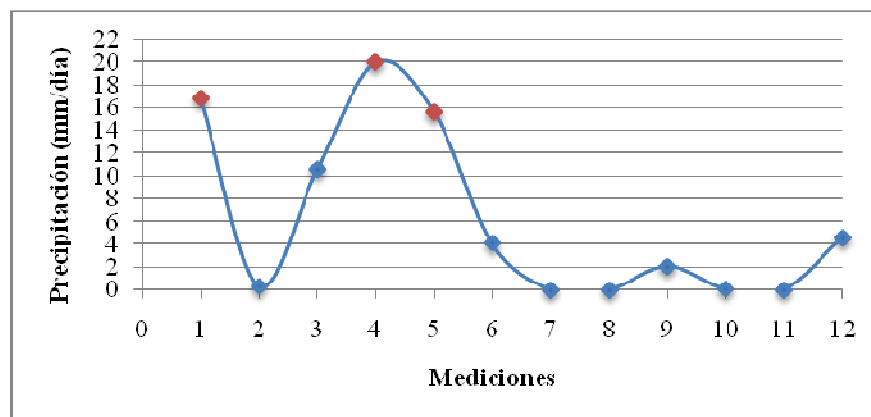


Figura 29. Precipitación registrada durante los días de medición.

Como se puede apreciar en la figura 28, en la 1º, 4º y 5º medición, el caudal de salida sobrepasa el caudal de entrada. Si se analiza dicho comportamiento respecto de la precipitación registrada los días de las mediciones, se puede observar que los días de máxima precipitación, señalados de color rojo en la figura 29, coinciden con los días en que se presenta este fenómeno. Por tanto se puede decir que, en estos tres casos, la precipitación influyó directamente en el aumento del caudal efluente de la biojardinera.

Promediando los valores obtenidos para cada día, se obtiene un caudal promedio efluente de 69 L/día. Si se compara este valor con el caudal promedio influente del apartado anterior (90 L/día), existe una diferencia de aproximadamente 23% (se han encontrado pérdidas de 17%, Solórzano, 2008). La pérdida de este volumen puede deberse a dos razones:

- Pérdidas por evapotranspiración
- Fugas

Durante el estudio, no se observó ninguna fuga externa pero puede existir alguna filtración interna que no es posible observar. La evapotranspiración puede atribuirse como la principal causa de esta pérdida, sin embargo, se requiere un estudio específico para comprobar tal afirmación.

VII.3. Calidad del agua en el influente

Como se mencionó en el capítulo VI, el agua que ingresa a la biojardinera recibe un tratamiento previo para remover principalmente las partículas gruesas y grasosas que pueda traer el agua, por lo tanto, es de esperar que el agua en el influente se encuentre en mejores condiciones que si se tratará de un agua residual cruda.

En la tabla 8 se muestra en resumen las concentraciones obtenidas para cada uno de los parámetros físico-químicos y microbiológicos. Los resultados de cada campaña de muestreo, se pueden observar en el Anexo C.

Tabla 8. Concentraciones promedio, máxima y mínima del agua influente.

Parámetro	Máxima	Mínima	Promedio
DBO ₅ (mg/L)	311	152	233
DQO (mg/L)	589	372	444
Sólidos Suspendidos totales (mg/L)	123	36	60
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0,8	0	0,09
Grasas y Aceites (mg/L)	197	34	85*
Nitrógeno total Kjendahl (mg/L)	9,1	1,1	4,5
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	8,4	0,7	4
Nitrógeno orgánico (mg/L)	4,1	0	0,5
Fósforo Total (mg/L)	5,2	2,1	3,5*
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1,10E+05	4,30E+01	2,96E+04
pH	6,1	4,98	5,45
Temperatura (°C)	24	20	22
Oxígeno Disuelto (mg/L)	1,87	1,52	1,77

*No se toma en cuenta el muestreo 3 para el fósforo total y el muestreo 5 para grasas y aceites. Ambos son atípicos y dispersos respecto de las concentraciones obtenidas en las demás campañas de muestreo.

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

El valor de la DBO promedio es de 233 mg/l, superior al valor de diseño utilizado (70 mg/L). Este valor se encuentra dentro del ámbito que caracteriza a las aguas grises según se reporta en la literatura (5-1460 mg/L).

En todos los casos el valor de la DQO es mayor que el de la DBO y el índice de biodegradabilidad (DQO/DBO), tiene un valor promedio de 0,5, indicando que la materia orgánica es muy biodegradable, es decir, es descompuesta rápidamente por bacterias (Martínez, 2010). El valor promedio de DQO fue de 444 mg/L.

Las aguas presentan un valor promedio de sólidos suspendidos de 60 mg/L, encontrándose por debajo y dentro del ámbito reportado por algunos autores para aguas grises (113-2410 mg/L según Sierra, 2006 y 7-330 mg/L según Schneider, 2009).

El valor para los sólidos sedimentables es bajo, presentando un promedio de 0,09 ml/L. Lo anterior es de esperar, pues tal como se ha mencionado, el agua pasa por tres unidades previas para la remoción de partículas pesadas.

En cuanto a las grasas y aceites, en la literatura se reporta que las aguas de cocina son el máximo contribuyente de este parámetro y su concentración varía en un ámbito entre 200 mg/L y 323 mg/L. En este caso el valor promedio es de 81 mg/L, un valor mucho más bajo que el que se reporta en la literatura. Lo anterior puede deberse a que la concentración obtenida corresponde al agua influente de la biojardinera, es decir, el agua después de haber pasado por los pretratamientos, por lo que es de esperar que la carga de grasas y aceites sea menor que el agua gris sin tratar.

Según la literatura, las aguas grises poseen una carga de nitrógeno total entre 0,6-7,4 mg/L, siendo las aguas de cocina uno de los principales contribuyentes de nitrógeno. El valor promedio de nitrógeno total obtenido en el influente de la biojardinera es de 4,5 mg/L, de los cuales 4 mg/L corresponden a nitrógeno amoniacal y 0,5 mg/L a nitrógeno orgánico. El producto de limpieza utilizado para el lavado de platos (el cuál contiene 0,098% de óxido de amina) y otros compuestos orgánicos nitrogenados, son la posible fuente de este compuesto en el agua gris analizada.

En cuanto al fósforo, la concentración promedio obtenida fue de 3,53 mg/L, valor ligeramente menor al reportado en la literatura para agua gris proveniente de áreas en donde se tiene un uso reducido de detergentes (4 -14 mg/L).

La concentración promedio de coliformes fecales obtenida fue de 2,96E+04 NMP/100 ml, menor al valor reportado en la literatura para aguas grises de cocina (orden de 10^7) pero superior al valor de diseño utilizado (10000 NMP/100 ml). Su presencia en este tipo de aguas, puede proceder del lavado de alimentos crudos, del lavado de manos ocasional en el lavaplatos o incluso de la deposición de excremento animal, dado que la biojardinera se encuentra a la intemperie.

Además, la literatura reporta que algunos de los denominados coliformes fecales (*Klebsiella*, *Enterobacter*) no son específicos de contaminación fecal y que incluso, organismos como *E. Coli*, pueden crecer en ambientes acuáticos naturales por lo que se podría encontrar, en algunas ocasiones, organismos indicadores de forma natural en este tipo de sistemas (García *et al*, 2004).

En cuanto a la temperatura, se reporta para aguas grises valores típicos entre 18°C y 38°C, encontrándose el valor promedio obtenido dentro de este ámbito (22°C).

Para pH, la literatura reporta para agua gris proveniente de cocina un valor de 5,7. El valor promedio obtenido es ligeramente más bajo que el esperado (5,45).

El oxígeno disuelto es bajo, presentando una concentración promedio de 1,77 mg/L. Su bajo valor se debe probablemente al alto contenido de materia orgánica.

VII.3. Calidad agua efluente

El agua efluente corresponde al agua que sale después del tratamiento en la biojardinera. En la tabla 9, se muestra en resumen las concentraciones obtenidas para cada uno de los parámetros físico-químicos y microbiológicos. En el Anexo C, se pueden consultar los resultados de cada campaña de muestreo.

Tabla 9. Concentraciones promedio, máxima y mínima del agua efluente.

Parámetro	Máxima	Mínima	Promedio
DBO ₅ (mg/L)	27,4	11	18,11
DQO (mg/L)	140	30	62
Sólidos Suspendidos totales (mg/L)	38	0	6,2
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0	0	0
Grasas y Aceites (mg/L)	88	14	36*
Nitrógeno total Kjendahl (mg/L)	13	3,1	6,7
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	12,7	0,7	5,85
Nitrógeno orgánico (mg/L)	5,8	0	0,9
Fósforo total (mg/L)	3,7	1,2	2,5*
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	4,60E+02	2,30E+01	1,14E+02
pH	7	6,6	6,8
Temperatura (°C)	23	20	22
Oxígeno Disuelto (mg/L)	2,44	1,67	2,03

*No se toma en cuenta el muestreo 3 para el fósforo total y el muestreo 5 para grasas y aceites. Ambos son atípicos y dispersos respecto de las concentraciones obtenidas en las demás campañas de muestreo.

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Como se puede apreciar en la tabla 9, se presenta una reducción en la concentración de todos los parámetros, a excepción del nitrógeno en todas sus formas (amoniacal, orgánico y total), el pH y el oxígeno disuelto. La temperatura es el único parámetro que permanece constante.

Si se comparan las concentraciones promedio del efluente con los límites máximos permisibles para vertido a un cuerpo receptor de acuerdo con la legislación vigente, los valores a la salida de la biojardinera se encuentran por debajo de estos límites, a excepción de las grasas y aceites. En las Fig.30- 33 se observa gráficamente dicha comparación.

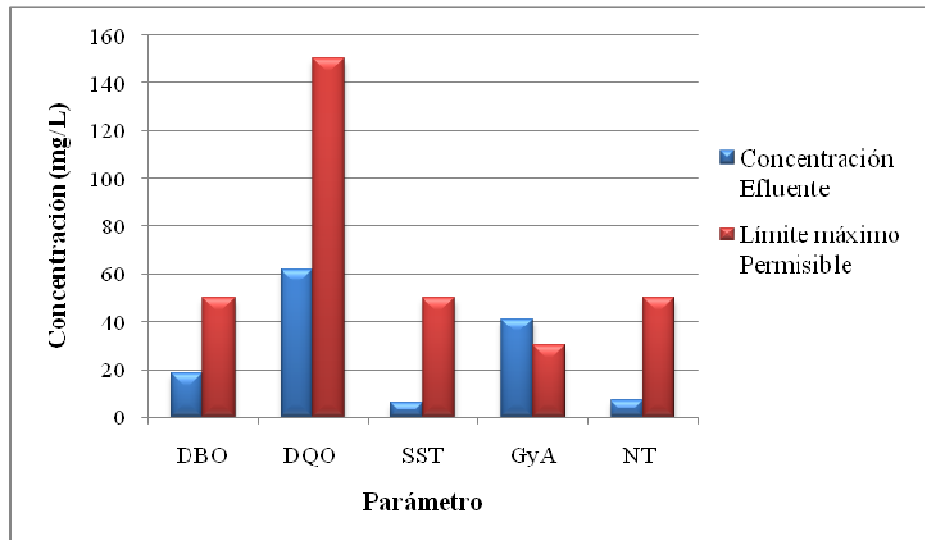


Figura 30. Concentración de varios parámetros en efluente de la biojardineria

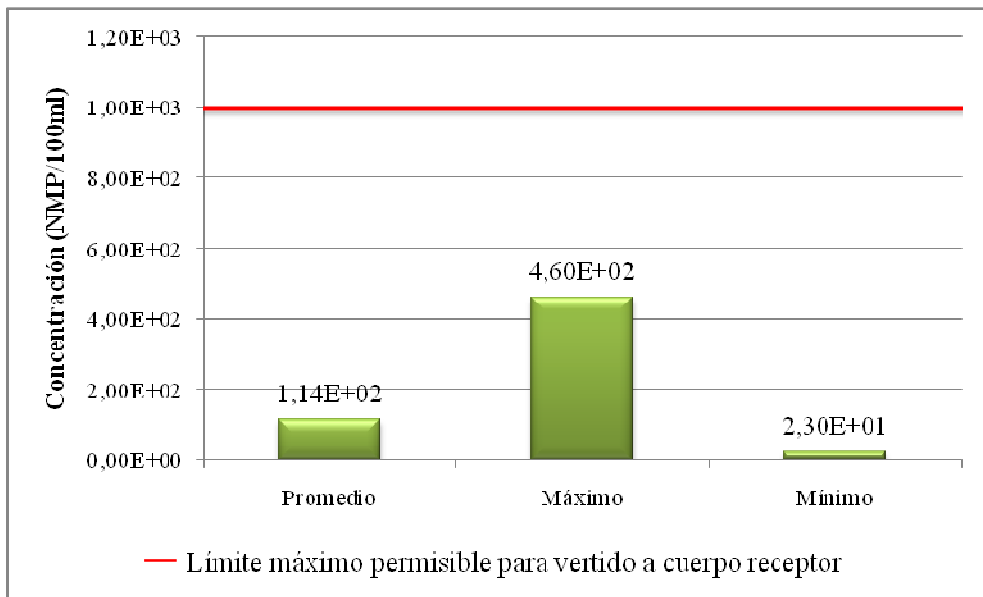


Figura 31. Concentración de Coliformes Fecales en efluente de biojardineria.

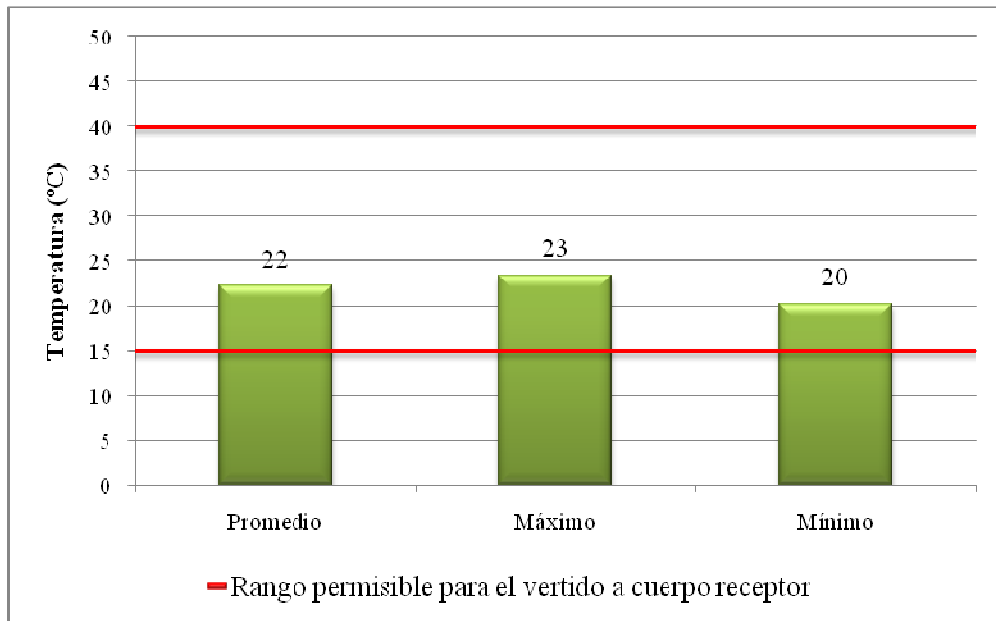


Figura 32. Temperatura en efluente de biojardinera.

