

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PROPUESTA DE PLAN DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PLANTA EMPACADORA, EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., MUNICIPIO DE NUEVA SANTA ROSA, DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.**

**ANA LUCÍA TOBIAS ALVAREZ**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PROPUESTA DE PLAN DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
PLANTA EMPACADORA, EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., DIAGNÓSTICO Y  
SERVICIOS REALIZADOS EN EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., MUNICIPIO  
DE NUEVA SANTA ROSA, DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**ANA LUCÍA TOBIAS ALVAREZ**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO**

**INGENIERA EN  
GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE**

**LICENCIADA**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RECTOR**

**Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López</b>
<b>VOCAL PRIMERO</b>	<b>Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara</b>
<b>VOCAL SEGUNDO</b>	<b>Ing. Agr. M. A. César Linneo García Contreras</b>
<b>VOCAL TERCERO</b>	<b>Ing. Agr. M.Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz</b>
<b>VOCAL CUARTO</b>	<b>P. Agr. Walter Yasmany Godoy Santos</b>
<b>VOCAL QUINTO</b>	<b>P. C. Neydi Yasmine Jucarán Morales</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón</b>

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017**



Guatemala, noviembre de 2017

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación titulado: **“PROPUESTA DE PLAN DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PLANTA EMPACADORA, EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL MUNICIPIO DE NUEVA SANTA ROSA, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.”**, como requisito previo a optar el título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

---

Ana Lucía Tobias Alvarez



## **ACTO QUE DEDICO**

**A**

**DIOS** Por haberme permitido llegar a esta meta, ser mi luz y mi guía. Por dame la salud para lograr sus objetivos, además de su infinita bondad y amor.

**MI ANGEL** Mi novio José Miguel Lemus Olvida (Q. D. E. P.), por ser el ángel que Dios envió en el momento adecuado y formar parte de mi vida, enseñarme a disfrutarla, por su comprensión, cuidados, consejos, regaños y sobre todo amor, por ser mi motivación y que desde el cielo ha de seguir cuidándome y guiando mis pasos para cumplir las metas que un día nos propusimos. Esta meta también es tuya amor, te amo.

**MI MADRE** Aura Luvia Alvarez, por haberme apoyado en todo momento, por su amor, consejos, valores, motivación y lucha para poder estar el día de hoy concluyendo esta meta y que me ha permitido ser una persona de bien. Gracias por todo, te amo.

**MI HERMANO** Carlos Enrique Tobias Alvarez, por sus consejos, regaños, apoyo incondicional y alentarme a nunca darme por vencida.

**MI ABUELITA** Por ser mi segunda madre, por consentirme, sus consejos y apoyo incondicional en mis propósitos.

**MI FAMILIA** Alvarez Arrecis, gracias a todos por su apoyo, por ser mi fortaleza en los buenos y malos momentos. Los quiero.

**USAC Y  
FAUSAC**

Por ser mí casa de estudios y darme las herramientas necesarias para ejercer mi carrera y poder aportar mis conocimientos al país.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A:**

### **A MI ASESOR**

Ing. Agr. Hugo Tobías, por su asesoría profesional y apoyo brindado en la elaboración de este documento.

### **A MI SUPERVISOR**

Ing. Agr. Fredy Hernández Ola, por su apoyo brindado durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

### **FAMILIA LEMUS OLIVA**

Mis suegros Blanca Elizabeth Oliva, Neftaly Lemus; mis cuñados Luis Fernando y Carlos Alejandro, gracias por abrirme las puertas de su casa, por la confianza depositada en mí, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles, por su apoyo incondicional, consejos y cariño hacia mi familia y hacia mí.

### **MIS AMIGOS**

Por su apoyo incondicional los buenos y malos momentos. Los quiero.

### **EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A.**

Por brindarme la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) y por brindarme los recursos necesarios para la investigación.

### **ING. JOAQUIN MELGAR**

Por brindarme su apoyo y enseñanzas durante la realización de mi Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

### **COMPAÑEROS DE TRABAJO DE SEMILLAS DEL CAMPO, S.A.**



## ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
<b>DIAGNÓSTICO DE PLANTA EMPACADORA DE EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A.</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Presentación</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 Marco Referencial</b> .....	<b>5</b>
1.2.1 Descripción general de la empresa .....	5
1.2.2 Ubicación geográfica de la empresa .....	5
1.2.3 Vías de comunicación .....	7
1.2.4 Clima .....	8
1.2.5 Zonas de vida .....	8
1.2.6 Hidrografía .....	8
1.2.7 Fisiografía .....	10
1.2.8 Suelo .....	10
A. Inceptisoles .....	11
B. Entisoles .....	11
C. Ultisoles .....	11
1.2.9 Flora y fauna .....	12
A. Flora .....	12
B. Fauna .....	12
1.2.10 Infraestructura .....	13
1.2.11 Recursos humanos .....	13
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>15</b>
1.3.1 Objetivo General .....	15
1.3.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>1.4 Metodología</b> .....	<b>16</b>
1.4.1 Fase de reconocimiento del área .....	16
1.4.2 Fase de gabinete inicial .....	16
1.4.3 Fase de recopilación de información .....	16
1.4.4 Fase de ordenamiento y análisis de información .....	17
1.4.5 Fase de gabinete final .....	17
<b>1.5 Resultados</b> .....	<b>18</b>
1.5.1 Descripción de actividades .....	18
A. Invernaderos y casas mayas .....	18
B. Calidad de agua residual proveniente de planta empacadora .....	19
C. Disposición final de los residuos .....	20
1.5.2 Análisis de la problemática .....	20
1.5.3 Matriz de priorización de problemas .....	21
1.5.4 Descripción de las problemáticas .....	23

CONTENIDO	PÁGINA
A. Disposición final inadecuada de material vegetal como consecuencia de las actividades de producción .....	23
B. Disposición final inadecuada de material vegetal proveniente de planta empacadora .....	24
C. Desconocimiento de calidad del agua residual proveniente de planta empacadora .....	26
D. Ausencia de área de disposición final para desechos sólidos utilizados en invernaderos, casas mayas y planta empacadora con oportunidad de reciclaje ...	28
<b>1.6 Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>31</b>
<b>1.7 Bibliografía .....</b>	<b>32</b>
<b>PROPUESTA DE PLAN DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PLANTA EMPACADORA, EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., NUEVA SANTA ROSA, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A. ....</b>	<b>33</b>
<b>2.1 Presentación .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2 Marco Conceptual.....</b>	<b>37</b>
2.2.1 El recurso hídrico en Guatemala.....	37
2.2.2 Normativa sobre el recurso hídrico .....	38
A. Constitución Política de la República de Guatemala .....	38
B. Artículo 127. Regimen de Aguas.....	38
C. Artículo 128. Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos .....	38
2.2.3 Acuerdo Gubernativo 236-2006 .....	39
2.2.4 Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia.....	39
2.2.5 Generalidades de Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	40
A. Agua residual de tipo especial .....	40
B. Aguas residuales de tipo ordinario.....	40
C. Entes generadores.....	40
D. Límite máximo permisible .....	40
E. Estudio técnico .....	41
F. Parámetros de descarga de aguas residuales.....	41
2.2.6 Fundamento de calidad de agua y sus características .....	41
A. Contaminación hídrica.....	41
B. Calidad del agua .....	43
C. Calidad de agua residual .....	43
D. Parámetro.....	44
E. Características biológicas.....	45
a. Coliformes fecales: .....	45
b. Coliformes totales: .....	45
F. Características físicas .....	45
a. Color: .....	46
b. Densidad: .....	46

CONTENIDO	PÁGINA
c. Olor: .....	46
d. Sólidos Disueltos: .....	47
e. Sólidos Suspendidos: .....	47
f. Temperatura: .....	47
g. Turbidez: .....	48
G. Características químicas.....	48
a. Conductividad:.....	48
b. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):.....	49
c. Demanda Química de Oxígeno (DQO): .....	49
d. Dureza: .....	49
e. Grasas y Aceites: .....	49
f. Fósforo: .....	50
g. Nitrógeno:.....	51
h. Potencial de Hidrógeno (pH):.....	51
H. Cloro y su reacción con el agua .....	52
2.2.7 Muestreo .....	53
A. Caracterización de la muestra .....	53
B. Muestras de agua residuales .....	53
C. Muestra simple .....	53
D. Muestras compuestas .....	53
2.2.8 Planta de tratamiento de aguas residuales .....	54
A. Tratamiento por sedimentación: .....	54
B. Tratamiento por filtración: .....	55
C. Tratamiento por filtros percoladores: .....	55
D. Tratamiento de lodos activados:.....	55
2.2.9 Pruebas biológicas .....	56
<b>2.3 Objetivos .....</b>	<b>58</b>
2.3.1 Objetivo General .....	58
2.3.2 Objetivos Específicos.....	58
<b>2.4 Hipótesis .....</b>	<b>59</b>
<b>2.5 Metodología.....</b>	<b>60</b>
2.5.1 Caracterización del agua residual.....	60
2.5.2 Ensayos biológicos.....	61
A. Obtención de materiales .....	62
B. Preparación de materiales.....	63
C. Montaje de ensayo biológico.....	63
D. Cosecha de material vegetal.....	64
E. Determinación de laboratorio .....	64
2.5.3 Diseño experimental.....	64
A. Unidad experimental.....	66
B. Variables de respuesta .....	66
C. Análisis de datos .....	66

CONTENIDO	PÁGINA
2.5.4 Modelo estadístico .....	67
2.5.5 Tratamientos y distribución .....	67
2.5.6 Manejo del experimento .....	68
<b>2.6 Resultados.....</b>	<b>69</b>
2.6.1 Calidad del agua residual .....	69
2.6.2 Ensayos Biológicos .....	72
A. Análisis estadístico de parte aérea .....	73
a. Prueba Tukey .....	75
B. Análisis estadístico de parte radicular .....	79
a. Prueba Tukey para parte radicular .....	81
C. Análisis de áreas totales de ensayos biológicos.....	84
a. Prueba Tukey para áreas totales.....	85
2.6.3 Plan de aprovechamiento de aguas residuales.....	90
A. Valor de extracción de agua .....	92
B. Aprovechamiento ambiental de reutilización de aguas residuales .....	95
C. Aprovechamiento Económico de Reutilización de Agua Residual .....	96
<b>2.7 Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>99</b>
<b>2.8 Bibliografía.....</b>	<b>100</b>
<b>2.9 Anexos .....</b>	<b>103</b>
<b>SERVICIOS REALIZADOS EN EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., NUEVA SANTA ROSA, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A. ....</b>	<b>115</b>
<b>3.1 Presentación .....</b>	<b>117</b>
<b>3.2 Elaboración de estudio técnico de aguas residuales de planta empacadora, empresa Semillas del Campo, S.A. ....</b>	<b>118</b>
3.2.1 Objetivos .....	118
A. Objetivo General .....	118
B. Objetivos Específicos .....	118
3.2.2 Metodología .....	118
A. Toma de muestra .....	118
B. Análisis de resultados .....	120
C. Elaboración de estudio técnico de agua residual.....	121
3.2.3 Resultados .....	121
A. Información general solicitada en el estudio técnico.....	121
B. Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica sujeta al presente Reglamento .....	122
C. Horario de descarga de aguas residuales .....	123
D. Descripción del tratamiento de aguas residuales .....	123