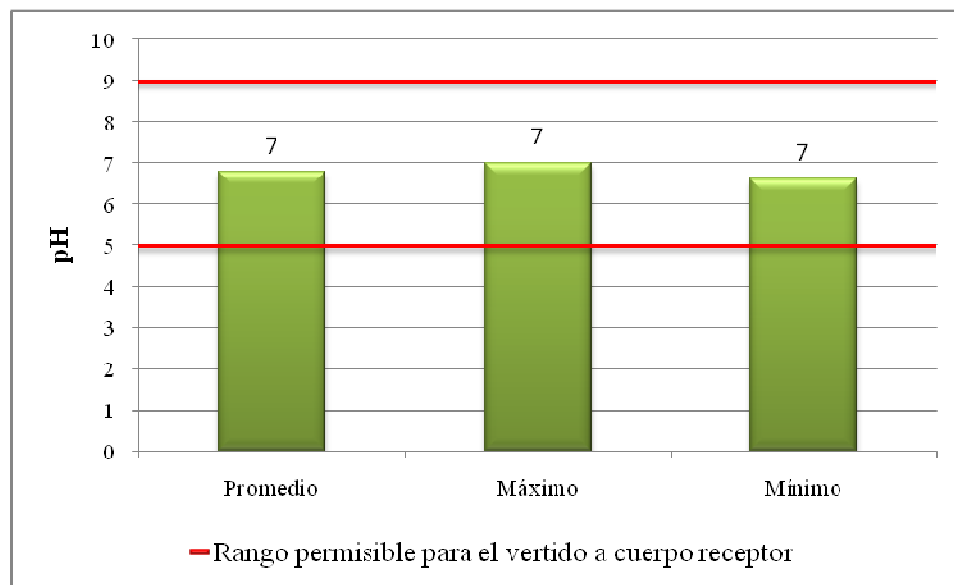


Figura 33. pH en efluente de biojardinera.

En el caso de los sólidos sedimentables, estos no son mostrados gráficamente, ya que para todos los muestreos, los valores de salida fueron 0 ml/L. EL fósforo total no es mostrado por la falta de regulación de este parámetro.

Cabe mencionar que la concentración de coliformes fecales obtenida, se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles para el reuso de aguas residuales ordinarias (1E+03 – 1E+04 NMP/100 ml) según se establece en el Reglamento. Lo anterior, asegura en parte la inocuidad de esta agua para su aprovechamiento.

VII.4. Rendimientos

VII .4.1 Remoción de DBO^{20}_5

La concentración de DBO^{20}_5 en el efluente se mantiene relativamente constante durante todas las campañas de muestreo, independientemente de la concentración de DBO^{20}_5 en el afluente, tal como se muestra en la figura 34.

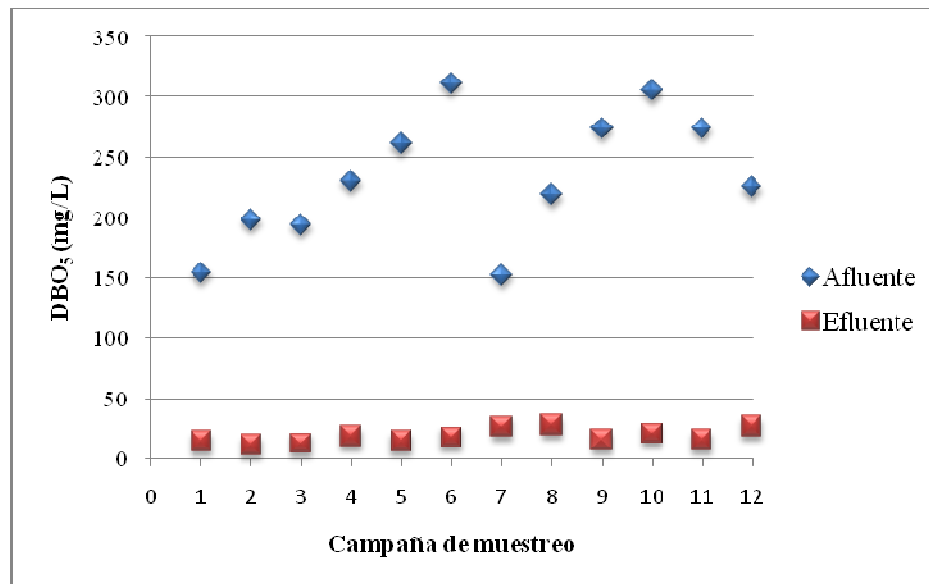


Figura 34. Concentración de DBO_5 en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.

Aunque las concentraciones en el afluente son bajas los días 1 y 7, la DBO^{20}_5 no llega a ser cero en efluente, esto debido a que en las biojardineras siempre existe una concentración de fondo de materia orgánica ya que los mismos sistemas generan materia orgánica proveniente de restos de plantas y acumulación de partículas. Valores típicos de concentraciones de fondo se encuentran entre 1 y 10 mg/L (García et al, 2004). En el sistema en estudio la DBO^{20}_5 interna producida es de alrededor de 11 mg/L (concentración mínima obtenida).

La remoción mínima obtenida en el sistema es de 83% y la remoción máxima es de 95% para un promedio de 91%. En la figura 35 se muestra los porcentajes de remoción para cada uno de las campañas de muestreo.

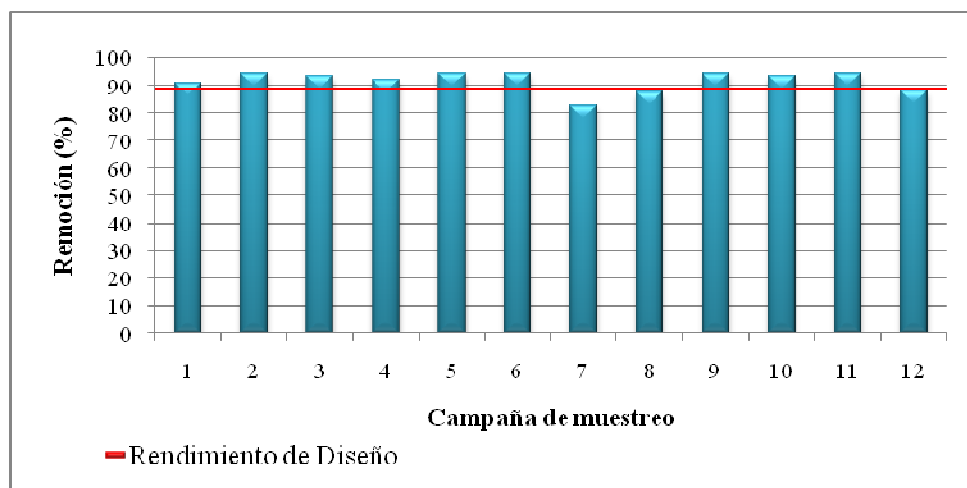


Figura 35. Remoción de DBO_5 para cada campaña de muestreo

El porcentaje de remoción de diseño de la biojardinería es de 89% y tal como se observa en la figura anterior, solo dos muestras se encuentran por debajo del rendimiento esperado. El valor promedio antes mencionado, se encuentra por encima del valor de diseño y dentro del ámbito de rendimiento obtenido en el proyecto ASTEC (89% - 95%).

VII.4.2 Remoción de DQO

La concentración de DQO en el efluente se mantiene relativamente constante durante el periodo de muestreo, aunque en menor grado que la DBO₅, tal como se muestra en la figura 36.

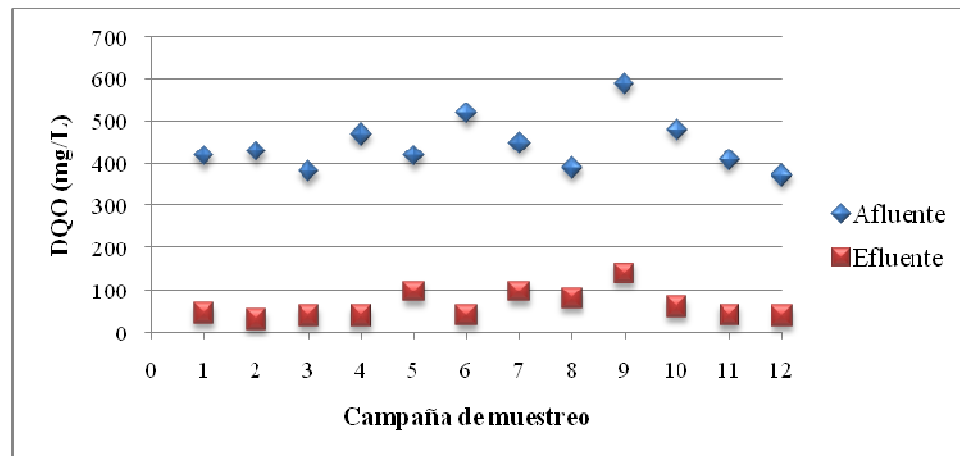


Figura 36. Concentración de DQO en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.

Al igual que en la DBO₅, la concentración en el efluente no llega a cero, debido a la existencia de una concentración de fondo de materia orgánica. En el caso de la DQO los valores típicos, según la literatura, oscilan entre 30 y 100 mg/L (García *et al*, 2004) y en el estudio se encontró una concentración de fondo de alrededor de 39, 2 mg/l (concentración mínima obtenida).

Los porcentajes de remoción de DQO esperados, según el proyecto ASTEC, oscilan entre 75% y 86%. El porcentaje mínimo obtenido en el estudio fue de 76% y el máximo fue de 93%, para una remoción promedio de 86%.

En todas las campañas de muestreo, los rendimientos son más altos que el mínimo esperado y la mayoría supera el máximo esperado, tal como se muestra en la figura 37. El valor promedio de remoción de DQO de la biojardinera en estudio, coincide con el valor máximo esperado (86%).

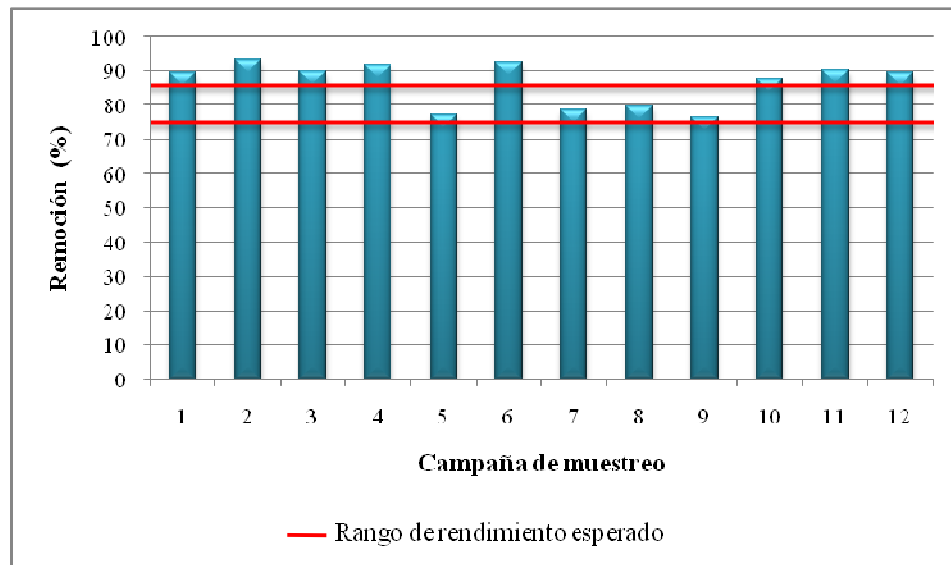


Figura 37. Remoción de DQO para cada campaña de muestreo

VII.4.3 Remoción de sólidos

La materia sólida en el afluente y efluente de la biojardinera, se midieron como sólidos suspendidos y sólidos sedimentables. En general, gran parte de esta fue removida en las unidades de pretratamiento.

La concentración de sólidos suspendidos en el efluente es muy estable durante el periodo de estudio, a excepción del muestreo 9 en el que se presenta un valor bastante disperso, tal como se muestra en la figura 38.

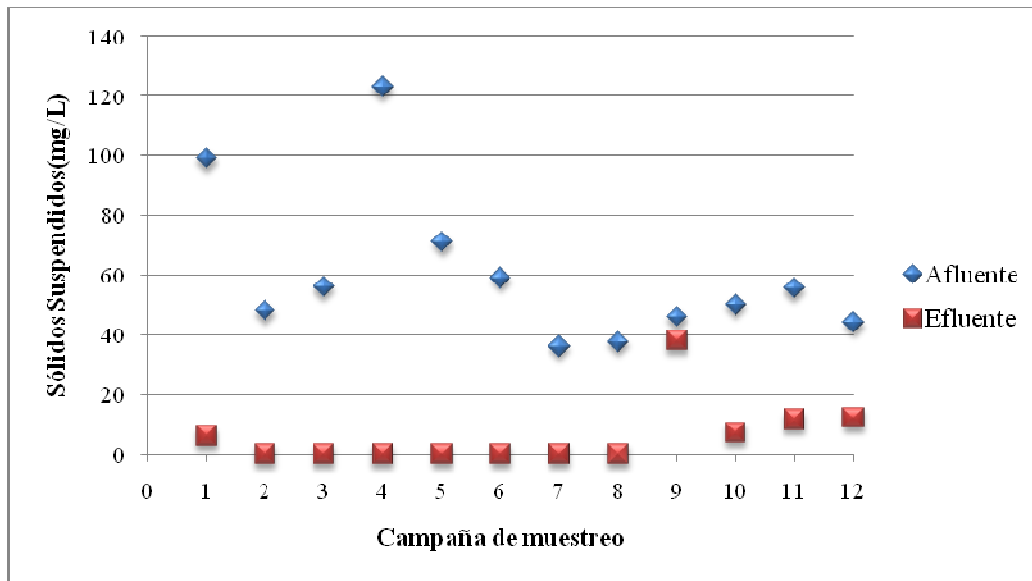


Figura 38. Concentración de sólidos suspendidos totales en el afluyente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.

Se observa además, en la figura anterior, que en los muestreos 10, 11 y 12 se presentan las máximas concentraciones medidas durante el periodo de estudio (excluyendo el muestreo 9). El aumento en la concentración de sólidos suspendidos en estos últimos muestreos, puede deberse al arrastre de cierta cantidad de biomasa hacia la salida del sistema, producto de una sobrepoblación bacteriana o un exceso de materia orgánica aportada a la biojardinera por las especies vegetales descompuestas.

A pesar de lo anterior, las concentraciones obtenidas, no tienen un efecto negativo sobre la calidad del efluente, encontrándose en todos los casos, bajo el límite máximo permisible según el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (50 mg/L).

En cuanto a los porcentajes de remoción se obtiene que, en todas las campañas de muestreo, con excepción de la campaña 9, se sobrepasa el valor mínimo de rendimiento esperado con base en los resultados obtenidos en el proyecto ASTEC (Ámbito de 52% a 73%), tal como se muestra en la figura 39.