CONTENIDO	PÁGINA
E. Caracterización del Efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.....	124
F. Caracterización de las aguas residuales para reuso .....	124
a. Tipo I, reuso para riego agrícola en general .....	124
b. Tipo II, reuso para cultivos comestibles .....	125
c. Tipo IV, reuso para pastos y otros cultivos .....	125
G. Caracterización de los lodos a disponer .....	125
H. Caracterización del afluente.....	126
I. Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica .....	126
J. Identificación del alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales .....	126
K. Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva	126
L. Documentos solicitados para el estudio técnico .....	127
M. Solicitud de caracterización de agua residual .....	127
3.2.4 Evaluación.....	127
<b>3.3 Elaboración de documento para proceso de almacenamiento y reciclaje de residuos de empaque y cartón de la planta empacadora .....</b>	<b>128</b>
3.3.1 Objetivos .....	128
A. Objetivo General .....	128
D. Objetivos Específicos .....	128
3.3.2 Metodología .....	128
A. Reconocimiento de residuos reciclables de planta empacadora .....	128
B. Elaboración del documento de procedimientos para almacenaje de residuos sólidos.....	129
3.3.3 Resultados .....	129
A. Procesos generadores de residuos reciclables y disposición final adecuada ....	129
B. Proceso de Almacenaje .....	130
3.3.4 Evaluación.....	132
<b>3.4 Bibliografía .....</b>	<b>132</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
<b>Figura</b>	1. Mapa de ubicación Municipio Nueva Santa Rosa, Santa Rosa, Guatemala .....	6
<b>Figura</b>	2. Mapa de ubicación de empresa Semillas del Campo, S.A. ....	7
<b>Figura</b>	3. Mapa de drenaje superficial de municipio de Nueva Santa Rosa .....	9
<b>Figura</b>	4. Organigrama de empresa Semillas del Campo, S.A. ....	14
<b>Figura</b>	5. Fotografía de materia vegetal de cultivo de chile pimiento .....	23
<b>Figura</b>	6. Fotografía de área para disposición final de residuo de materia vegetal de cultivo de chile pimiento .....	24
<b>Figura</b>	7. Fotografía de área de disposición final de materia vegetal de cultivo de tomate .....	24
<b>Figura</b>	8. Fotografía de residuo de materia vegetal, producto del proceso de empaclado .....	25
<b>Figura</b>	9. Fotografía de depósito de materia vegetal de tomate cubierto en descomposición .....	26
<b>Figura</b>	10. Fotografía de depósito de materia vegetal de tomate producto del proceso de empaque y producción .....	26
<b>Figura</b>	11. Fotografía de tubería de descarga de agua residual de planta empacadora ..	27
<b>Figura</b>	12. Fotografía de ente receptor de descarga de agua residual de planta empacadora .....	27
<b>Figura</b>	13. Fotografía de plástico utilizado como piso en invernadero .....	28
<b>Figura</b>	14. Fotografía de plástico almacenado .....	28
<b>Figura</b>	15. Fotografía de disposición final de plástico proveniente de planta empacadora .....	29
<b>Figura</b>	16. Fotografía de residuo de plástico utilizado en empaque .....	29
<b>Figura</b>	17. Fotografía de residuo de cartón de planta empacadora .....	30
<b>Figura</b>	18. Fotografía de almacenaje de cartón para retiro por recicladores .....	30
<b>Figura</b>	19. Distribución de pruebas biológicas .....	68
<b>Figura</b>	20. Rendimiento de tratamientos de ensayos biológicos para suelo .....	87
<b>Figura</b>	21. Rendimiento de tratamientos en ensayos biológicos para arena .....	88
<b>Figura</b>	22. Croquis de distribución de riego para jardín de empresa Semillas del Campo, S.A. ....	91
<b>Figura 23A.</b>	Rendimiento de repeticiones en pruebas biológicas para tratamiento uno en suelo .....	103
<b>Figura 24A.</b>	Rendimiento de repeticiones para pruebas biológicas para tratamiento uno en arena .....	103
<b>Figura 25A.</b>	Rendimiento de repeticiones para pruebas biológicas en tratamiento dos en suelo .....	104
<b>Figura 26A.</b>	Rendimiento de repeticiones para pruebas biológicas para tratamiento dos en arena .....	104
<b>Figura 27A.</b>	Rendimientos de repeticiones para pruebas biológicas de tratamiento tres en suelo .....	105

FIGURA	PÁGINA
<b>Figura 28A.</b> Rendimiento de repeticiones para pruebas biológicas de Tratamiento tres en arena .....	105
<b>Figura 29A.</b> Rendimiento de repeticiones en pruebas biológicas para tratamiento cuatro en suelo.....	106
<b>Figura 30A.</b> Rendimiento de repeticiones en pruebas biológicas para tratamiento cuatro en arena.....	106
<b>Figura 31A.</b> Análisis de agua residual de planta empacadora de elementos básicos .....	107
<b>Figura 32A.</b> Análisis químico de suelo de pruebas biológicas .....	107
<b>Figura 33A.</b> Resultado de análisis físico-químico y microbiológico de aguas residuales .	109
<b>Figura 34A.</b> Fotografía del material para recolección de muestra de agua residual .....	110
<b>Figura 35A.</b> Fotografía de la semana dos de ensayo biológico, tratamiento uno, sustrato suelo .....	110
<b>Figura 36A.</b> Fotografía de semana dos de ensayo biológico de tratamiento cuatro, sustrato arena .....	110
<b>Figura 37A.</b> Fotografía del crecimiento de ensayo biológico, semana tre .....	111
<b>Figura 38A.</b> Fotografía del desarrollo de ensayo biológico, semana cuatro .....	111
<b>Figura 39A.</b> Fotografía de finalización de ensayo biológico, tratamiento uno, semana seis.....	112
<b>Figura 40A.</b> Fotografía de finalización de ensayo biológico, tratamiento tres .....	112
<b>Figura 41A.</b> Fotografía de cosecha de material vegetal, tratamiento uno.....	113
<b>Figura 42A.</b> Fotografía de cosecha de raíz de tratamientos.....	113
<b>Figura 43.</b> Fotografía de toma de muestra.....	119
<b>Figura 44.</b> Fotografía de aplicación de reactivos para preservación del contenido de la muestra, según la técnica de muestreo que realiza el Laboratorio Ecosistemas Proyectos Ambientales, S.A.....	119
<b>Figura 45.</b> Fotografía de resultado de análisis físico-químico de aguas residuales de planta empacadora .....	120
<b>Figura 46.</b> Fotografía de resultados de análisis microbiológicos de aguas residuales de planta empacadora .....	121
<b>Figura 47.</b> Artículo 35, parámetros y límites máximos permisibles para reuso .....	125

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
<b>Cuadro 1.</b> Problemas identificados de tipo ambiental en la empresa Semillas del Campo, S.A. ....	21
<b>Cuadro 2.</b> Matriz de priorización de problemas .....	22
<b>Cuadro 3.</b> Parámetros permisibles de descarga a un ente receptor .....	42
<b>Cuadro 4.</b> Límite de descarga de DBO .....	43
<b>Cuadro 5.</b> Tratamientos aplicados en ensayos biológicos .....	65
<b>Cuadro 6.</b> Resultado de análisis físico- químico y microbiológico de aguas residuales de planta empacadora .....	69
<b>Cuadro 7.</b> Calculo de demanda bioquímica de oxígeno .....	70
<b>Cuadro 8.</b> Materia seca (g) de parte aérea de ensayos biológicos por tratamiento y sus repeticiones .....	74
<b>Cuadro 9.</b> Materia seca (g) de parte aérea de ensayos biológicos por tratamiento .....	74
<b>Cuadro 10.</b> ANDEVA de parcelas divididas para parte aérea .....	75
<b>Cuadro 11.</b> Interacción para prueba Tukey en parte aérea .....	76
<b>Cuadro 12.</b> Matriz de diferencias para prueba Tukey en parte aérea .....	76
<b>Cuadro 13.</b> Resultados de prueba Tukey para parte aérea .....	77
<b>Cuadro 14.</b> Materia seca (g) de parte radicular de ensayos biológicos de tratamientos y repeticiones .....	79
<b>Cuadro 15.</b> Materia seca (g) de parte radicular de ensayos biológicos por tratamiento .....	80
<b>Cuadro 16.</b> ANDEVA de parcelas divididas para parte radicular .....	80
<b>Cuadro 17.</b> Interacción para prueba de Tukey en parte radicular .....	81
<b>Cuadro 18.</b> Matriz de diferencias para prueba Tukey .....	81
<b>Cuadro 19.</b> Resultado de prueba de Tukey para la parte radicular .....	82
<b>Cuadro 20.</b> Materia seca (g) de parte total de ensayos biológicos por tratamientos y repeticiones .....	84
<b>Cuadro 21.</b> Materia seca (g) total de ensayos biológicos por tratamientos .....	84
<b>Cuadro 22.</b> ANDEVA de parcelas divididas para parte total .....	85
<b>Cuadro 23.</b> Interacción para prueba de Tukey en áreas totales .....	86
<b>Cuadro 24.</b> Matriz de diferencias de prueba Tukey para áreas totales .....	86
<b>Cuadro 25.</b> Resultado de prueba de Tukey para áreas totales .....	87
<b>Cuadro 26.</b> Costo de materiales a utilizar para la reutilización de agua residual como riego en jardín .....	92
<b>Cuadro 27.</b> Suministro e instalación de sistema de bombeo sumergible para producir 70 GPM a 121.92 m para descarga a boca de pozo, Semillas del Campo, S.A. ....	93
<b>Cuadro 28.</b> Perforación de pozo mecánico de 121.92 m de profundidad y 8 in de diámetro .....	94
<b>Cuadro 29.</b> Valor económico mensual de extracción de agua, Semillas del Campo, S.A. 95	95
<b>Cuadro 30.</b> Determinación de tiempo de retorno de inversión para reutilización de agua residual como riego .....	98

PROPUESTA DE PLAN DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PLANTA EMPACADORA, EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., NUEVA SANTA ROSA, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.

## RESUMEN

Como parte de la preparación del estudiante y así poner en práctica los conocimientos adquiridos en la casa de estudios, se realiza el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), este se realizó en la Empresa Semillas del Campo, S.A., dicha empresa se dedicada a la producción de chile pimiento, tomate y pepino en distintas variedades, ubicada en el km 77 del municipio de Nueva Santa Rosa perteneciente al departamento de Santa Rosa.

A partir del año 2012 la empresa incremento su producción debido a la alta demanda en el comercio local y extranjero de sus productos, este incremento dio lugar a la creación de una planta empacadora.

El diagnóstico se enfatizó en el reconocimiento del ámbito ambiental en la empresa y las acciones realizadas para mitigar la contaminación hacia el medio ambiente, partiendo de la disposición final de residuos de materiales sólidos y vegetales; calidad del agua residual proveniente de las acciones de la planta empacadora y la disponibilidad de mejoramiento de dichas acciones.