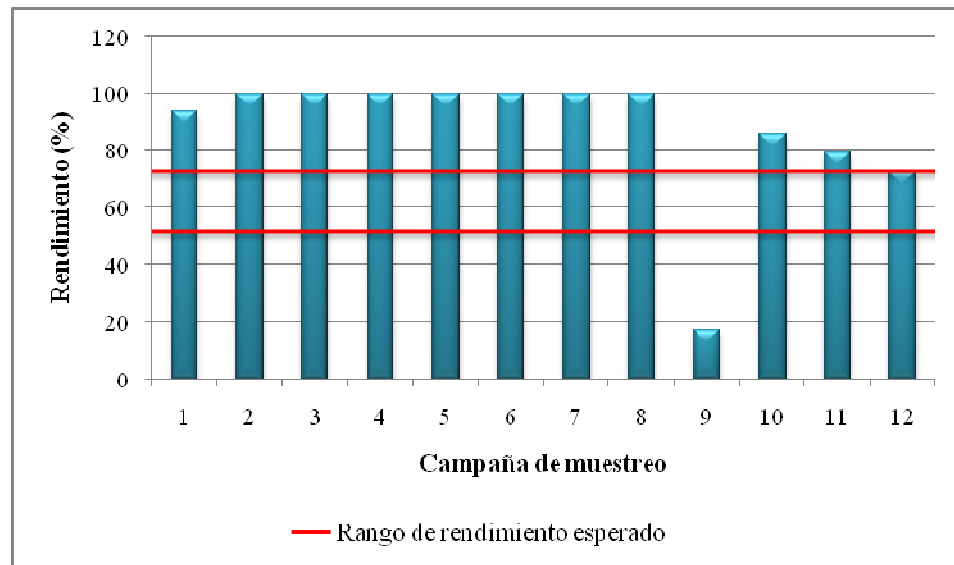


Figura 39. Remoción de Sólidos Suspendedos para cada campaña de muestreo

Como se puede apreciar, se obtienen remociones máximas de 100% en siete muestreos y una remoción mínima de 17% (dato disperso).

En cuanto al valor promedio de remoción, si se toma en cuenta el valor disperso, se obtiene un rendimiento de 87%, sin embargo, si este no se considera, el rendimiento obtenido es de 93%. En ambos casos, se sobrepasa la remoción máxima esperada.

Por otro lado, en lo que respecta a los sólidos sedimentables, el rendimiento fue de 100% en aquellos casos en que se tuvo concentraciones en el afluente, ya que en la mayoría de los muestreos, las concentraciones en el agua influente fue 0 ml/L. Lo anterior, indica que los sólidos sedimentables fueron removidos en los pretratamientos casi en su totalidad.

VII.4.4 Remoción de Nitrógeno

El nitrógeno fue medido como Nitrógeno Amoniacal y Nitrógeno Orgánico, siendo la suma de estos dos lo que se conoce como Nitrógeno total Kjendall (NHK).

El análisis del agua influente de la biojardinera muestra que, en promedio, 89% del NHK se encuentra como nitrógeno amoniacal y un 11% como nitrógeno orgánico. En la figura 40 se observa el comportamiento del Nitrógeno total a lo largo del período de estudio.

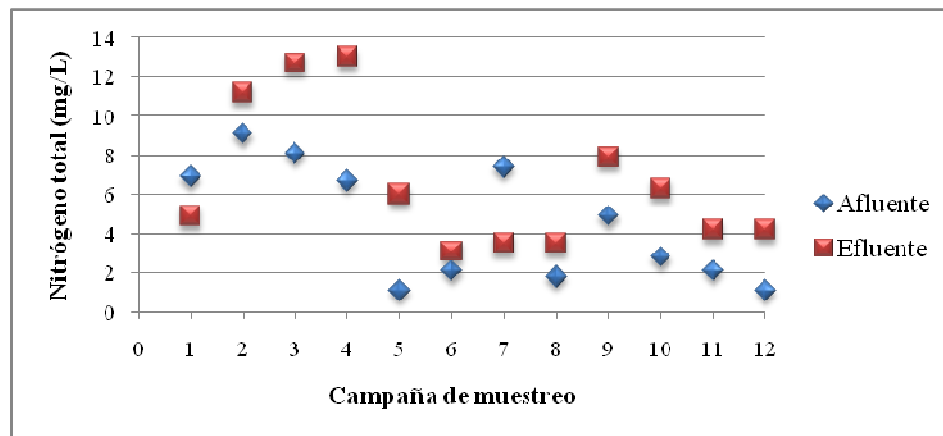


Figura 40. Concentración nitrógeno total en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.

Como se puede observar en la figura anterior, las concentraciones de nitrógeno total del efluente sobrepasan la concentración de nitrógeno total en el afluente, a excepción de los muestreos 1 y 7. Estas dos campañas son las únicas que cumplen con el porcentaje de remoción esperado según el proyecto ASTEC (21%-39%) presentado remociones de 29% y 53 %, respectivamente. En la figura 41 se muestra el rendimiento para cada campaña de muestreo.

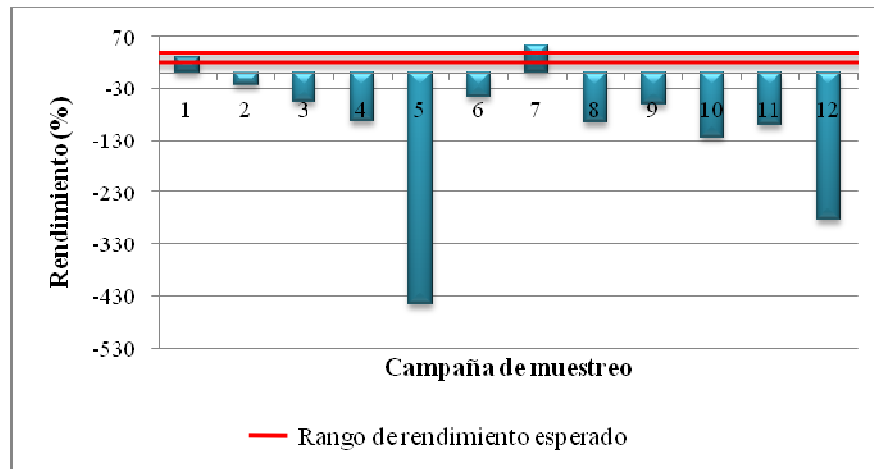


Figura 41. Remoción de Nitrógeno Total para cada campaña de muestreo

La causa de los rendimientos negativos en la mayoría de los muestreos, es debido a un aumento de nitrógeno amoniacal y/o nitrógeno orgánico, tal como se explica en los siguientes apartados.

VII.4.4.1 Nitrógeno Orgánico

El comportamiento del nitrógeno orgánico en el efluente a lo largo del periodo de estudio es mostrado en la figura 42.

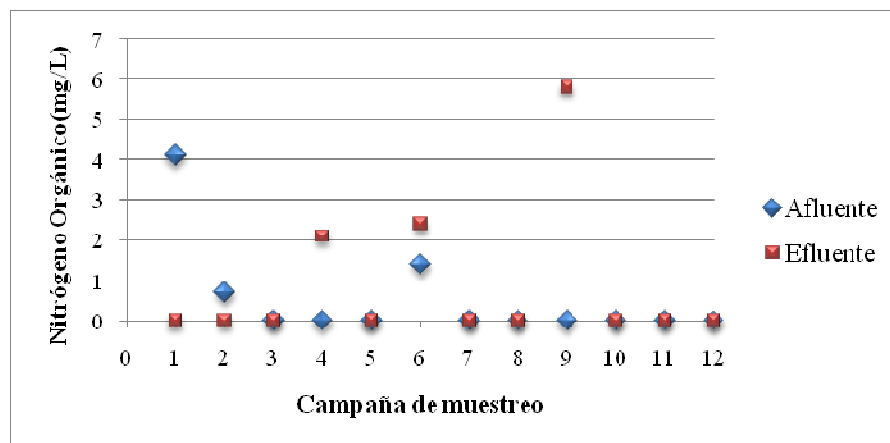


Figura 42. Concentración nitrógeno orgánico en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.

Como se aprecia en la figura anterior, la concentración de nitrógeno orgánico en el afluente fue 0 mg/L en la mayoría de los casos, sin embargo, en tres de las campañas la concentración de nitrógeno orgánico aumento en el efluente y únicamente en los dos primeros muestreos hubo una disminución de este parámetro.

Como se mencionó en el capítulo IV, el nitrógeno orgánico está generalmente asociado a la materia en suspensión presente en el agua residual, por tanto, la remoción de éste se da en gran parte por su eliminación. La descomposición o mineralización es otra vía por la cuál se remueve el nitrógeno orgánico, al pasar a su forma amoniacal. Sin embargo, los detritos (residuos de descomposición de especies vegetales) u otros materiales orgánicos generados naturalmente en la biojardinera, constituyen una fuente interna de nitrógeno orgánico en el sistema, lo que puede producir una descarga estacional de este compuesto. El incremento en la concentración de nitrógeno orgánico en el efluente, observado en tres de los muestreos, puede deberse a este proceso.

La remoción máxima obtenida fue de 100% (muestreos 1 y 2) y la mínima fue de -580% (muestreo 9).

VII .4.4.2 Nitrógeno Amoniacal

Durante el periodo de estudio, únicamente en dos de los muestreos, la concentración de nitrógeno amoniacal disminuye después de su tratamiento en la biojardinera, en los demás casos la concentración aumenta en el efluente. Lo anterior se observa en la figura 43.

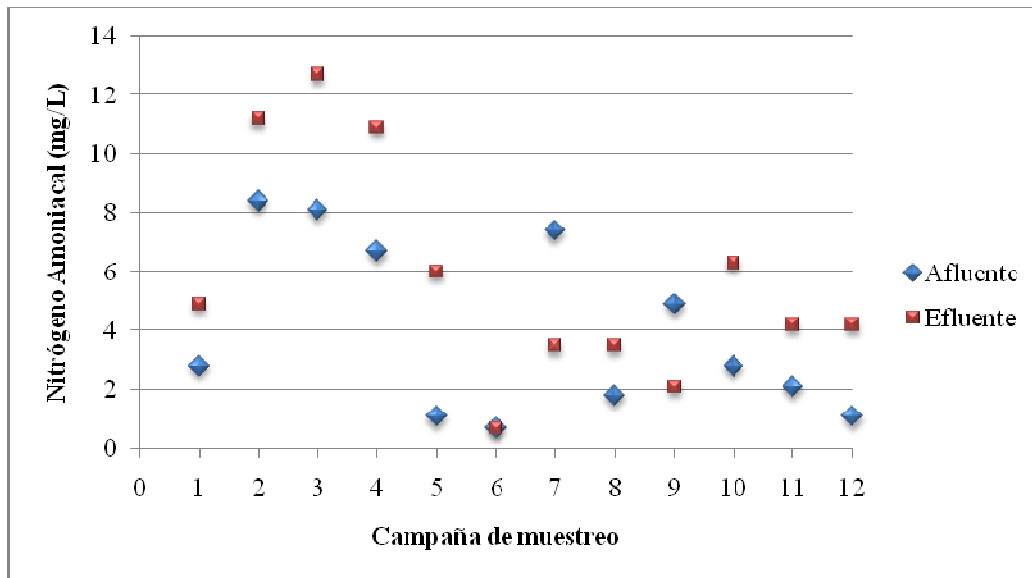


Figura 43. Concentración nitrógeno amoniaco en el afluyente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.

La principal vía de remoción de Nitrógeno Amoniacal en las biojardineras, la constituye la nitrificación biológica seguida por la desnitrificación, sin embargo, el oxígeno condiciona o limita el primer proceso. Si la disponibilidad del mismo es limitada, la capacidad de eliminación de amonio se reduce.

Los rendimientos negativos del nitrógeno amoniaco en la mayoría de los muestreos puede deberse a la falta de oxígeno en el medio, predominando las condiciones anaerobias. Esto, sumado al aporte extra de nitrógeno amoniaco producido por la mineralización del nitrógeno orgánico, es la causa probable de que exista un aumento en la concentración de este compuesto en el efluente.

El máximo rendimiento encontrado fue de 57% (muestreo 9) y el menor de -445% (muestreo 5).

VII.4.5 Remoción de Grasas y Aceites

La concentración de grasas y aceites es muy variable a lo largo del periodo de estudio, observándose en algunas de las campañas de muestreo que la variación del efluente es proporcional al del afluente, tal como se muestra en la figura 44.

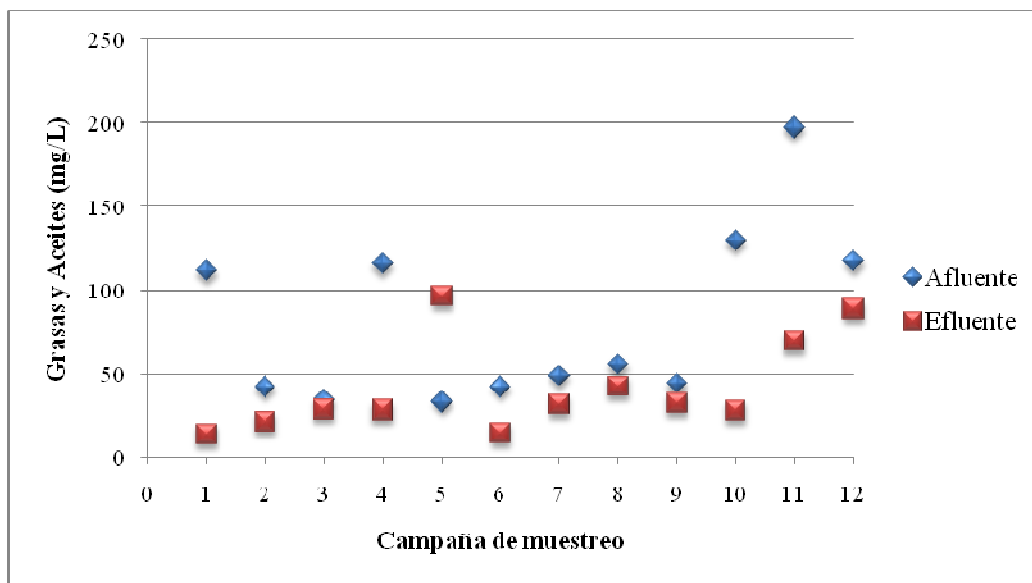


Figura 44. Concentración de grasas y aceites en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.

En todas las muestras, la concentración de grasas y aceites disminuyó en la salida, a excepción de la muestra 5. Al ser este, el único dato atípico y disperso respecto a los demás, no se toma en cuenta en la determinación del rendimiento de la biojardinera.

El porcentaje máximo de remoción para este parámetro encontrado en la biojardinera en estudio fue de 87% y el mínimo fue de 16%, para una remoción promedio de 50%.

De todas las campañas de muestreo, solo cinco están dentro del ámbito de remoción encontrado en la literatura, el cuál oscila entre 54% y 94% (Allen, 2009). El valor promedio es ligeramente menor que el mínimo esperado. La figura 45 muestra los rendimientos para cada campaña de muestreo.

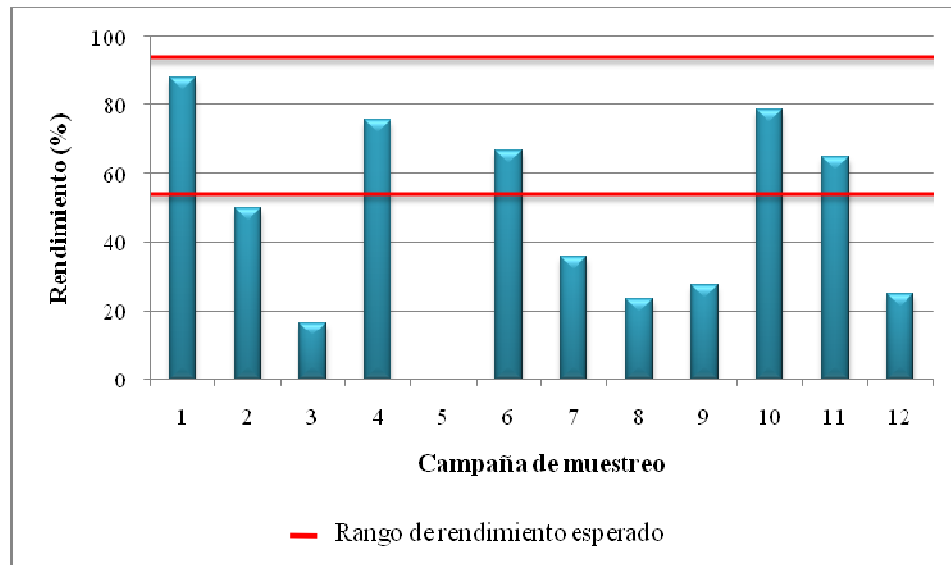


Figura 45. Remoción de Grasas y Aceites para cada campaña de muestreo.

A pesar de que, en promedio, se remueve la mitad de la carga de grasas y aceites en la biojardinera, el valor promedio efluente sobrepasa el límite máximo permisible establecido en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, tal como se indicó en el apartado VII.3. La existencia de altos niveles de grasas acumulados en la biojardinera, es una posible causa por la cuál no se logra remover eficientemente la concentración de grasas y aceites en el sistema.

VII.4.6 Remoción de Coliformes Fecales

A pesar que en el influente se tienen concentraciones variables de coliformes fecales, con cargas de hasta 5 unidades logarítmicas, la concentración en el efluente se mantuvo constante, reduciéndose la carga a 1 unidad logarítmica para 6 de los muestreos y a 2 unidades logarítmicas para uno de ellos, tal como se aprecia en la figura 46.

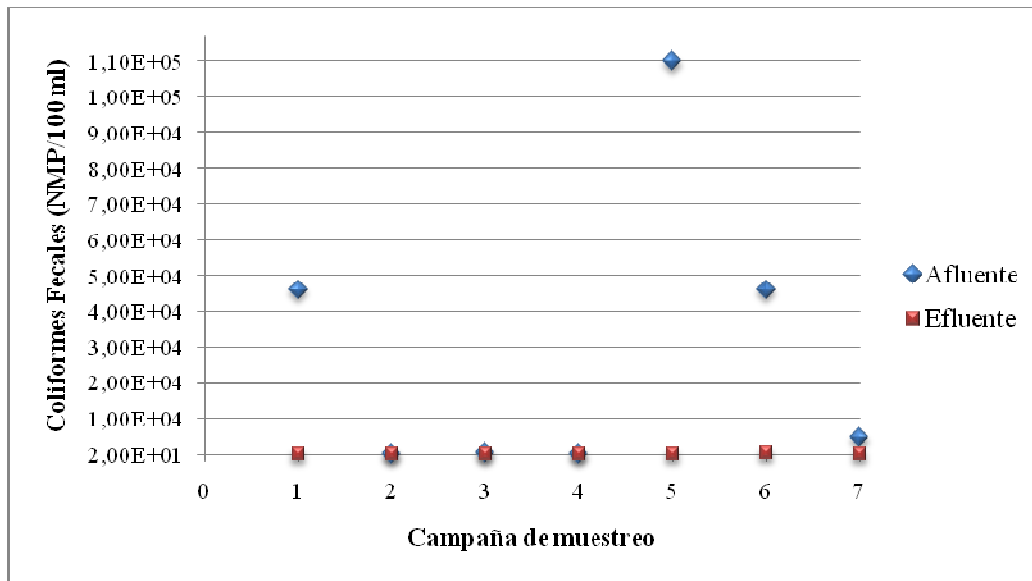


Figura 46. Concentración de coliformes fecales en el afluyente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.

La literatura indica que, en las biojardineras de flujo subsuperficial, los valores habituales de reducción de coliformes fecales es de 1 a 2 logaritmos y, en casos excepcionales, las reducciones pueden llegar a 3 logaritmos (García *et al*, 2004). En el sistema en estudio, la eficiencia de reducción promedio obtenida fue de 84%, equivalente a una reducción de 1,7 unidades logarítmicas.

En la figura 47 se compara el rendimiento de diseño (99%) con las eficiencias obtenidas en cada una de las campañas de muestreo.

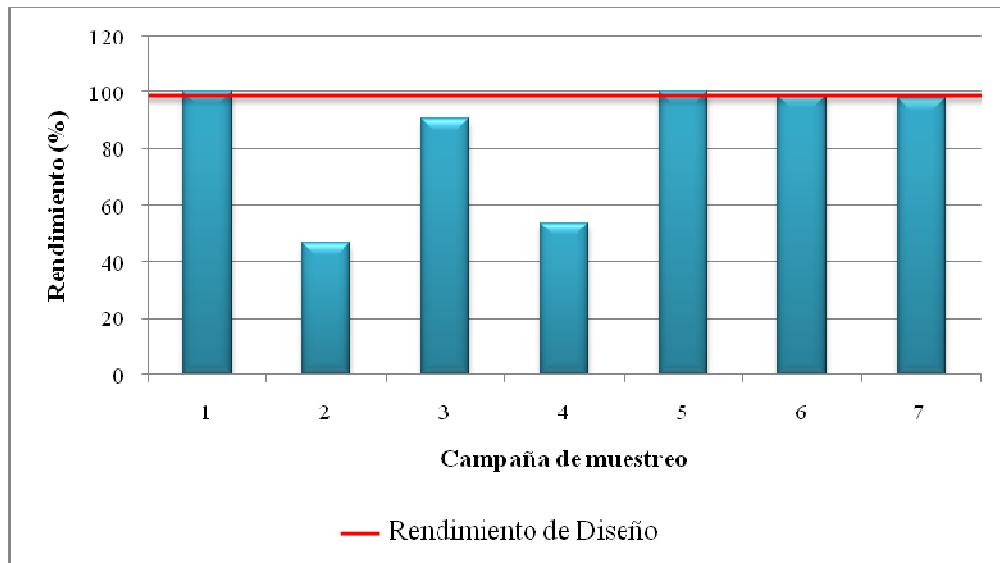


Figura 47. Remoción de Coliformes Fecales para cada campaña de muestreo.

Como se observa en la figura, solo dos campañas de muestreo sobrepasan ligeramente el rendimiento esperado. El valor promedio obtenido en el estudio se encuentra por debajo de dicho rendimiento.

A pesar de lo anterior, la concentración efluente de coliformes fecales, si cumple con los requerimientos de descarga a cuerpo receptor establecidos en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, para todas las campañas de muestreo.

VII.4.7 Remoción de Fósforo Total

A lo largo del periodo de estudio, existe variabilidad en la concentración efluente de fósforo total. En la mayoría de los muestreos, la concentración en el efluente es directamente proporcional a la concentración afluente, tal como se observa en la Figura 48.

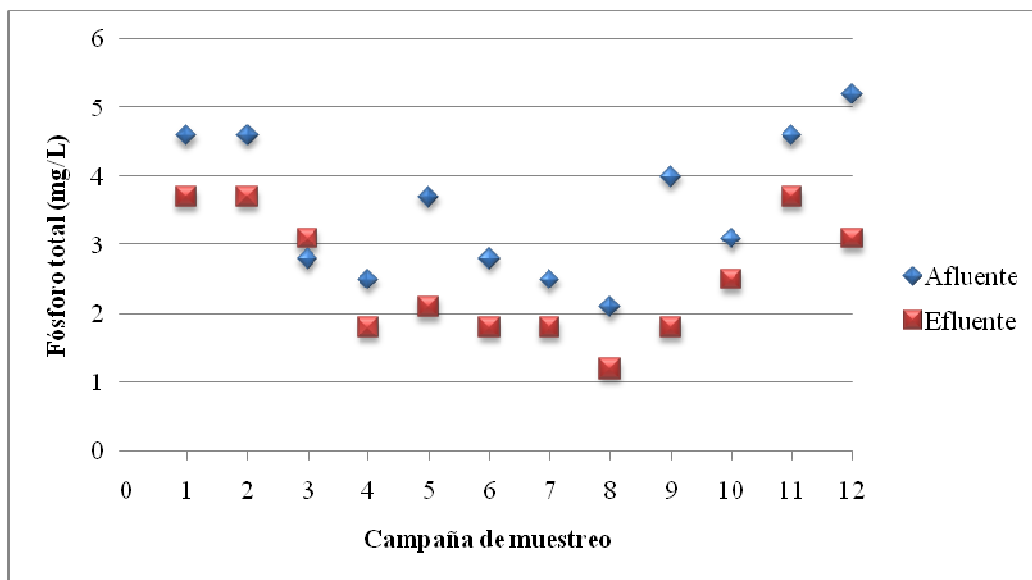


Figura 48. Concentración de fósforo total en el afluente y efluente de la biojardinera durante el periodo de estudio.

Como se aprecia en la figura anterior, en todas las muestras, la concentración de fósforo total disminuyó a la salida, a excepción de la muestra 3. El aumento en la concentración de este contaminante en la muestra 3 pudo deberse al aporte de residuos vegetales, que al no ser retirados del sistema, pueden introducir fósforo nuevamente a la biojardinera. Al ser este el único dato disperso, no es tomado en cuenta para la determinación del rendimiento de la biojardinera.

El máximo rendimiento obtenido fue de 55 %, el mínimo de 20 % y se obtuvo un valor promedio de remoción de 32 %.

En todas las campañas de muestreo se sobrepasa el límite máximo esperado según los resultados obtenidos en el proyecto ASTEC (6%-19%). En la figura 49 se muestra los rendimientos obtenidos en cada campaña de muestreo.

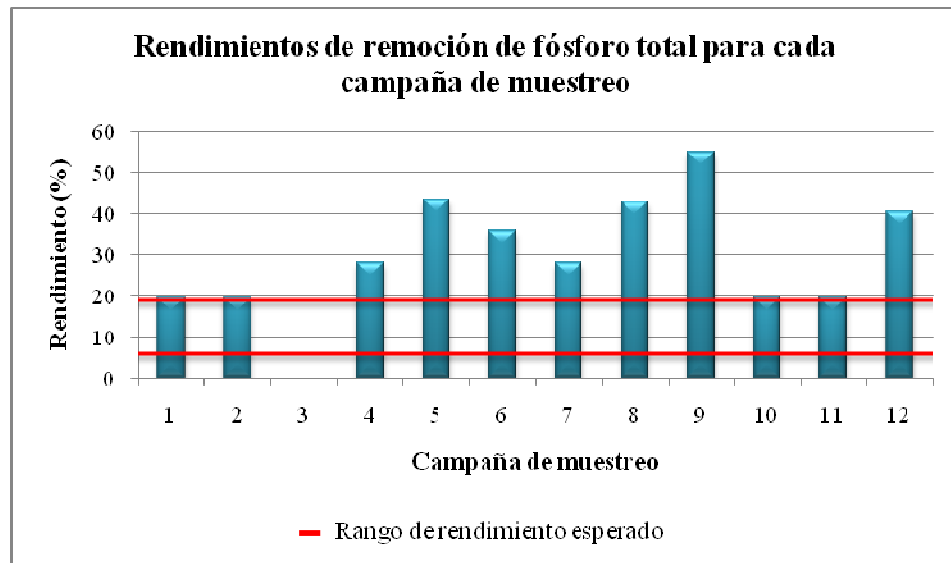


Figura 49. Remoción de Fósforo total para cada campaña de muestreo.

VII.4.8 Otros parámetros de calidad

Parámetros de calidad como la temperatura, el color, el olor, la turbiedad, el pH y el oxígeno disuelto fueron evaluados en la biojardinera.

En lo que respecta al olor, el color y la turbidez, estos son fácilmente perceptibles. Las muestras recolectadas a la salida del sistema, muestran que existe una clara mejoría en estos parámetros.

El agua afluente es turbia, de color amarillo claro y presenta un olor fuerte. El agua efluente por su parte, presenta una tonalidad ligeramente amarilla pero se muestra más clara y el olor es menos fuerte. En la figura 50, se puede comparar el agua afluente (izquierda) y el agua efluente (derecha).



Fuente: Autora

Figura 50. Comparación visual de las muestras de entrada y salida para la campaña 1.

En lo que respecta al oxígeno disuelto, su valor promedio aumentó ligeramente al pasar por la biojardinera de flujo subsuperficial (de 1,77 mg/L a 2,03 mg/L). El oxígeno disuelto es necesario para la oxidación de la materia orgánica y conforme ésta se remueve, la demanda de oxígeno es cada vez menor, lo que provoca un incremento en su concentración (Ling *et al*, 2009).

Por otra parte, el pH incrementó a la salida de la biojardinera, pasando de un valor promedio de 5,45 en el influente a 6,8 en el efluente. Según se reporta en la literatura, diversos procesos son responsables del aumento de la alcalinidad en las biojardineras tales como la amonificación, desnitrificación, nitrificación y metanogénesis (Marín *et al*, 2007).

Respecto de la temperatura, su valor no es afectado a su paso por la biojardinera, manteniéndose una temperatura promedio de 22 °C, tanto en el influente como en el efluente.

VII.5. Constantes de Degradación de primer orden(k)

Las constantes de la degradación de primer orden para DBO₅, DQO, Nitrógeno total, Fósforo Total y Coliformes Fecales fueron calculadas reordenando la Ec. 4 de la siguiente forma:

$$k = CH (\ln C_{af1} - \ln C_{ef1}) \quad (8)$$

Dado que el caudal tratado y los rendimientos de los parámetros fueron variables a lo largo del periodo de estudio, se calculó, para cada uno, las constantes de degradación en cada campaña de muestreo (Anexo D). En la tabla 11 se muestran los valores promedio estimados en el estudio y los obtenidos en el proyecto ASTEC.

Tabla 10. Comparación de las constantes de degradación obtenidas en el estudio y el proyecto ASTEC de Nicaragua.

Parámetro	k (m/año)	
	Biojardinera en estudio	Proyecto ASTEC
DBO	17,2	81,8
DQO	13,9	60,8
NT	-4,4	11,8
PT	2,5	6,9
CF	24,4	170*

*Valor usado en el diseño, definido por Rosales, E.

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

A pesar de que Costa Rica presenta condiciones climáticas similares a Nicaragua, los valores de las constantes de degradación obtenidas en este estudio son mucho menores que las obtenidas en el proyecto ASTEC. La razón más probable de que esto suceda, es la baja carga hidráulica en la biojardinera. La carga hidráulica promedio anual durante el periodo de estudio fue de 6,5 m/año, valor más bajo que el valor de diseño (37 m/año). Bajas cargas hidráulicas y por ende largos tiempos de retención hidráulica tienden a generar bajas constantes de degradación ya que, conforme el agua residual permanece más en la biojardinera, los procesos de remoción se tornan más despacio por el predominio de materiales persistentes y difíciles de tratar (Jamieson *et al*, 2007). Sin embargo, en este caso, no existe una relación directa entre el rendimiento obtenido y las constantes de degradación, pues a pesar de que éstas son más bajas que las obtenidas en el proyecto ASTEC, se obtienen en el estudio rendimientos similares y en algunos casos superiores, a los obtenidos en el biofiltro Masaya

para la mayoría de los parámetros, siendo nuevamente las bajas cargas hidráulicas la probable causa de que esto suceda.

En el caso de la constante de degradación para Nitrógeno total, su valor es negativo por la ineficiencia del sistema en la remoción de este parámetro, debido a la falta de oxígeno principalmente, tal como se explica en el apartado VII.4.4.

VII.6. Otros parámetros de Diseño

Parámetros como la profundidad útil, el tiempo de retención hidráulica (TRH) y la carga orgánica (CO), fueron determinados con base en los resultados y mediciones realizadas.

En cuanto a la profundidad útil, su valor fue comprobado mediante las mediciones del nivel del agua (apartado VI.2.3), obteniéndose una profundidad promedio de 0,6 m.