La planta empacadora de la empresa Semillas del Campo, S.A. fue objeto de estudio para llevar a cabo el trabajo de investigación enfatizándose en las aguas residuales descartadas como producto de los procesos de inocuidad en ella. Este consistió en la elaboración de una propuesta de plan de aprovechamiento de las aguas residuales evaluadas a través de estudios con ensayos biológicos en distintos tratamientos; dicha investigación se ejecutó durante el Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, comprendido durante el periodo de agosto de 2015 a mayo de 2016, en el área de investigación de la empresa Semillas del Campo, S.A.

La institución considero la elaboración del plan de aprovechamiento, este se basó en la incidencia del agua residual sobre material vegetal; para tener una base científica sobre los resultados de los mismo, se realizaron pruebas biológicas; para dichas pruebas se utilizó el girasol (*Helianthus annuus*) como material vegetal, en dos sustratos que fueron suelo y arena; utilizando el peso seco del material vegetal se generó los resultado a través de pruebas de Tukey, habiendo utilizado un modelo estadístico de bloques al azar con un arreglo de parcelas divididas.

Los resultados de las pruebas biológicas demostraron que el agua residual no tiene incidencia adversa en el material vegetal sin importar el sustrato utilizado; pero de los tratamientos aplicados, el que demuestra un mejor desarrollo de la planta es el tratamiento 1 en arena, debido a que este tratamiento fue combinada el agua residual con la solución nutritiva utilizada por la empresa para el cultivo de tomate.

El plan de aprovechamiento demuestra los beneficios económicos y ambientales de la reutilización del agua residual y también alternativas a un largo plazo para la reutilización de aguas residuales en otros procesos de la empresa como lo es el riego de cultivo.

Durante el Ejercicio Profesional Supervisado, se realizaron servicios de apoyo en la oficina de certificación de la empresa, los cuales fueron enfocados en la elaboración de un estudio técnico de aguas residuales provenientes de la planta empacadora y la elaboración de un documento del proceso de almacenamiento y reciclaje de residuos de empaque y cartón de la planta empacadora.





## 1.1 Presentación

Guatemala es un país que se caracteriza por ser de vocación agrícola esto se ve influenciado por la riqueza de diversidad de climas y suelos que posee; debido a los cambios en el ambiente producidos como el sobre uso de suelos, contaminación a cuerpos de agua, el cambio climático, entre otros; la humanidad se ha encontrado con la necesidad de buscar nuevas alternativas para la producción agrícola que disminuyan un impacto negativo al ambiente, pero obteniendo productos de calidad.

La Empresa Semillas del Campo, S.A. se caracteriza por su innovación en la producción del cultivo de Chile Pimiento y Tomate en distintas variedades, se realiza a través de hidroponía; también la empresa cuenta con el Centro de Capacitación, Innovación y Producción Popayán-Priva (CCIPP) el cual tiene fines de producción didáctica y módulos de investigación; de esta manera constantemente se busca las alternativas de mejoramiento de la calidad del producto o nuevas tendencias contribuyendo a la disminución en la utilización de agentes dañinos al ambiente. Debido al crecimiento de la empresa, en el año 2012 se inaugura la planta empacadora la cual mantiene estrictos estándares de inocuidad y calidad del producto hacia los clientes.

Es de beneficio para cualquier área o lugar de trabajo conocer la situación actual del mismo, a esto se le conoce como un diagnóstico; este se puede tomar como una apreciación crítica de las condiciones biofísicas, socioeconómicas, tecnologías e institucionales; este puede ayudar a priorizar problemas o actividades que impidan una mayor eficiencia en el área y también en la búsqueda de soluciones.

El documento que se presenta a continuación como parte del proceso del Ejercicio Profesional Supervisado –EPSA-, es un diagnóstico realizado en la empresa Semillas del Campo, S.A. enfocado en el tema ambiental con el fin de conocer el impacto que tiene la empresa en el ambiente con los procesos que realiza y conocer algunas problemáticas que se posee y la priorización de los mismos para la búsqueda de soluciones.

Como resultado del diagnóstico, se obtuvo que la empresa posee problemáticas como la disposición final inadecuada de material vegetal, producto de podas y frutos de rechazo; desconocimiento de la calidad del agua residual proveniente de la planta empacadora y ausencia de un área de disposición final de desechos sólidos.

## 1.2 Marco Referencial

### 1.2.1 Descripción general de la empresa

La empresa cuenta con la Finca El Valle la cual está integrada por 6 casas mayas y 5 invernaderos; y un Centro de Capacitación, Innovación y Producción, Popayán-Priva (CCIPPP) compuesto por 6 invernaderos con fines de producción didáctica, 5 macro túneles y 12 módulos de investigación (Semillas del Campo, 2012).

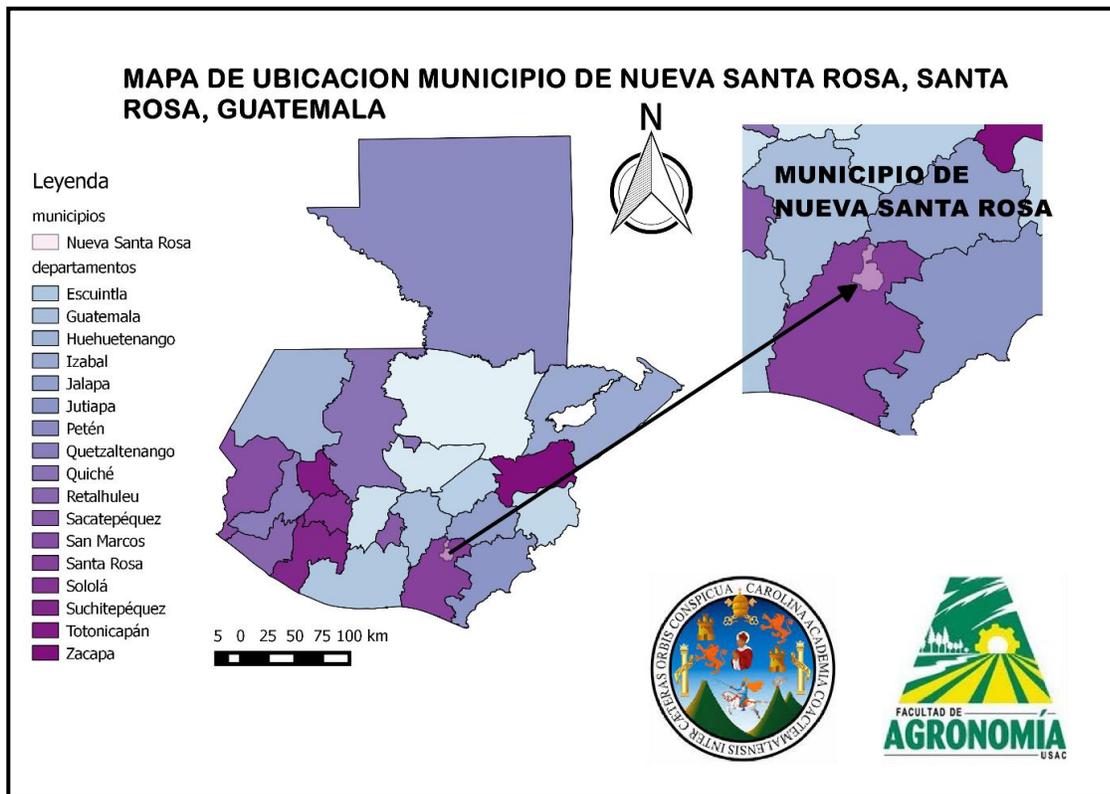
La empresa se dedica a la producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) con las variedades de TOV, BEEF, RomaTOV, Roma, Cherry, Cherry TOV, Campari, y Cumato; el chile pimiento (*Capsicum anum*) con las variedades de Blocky, Mini y Dulce Italiano, esto se realiza a través de hidroponía en casas mayas e invernaderos; seguidamente de la producción se pasa a la planta empacadora en donde se realiza la clasificación del producto según las exigencias del cliente a través de bandas transportadoras en donde el personal clasifica el producto, luego es almacenado en frío para después pasar a su transporte a mercados locales u exportación.

Actualmente se cuenta con un área de 22 ha, en donde aproximadamente se tiene 14 ha, con plantación de chile pimiento con un aproximado de 30,000 plantas por ha., de distintas variedades; y de tomate se posee aproximadamente 7 ha; de igual manera con sus distintas variedades.

### 1.2.2 Ubicación geográfica de la empresa

La Empresa Semillas del Campo se encuentra ubicada en el municipio de Nueva Santa Rosa en la región Sur- Oriente del país en el departamento de Santa Rosa con una altitud de 1,001 m s.n.m. y un área aproximada de 132 km<sup>2</sup>; colinda al norte con los municipios de San Rafael Las Flores, Casillas, Santa Rosa y Mataquescuintla, Jalapa; al este con Casillas,

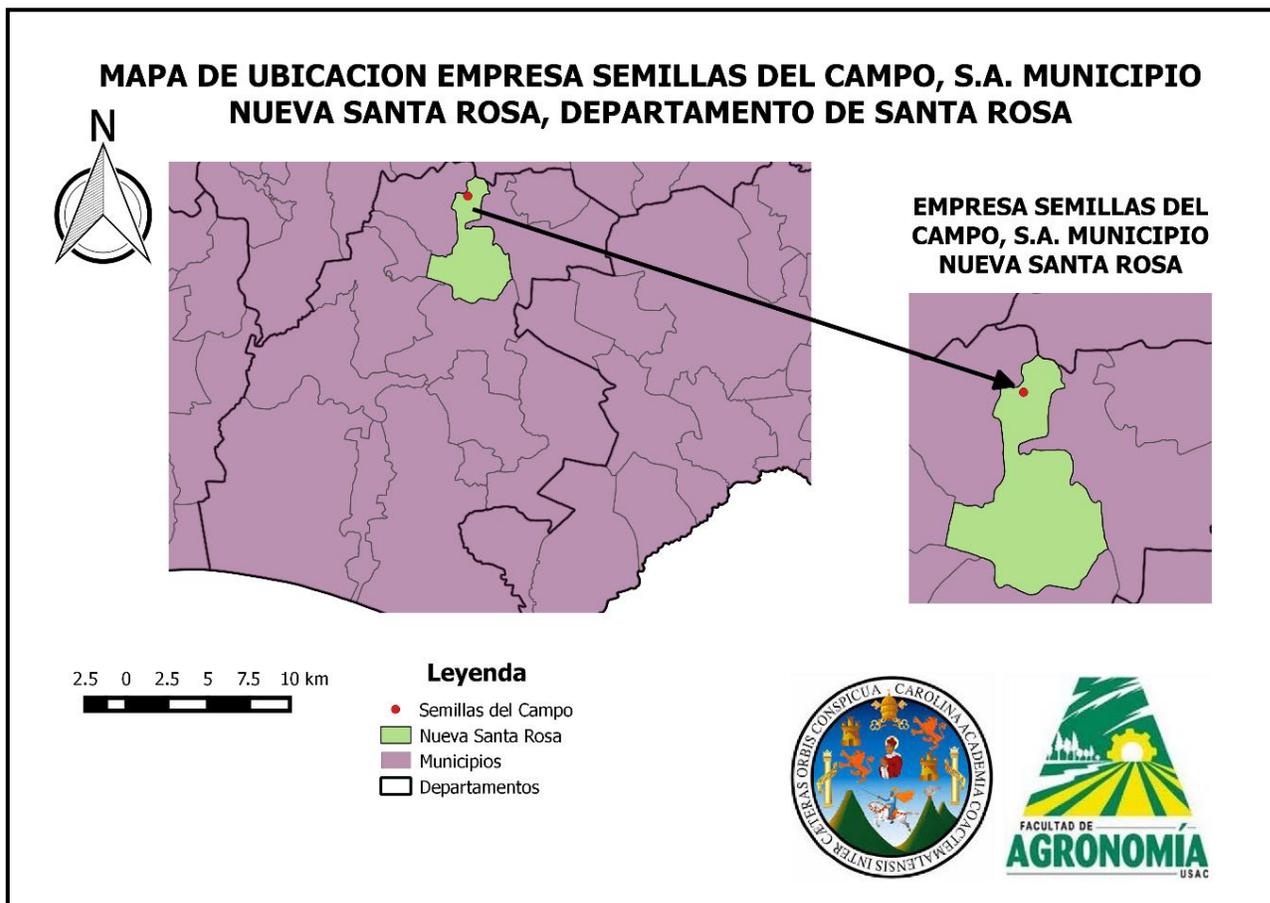
Santa Rosa; al sur con Cuilapa Santa Rosa; y al oeste con Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa de Lima, Santa Rosa (figura 1).