Respecto del tiempo de retención hidráulica, en todas las campañas de muestreo su valor superó al TRH de diseño (3,03 días), obteniéndose un TRH promedio de 18 días. El bajo caudal influente es el factor que incrementa el tiempo de retención hidráulica del sistema. Lo anterior indica que la biojardinera se encuentra sobredimensionada y a pesar de que largos tiempos de retención favorecen la remoción de muchos contaminantes, es preferible seleccionar en el diseño los parámetros que se asemejen al comportamiento real de la biojardinera para asegurar que el área del sistema es usada a su máximo potencial, además de que tal situación puede resultar costosa por el espacio y su construcción.

El valor promedio de carga orgánica obtenido fue de 4,33 g DBO²⁰₅ /m²día, valor ligeramente menor que la carga orgánica esperada (6,93 g DBO²⁰₅ /m²día). A pesar que la concentración de materia orgánica en el influente fue superior al valor teórico esperado, los bajos caudales que ingresan al sistema hacen que exista una baja carga orgánica.

VII.7. Hogares Encuestados

La encuesta realizada a cada uno de los hogares, se muestra en detalle en el Anexo F. En la tabla 11 se presentan las características generales de las biojardineras evaluadas mediante la entrevista. La tabulación de los resultados de las restantes preguntas se muestran en el Anexo F.

Tabla 11. Características de las biojardineras evaluadas.

No.	Ubicación	Usuarios	Aguas que trata	Periodo de funcionamiento
1	Punta Morales	4 Adultos	Cocina Ducha Lavamanos Pila Lavadora	5 años
2	Punta Morales	6 Adultos 1 Niño	Cocina Ducha Lavamanos Pila Lavadora	5 años
3	Punta Morales	2 Adultos	Cocina Ducha Lavamanos Pila Lavadora	3 años
4	Punta Morales	2 Adultos 2 Niños	Ducha Lavamanos Tanque Compostero	6 meses
5	Punta Morales	2 Adultos 2 Niños	Cocina Ducha Lavamanos Pila Lavadora	5 años
6	Punta Morales	1 Adulto 4 Niños	Cocina Tanque compostero	5 años

Fuente: Elaboración propia

Todas las biojardineras evaluadas, se encuentran en funcionamiento a excepción de una (No. 3). En el Anexo G se muestra el registro fotográfico de dichos sistemas.

Motivos de construcción del sistema

Según los encuestados, los principales motivos por los cuáles construyeron la biojardinera fueron la falta de tratamiento de las aguas grises y la economía por reuso de agua (67%). Dos de los encuestados (33%) mencionaron además que, al no haber un tratamiento de las aguas, se generaban criaderos de zancudos en sus patios, razón que los motivo a construir este sistema en sus hogares. Un encuestado (17%) mencionó ser motivado por un mayor bienestar ambiental.

Cinco de los encuestados (83%) manifestaron que representantes de ACEPESA les recomendaron la construcción del sistema. Un encuestado (17%) mencionó que la iniciativa de su construcción fue por recomendación de un vecino.

Reuso de Aguas

En la biojardinera, el agua tratada que sale de la biojardinera, el 67% (4 encuestados) manifestaron dar un reuso a las mismas, mientras que el 33% (2 encuestados) no lo hace. La razón de esta negativa fue, en un caso, la falta de un tanque recolector del agua tratada al final de la biojardinera, y en otro, el poco tiempo de operación del sistema (6 meses). El 100% de los que respondieron afirmativamente, manifestaron usar el agua para riego de plantas.

Problemas en las Biojardineras

Un encuestado (17%) manifestó no presentar ningún problema en la biojardinera, porque el sistema es de muy reciente construcción (6 meses). El resto de los entrevistados (83%) manifestaron haber presentado problemas con estos sistemas

El principal problema presentado en la biojardinera, según el 60% de los entrevistados, es el rebalse de agua por acumulación de sólidos en el tubo de entrada al sistema; incluso uno de los usuarios sufre el problema actualmente (Véase Figura 1, Anexo G).

Para solucionar el problema, un 20% (un encuestado) manifestó haber retirado el tubo de distribuidor (tubo con perforaciones) y dejado únicamente un tubo que permitiera el ingreso directo del agua. El otro 20% dijo haber destaqueado el tubo y el 20% restante, el cuál sufre el problema actualmente, mencionó que solucionaría el problema retirando la piedra, limpiándola y colocándola nuevamente, además del retiro de sólidos del tubo de entrada.

El problema mencionado por el 40% restante, fue el ingreso de barro a la biojardinera por escorrentía, favorecido por el desnivel del terreno. De este porcentaje, el 20% (1 encuestado), manifestó haber solucionado el problema colocando un muro para evitar el ingreso de barro. El 20% restante mencionó que retirará las piedras nuevamente para su limpieza y al igual que el anterior, construirá un muro para la protección al sistema.

Cabe mencionar que la razón por la cuál una biojardinera no se encuentra actualmente en funcionamiento, es la ruptura del tubo que conduce las aguas del hogar hacia los pretratamientos (Véase Figura 3, Anexo G). Los dueños del sistema se encuentran en espera del financiamiento para la reparación.

Actividades de Mantenimiento

La remoción de grasas flotantes y sólidos depositados en el fondo de las unidades de pretratamiento, es realizada por el 83% de los usuarios. El 17% (un entrevistado) manifestó no haber realizado esta actividad porque el sistema es de reciente construcción.

La remoción es realizada con un colador por el 80% de los entrevistados; el 20% lo realiza con un balde. La frecuencia fue variable en todos los casos: 8 días, 15 días, 3 meses, 6 meses y 1 año. El 60% de los encuestados, deposita el material en la superficie del terreno, el 40% hace una perforación en el suelo y entierra el material extraído.

En cuanto al corte o deshije de las plantas, el 67 % de los usuarios realiza esta actividad. El 33 % no lo efectúa porque no lo considera necesario, en un caso, y porque el sistema es de reciente construcción, en otro caso. Esta actividad es realizada cada dos meses por 25% de los

entrevistados (1 encuestado), cada año por el 50% (2 encuestados) y cada dos años por el otro 25%.

La inspección de la tubería de entrada para determinar la existencia de lodo o sólidos en la misma, es realizada por el 50% de los usuarios. La otra mitad de los encuestados no lo considera necesario (67%) y no lo realiza por la reciente construcción del sistema (33%). La frecuencia con que realizan esta actividad coincide con la remoción de grasas y sólidos flotantes en los pretratamientos.

Satisfacción de los usuarios

En general el 100% de los encuestados dicen estar satisfechos con el funcionamiento de la biojardineras.

VII.8. Actividades de mantenimiento en la biojardinera de ACEPESA

Durante el periodo de estudio se observó que en la biojardinera de ACEPESA, las actividades de mantenimiento, correspondientes a la remoción de sólidos y grasas en los pretratamientos se realizan semanalmente. Dicha actividad la ejecutan con la ayuda de un colador y el material extraído es enterrado en una zona del patio. Al finalizar la labor, el colador es enjuagado y guardado para su próxima utilización. En la figura 51 se ilustra el proceso descrito.



Fuente: Moncada, S

Figura 51. Remoción de sólidos y grasas en pretratamiento de biojardinera de ACEPESA

VIII. CONCLUSIONES

- A pesar de que en el diseño de la biojardinera se subestima la concentración influente de DBO^{20}_5 y coliformes fecales, el sistema remueve eficientemente estos contaminantes e incluso, en el caso de la DBO^{20}_5 , se supera el porcentaje de remoción esperado en el diseño.
- La biojardinera en estudio posee una alta capacidad para remover DQO, sólidos suspendidos y sedimentables; en especial para el fósforo total la capacidad es menor.
- La capacidad de remoción de grasas y aceites de la biojardinera es buena, sin embargo, este no es suficiente para satisfacer los límites máximos permisibles estipulados en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.
- Se deduce que existe en la biojardinera una ausencia o baja disponibilidad de oxígeno que limita el proceso de nitrificación para la remoción de nitrógeno total, disminuyendo su eficiencia o capacidad de eliminación del contaminante.
- El caudal de entrada a la biojardinera fue sobreestimado en el diseño, por lo que el tiempo de retención hidráulica real es mucho mayor que el esperado. La biojardinera se encuentra sobredimensionada.
- Las bajas cargas hidráulicas del sistema, son un factor influyente en la disminución de las constantes de degradación de primer orden calculadas, razón por la que las constantes del estudio son menores que las de el proyecto ASTEC.
- No existe una relación directa entre los valores de las constantes de degradación y la eficiencia de remoción, pues se obtienen rendimientos similares y/o superiores a los del proyecto ASTEC para la mayoría de los parámetros, a pesar de que las constantes de degradación obtenidas en el estudio son menores a las del Biofiltro Masaya.

- La baja frecuencia con que se realiza la remoción de grasas y sólidos en los pretratamientos y tubo de entrada a las biojardineras, es la principal causa de la mayoría de los usuarios sufran problemas de colmatación del sistema.
- La mayoría de los hogares de la comunidad de Punta Morales que cuentan con biojardineras, no realizan las actividades de mantenimiento a la frecuencia recomendada, a pesar de ser informados al inicio de la construcción de los sistemas.
- En la biojardinera de ACEPESA se da un mantenimiento adecuado a los pretratamientos.

IX. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio para determinar la concentración de oxígeno disuelto en la biojardinera, con el fin de verificar la existencia de condiciones anaerobias que se considera limitan la remoción de nitrógeno total en el sistema.
- Analizar la eficiencia de las plantas en la transferencia de oxígeno a la biojardinera.
- Colocar una chimenea en el centro de la biojardinera que permita una mayor transferencia de oxígeno hacia el interior del sistema y favorecer los procesos aeróbicos dentro de este.
- Realizar un perfil de grasas dentro de la biojardinera para conocer el nivel de las mismas dentro del sistema y comprobar si esta es la causa de que no exista una mayor remoción de este contaminante.
- Limpiar y/o sustituir la piedra de la biojardinera con el fin de mejorar su eficiencia al remover excesos vegetales o grasa acumulada, que puedan estar afectando el rendimiento del sistema.
- Remover las plantas que se encuentran en los extremos de la biojardinera para evitar la obstrucción por raíces en las tuberías y proporcionar a las mismas mayor espacio para su crecimiento.
- Analizar la eficiencia de los pretratamientos para la remoción de grasas y aceites y colocar una unidad adicional o sustituir uno de los pretratamientos por uno de mayor tamaño para disminuir la carga de este parámetro al ingreso de la biojardinera.
- Realizar un análisis de nematodos intestinales en el agua efluente de la biojardinera para asegurar la inocuidad del agua para el reuso.

- Definir el coeficiente de carga hidráulica según la región en donde se este, ya que el dato usado en el diseño es tomado de experiencias de otros países.
- Verificar antes de realizar el diseño, el caudal a tratar en el sistema para evitar sobredimensionamientos.
- Realizar la determinación de las constantes de degradación en biojardineras que se encuentren en funcionamiento y bajo condiciones climáticas distintas a las estudiadas, con el fin de comparar su comportamiento y contar con una base de datos más amplia para definir las constantes de diseño bajo condiciones costarricenses.
- Realizar un amplio estudio de caracterización de aguas que se traten en biojardineras ya instaladas, con el fin de definir en el diseño concentraciones de entrada de DBO y coliformes fecales más precisas y características de este tipo de aguas en Costa Rica. Se recomienda también evaluar la eficiencia de tratamiento de estos sistemas, en las diferentes áreas del país en donde se encuentren funcionando.
- Dado a que la biojardinera en estudio se encuentra sobredimensionada, se pueden conectar otras aguas grises de las oficinas, como las provenientes del lavamanos. Lo anterior con el fin de darle un máximo aprovechamiento al sistema.
- Incentivar a los usuarios de las biojardineras a realizar adecuadamente las actividades de mantenimiento mediante charlas periódicas de refrescamiento, además de un seguimiento constante de su funcionamiento.

X. REFERENCIAS

- ACEPESA. 2007. Saneamiento sostenible en la comunidad de Punta Morales. Puntarenas, Costa Rica.
- Allen, E. 2006. Water treatment technologies for oil sands mining (en línea). s.I. Consultado 20 feb. 2011. Disponible en: <http://www.infomine.com/publications/docs/Manlagnit2009.pdf>.
- Arrieta, M. 2009. Evaluación de la capacidad de un humedal artificial como sistema de tratamiento de aguas, para reducir el vertido de agua residual. Tesis Lic. Ing. Civil. San José, Costa Rica, UCR. 144 p.
- Canna X generalis. 2003. (en línea). Consultado 3 enero. 2011. Disponible en www.floridata.com/ref/c/cann_xge.cfm.
- Costus speciosus. 2004. (en línea). Consultado 3 enero. 2011. Disponible www.floridata.com/ref/c/cost_spe.cfm.
- Cyperus involucratus. 2003. (en línea). Consultado 3 enero. 2011. Disponible en www.floridata.com/ref/c/cypa_inv.cfm.
- Di Lucca, S. 2009. Evaluación de un humedal artificial como sistema de tratamiento complementario de aguas residuales domésticas para la zona de Tortuguero. Tesis Lic. Ing. Civil. San José, Costa Rica, UCR. 128 p.
- Friedler, E. 2004. Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. *Environmental Technology*.25:997-1008.

- García, J; Morató, J; Bayona, J. 2004. Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos: una alternativa de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales. Barcelona, España, CPET. 100 p.
- Gómez, M. 2010. Elementos de estadística descriptiva. EUNED. San José, Costa Rica. 543 p.
- *Heliconia psittacorum*. (en línea). Consultado 3 enero. 2011. Disponible en plantencyclo.free.fr/sp/nmauric_heliconia_psittacorum_gg.html.
- *Heliconia wagneriana*. (en línea). Consultado 3 enero. 2011. Disponible en plantencyclo.free.fr/sp/nmauric_heliconia_wagneriana_gg.html.
- Jamieson, R; Gordon, R; Wheeler, N; Smith, E; Stratton, G; Madani, A. 2007. Determination of first order rate constants for wetlands treating livestock wastewater in cold climates (en línea). *J. Environ.Eng.Sci.* 6:65-72. Canadá. Consultado 7 agost. 2011. Disponible en: <http://article.pubs.nrc-cnrc.gc.ca/ppv/RPViewDoc?issn=1496-256X&volume=6&issue=1&startPage=65>.
- Ling, TY; Apun, K; Zainuddin, SR. 2009. Performance of a Pilot-Scale Biofilters and Constructed Wetland with Ornamental Plants in Greywater Treatment (en línea). *World Applied Sciences Journal.* 6 (11): 1555-1562. Consultado 20 feb. 2011. Disponible en: [http://www.idosi.org/wasj/wasj6\(11\)/16.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj6(11)/16.pdf)
- Marín, J; López, A; Behling, E; Rincón, N; Díaz, A; Fernández, N. 2007. Humedales construidos para el tratamiento de drenajes de una mina carbonífera (en línea). *Ciencia.* 15(1). Venezuela. Consultado 20 feb. 2011. Disponible en: http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S131520762007000100004&lng=es&nrm=iso.