Fuente: Base de datos IGN, procesado con QGIS, 2015.

**Figura 1.** Mapa de ubicación Municipio Nueva Santa Rosa, Santa Rosa, Guatemala

La Empresa Semillas del Campo se encuentra en el kilómetro 77; con una altitud de 1,022 m s.n.m. y las siguientes coordenadas latitud norte de 14° 24' 06.522" y una longitud oeste de -90° 15' 43.164" (figura 2).



Fuente: Base de datos IGN, procesado con QGIS, 2015.

**Figura 2.** Mapa de ubicación de empresa Semillas del Campo, S.A.

### 1.2.3 Vías de comunicación

Las principales carreteras que conducen a la Empresa Semillas del Campo son la ruta Interamericana CA-1, entrando por Barberena rumbo sureste, al enlace con la ruta departamental Santa Rosa 3-N.

También se puede ingresar por el municipio de Fraijanes con rumbo a Mataquesuintla.

#### 1.2.4 Clima

El departamento de Santa Rosa pertenece a la región denominada Boca Costa, región angosta que transversalmente se extiende desde el Departamento de San Marcos hasta Jutiapa.

El municipio de Nueva Santa Rosa al cual pertenece la empresa Semillas del Campo presenta un clima semi-cálido; con temperatura media de 15 °C a 25 °C, se han registrado precipitaciones promedio anuales de 1,500 a 2,500 mm; la época seca comprende los meses de noviembre a abril y la época lluviosa comprende de los meses de mayo a octubre (Donis, 2011).

#### 1.2.5 Zonas de vida

El municipio de Nueva Santa Rosa pertenece a la zona de vida Bosque Húmedo Sub-Tropical Templado bh-S (t) (SEGEPLAN, 2010).

Su extensión territorial es de 12. 32 km<sup>2</sup> en los cuales se encuentran presente en los departamentos de Jalapa, Baja Verapaz, El Progreso, Jutiapa, Chiquimula, Zacapa, Santa Rosa, Guatemala, Chimaltenango, Alta Verapaz, Quiche y Huehuetenango.

#### 1.2.6 Hidrografía

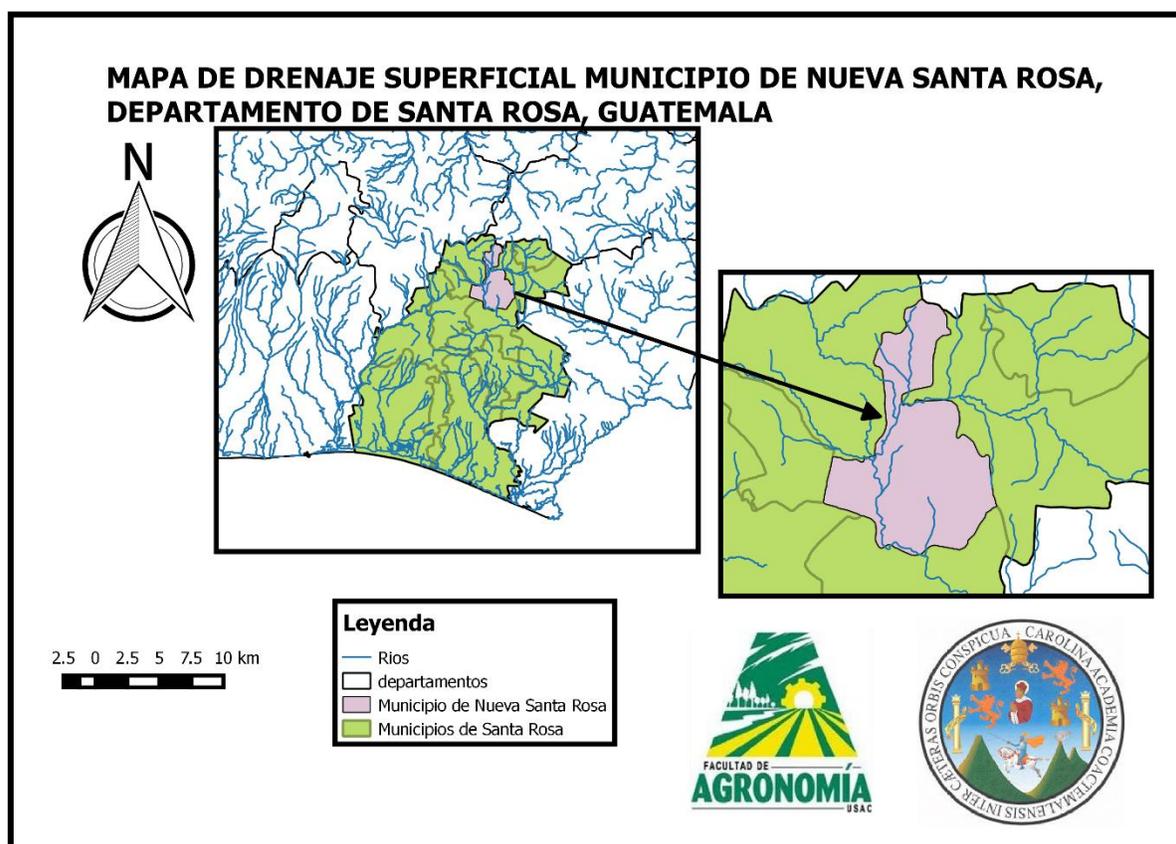
La hidrografía del municipio de Nueva Santa Rosa está constituida por 5 ríos, 1 riachuelo y 25 quebradas (SEGEPLAN, 2010); teniendo entre los ríos los siguientes:

- La Plata
- Las Cañas
- Los Achiotes
- Los Esclavos

- Chicón
- Pínula

En la Finca El Valle, en la cual está localizada la empresa Semillas del Campo forma parte de la cuenca del Río Los Esclavos; en este se encuentra río El Valle el cual se une al río Los Achiotos y desemboca en el río Los Esclavos.

En la figura 3, se presenta el drenaje superficial (ríos) perteneciente al municipio de Nueva Santa Rosa.



Fuente: Base de datos IGN, procesado con QGIS, 2015.

**Figura 3.** Mapa de drenaje superficial de municipio de Nueva Santa Rosa

### 1.2.7 Fisiografía

Los principales accidentes geográficos del municipio de Nueva Santa Rosa son:

- Volcán Jumaytepeque
- Montaña El Pincho
- Montaña Monte Verde
- Montaña Santa Lucía
- Montaña Los Papeles
- Cerro Chepe
- Cerro El Chupadero
- Cerro Pelón
- Cerro Pínula
- Cerro Verde
- Cerro Buena Vista

Con base a la información obtenida de la base de datos de fisiografía de Guatemala del programa QGIS; el municipio de Nueva Santa Rosa pertenece a las Tierras Altas Volcánicas de la Zona Montañosa y Planicie Central (Tecpán- Jalpatagua).

Esta se caracteriza por tener material geológico de rocas volcánicas, andesitas, basaltos, flujos riolíticos (obsidianas y perlitas); materiales aluviales, sedimentos fluvio-lacustres, lahares y ceniza volcánica; estos pertenecientes en las eras del plioceno, pleistoceno, cuaternario antiguo y cuaternario.

### 1.2.8 Suelo

La siguiente información es obtenida de la base de datos de la taxonomía de suelos del programa QGIS; en el municipio de Nueva Santa Rosa se encuentran las siguientes órdenes de suelo:

### A. Inceptisoles

Son suelos derivados tanto de depósitos fluviónicos como residuales, y están formados por materiales líticos de naturaleza volcánica y sedimentaria. Son superficiales a moderadamente profundos y de topografía plana a quebrada.

Morfológicamente presentan perfiles de formación incipiente, en los cuales se destaca la presencia de un horizonte cámbrico (B) de matices rojizos a pardo amarillento rojizo, excepcionalmente pardo amarillentos, y con evidencias de alteración y no de acumulación de material aluviado.

### B. Entisoles

Son suelos minerales derivados tanto de materiales aluviónicos como residuales, de textura moderadamente gruesa a fina, de topografía variable entre plana a extremadamente empinada. No tienen horizontes de diagnóstico; los cuales son aquellos horizontes de suelos que tienen un grupo de propiedades cuantitativamente definidas y que sirven para identificar las unidades de suelos.

### C. Ultisoles

Tienen un horizonte argílico de poco espesor y un bajo porcentaje de saturación de base generalmente inferior a 25 % dentro de la sección de control del perfil edáfico (OEA, 2011).

## 1.2.9 Flora y fauna

### A. Flora

En su mayoría el municipio es productor de café por consecuencia todavía cuenta con grandes extensiones de bosques naturales, como son bosque de encino puros, bosques de coníferas, y algunos de latifoliadas; conserva parte del bosque natural en las áreas más inclinadas de su topografía y constituye reservas de maderas semi-preciosas tales como: ciprés, caobas, cedros.

En la Finca El Valle aún se puede encontrar áreas de vegetación natural; se retirado la vegetación solamente en donde se encuentra la infraestructura de oficinas, planta empacadora e invernaderos y casas mayas.