-
- Martínez, L. Estudio de la Evolución de una ETAP para la adecuación legislativa (en línea). Universidad Politécnica de Cataluña. España. Consultado 20 feb. 2011. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10383/3/Annex.pdf>
 - MINAE. 2007. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. La Gaceta 55. Costa Rica.
 - Ochoa, M. 2007. Estudio preliminar de caracterización y cuantificación de las aguas grises en una residencia de Bogotá. Tesis. Ing. Amb. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes. 33 p.
 - Pflaiderer, R. 2005. Greywater buyers' guide (en línea). s.I. Consultado 15 ene. 2011. Disponible en: <http://www.ata.org.au>.
 - Platzer, M; Cáceres, V, Fong, N. 2002. Investigaciones y experiencias con biofiltros en Nicaragua, Centro América (en línea). Nicaragua. Consultado 5 agost. 2011. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaidis/mexico26/ii-109.pdf>.
 - Proyecto ASTEC. 2004. Aplicación de la tecnología de biofiltros como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales domesticas en países de clima tropical. Documento de curso impartido en auditorio AyA, Costa Rica. UNI-Nicaragua-Cooperación austriaca SUCHER & HOLZER. 29 p.
 - Quipuzco, L. 2002. Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con Phragmites australis para el tratamiento de aguas residuales domésticas (en línea). Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. 5 (10): 52-57. Lima, Perú. Consultado 7 agost. 2011. Disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe>
 - Rosales, E. 2005. Ecosaneamiento. Tecnología en Marcha. 18 (2): 15-25.

-
- Rosales, E. 2006. Documento para fundamentar utilización de bio-jardineras para el tratamiento de aguas grises: diseño de unidades para el tratamiento alternativo de aguas residuales ordinarias en una vivienda. Costa Rica. 10 p.
 - Sánchez, JM. 2004. Las especies del género *Canna* cultivadas en España. (en línea). Consultado 3 enero. 2011. Disponible en www.arbolesornamentales.es/Canna.htm.
 - Schneider, L. 2009. Greywater reuse in washington state. Departamento de Salud del Estado Washington. USA.16 p.
 - Sierra, J. 2006. Tratamiento y Reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales. Tesis M.A.Ing.Civil. Bogotá, Colombia, Universidad de loa Andes. 63 p.
 - Solórzano, Y. 2008. Evaluación de un humedal artificial como sistema complementario de tratamiento y drenaje en suelos con baja capacidad de infiltración. Tesis Lic. Ing. Civil. San José, Costa Rica, UCR. 240 p.
 - Travis, M; Weisbrod, M; Gross, A. 2008. Accumulation of oil and grease in soils irrigated with greywater and their potential role in soil water repellency. ScienceDirect feb.2008:68-74.
 - Whistler, WA. 2000. Tropical Ornamentals. Portland, USA, S.e. 247 p.

ANEXO A. Plan de Muestreo

Tabla 1. Cálculo del número de muestras según Regla de Aproximación

Caudal Promedio Diario (L/día)	75
Criterio de Aproximación (%)	10
Caudal a Muestrear (L)	$75 * 0,1 = 7,5$
Tamaño de la muestra (L)	3
Número de muestras (n)	$7,5 / 3 = 2,5 \approx 3$ muestras

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Nota: Se decide realizar un total de 12 muestreos

Cálculo para definir hora de recolección

- Horas de Muestreo: 8 h
- Número de submuestras (n_x): 3
- Estrato (h): $8 \text{ h} / 3 = 2,67$
- Estrato (min): $2,67 \text{ h} * (60 \text{ min} / 1 \text{ h}) \approx 160$
- Números Aleatorios (generados en Excel): 1,469003, 1,15845404.

Fórmula: $n_x = \text{hora} + (\text{número aleatorio} * 160 \text{min})$

- Submuestra #1 (n_1): 8:10 a.m.
- Submuestra #2 (n_2):
 $n_2 = 8:10 \text{ a.m.} + (1,469003 * 160 \text{ min}) = 12:05 \text{ p.m.}$
- Submuestra #3 (n_3):
 $n_3 = 12:05 \text{ p.m.} + (1,15845404 * 160 \text{ min}) = 3:11 \text{ p.m.}$

ANEXO B: Mediciones de Caudal

Tabla 1. Análisis Individual de mediciones de caudal afluente día Martes

Fecha	Hora de Inicio	Hora Final	Tiempo (min)	Volumen (L)	Caudal (L/min)	Caudal (L/h)	Caudal promedio (L/día)
14 de Setiembre	08:00	08:44	44	8	0,181818182	10,90909091	50,625
	09:36	10:00	24	7	0,291666667	17,5	
	11:30	01:55	145	24,5	0,168965517	10,13793103	
	03:00	04:00	60	5,5	0,091666667	5,5	
TOTAL				45	0,09375	5,625	
21 de Setiembre	08:25	09:00	35	10	0,285714286	17,14285714	72,03956044
	09:45	10:45	60	6	0,1	6	
	11:50	01:10	80	23,5	0,29375	17,625	
	02:00	04:00	120	21,2	0,176666667	10,6	
TOTAL				60,7	0,133406593	8,004395604	
05 de Octubre	08:45	09:00	15	6	0,4	24	73,86206897
	09:20	10:25	65	6,5	0,1	6	
	12:00	12:45	45	28	0,622222222	37,33333333	
	02:15	04:00	105	19	0,180952381	10,85714286	
TOTAL				59,5	0,1367816093	8,206896552	
19 de Octubre	08:00	08:30	30	23	0,766666667	46	115,3125
	09:00	10:47	47	11,5	0,244680851	14,68085106	
	11:40	12:55	75	43	0,573333333	34,4	
	02:05	04:00	115	25	0,217391304	13,04347826	
TOTAL				102,5	0,213541667	12,8125	
CAUDAL PROMEDIO DIARIO							77,95978235

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Tabla 2. Análisis Individual de mediciones de caudal afluente día Miércoles

Fecha	Hora de Inicio	Hora Final	Tiempo (min)	Volumen (L)	Caudal (L/min)	Caudal (L/h)	Caudal promedio (L/día)
22 de Setiembre	08:10	08:50	40	12	0,3	18	95,93617021
	09:20	09:30	10	2	0,2	12	
	10:25	10:35	10	9	0,9	54	
	11:30	01:00	90	15	0,166666667	10	
	02:00	04:00	120	45,5	0,379166667	22,75	
TOTAL				83,5	0,177659574	10,65957447	
29 de Setiembre	08:30	09:00	30	15,5	0,516666667	31	73,56
	09:30	10:30	60	3	0,05	3	
	12:30	01:20	50	17	0,34	20,4	
	01:30	01:45	15	7	0,466666667	28	
	02:30	04:00	90	18,8	0,208888889	12,53333333	
TOTAL				61,3	0,136222222	8,173333333	
13 de Octubre	08:05	09:00	55	14,8	0,269090909	16,14545455	123,6884211
	09:50	11:05	75	13,5	0,18	10,8	
	12:05	01:10	65	20	0,307692308	18,46153846	
	02:00	04:00	120	60,5	0,504166667	30,25	
TOTAL				108,8	0,229052632	13,74315789	
20 de Octubre	08:00	09:25	30	85	0,258823529	15,52941176	100,6875
	10:17	11:00	47	43	0,255813953	15,34883721	
	11:40	01:00	75	80	0,425	25,5	
	02:10	04:00	115	110	0,204545455	12,27272727	
TOTAL				89,5	0,186458333	11,1875	
CAUDAL PROMEDIO DIARIO							98,46802282

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Tabla 3. Análisis Individual de mediciones de caudal afluente día Jueves

Fecha	Hora de Inicio	Hora Final	Tiempo (min)	Volumen (L)	Caudal (L/min)	Caudal (L/h)	Caudal promedio (L/día)
16 de Setiembre	08:00	08:55	55	10	0,181818182	10,90909091	105,975
	09:07	09:32	25	27	1,08	64,8	
	12:10	12:53	43	27,2	0,63255814	37,95348837	
	02:00	02:16	16	14	0,875	52,5	
	02:59	04:00	61	16	0,262295082	15,73770492	
TOTAL				94,2	0,19625	11,775	
30 de Setiembre	08:00	08:30	30	30	1	60	155,25
	10:10	11:30	80	34	0,425	25,5	
	12:30	01:20	50	40	0,8	48	
	02:00	04:00	120	34	0,283333333	17	
TOTAL				138	0,2875	17,25	
07 de Octubre	08:10	09:00	50	8	0,16	9,6	64,34042553
	10:05	10:45	40	4	0,1	6	
	12:00	01:45	105	31,5	0,3	18	
	02:10	04:00	110	12,5	0,113636364	6,818181818	
TOTAL				56	0,119148936	7,14893617	
14 de Octubre	08:05	08:45	40	6	0,15	9	46,61052632
	09:55	10:50	55	10	0,181818182	10,90909091	
	11:45	12:45	60	18	0,3	18	
	02:25	04:00	95	7	0,073684211	4,421052632	
TOTAL				41	0,086315789	5,178947368	
CAUDAL PROMEDIO DIARIO							93,04398796

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Tabla 4. Caudal Promedio Diario Afluente

Día	Caudal Diario
Martes	77,95978235
Miércoles	98,46802282
Jueves	93,04398796
Promedio	89,82393104

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Tabla 5. Análisis individual de caudal efluente y promedio para cada día

Día	Fecha	Hora Inicial	Hora Final	Tiempo (min)	Lectura Inicial	Lectura Final	Volumen (L)	Caudal (L/min)	Caudal (L/h)	Caudal (L/día)	Caudal Promedio (L/día)
Martes	14 Set	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4,5	39	62,42972921	0,130061936	7,803716152	70,23344536	62,090437
	21 Set	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4	28	43,42937684	0,090477868	5,428672105	48,85804895	
	5 Oct	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4,5	25	37,09592605	0,077283179	4,636990757	41,73291681	
	19 Oct	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4	47	77,81096684	0,162106181	9,726370856	87,5373377	
Miércoles	22 Set	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4	55	92,28742579	0,19226547	11,53592822	103,823354	87,282869
	29 Set	8:00 a.m	4:00 p.m	480	6	47	74,19185211	0,154566359	9,273981513	83,46583362	
	13 Oct	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4,5	47	76,90618816	0,160221225	9,61327352	86,51946168	
	20 Oct	8:00 a.m	4:00 p.m	480	5	42	66,95362263	0,139486714	8,369202829	75,32282546	
Jueves	16 Set	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4	47	77,81096684	0,162106181	9,726370856	87,5373377	57,001057
	30 Set	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4	47	77,81096684	0,162106181	9,726370856	87,5373377	
	07 Oct	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4	20	28,9529179	0,060318579	3,619114737	32,57203263	
	14 Oct	8:00 a.m	4:00 p.m	480	4	14	18,09557368	0,037699112	2,261946711	20,3575204	

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

ANEXO C. Resultados de los análisis físicos químicos y microbiológicos

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	14-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	16-09-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	15-11-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	590910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(419 ± 26)	(45,0 ± 7,0)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(154 ± 16)	(14,0 ± 2,0)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(99,0 ± 7,0)	(6,0 ± 3,4)	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	(0,80 ± 0,05)	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(111,5 ± 2,0)	(13,5 ± 1,4)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	6,1	7,0	
Temperatura (± 0,1°C) *	22,0	22,5	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	16-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	17-09-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	08-10-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	630910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS		RESULTADOS	
		01	02
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *		(429 ± 26)	(30,0 ± 7,0)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *		(198,0 ± 8,2)	(11,0 ± 2,0)
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *		(48,0 ± 7,0)	ND
Sólidos Sedimentables (ml/L) *		(0,10 ± 0,05)	ND
Grasas y Aceites (mg/L) *		(42,0 ± 1,5)	(21,0 ± 1,4)
pH (unidades de pH) (± 0,01) *		5,95	7,0
Temperatura (± 0,1°C) *		23,1	22,6
-----Última línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	22-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	24-09-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	11-10-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	940910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS		RESULTADOS	
		01	02
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *		(382 ± 24)	(39,2 ± 7,0)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *		(194,0 ± 8,2)	(12,2 ± 1,0)
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *		(56,0 ± 7,0)	ND
Sólidos Sedimentables (ml/L) *		(0,10 ± 0,05)	ND
Grasas y Aceites (mg/L) *		(34,1 ± 1,4)	(28,5 ± 1,4)
pH (unidades de pH) (± 0,01) *		5,66	6,74
Temperatura (± 0,1°C) *		21,43	21,13
-----Última línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	22-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	24-09-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	11-10-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	960910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(470 ± 29)	(39,2 ± 7,0)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(230,0 ± 8,2)	(18,2 ± 1,0)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(123,0 ± 7,0)	ND	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	(0,10 ± 0,05)	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(115,5 ± 2,2)	(28,0 ± 1,4)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	5,66	6,74	
Temperatura (± 0,1°C) *	21,43	21,13	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	29-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	30-09-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	26-10-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	1280910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(419 ± 26)	(96,0 ± 8,0)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(261,3 ± 8,2)	(14,0 ± 1,0)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(71,0 ± 3,4)	ND	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	ND	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(33,0 ± 1,5)	(96,2 ± 1,5)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	5,14	6,71	
Temperatura (± 0,1°C) *	22,17	21,63	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	30-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	30-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	27-10-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	1360910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(519 ± 32)	(40,0 ± 7,0)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(311,3 ± 8,2)	(17,3 ± 1,0)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(59,0 ± 3,4)	ND	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	ND	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(42,0 ± 1,5)	(14,0 ± 1,4)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	5,14	6,71	
Temperatura (± 0,1°C) *	24,1	21,63	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	06-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	06-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	26-10-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	121010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(449 ± 27)	(96,0 ± 8,0)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(152,0 ± 8,3)	(26,0 ± 1,0)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(36,0 ± 3,4)	ND	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	ND	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(48,5 ± 2,0)	(31,2 ± 1,5)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	5,32	6,86	
Temperatura (± 0,1°C) *	22,93	22,77	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	08-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	08-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	26-10-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	251010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(390 ± 24)	(80,0 ± 8,0)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(219,0 ± 8,2)	(27,4 ± 1,0)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(37,5 ± 3,4)	ND	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	ND	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(55,1 ± 2,0)	(42,2 ± 1,5)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	5,36	6,82	
Temperatura (± 0,1°C) *	24,1	23,3	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

**CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)**

**☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
Email: ceqiatec@itcr.ac.cr**

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	14-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	14-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	27-10-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	581010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(589 ± 36)	(140,0 ± 11)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(274,0 ± 8,2)	(15,2 ± 2,0)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(46,0 ± 3,4)	(38,0 ± 7,0)	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	ND	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(44,0 ± 1,5)	(32,0 ± 1,4)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	5,10	6,75	
Temperatura (± 0,1°C) *	21,4	22,4	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	15-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	15-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	15-11-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	631010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(480 ± 30)	(59,9 ± 7,3)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(305,3 ± 8,2)	(20,40 ± 0,82)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(50,0 ± 7,0)	(7,0 ± 3,4)	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	ND	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(129,4 ± 2,2)	(27,6 ± 1,4)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	5,10	6,75	
Temperatura (± 0,1°C) *	21,4	22,3	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	20-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	20-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	19-11-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	741010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(409 ± 25)	(39,9 ± 6,8)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(274,0 ± 8,2)	(15,2 ± 2,0)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(55,5 ± 3,4)	(11,5 ± 3,4)	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	ND	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(197,2 ± 2,4)	(69,2 ± 1,7)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	5,33	6,74	
Temperatura (± 0,1°C) *	22,6	22,9	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	21-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	22-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	19-11-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	781010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(372 ± 23)	(39,2 ± 6,6)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(225,1 ± 8,2)	(26,40 ± 0,82)	
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(44,0 ± 7,0)	(12,0 ± 3,4)	
Sólidos Sedimentables (ml/L) *	ND	ND	
Grasas y Aceites (mg/L) *	(117,2 ± 2,3)	(88,2 ± 1,9)	
pH (unidades de pH) (± 0,01) *	5,35	6,6	
Temperatura (± 0,1°C) *	23,07	23,37	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, PT-QUI-01-05, PT-QUI-01-06, basados en la 21th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2005.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado.

**FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
(CEQIATEC)**

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago

e-mail ceqiatec@itcr.ac.cr

ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL
ENSAYOS ACREDITADOS*

PROCEDENCIA: ACEPESA (ZAPOTE SAN JOSE)		
	FECHA DE RECIBO:	16-09-10
	FECHA INICIO ANALISIS:	17-09-10
	FECHA DE INFORME:	29-09-10
OBJETIVO DEL ANALISIS: CONTROL	<input checked="" type="checkbox"/>	EVALUACION <input type="checkbox"/>
N° DE INFORME: 630910		
NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES FECALES NMP/100 mL (*)
1	Entrada al sistema de tratamiento	4,6 x 10 ⁴
2	Salida del sistema de tratamiento	4,3 x 10 ¹
<i>ULTIMA LINEA</i>		

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente.

**FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
(CEQIATEC)**

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago

e-mail ceqiatec@itcr.ac.cr

ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL
ENSAYOS ACREDITADOS*

PROCEDENCIA: ACEPESA (ZAPOTE SAN JOSE)		
	FECHA DE RECIBO:	22-09-10
	FECHA INICIO ANALISIS:	23-09-10
	FECHA DE INFORME <input type="text"/>	04-10-10
OBJETIVO DEL ANALISIS: CONTROL ✓ EVALUACION		
N° DE INFORME: 630910		
NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES FECALES NMP/100 mL (*)
1	Entrada al sistema de tratamiento	4,3 x 10 ¹
2	Salida del sistema de tratamiento	2,3 x 10 ¹
<i>ULTIMA LINEA</i>		

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente.

**FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
(CEQIATEC)**

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago

e-mail ceqiatec@itcr.ac.cr

ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL
ENSAYOS ACREDITADOS*

PROCEDENCIA: ACEPESA (ZAPOTE SAN JOSE)		
FECHA DE RECIBO:		22-09-10
FECHA INICIO ANALISIS:		23-09-10
FECHA DE INFORME:		04-10-10
OBJETIVO DEL ANALISIS: CONTROL	<input checked="" type="checkbox"/>	EVALUACION <input type="checkbox"/>
N° DE INFORME: 630910		
NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES FECALES NMP/100 mL (*)
1	Entrada al sistema de tratamiento	$4,6 \times 10^2$
2	Salida del sistema de tratamiento	$4,3 \times 10^1$
<i>ULTIMA LINEA</i>		

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente.

**FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
(CEQIATEC)**

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago

e-mail ceqiatec@itcr.ac.cr

ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL

ENSAYOS ACREDITADOS*

PROCEDENCIA: ACEPESA (ZAPOTE SAN JOSE)		
		FECHA DE RECIBO: 30-09-10
		FECHA INICIO ANALISIS: 01-10-10
		FECHA DE INFORME: 08-10-10
OBJETIVO DEL ANALISIS: CONTROL	<input checked="" type="checkbox"/>	EVALUACION <input type="checkbox"/>
N° DE INFORME: 630910		
NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES FECALES NMP/100 mL (*)
1	Entrada al sistema de tratamiento	9,3 x 10 ¹
2	Salida del sistema de tratamiento	4,3 x 10 ¹
<i>ULTIMA LINEA</i>		

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente.

**FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
(CEQIATEC)**

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago

e-mail ceqiatec@itcr.ac.cr

ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL

ENSAYOS ACREDITADOS*

PROCEDENCIA: ACEPESA (ZAPOTE SAN JOSE)		
	FECHA DE RECIBO:	06-10-10
	FECHA INICIO ANALISIS:	06-10-10
	FECHA DE INFORME:	20-10-10
OBJETIVO DEL ANALISIS: CONTROL	<input checked="" type="checkbox"/>	EVALUACION <input type="checkbox"/>
N° DE INFORME: 630910		
NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES FECALES NMP/100 mL (*)
1	Entrada al sistema de tratamiento	1,1 x 10 ⁵
2	Salida del sistema de tratamiento	9,3 x 10 ¹
3	Blanco viajero	<3,0
<i>ULTIMA LINEA</i>		

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente.

**FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
(CEQIATEC)**

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago

e-mail ceqiatec@itcr.ac.cr

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL
ENSAYOS ACREDITADOS***

PROCEDENCIA: ACEPESA (ZAPOTE SAN JOSE)		
FECHA DE RECIBO:		08-10-10
FECHA INICIO ANALISIS:		08-10-10
FECHA DE INFORME:		20-10-10
OBJETIVO DEL ANALISIS: CONTROL	<input checked="" type="checkbox"/>	EVALUACION <input type="checkbox"/>
N° DE INFORME: 630910		
NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES FECALES NMP/100 mL (*)
1	Entrada al sistema de tratamiento	$4,6 \times 10^4$
2	Salida del sistema de tratamiento	$4,6 \times 10^2$
<i>ULTIMA LINEA</i>		

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente.

**FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
(CEQIATEC)**

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago

e-mail ceqiatec@itcr.ac.cr

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL
ENSAYOS ACREDITADOS***

PROCEDENCIA: ACEPESA (ZAPOTE SAN JOSE)		
FECHA DE RECIBO:		21-10-10
FECHA INICIO ANALISIS:		21-10-10
FECHA DE INFORME:		27-10-10
OBJETIVO DEL ANALISIS: CONTROL	<input checked="" type="checkbox"/>	EVALUACION <input type="checkbox"/>
N° DE INFORME: 630910		
NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES FECALES NMP/100 mL (*)
1	Entrada al sistema de tratamiento	$4,6 \times 10^3$
2	Salida del sistema de tratamiento	$9,3 \times 10^1$
<i>ULTIMA LINEA</i>		

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	14-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	28-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	590910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(2,8 ± 0,5)	(4,9± 0,5)	
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **	(4,1 ± 0,5)	ND	
Fósforo (mg/L) **	(4,6 ± 0,3)	(3,7 ± 0,3)	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sist

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

**CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)**

**☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
Email: ceqiatec@itcr.ac.cr**

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA RESIDUAL	FECHA DE RECIBO:	16-09-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA INICIO ANÁLISIS	28-09-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
		N° DE INFORME:	630910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANALISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(8,4 ± 0,5)	(11,2± 0,5)	
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **	(0,7 ± 0,5)	ND	
Fósforo (mg/L) **	(4,6 ± 0,3)	(3,7 ± 0,3)	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	22-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	28-09-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	940910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS		RESULTADOS	
		01	02
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **		(8,1 ± 0,5)	(12,7 ± 0,5)
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **		ND	ND
Fósforo (mg/L) **		(2,8 ± 0,3)	(3,1 ± 0,3)
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	22-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	29-09-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	960910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(6,7 ± 0,5)	(10,9 ± 0,5)	
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **	ND	(2,1 ± 0,5)	
Fósforo (mg/L) **	(2,5 ± 0,3)	(1,8 ± 0,3)	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	29-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	29-09-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	1280910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS		RESULTADOS	
		01	02
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **		(1,1 ± 0,5)	(6,0 ± 0,5)
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **		ND	ND
Fósforo (mg/L) **		(3,7 ± 0,9)	(2,1 ± 0,9)
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	30-09-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	11-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	1360910
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS		RESULTADOS	
		01	02
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **		(0,7 ± 0,5)	(0,7 ± 0,5)
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **		(1,4 ± 0,5)	(2,4 ± 0,5)
Fósforo (mg/L) **		(2,8 ± 0,9)	(1,8 ± 0,9)
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	06-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	11-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	121010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(7,4 ± 0,5)	(3,5 ± 0,5)	
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **	ND	ND	
Fósforo (mg/L) **	(2,5 ± 0,9)	(1,8 ± 0,9)	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	08-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	11-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	251010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS		RESULTADOS	
		01	02
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **		(1,8 ± 0,5)	(3,5 ± 0,5)
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **		ND	ND
Fósforo (mg/L) **		(2,1 ± 0,9)	(1,2 ± 0,9)
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	14-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	21-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	581010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS		RESULTADOS	
		01	02
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **		(4,9 ± 0,5)	(2,1 ± 0,5)
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **		ND	(5,8 ± 0,5)
Fósforo (mg/L) **		(4,0 ± 0,3)	(1,8 ± 0,3)
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

**CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)**

**☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
Email: ceqiatec@itcr.ac.cr**

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA RESIDUAL	FECHA DE RECIBO:	15-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA INICIO ANÁLISIS	21-10-10
PROCEDENCIA:	ACEPESA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
		Nº DE INFORME:	631010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANALISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(2,8 ± 1,0)	(6,3± 1,0)	
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **	ND	ND	
Fósforo (mg/L) **	(3,1± 0,3)	(2,5± 0,3)	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	20-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	20-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	Nº DE INFORME:	741010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS		RESULTADOS	
		01	02
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **		(2,1 ± 1,0)	(4,2 ± 1,0)
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **		ND	ND
Fósforo (mg/L) **		(4,6± 0,3)	(3,7± 0,3)
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)

☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
 Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA	FECHA DE RECIBO:	21-10-10
RESIDUAL		FECHA INICIO ANÁLISIS	21-10-10
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA DE INFORME:	06-05-11
PROCEDENCIA:	ACEPESA	N° DE INFORME:	781010
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(1,1 ± 0,5)	(4,2 ± 0,5)	
Nitrógeno Orgánico (mg/L) **	ND	ND	
Fósforo (mg/L) **	(5,2 ± 0,3)	(3,1 ± 0,3)	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21th ed. 2005. APHA-AWWA-WEF. Métodos 4500 PC y 4500-N

(*) Ensayo acreditado por resolución del Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) Ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES

Muestra 01: Agua residual tomada a la entrada del sistema.

Muestra 02: Agua residual tomada a la salida del sistema.

ANEXO D. Constantes de Degradación**Tabla 1.** Constantes de degradación por parámetro para cada campaña de muestreo

Parámetro	Fecha	K (m/día)	K (m/año)	Promedio k (m/año)
DBO	14 Set	0,02427869	8,861721718	17,22513197
	16 Set	0,061261429	22,36042173	
	21 Set	0,039858368	14,54830431	
	22 Set	0,048671445	17,76507752	
	29 Set	0,043056313	15,7155544	
	30 Set	0,08973607	32,75366569	
	5 Oct	0,026084892	9,520985457	
	7 Oct	0,026746684	9,762539813	
	13 Oct	0,071537244	26,11109391	
	14 Oct	0,02522338	9,206533527	
	19 Oct	0,066692891	24,34290527	
	20 Oct	0,043158302	15,75278027	
DQO	14 Set	0,022590985	8,245709655	13,92491715
	16 Set	0,056384201	20,58023333	
	21 Set	0,032803125	11,97314077	
	22 Set	0,047662163	17,39668944	
	29 Set	0,021678466	7,912640229	
	30 Set	0,079581909	29,04739661	
	5 Oct	0,022789029	8,317995571	
	7 Oct	0,020384592	7,440376198	
	13 Oct	0,035542703	12,97308658	
	14 Oct	0,019400323	7,081117802	
	19 Oct	0,053674252	19,59110191	
	20 Oct	0,045313747	16,53951766	

Continuación Tabla 1.

Parámetro	Fecha	K (m/día)	K (m/año)	Promedio k (m/año)
NT	14 Set	0,003465648	1,264961462	-4,413773268
	16 Set	-0,004400916	-1,606334463	
	21 Set	-0,006479785	-2,365121373	
	22 Set	-0,012718101	-4,642106991	
	29 Set	-0,012465446	-4,549887835	
	30 Set	-0,05267475	-19,22628391	
	5 Oct	0,011060358	4,037030599	
	7 Oct	-0,008556972	-3,123294659	
	13 Oct	-0,0118154	-4,312620858	
	14 Oct	-0,007559577	-2,759245545	
	19 Oct	-0,015985707	-5,834783001	
	20 Oct	-0,026979706	-9,847592647	
PT	14 Set	0,002695963	0,824654887	2,499687595
	16 Set	0,005735105	1,726277563	
	21 Set	-0,001806574	-0,554079142	
	22 Set	0,004757642	2,014735488	
	29 Set	0,005247402	2,177298975	
	30 Set	0,017837321	6,108582092	
	5 Oct	0,005592719	1,551161895	
	7 Oct	0,006176088	2,628432009	
	13 Oct	0,018809445	6,981328461	
	14 Oct	0,002809303	0,759261201	
	19 Oct	0,005158545	1,878380576	
	20 Oct	0,010808789	3,900217138	

Continuación Tabla 1.

Parámetro	Fecha	K (m/día)	K (m/año)	Promedio k (m/año)
CF	16 Set	0,147839291	53,96134125	24,43545756
	21 Set	0,009015116	3,290517193	
	22 Set	0,045474251	16,59810151	
	30 Set	0,023951951	8,742461995	
	5 Oct	0,104524225	38,15134215	
	7 Set	0,059259722	21,62979849	
	20 Oct	0,078560658	28,67464033	

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

ANEXO E. Datos Meteorológicos

Aranjuez

Estación: 141, Aranjuez

Cantón: San José

Ubicación: 09°56 N; 84°05 O; 1172m

Tipo: Automática

Cantidad: 15 AÑOS

Fecha final: 31/12/2010

Mes	Temperatura media ° C		Precipitación total media (mm)	Promedio de días con lluvia
	Haga click para temperaturas en °F			
	Mínimo	Máximo		
Ene	16,4	22,9	12,2	6
Feb	16,6	23,6	16,5	4
Mar	16,9	24,7	12,2	4
Abr	17,5	25,4	51,0	9
May	18,1	26,0	248,5	21
Jun	18,0	26,1	245,0	21
Jul	18,0	25,4	192,8	22
Ago	17,9	25,7	234,4	23
Set	17,6	26,2	319,1	24
Oct	17,6	25,4	279,4	25
Nov	17,3	24,0	147,8	18
Dic	16,8	23,1	31,8	9

Fuente: IMN, 2011

R_TEMPERA_DIA
INFORMA

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
Sistema de Estaciones Meteorológicas Automáticas
TEMPERATURAS EXTREMAS DIARIAS (°C)

Pag. 1 de 2
12/01/2011
10:22 AM

CUENCA:	84 Rio Grande de Tarcoles	Lat: 09°56' N
ESTACION:	141 IMN, ARANJUEZ	Long: 84°05' O
DEL:	01/09/2010	AL: 31/10/2010
		Alt: 1172 m