### B. Fauna

Entre la fauna se puede encontrar:

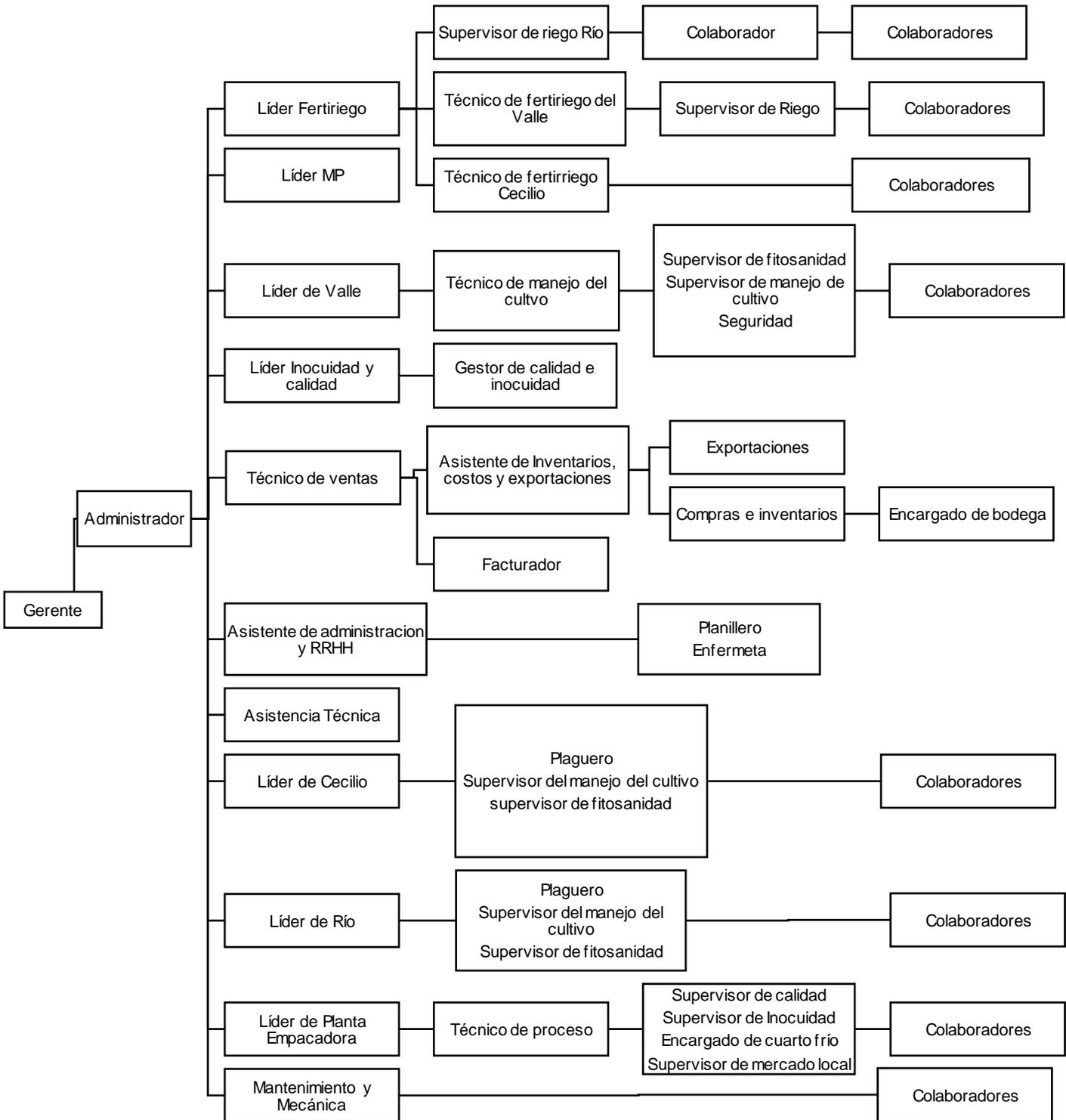
- A. Mamíferos: Tacuazín, mapache, comadreja, taltuza, liebre, armadillo, ratas de monte y murciélagos.
- B. Aves: Palomas, pijuy, corchas, pájaro carpintero, hurracas, zopes, chejes, gavilán, colibrí, tortolitas etc.
- C. Anfibios: Ranas y sapos.
- D. Reptiles: Cascabel, mazacuata, coral, lagartijas, iguanas y tamagás.
- E. Animales domésticos: Coquechas, loros, pericas, caballos, bovinos, cerdos, gallinas, chompipes, patos, gatos y perros.

#### 1.2.10 Infraestructura

La empresa cuenta con 3 pozos, 2 silos de agua, 1 cafetería, planta empacadora, invernaderos, casas mayas y oficinas.

#### 1.2.11 Recursos humanos

En la figura 4, se presenta el organigrama de la empresa, el cual muestra la forma organizacional funcional de la misma; y su relación entre sus diferentes partes y la función de cada una de ellas.



Fuente: Semillas del Campo, S.A.,2012.

**Figura 4.** Organigrama de empresa Semillas del Campo, S.A.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Conocer la situación actual de la Empresa Semillas del Campo en el tratamiento de residuos y descarga de agua producto de los distintos procesos que se realizan.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

1. Analizar el proceso en la disposición final de residuos producto del área de invernaderos y casas mayas que incluye material vegetal y plástico, determinando el adecuado manejo de los mismos.
2. Identificación de calidad de la descarga de agua producto del proceso del área de la planta empacadora.
3. Conocer la disposición final de los residuos de plástico, cartón y material vegetal como consecuencia del proceso de empaquetado.

## 1.4 Metodología

La metodología utilizada para la realización del presente diagnóstico consistió en las siguientes fases:

### 1.4.1 Fase de reconocimiento del área

Se realizó el reconocimiento perteneciente a la Empresa Semillas del Campo caminando por toda el área, platicando con los encargados de cada área de la finca, para conocer todos los procesos que se realizan en la misma.

### 1.4.2 Fase de gabinete inicial

Se procedió a la realización del plan de diagnóstico, en el cual se detallan los objetivos que se desean alcanzar, la razón de dichos objetivos; también se tomaron en cuenta aspectos a investigar en la empresa describiendo el método de toma y análisis de información.

### 1.4.3 Fase de recopilación de información

Se obtuvo la información necesaria para la elaboración del presente diagnóstico y esta consistió en:

- A. Reconocimiento del área de la empresa Semillas del Campo a través de presentación de personal y áreas de trabajo.
- B. Observación y conocimiento de los procesos generales realizados en la empresa.

- C. Conocimiento de los procesos realizados en área de invernadero, lugares de disposición final de material vegetal y plásticos.
- D. Obtención de registros sobre análisis de agua realizados de parte de la empresa.
- E. Conocimiento de los procesos realizados en la planta empacadora y los residuos producto de dicho proceso; por consecuencia también se hace un reconocimiento del área de depósito para dichos residuos que incluye el material vegetal y plástico de empaque.
- F. Toma de notas sobre lo observado en todos los procesos e información obtenida a través del diálogo con el personal.
- G. Revisión bibliográfica sobre el área de localización de la empresa respecto a su ambiente, alternativas de mejora de problemáticas encontradas en la empresa, consultoría de base de datos de mapas y realización de los mismos.

#### 1.4.4 Fase de ordenamiento y análisis de información

Una vez obtenida la información necesaria se procedió a la priorización de las principales problemáticas encontradas en la Empresa Semillas del Campo, S. A. para proseguir a un ordenamiento de la información y análisis alternativos para resolver las problemáticas priorizadas.

#### 1.4.5 Fase de gabinete final

La última fase consistió en la elaboración del presente documento, en el cual se refleja la situación actual de la Empresa Semillas del Campo, determinando y priorizando las problemáticas existentes y las alternativas a mejora de los mismos.

## 1.5 Resultados

### 1.5.1 Descripción de actividades

#### A. Invernaderos y casas mayas

La Empresa Semillas del Campo, S.A. cuenta con 6 invernaderos y 5 casas mayas; en el área de CCIPPP se cuenta con 6 invernaderos y 5 macrotuneles.

Debido a que el diagnóstico se inicia en el mes de agosto del año 2015 no se ha empezado con la producción de tomate, por lo cual se tiene información de este proceso a través del el diálogo con las personas encargadas.

En la actividad de invernadero tanto para la producción de tomate como la de chile pimiento en todas las variedades se realiza a través de hidroponía con la tecnología PRIVA para el manejo de riego y temperatura; el sustrato que se utiliza es fibra de coco la cual se coloca en bloques.

Entre los procesos de la actividad de producción se realiza podas periódicas de las plantas empezando quincenalmente cuando la planta inicia y ya al tener un tamaño considerable se realiza semanalmente.

Este material vegetal es retirado y depositado en áreas alejadas de los invernaderos y casas malla con el fin de evitar contaminación a la producción; este material no recibe tratamiento posterior como compostaje u otra actividad por lo cual se descompone en las áreas depositadas, generando olores desagradables y lixiviados directos al suelo.

El material vegetal que se retira semanalmente de la producción de tomate posee un peso aproximado de 10 ton por las 7 ha de siembra. En la producción de chile pimiento se obtuvo información directa realizando una poda de plantas la cual posteriormente se pesaron y se obtuvo que por cada hectárea que posee 30,000 plantas de tamaño regular produce

semanalmente 0.54 ton de material vegetal, por lo cual al tener 14 ha de siembra de este cultivo semanalmente se produce de 7 ton a 8 ton de material vegetal.

Otros desechos que surgen de la actividad de invernadero es la fibra de coco utilizada como sustrato la cual es almacenada cerca del área de depósito de la materia vegetal y es vendida a personas ajenas a la empresa para el uso en el cultivo de café que se da en la región.

El plástico que se utiliza en el suelo como regulador de temperatura y maleza, se cambia cada 2 años y es almacenado, no se le puede dar alguna otra utilización.

Debido a que la empresa posee certificaciones y como parte de su compromiso para mantener la calidad de sus productos no se puede utilizar el material vegetal como parte de un proceso de abono orgánico, este debe de poseer una certificación reconocida a nivel internacional para poder aplicarlo a los productos; cabe de destacar también que de ser así solo se podría utilizar el lixiviado del mismo, la producción se genera a través de hidroponía.

#### B. Calidad de agua residual proveniente de planta empacadora

En la planta empacadora se posee una política de inocuidad estricta por lo cual para la desinfección de manos y zapatos se utiliza agua clorada; en la limpieza de cajas y áreas de trabajo se utiliza agua que contiene 1.5 L de hipoclorito de sodio (NaClO) al 5 % en 1,2000 L utilizados, por lo cual se debe de mantener en un rango de 0.5 ppm a 2 ppm de cloro; estos procesos se generan diariamente. El agua residual de estas actividades es desechada en un canal separado sin tratamiento que termina en un riachuelo dentro de la finca.

La calidad del agua de descarga no se puede analizar debido a que no se le ha realizado con anterioridad un análisis físico-químico y microbiológico; esos análisis se realizan únicamente al agua utiliza antes de entrar a los procesos y el sistema de riego.

### C. Disposición final de los residuos

Seguidamente de la cosecha, se procede a la planta empacadora en este se clasifica el producto según las exigencias de los clientes; esta planta posee dos bandas en donde se clasifica y se empaca el producto.

Al realizar este proceso se pudo observar de forma directa que en el inicio de las bandas se realiza un corte del pedúnculo del fruto como parte de la apariencia que se exige; este material vegetal es desechado en la misma área que el material vegetal o rastrojo producto de las actividades de invernadero.

Al terminar de ser clasificado el producto se procede al empaque en donde hay diversidad de tamaños de empaque según lo requerido, a estos empaques se les realiza un corte para que el producto quede de forma correcta, este residuo de empaque es desechado con la basura común, no se clasifica ni recibe tratamiento, se tiene un estimado que aproximadamente se genera de ese residuo plástico de 30 L diarias en época de mayor producción.

#### 1.5.2 Análisis de la problemática

Para el análisis de la problemática se utilizó la matriz de priorización el cual ayudo a definir el orden de los problemas en el ámbito ambiental según el grado de impacto; a continuación en el cuadro 1 se presentan los problemas identificados.

**Cuadro 1.** Problemas identificados de tipo ambiental en la empresa Semillas del Campo, S.A.

PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LA EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A.	
1	Disposición final inadecuada de material vegetal como consecuencia de las actividades de producción.
2	Disposición final inadecuada de material vegetal proveniente de planta empacadora.
3	Desconocimiento de calidad del agua residual proveniente de planta empacadora
4	Ausencia de un área de disposición final de desechos sólidos utilizados en invernaderos, casas mayas y planta empacadora con oportunidad de reciclaje.

### 1.5.3 Matriz de priorización de problemas

La matriz de priorización de problemas de tipo ambiental se categorizó en el grado de impacto que este tiene hacia el ambiente y oportunidad de soluciones a corto plazo.

Se clasifica con una ponderación de 1 a 5, en donde 1 es el de menor impacto y 5 el de mayor impacto en la primera categoría, en la segunda categoría representa como 1 el menor tiempo de solución y 5 el mayor tiempo de solución; al final de cada clasificación se realizó la suma de las ponderaciones dadas a cada categoría antes mencionadas y los resultados de las sumatorias se les asignara una letra mayúscula (A-D) para luego conocer su orden.

En el cuadro 2 se presenta la matriz de priorización con las clasificaciones según el nivel de impacto ambiental.

**Cuadro 2.** Matriz de priorización de problemas

<b>PROBLEMA</b>	<b>IMPACTO HACIE EL AMBIENTE (1-5)</b>	<b>OPORTUNIDAD DE SOLUCION A CORTO PLAZO (1-5)</b>	<b>PRIORIDAD (SUMATORIA)</b>
Disposición final inadecuada de material vegetal como consecuencia de las actividades de producción.	5	4	9A
Disposición final inadecuada de material vegetal proveniente de planta empacadora.	4	4	8B
Desconocimiento de calidad del agua residual proveniente planta empacadora	4	1	5C
Ausencia de área de disposición final para desechos sólidos utilizados en invernaderos, casas mayas y planta empacadora con oportunidad de reciclaje.	2	1	3D

Los problemas quedan priorizados en el siguiente orden:

- A. Disposición final inadecuada de material vegetal consecuencia de las actividades de producción.
- B. Disposición final inadecuada de material vegetal proveniente de planta empacadora.
- C. Desconocimiento de calidad del agua residual proveniente planta empacadora.
- D. Ausencia de un área de disposición final de desechos sólidos utilizados en invernaderos, casas mayas y planta empacadora con oportunidad de reciclaje.

#### 1.5.4 Descripción de las problemáticas

##### A. Disposición final inadecuada de material vegetal como consecuencia de las actividades de producción

La Empresa Semillas del Campo, S.A. cuenta con una área de producción de 21 ha entre los cultivos de tomate y chile pimiento, este se produce a través de hidroponía en casas mayas e invernaderos; como parte del proceso de producción se debe de realizar podas periódicas a dichos cultivos para que se obtenga la calidad que caracteriza a la empresa; como consecuencia de lo antes mencionado se genera un residuo de material vegetal el cual es desechado en áreas alejadas de la producción pero sin algún tratamiento posterior; aproximadamente se genera 10 ton de material vegetal del cultivo de tomate y 8 ton de material vegetal del cultivo de chile pimiento ambos cultivos incluyen sus distintas variedades; y se tienen dos lugares para la disposición de esta material vegetal uno para cada cultivo.

Debido a que el material vegetal no posee tratamiento, éste sigue un proceso de descomposición en campo abierto por lo cual tiene un impacto negativo al ambiente ya que es generador de malos olores, mal aspecto en el paisaje y área propensa a generador de bacterias y plagas; debido a la descomposición suelta gases y también derrame de líquidos que son filtrados directamente al suelo; también se encuentra material vegetal propenso a quemarse debido a que el material se encuentra seco.



**Figura 5.** Fotografía de materia vegetal de cultivo de chile pimiento



**Figura 6.** Fotografía de área para disposición final de residuo de materia vegetal de cultivo de chile pimiento



**Figura 7.** Fotografía de área de disposición final de materia vegetal de cultivo de tomate

#### B. Disposición final inadecuada de material vegetal proveniente de planta empacadora

En la planta empacadora, se poseen dos bandas transportadoras y debido a que en el mes de agosto en que se realizó el diagnóstico no se posee producción de tomate solo se pudo observar el proceso de empacado de la producción de chile pimiento; como parte de las exigencias de los clientes y la clasificación del producto se generan residuos vegetales como lo es el pedúnculo del chile y fruto descartado por mal estado o daños en apariencia, esos

residuos de material vegetal son depositados en las mismas áreas en donde se encuentra la disposición final del material vegetal proveniente de las actividades de producción.

Se estimó que en época de mayor producción se genera un aproximado de 0.5 ton semanales de residuo vegetal; al ser depositado de la misma manera que el material proveniente del invernadero, éste inicia con su descomposición generando los impactos antes mencionado; se considera que este proceso tiene un grado menor a la categoría al anterior debido a que no se genera una cantidad considerable como la que genera del proceso de producción y el riesgo de incendio es menor al no poseer material seco.

Se pretende dar un tratamiento a estos materiales por lo cual se considera la implementación de sistemas de biodigestores para el aprovechamiento de energía.



**Figura 8.** Fotografía de residuo de materia vegetal, producto del proceso de empaclado



**Figura 9.** Fotografía de depósito de materia vegetal de tomate cubierto en descomposición



**Figura 10.** Fotografía de depósito de materia vegetal de tomate producto del proceso de empaque y producción

### C. Desconocimiento de calidad del agua residual proveniente de planta empacadora

Al consultar la información documentada sobre análisis de calidad de agua realizados de parte de la empresa, se obtiene que se realizan análisis de calidad de agua utilizada antes de los procesos; y no se tiene registro de análisis de agua residual proveniente del área de empaque.

Se considera que es de importancia la realización de dichos análisis de agua residual ya que la información obtenida y la observación del proceso se concluyeron que se utilizan

cantidades considerables de cloro para la desinfección de todas las áreas, personal y equipo; esta es descargada a un riachuelo dentro de la empresa.



**Figura 11.** Fotografía de tubería de descarga de agua residual de planta empacadora



**Figura 12.** Fotografía de este receptor de descarga de agua residual de planta empacadora

D. Ausencia de área de disposición final para desechos sólidos utilizados en invernaderos, casas mayas y planta empacadora con oportunidad de reciclaje

Algunos materiales utilizados en la empresa como lo es el plástico de invernadero y el plástico de cobertura de las casas mayas que se retiran de los techos cada dos años; son reutilizados dentro de las casas mayas o invernaderos como piso, para ayudar a la regulación del crecimiento de maleza y temperatura del lugar, este tiene un tiempo de utilización de dos años; se puede concluir que se genera una cantidad de plástico de invernadero alrededor de 300 m<sup>2</sup> a 500 m<sup>2</sup> y es almacenado en algunas áreas a cielo abierto de la finca.



**Figura 13.** Fotografía de plástico utilizado como piso en invernadero



**Figura 14.** Fotografía de plástico almacenado

En el proceso de empaque, se genera una cantidad aproximada de 30 lb diarias de residuo de plástico en época de mayor producción, generado de las bolsas de empaque, también se genera una cantidad aproximada de 3 lb a 5 lb semanales de cartón.



**Figura 15.** Fotografía de disposición final de plástico proveniente de planta empacadora



**Figura 16.** Fotografía de residuo de plástico utilizado en empaque

El cartón por el contrario si es separado y depositado en el área de descarga de producto de la empacadora el cual es retirado por personal ajeno.



**Figura 17.** Fotografía de residuo de cartón de planta empacadora



**Figura 18.** Fotografía de almacenaje de cartón para retiro por recicladores

Los plásticos de invernadero, casas mayas y área de empaque son potenciales de reciclaje, estos en la actualidad no reciben tratamiento y no son recolectados por personas interesadas para su reciclaje, el plástico de empaque es descartado con el desecho común.

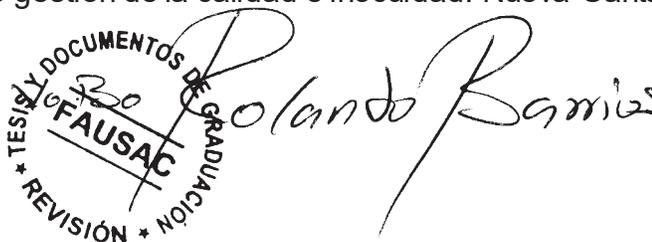
## 1.6 Conclusiones y Recomendaciones

1. El residuo de material vegetal proveniente del invernadero y casas mayas no poseen un tratamiento posterior como lo podría ser el compostaje, eso debido a que no se tendría un aprovechamiento de parte de la empresa ya que todas las aplicaciones que se realicen a los cultivos deben de poseer certificados de calidad.
2. Los residuos como el plástico utilizado en el suelo de los invernaderos no poseen una disposición de reciclaje y como consecuencia es almacenado en áreas distintas de la empresa.
3. El agua residual de la planta empacadora no posee registros de análisis de calidad físico – químico y microbiológico; la información obtenida indicó que el hipoclorito de sodio es el componente más utilizado para la desinfección del agua y el personal considera que es el contaminante principal en el agua residual.
4. Los residuos provenientes del área de empaque son el plástico de los empaques para el producto, se produce aproximadamente 30 lb diarias y es depositado con los desechos comunes para ser enviados a un relleno sanitario; el cartón es almacenado en el área de descarga del producto vegetal y posteriormente es adquirido por una persona ajena a la empresa para reciclaje. El material vegetal producto de rechazo y corte del pedúnculo de los frutos es depositado en la misma área que el material vegetal proveniente del proceso de producción a cielo abierto.
5. Realizar análisis de aguas residuales anualmente basados en la legislación de Guatemala y el Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos para tener respaldo de la calidad del agua residual y mejorarla de ser necesario.

6. Debido a que la cantidad de material vegetal o rastrojo proveniente de los procesos de producción y empaque generan un volumen elevado, se recomienda la implementación de biodigestores para el aprovechamiento de los mismos a través de la obtención de energía o gas natural.
7. Brindar al personal colaborador de la empresa capacitación sobre el tema de educación ambiental para un mayor aprovechamiento de los recursos de los cuales se disponen y disminuir el impacto al ambiente en todos los ámbitos.
8. Considera en el área CCIPPP realizar investigaciones con los residuos vegetales y el agua residual para encontrar una alternativa de reutilización en cultivo u otro proceso con una visión amigable hacia el ambiente.

## 1.7 Bibliografía

1. Donis, S. M. (2011). Produccion y eportacion de café de calidad como una alternativa para el desarrollo sostenible del sector cafetalero en el municipio de Nueva Santa Rosa en el departamento de Santa Rosa (Tesis Lic. Econ.). Consultado el 06 de Agosto de 2015, de USAC, Biblioteca Central: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03\\_3700.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3700.pdf)
2. OEA. (2011). República de Panamá - proyecto de desarrollo integrado de la región oriental de Panamá - Darién. Consultado el 07 de Agosto de 2015, de Organización de Estados Americanos: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea30s/ch026.htm#a.2.6> suelos del orden ultisol
3. SEGEPLAN.(2010). Plan de Desarrollo Municipio de Nueva Santa Rosa 2011-2025. Guatemala: Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia de Guatemala.
4. Semillas del Campo. (2012). Manual de gestion de la calidad e inocuidad. Nueva Santa Rosa, Santa Rosa, Guatemala.