Fecha	Temperatura Máxima	Fecha Temp. Máxima	Hora	Temperatura Minima	Fecha Temp. Minima	Hora	Temperatura del Suelo
01/09/2010	27.7	01/09/2010	12:34	16.7	01/09/2010	3:00	-9.0
02/09/2010	27.8	02/09/2010	9:28	17.8	02/09/2010	2:16	-9.0
03/09/2010	24.7	03/09/2010	10:22	17.9	03/09/2010	17:51	-9.0
04/09/2010	24.3	04/09/2010	10:00	17.5	04/09/2010	5:36	-9.0
05/09/2010	28.9	05/09/2010	10:34	17.3	05/09/2010	4:30	-9.0
06/09/2010	26.4	06/09/2010	13:10	17.4	06/09/2010	5:19	-9.0
07/09/2010	26.0	07/09/2010	9:18	18.0	07/09/2010	:44	-9.0
08/09/2010	25.8	08/09/2010	12:33	18.0	08/09/2010	5:41	-9.0
09/09/2010	29.4	09/09/2010	12:54	16.5	09/09/2010	4:53	0.0
10/09/2010	29.1	10/09/2010	10:36	16.9	10/09/2010	5:37	0.0
11/09/2010	28.4	11/09/2010	9:56	17.0	11/09/2010	5:00	0.0
12/09/2010	27.5	12/09/2010	10:21	16.8	12/09/2010	5:05	0.0
13/09/2010	29.1	13/09/2010	11:26	17.2	13/09/2010	2:34	0.0
14/09/2010	27.1	14/09/2010	12:43	16.9	14/09/2010	5:34	0.0 22.
15/09/2010	26.1	15/09/2010	9:48	17.3	15/09/2010	5:49	0.0
16/09/2010	26.6	16/09/2010	9:26	17.7	16/09/2010	3:30	0.0
17/09/2010	27.4	17/09/2010	11:15	17.1	17/09/2010	5:00	0.0
18/09/2010	25.5	18/09/2010	10:31	17.6	18/09/2010	:53	0.0
19/09/2010	26.9	19/09/2010	9:13	17.8	19/09/2010	5:46	0.0
20/09/2010	27.5	20/09/2010	9:29	17.9	20/09/2010	3:53	0.0
21/09/2010	26.5	21/09/2010	12:05	16.1	21/09/2010	3:06	0.0
22/09/2010	25.0	22/09/2010	11:10	15.6	22/09/2010	5:30	0.0
23/09/2010	26.6	23/09/2010	10:02	17.5	23/09/2010	20:43	0.0
24/09/2010	25.0	24/09/2010	12:59	17.4	24/09/2010	4:38	0.0
25/09/2010	23.4	25/09/2010	12:20	17.6	25/09/2010	5:22	0.0
26/09/2010	22.8	26/09/2010	10:54	16.1	26/09/2010	6:30	0.0
27/09/2010	21.7	27/09/2010	11:09	16.3	27/09/2010	7:07	0.0
28/09/2010	24.8	28/09/2010	11:07	17.5	28/09/2010	5:44	0.0
29/09/2010	24.1	29/09/2010	11:50	17.8	29/09/2010	21:24	0.0
30/09/2010	20.3	30/09/2010	12:41	17.6	30/09/2010	:43	0.0
01/10/2010	24.5	01/10/2010	10:55	17.1	01/10/2010	2:49	0.0
02/10/2010	26.1	02/10/2010	11:11	16.5	02/10/2010	5:08	0.0
03/10/2010	27.6	03/10/2010	10:44	17.6	03/10/2010	18:04	0.0
04/10/2010	25.2	04/10/2010	9:20	15.1	04/10/2010	20:38	0.0
05/10/2010	24.2	05/10/2010	11:22	17.7	05/10/2010	4:43	0.0
06/10/2010	23.6	06/10/2010	13:07	17.8	06/10/2010	7:01	0.0
07/10/2010	25.7	07/10/2010	12:35	17.3	07/10/2010	4:24	-9.0
08/10/2010	25.3	08/10/2010	14:11	18.8	08/10/2010	7:19	-9.0
09/10/2010	24.2	09/10/2010	11:40	17.4	09/10/2010	3:06	-9.0

R_LLUVIADIAM9
INFORMA

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
Sistema de Estaciones Meteorológicas Automáticas
RESUMEN DIARIO DE PRECIPITACIÓN (mm) 7 a7 h

Pag. 1 de 1
12/01/2011
10:20 AM

CUENCA: 84 Rio Grande de Tarcoles Lat: 09°56' N
ESTACION: 141 IMN, ARANJUEZ Long: 84°05' O
AÑO: 2010 Alt: 1172 m

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
DIA												
01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	5.2	12.7	15.0	0.4	20.8	25.0
02	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	27.5	18.3	0.4	2.7	28.3	44.9	0.1
03	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	24.1	1.3	0.0	4.0	55.7	64.6	0.0
04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	3.9	16.8	0.0	5.6	0.0
05	0.1	0.0	0.0	0.0	13.2	1.3	0.4	31.6	12.5	0.0 ^K	32.2	0.0
06	8.1	0.0	0.0	17.1	0.0	14.8	40.3	19.8	10.4	0.0	0.0	0.0
07	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	4.2	8.3	0.0 ^J	0.0	0.0
08	0.0	0.1	0.0	5.5	0.0	2.3	1.8	6.2	14.5	0.0	0.0	0.0
09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	0.0	22.9	2.8	0.0	0.0	0.0
10	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	12.1	43.2	11.2	0.0	0.1	0.0
11	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	25.6	7.2	17.3	0.0	0.7	0.0
12	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	11.2	0.6	0.1	17.4	6.4	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	7.2	4.1	36.9	2.1 ^H	0.5	0.1
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	0.2	1.2	16.9 ^K	0.1 ^J	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	27.2	4.7	4.0	1.0	18.8	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	10.3	8.3	14.9	0.5	2.3	0.3 ^J	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	2.4	0.7	0.4	1.5	12.5	1.7	1.3	0.2	0.0
18	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	48.9	1.3	0.0	16.3	0.0	0.6	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	12.6	3.7	22.3	1.9	0.0 ^K	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	26.3	34.3	56.1	21.0	4.6 ^H	0.0	0.0
21	0.0	0.0	1.3	0.0	1.2	6.8	29.7	21.8	10.6 ^K	6.7	8.9	0.0
22	0.4	0.0	6.9	0.0	1.6	6.8	11.3	11.1	20.0 ^H	0.0	1.9	0.0
23	0.0	0.0	0.0	2.1	59.6	8.5	1.0	5.8	3.7	4.1	5.1	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.3	1.6	0.0	0.0	14.9	0.3	45.9	0.2	0.0
25	0.0	26.2	0.0	0.0	4.4	17.4	13.3	17.6	3.7	13.8	4.9	0.8
26	0.0	0.0	0.0	45.0	6.3	1.7	7.7	16.1	17.2	12.9	0.3	0.0
27	0.0	0.0	0.0	2.9	0.3	0.0	0.3	14.9	10.9	0.0	1.8	0.0
28	0.0	0.0	0.0	25.4	0.0	1.9	0.1	38.9	44.6	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.3	18.3	26.1	15.6 ^H	0.0	6.5	0.0
30	0.0	0.0	0.0	46.9	0.0	0.0	25.1	0.8	4.1 ^J	1.9	17.7	3.6
31	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	1.1	3.0	0.0	6.9	0.0	0.0
ACUM. MES:	11.8	26.6	9.1	164.6	110.4	300.1	285.5	425.7	359.6	209.9	217.5	29.6
MIN:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
MAX:	8.1	26.2	6.9	46.9	59.6	48.9	40.3	56.1	44.6	55.7	64.6	25.0
DIAS CON LLUVIA:	5	4	4	12	14	25	29	29	30	16	19	5

-9 ó BLANCO: Ausencia de dato ACUM: Acumulado

ANEXO F. Encuesta y Resultados

No. _____

ENCUESTA

Nombre del entrevistado: _____

Fecha: _____

Ubicación: _____

Buenas días (tardes)

Mi nombre es Sharon Moncada, estudiante del Instituto Tecnológico de Costa Rica y estoy realizando un estudio acerca del funcionamiento de las biojardineras. Le agradecería si fuera tan amable de contestarme algunas preguntas, le quitare solamente unos pocos minutos.

1. ¿Cuántas personas habitan en su vivienda?

2. ¿De dónde provienen las aguas que se tratan en la biojardinera? (MARCAR LAS CATEGORÍAS MENCIONADAS POR EL ENTREVISTADO)

 Cocina Ducha Lavamanos Pila Lavadora Tanque séptico Tanque compostero Otro: _____

3. ¿Hace cuantos años utiliza la biojardinera como sistema de tratamiento?

4. ¿Por qué motivo construyó la biojardinera?

5. ¿Quién le recomendó la construcción de la biojardinera?

6A. ¿Le da algún uso a las aguas que salen de la biojardinera?

Si

No ¿Por qué? _____ (PASE A LA PREGUNTA 7A)

6B. ¿Qué usos le ha dado?

7A. ¿Ha usted tenido problemas con la biojardinera?

Si

No (PASE A LA PREGUNTA 8A)

7B. ¿Cuál o cuáles problemas?

7C. ¿Como los ha resuelto?

8A. ¿Remueve usted las grasas flotantes y sólidos depositados en el fondo de las unidades de pretratamiento?

Si No (PASE A LA PREGUNTA 9A)

8B. ¿Qué utiliza para hacerlo?

8C. ¿Cada cuánto lo hace?

8D. ¿Dónde deposita el material que extrae?

9A. En la biojardinera ¿Corta o deshija usted las plantas sembradas?

Si No (PASE A LA PREGUNTA 10A)

9B. ¿Cada cuánto lo hace?

10A. ¿Revisa usted si se deposita lodo o sólidos en la tubería de entrada?

Si

No (PASE A LA PREGUNTA 11)

10B. ¿Cada cuánto lo hace?

(SI EN LA PREGUNTA 8A o 9A LA RESPUESTA FUE NEGATIVA CONTINÚE CON LA ENCUESTA, POR EL CONTRARIO PASE A LA PREGUNTA 12A)

11. ¿Por qué razón no realiza (MENCIONAR LA O LAS ACTIVIDADES ANTERIORES QUE NO REALIZA)?

No considera necesario hacerlas

No tiene tiempo

Le resulta molesto

Lo olvida

Otra

(ESPECIFIQUE) _____

12A. ¿En general, se siente satisfecho/a con el funcionamiento de la biojardinera?

Si (FIN DE LA ENCUESTA)

No

Tabla 1. Resultados de la encuesta realizada a usuarios de biojardineras en Punta Morales.

Factor a evaluar	Pregunta	Respuestas	No. Encuesta					
			1	2	3	4	5	6
Motivo de Construcción del Sistema	4	Falta de tratamiento (67%)	x	x	x	x		
		Economía por reuso de agua (67%)			x	x	x	x
		Criadero de Zancudos (33%)	x		x			
		Bienestar Ambiental (17%)		x				
	5	ACEPESA (83%)		x	x	x	x	x
		Vecinos (17%)	x					
Reuso de Agua	6A	Si (67%)		x	x		x	x
		No (33%)	x			x		
	6B	Riego de Plantas (100%)	NR	x	x	NR	x	x
Problemas en Biojardineras	7A	Si (83%)	x	x	x		x	x
		No (17%)				x		
	7B	Rebalse de agua por acumulación de sólidos en tubo de entrada (60%)	x	x		NR	x	
		Ingreso de barro a la biojardinera (40%)			x			x

NR: No responde por negativa en pregunta anterior

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Continuación Tabla 1.

Factor a evaluar	Pregunta	Respuesta	No. Encuesta						
			1	2	3	4	5	6	
Problemas en Biojardineras	7C	Retiro del tubo distribuidor (20%)				NR			
		Destaqueo (20%)		x				x	
		Retiro y limpieza de piedra.	x						
		Retiro de sólidos (20%)							
		Colocación de muro (20%)							x
		Limpieza de piedra y muro (20%)			x				
Actividades de mantenimiento	8A	Si (83%)	x	x	x		x	x	
		No (17%)				x			
	8B	Colador (80%)		x	x	Reciente Construcción	x	x	
		Balde (20%)	x						
	8C	Anual	x				NR		
		8 días		x					
		15 días			x				
		6 meses							x
		3 meses							
	8D	Superficie del terreno (60%)	x					x	x
Entierra (40%)			x	x					

NR: No responde por negativa en pregunta anterior

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

Continuación Tabla 1.

Factor a evaluar	Pregunta	Respuesta	No. Encuesta						
			1	2	3	4	5	6	
Actividades de Mantenimiento	9A	Si (67%)	x	x	x		x		
		No (33%)				x		X No lo considera necesario	
	9B	2 años (25%)	x			NR		NR	
		2 meses (25%)		x					
		6 meses (50%)			x		x		
	10A	Si (50%)		x	x		x		
		No (50%)	x			x		X No lo considera necesario	
	10B	8 días	NR		x		NR		NR
		15 días				x			
		6 meses						x	
Satisfacción	12	Si (100%)	x	x	x	x	x	x	
		No							

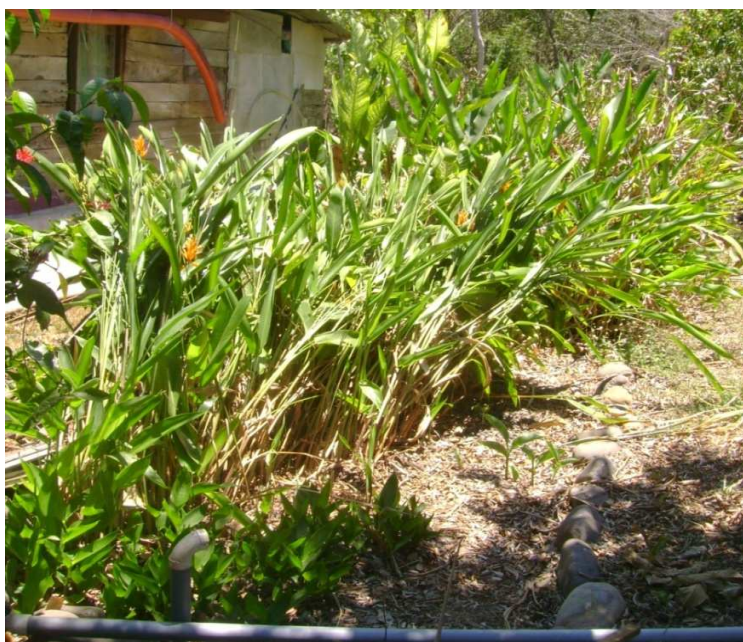
NR: No responde por negativa en pregunta anterior

Fuente: Elaboración propia. Moncada, S.

ANEXO G. Registro Fotográfico Encuesta



Fuente: Moncada, S
Figura 1. Rebalse de agua en biojardinera, encuesta No.1



Fuente: Moncada, S
Figura 2. Biojardinera, Encuesta No.2



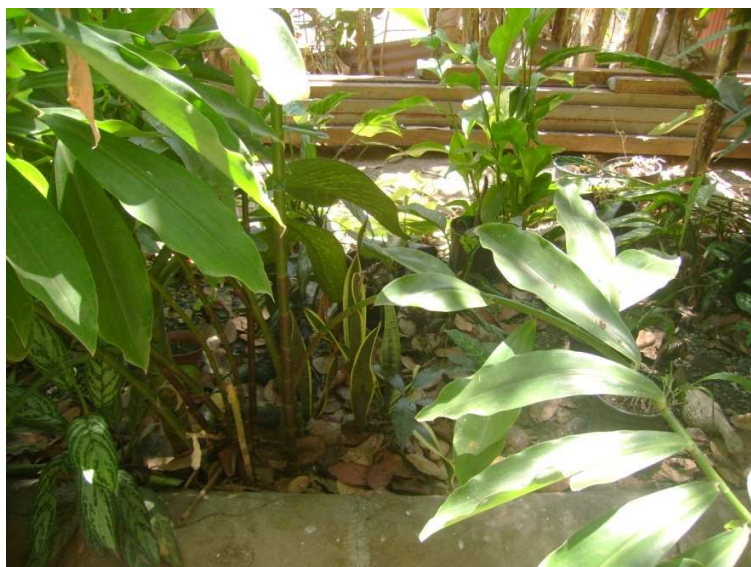
Fuente: Moncada, S
Figura 3. Tubería de entrada a pretratamientos en mal estado, encuesta No.3.



Fuente: Moncada, S
Figura 4. Biojardinería, encuesta No.3



Fuente: Moncada, S
Figura 5. Biojardinera de reciente construcción, encuesta No.4



Fuente: Moncada, S
Figura 6. Biojardinera , encuesta No.5



Fuente: Moncada, S
Figura 7. Biojardineria, encuesta No.6