  
Polando Ramirez

The seal of the Universidad de San Carlos de Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a blue background, depicting a figure on a horse. Above the shield is a golden dome with a cross. The shield is flanked by two golden lions. The shield is supported by two golden columns. The shield is set against a green background. The seal is surrounded by a grey border with the Latin text "UNIVERSITAS SAN CAROLINIENSIS" at the top and "CETTERAS ORBIS CONSPICUA CAROLINIANA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" at the bottom.

**CAPÍTULO II**

**2. PROPUESTA DE PLAN DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PLANTA EMPACADORA, EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., NUEVA SANTA ROSA, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.**

**PROPOSED PLAN OF WASTE WATER HARNESSING PLANT BALER, COMPANY SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., NUEVA SANTA ROSA, SANTA ROSA, GUATEMALA, C. A.**



## 2.1 Presentación

El agua es un elemento vital para el desarrollo de los seres vivos tanto vegetales como animales y se encuentra en gran proporción en el planeta tierra; es un recurso natural que se puede considerar renovable si es controlado su proceso de uso, descarga, contaminación; pero debido a las acciones que en la actualidad se presentan sobre este recurso lo han convertido en no renovable, principalmente por la acción humana.

Se le conoce como contaminación al agua, cuando esta cambia su curso natural y es modificada por un agente externo, el cual muchas veces no es de forma dañina; pero lamentablemente la acción del hombre en diferentes actividades como la industria, producción agrícola, consumo doméstico, entre otros; generan una contaminación negativa a dicho recurso, el cual es devuelto a su cauce con un cambio drástico en sus composición tanto química como física, afectando a los sistemas interactuantes de este.

Al cambio drástico que sufren las aguas se le conoce como aguas residuales o servidas, son una fuente de mayor contaminación a los cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas, etc., pero al brindarles un tratamiento adecuado estas pueden ser reutilizadas en otras actividades o descartadas con una calidad adecuada a los entes receptores y disminuir el impacto al ambiente.

Guatemala por su diversidad hidrográfica posee acceso al recurso agua en todas las regiones; la falta de una ley y la acción del hombre han generado gran cantidad de aguas residuales y escases de dicho recurso; como consecuencia deja a la población más vulnerable sin acceso al mismo y un impacto negativo a los ecosistemas.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 establece para Guatemala el Reglamento para Descarga y Reutilización de Aguas Residuales y Disposición de Lodos; este establece los parámetros del tipo y cantidad de contaminantes que se pueden descargar a los cuerpos de agua para mantener un control de los ecosistemas.

La Empresa Semillas del Campo, S.A., se encuentra a 77 km del municipio de Nueva Santa Rosa, del departamento de Santa Rosa; es una empresa dedicada a la producción de chile pimiento y tomate en distintas variedades, se caracteriza por su innovación en nuevas alternativas de producción que disminuyan el impacto al ambiente; en la planta empacadora se lleva a cabo distintos procesos con el fin de obtener un producto según las exigencias de los clientes manteniendo los estándares de calidad e inocuidad del personal.

Debido a los estándares de calidad y las certificaciones en la parte de inocuidad es indispensable la desinfección y limpieza continua de área de empaque, incluyendo producto, maquinaria, equipo, colaboradores y visitantes; para cumplir dichos compromisos se realiza una limpieza y desinfección con 1.5 L de hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) al 5 % en 12,000 L de agua para estar en un rango de 0.5 ppm a 2 ppm de cloro; esta agua es descargada desconociendo su calidad.

El agua residual no posee tratamiento alguno por lo cual no es posible su reutilización ya que se desconocen las cantidades de contaminantes de los parámetros físico-químicos y microbiológicos permitidos en Guatemala según el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos según Acuerdo Gubernativo 236-2006. Debido al proceso antes descrito que se realiza en la planta empacadora se considera que el agua residual posee cantidades considerables de cloro y otros elementos como Na, K, P; los cuales generan una contaminación al cuerpo de agua y sistemas que interactúan con él.

La Empresa Semillas del Campo interesada en la reutilización del agua residual y evitar la contaminación a los entes receptores; realizó una investigación de la misma a través de pruebas biológicas en un medio controlado con el fin de establecer el tratamiento adecuado para su reutilización y como resultado se generó un plan de aprovechamiento de la misma. La investigación se realizó como parte del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el período de agosto a mayo del 2016.

## 2.2 Marco Conceptual

### 2.2.1 El recurso hídrico en Guatemala

El agua es un recurso vital en la vida de todos los sistemas, análisis realizados con anterioridad mencionan que Guatemala tiene la capacidad para abastecer a la población con dicho recurso, pero no posee la gestión adecuada para su administración; los artículos 127 y 128 de la Constitución Política de la República de Guatemala garantiza que el recurso es de uso público siempre beneficiando al bien común y que habrá una ley que regule el mismo; lo anterior hasta la actualidad no se ha gestionado de forma adecuada.

Según el informe del IARNA del 2012, entre los años 2007 y 2010 la oferta hídrica era de un 20 % y 22 % disponible anualmente para Guatemala; 373.88 millones de m<sup>3</sup> de agua fueron utilizados en el año 2010; 7,643.12 millones fueron empleados por la industria, incluyendo agroindustria, lo que represento el 37.5 % de agua utilizada. Las actividades agropecuarias y silviculturas demandaron el 31.9 % de los recursos hídricos utilizados en el país lo que representa 6,496.56 millones de m<sup>3</sup> de agua. La generación de energía eléctrica con base al movimiento hidráulico se estimó que utilizo un poco más de 5 millones de m<sup>3</sup>, esto representa el 24.82 % del total empleado. Los hogares los cuales deberían de ser la prioridad de abastecimiento solamente habrían utilizado 461.68 millones de m<sup>3</sup>, representando solamente el 2.3 %; y el resto de actividades utiliza el 3.5 % del total de la utilización para el año 2010.

También es importante conocer las consecuencias de la utilización del agua en las distintas actividades y el impacto que este tiene tanto al ambiente como a la sociedad; se conoce que en Guatemala se poseen 38 ríos principales distribuidos en tres vertientes hidrográficas; de estos probablemente 14 ríos principales y 4 lagos han superado los límites permitidos de elementos contaminantes para el año 2009; lo que implica riesgo importante para utilizar este recurso para consumo humano. Gran parte de la contaminación de los cuerpos de agua o acuíferos en el país proviene de las aguas residuales de los centros urbanos e industrias,

las cuales son vertidas en los cauces de los ríos por lo general sin ningún tipo de tratamiento; este tipo de descarga son ricas en nutrientes, bacterias y patógenos los cuales puede generar la producción de algas y este puede ser dañino para la salud humana o también un impacto en una mayor demanda de oxígeno lo cual causaría la muerte de los sistemas vivientes que se relacionan con el cuerpo de agua o viven en él (Carrera, Gálvez, & López, 2012).

## 2.2.2 Normativa sobre el recurso hídrico

### A. Constitución política de la República de Guatemala

Según la Constitución Política de Guatemala el agua es un bien de dominio público el cual debe ser aprovechado para el desarrollo del país.

### B. Artículo 127. Régimen de aguas

Todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su establecimiento, uso y goce se otorgan en la forma establecida por la Ley, de acuerdo con el interés social. Una Ley específica regulará esta materia (ANC, 1985).

### C. Artículo 128. Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos

El aprovechamiento de las aguas de los lagos y ríos, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional, está al servicio de la comunidad y no de persona particular alguna, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los cauces correspondientes, así como a facilitar las vías de acceso (ANC, 1985).

### 2.2.3 Acuerdo Gubernativo 236-2006

Es el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos, este tiene como objetivo establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para el mismo, para el mejoramiento de las características de dichas aguas y así se logre establecer un proceso continuo que permita:

- Proteger los cuerpos receptores de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con una visión de gestión integrada (MARN, 2006).

### 2.2.4 Política nacional del agua de Guatemala y su estrategia

El Gabinete Específico del Agua (GEA), creado en el año 2008 según Acuerdo Gubernativo 204-2008, le asigna como parte de sus objetivos y funciones la revisión y actualización de la propuesta de Política y Estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

El fin de la política establecida en el año 2011 es asegurar la contribución del agua al cumplimiento de metas y objetivos de desarrollo económico, social y ambiental del país, mediante la institucionalización del sistema nacional de gestión y gobernanza del agua que satisfaga el mayor número de demandas, prevea los requerimientos futuros, gestione los riesgos hídricos y proteja el bien natural, en un marco de armonía social, desarrollo humano y soberanía nacional (GEA, 2011).

## 2.2.5 Generalidades de Acuerdo Gubernativo 236-2006

### A. Agua residual de tipo especial

Son aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industrias, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas (MARN, 2006).

### B. Aguas residuales de tipo ordinario

Son aguas residuales generadas por actividades domésticas, tales como uso de servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, dichas aguas son conducidas a través del alcantarillado (MARN, 2006).

### C. Entes generadores

Es la persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas y cuyo efluente final se descarga en un cuerpo receptor (MARN, 2006).

### D. Límite máximo permisible

En Guatemala se utiliza para el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos”; este límite es el valor asignado en los parámetros de descarga el cual no debe ser excedido por los entes generadores, de esta forma se contribuye a la disminución del impacto debido a la contaminación a los cuerpos receptores.

## E. Estudio técnico

Es un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reuso y lodos; esto debe de realizarlo la persona individual o jurídica, pública o privada responsable de la generación de aguas residuales de cualquier tipo vertiéndolas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público, se recomienda realizar dicho estudio anualmente (MARN, 2006).

## F. Parámetros de descarga de aguas residuales

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 presenta los valores de límite permisible para la descarga de parámetros establecidos para aguas residuales. En el cuadro 3 se presenta los valores de los parámetros permisibles para la descarga de agua residual y el cuadro 4 se presenta los límites permisibles de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); permitidos para el año 2024.

### 2.2.6 Fundamento de calidad de agua y sus características

#### A. Contaminación hídrica

La contaminación hídrica hace referencia a cantidad de agua residual en el cual pasa una cantidad de contaminantes, por consecuencia el aporte de oxígeno es insuficiente y los microorganismos ya no pueden degradar los desechos contenidos en ella, por consecuencia las corrientes de agua se asfixian causando un deterioro de la calidad de las mismas, produciendo olores desagradables e imposibilitando su utilización para consumo (EcoEstrategia, 2004).

**Cuadro 3.** Parámetros permisibles de descarga a un ente receptor

Parámetros	Dimensionales	Valores Iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Aceites y Grasas	Miligramos por litro	1500	100	50	25	25
Materia Flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausene	Ausene	Ausene	Ausene
Solidos Suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno Total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo Total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de Hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes Fecales	Número mas probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo Hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR= temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius

Fuente: Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas residuales y Disposición de Lodos, 2006

**Cuadro 4.** Límite de descarga de DBO

			Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
Parámetro	Dimensional	Valor Inicial	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	500	300	250	150	100

Fuente: Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas residuales y Disposición de Lodos, 2006

**B. Calidad del agua**

Se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a sus características físicas, químicas y biológicas en su estado natural o después de ser afectado por acciones antrópicas (IARNA, 2006).

La calidad le agua se puede conocer con mayor precisión a través del análisis de muestras a nivel de laboratorio, el resultado de estos se compara con las normas nacionales y así concluir la calidad y la aptitud de la misma. También la calidad para consumo humano dependerá del tipo de uso que se le desee dar y el cual muchas veces recibe un tratamiento previo como lo es a desinfección y el análisis microbiológico es de gran importancia para determinar si es apta para su uso.

**C. Calidad de agua residual**

La calidad del agua residual dependerá del grado de contaminación que se esté descargando, se debe de comparar el resultado de los análisis físico-químicos y

microbiológicos con los reglamentos nacionales; en Guatemala el reglamento establecido para conocer la calidad de agua residual es el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos”, el cual establece los límites permisibles de contaminantes a descargar de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

#### D. Parámetro

El parámetro identifica una característica física, química y biológica de las aguas residuales, aguas para reuso y lodos, establecida por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para Guatemala y en la cual debe mantener el ente generador para evitar la degradación de los cuerpos receptores. Las características establecidas para aguas residuales en Guatemala son las siguientes:

- Temperatura
- pH
- Grasas y aceites
- Material flotante
- Sólidos suspendidos
- DBO
- DQO
- Nitrógeno Total
- Fósforo Total
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro Total
- Cobre
- Cromo Hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc
- Color
- Coliformes fecales

## E. Características biológicas

En agua son características relativas a la presencia de bacterias que determinan su calidad (COGUANOR, 1985); en Guatemala se toman los siguientes parámetros:

### a. Coliformes fecales:

Es el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua, este es parte del grupo de coliformes totales y de bacterias patógenas provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente; se caracteriza por fermentar la lactosa con producción de gas con una temperatura más o menos de 44 °C en un periodo de 24 horas (MARN, 2006).

### b. Coliformes totales:

Es el parámetro que indica la presencia de contaminación en el agua; los coliformes totales son las Enterobacteriaceae lactosa-positivas; se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, más o menos rápidamente, en un periodo de 48 horas y con una temperatura de incubación comprendida entre 30 °C – 37 °C (USAL, 2013).

## F. Características físicas

Son características relativas a su componente físico que determinan la calidad del agua; algunos de estos parámetros se pueden detectar fácilmente a través de los sentidos con esto se puede lograr una idea de la magnitud de la contaminación que poseen las aguas residuales. Los parámetros que se establecen para Guatemala son los siguientes:

## a. Color:

El color de las aguas residuales es causado en su mayoría por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. Se le llama color aparente el que es causado por sólidos suspendidos; y a los colores causados por material coloidal y sustancias en solución se le llama color verdadero (Rabanales, 2015).

## b. Densidad:

La densidad es una característica para establecer la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento. La densidad del agua residual se define como su masa por unidad de volumen y se expresa en g/L o  $\text{kg/m}^3$  para el sistema internacional (SI) (Rabanales, 2015).

## c. Olor:

El olor será con mayor intensidad en las aguas residuales dependiendo de su grado de contaminación. El olor que comúnmente se percibe en las aguas residuales se debe a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce al degradarse los sulfatos y sulfitos por acción anaerobia de microorganismos.

Este también puede ser medido mediante métodos sensoriales e instrumentales; la medición sensorial empleada a través del sentido del olfato puede generar información en niveles de detección muy bajos, este se usa con frecuencia para medir los niveles de olor en plantas de tratamiento (Rabanales, 2015).

d. Sólidos Disueltos:

Este lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico tal como la sedimentación o filtración. La presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista; la presencia de estos sólidos se detecta cuando el agua se evapora y quedan las sales residuales en el medio que originalmente contiene al agua (Oocities, 2015).

e. Sólidos Suspendidos:

Es el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas muy finas, estos pueden separarse con menor grado de dificultad a comparación de los sólidos disueltos a través de procesos mecánicos como la sedimentación o filtración. Las partículas de los sólidos suspendidos se componen mayormente de material orgánico, aunque siempre se puede encontrar material inorgánico (Oocities, 2015).

f. Temperatura:

La temperatura es un parámetro muy importante en la descarga de aguas residuales ya que esta puede causar cambios en las especies que viven en el cuerpo receptor; al aumentar la temperatura disminuye la concentración de oxígeno disuelto y al tener unas aguas deficientes en oxígeno puede ocasionar la muerte de especies acuáticas especialmente en peces. También se puede generar contaminación térmica la cual afecta al cuerpo receptor ya que a veces los rangos de temperatura de este son específicos para la subsistencia de ecosistemas acuáticos (Oocities, 2015).

g. Turbidez:

La turbiedad se toma como la medida de propiedades de transmisión de la luz del agua, esta va en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de este parámetro se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersa en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones; la materia coloidal dispersa absorbe la luz impidiendo su transmisión. Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (Guillermo, 2014).

G. Características químicas

Son características relativas a las sustancias contenidas en el agua que pueden modificar su calidad; estos van desde componentes orgánicos e inorgánicos hasta los gases que se encuentran disueltos en ella.

a. Conductividad:

Es una medida indirecta de la cantidad de sales o sólidos disueltos que posee el agua; los iones en solución poseen cargas positivas y negativas, esta propiedad hace que la resistencia del agua al flujo de corriente eléctrica tenga ciertos valores. Si el agua posee una cantidad grande de iones disueltos mayor será su conductividad y por ende a mayor conductividad mayor es la cantidad de sólidos o sales disueltas en ella (Oocities, 2015).

b. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):

Es la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, este se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un periodo de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius (MARN, 2006).

c. Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Es la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales ya que algunas sustancias no se oxidan con facilidad de forma bioquímica; este se realiza con una solución de Dicromato en medio ácido (MARN, 2006).

d. Dureza:

Es la presencia de cationes como calcio, magnesio, estroncio, bario, hierro, aluminio y otros metales que se encuentran presentes en forma de sólidos disueltos en el agua; se encuentra con mayor abundancia el calcio y magnesio por lo que casi siempre la dureza está directamente relacionada con la concentración de estos dos elementos. La dureza del agua no tiene ninguna relación con la salud, pero dificulta el uso del agua para empleo en servicios e la industria (Oocities, 2015).

e. Grasas y Aceites:

Al hablar de grasas y aceites hace referencia a aceites, grasas, ceras y otros constituyentes similares encontrados en las aguas residuales. El contenido de estos

se determina por extracción de la muestra de residuo con triclorotrifluoroetano ya que son solubles en este.

Otras sustancias que pueden ser extraídas por este método son algunos derivados del petróleo entre ellos kerosene, aceites lubricantes y aceites bituminosos empleados en la construcción de pavimento de carretera. Las grasas y aceites de origen vegetal o animal son similares ya que básicamente son esteres compuestos de ácidos grasos, alcohol y glicerol (glicerina; de estos aquellos que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente se denominan aceites y los que permanecen en estado sólido se llaman grasas (Rabanales, 2015).

f. Fósforo:

El fosforo no presenta toxicidad en los seres vivos y es de importancia para el crecimiento de algunas plantas y organismos biológicos; la presencia de fosfatos en aguas potables es un indicador de posible contaminación del acuífero por aguas contaminadas o aguas residuales; esto debido a que el fosforo se encuentra presente en cantidades relativamente altas en aguas residuales y aguas de riego agrícola, su presencia en valores mayores a los valores establecidos para agua potable puede deberse a una contaminación por infiltración al yacimiento de agua (Oocities, 2015).

El fosforo puede no presentar toxicidad o daño alguno a los cuerpos de agua, pero los herbicidas o pesticidas organofosforados que también están presentes en las aguas de riego agrícola son una advertencia de la calidad del agua ya que muchas veces estas presencias exceden las descargas permitidas por los reglamentos nacionales y genera un aumento en la demanda bioquímica de oxígeno, al aumentar la demanda empieza una competencia en obtener oxígeno entre los ecosistemas y los contaminantes.

g. Nitrógeno:

El nitrógeno se puede encontrar en el agua como nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos; en el agua residual sin tratar están presentes los dos primeros, en la naturaleza y en presencia de O<sub>2</sub> el nitrógeno amoniacal se transforma en nitrito y este rápidamente en nitratos que es la forma más oxidada que se encuentra el nitrógeno en el agua. El exceso de nutrientes, nitrógeno y fósforo en el agua provoca que las plantas y otros organismos crezcan, estos cuando mueren se pudren y llenan el agua de malos olores dándole un aspecto desagradable y así disminuyendo su calidad; durante este proceso consume gran cantidad de oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos que da como resultado final un ecosistema desnutrido (Ambientum, 2002).

h. Potencial de Hidrógeno (pH):

El pH es un parámetro de suma importancia ya que este indica el rango en que pueden interactuar los ecosistemas y sobrevivir las especies que lo conforman la importancia de este es que muchas veces estos rangos son muy restringidos, por lo cual si este valor se ve alterado los procesos biológicos que normalmente se llevan a cabo pueden ser perturbados o inhibidos y las consecuencias son negativas hacia el ambiente (Oocities, 2015).

El pH se representa como el logaritmo negativo de la concentración del ión Hidrógeno:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

Al tener un valor de pH menor a 7 indica que el agua se encuentra en un medio ácido, esto quiere decir que entre menor sea la concentración de pH mayor será la concentración de iones de Hidrógeno que se encuentre y de igual manera mayor será su acidez; por lo contrario, al tener una concentración de pH mayor a 7 este indica

que el agua se encuentra en un medio básico o alcalino por lo cual también muestra que la concentración de iones de Hidrógeno es menor. Y al obtener un pH de 7, indica que el agua se encuentra en un estado neutro, este no posee características ácidas ni básicas por lo cual los iones de Hidrógeno se encuentran en equilibrio.

#### H. Cloro y su reacción con el agua

El agua en el momento de su utilización para consumo humano en distintas actividades, debe de ser desinfectada para obtener una calidad adecuada y no dañina para la salud; el componente que se utiliza para la desinfección es el cloro este se puede aplicar en cualquier estado físico (gas, líquido y sólido).

El cloro al entrar en contacto con el agua este reacciona con el material orgánico y metales que se encuentren presentes en la misma, siendo utilizado el necesario para eliminar el material contaminante; a este proceso se le conoce como “la demanda de cloro del agua”; el cloro que no se utiliza ya que la demanda es satisfecha se conoce como cloro total.

El cloro total es dividido en cloro combinado el cual reacciona con iones de nitratos, este no representa una cantidad disponible para desinfección; y en cloro residual o libre, este representa la cantidad de cloro disponible para inactivar microorganismos o patógenos causantes de enfermedades. En el caso de las aguas naturales la demanda de cloro será mayor y este reaccionara con los nitratos y fosfatos contenidos en el generando así cloro combinado; y las concentraciones de cloro residual serán menores.

Al ser descargada el agua residual, el cloro se encuentra en un estado de oxidación por lo que se convierte en cloruros, este es señal de contaminación junto a los fosfatos y nitratos en exceso (Ayora Cañada, 2007).

## 2.2.7 Muestreo

### A. Caracterización de la muestra

La determinación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas potencialmente para uso potable, aguas residuales, aguas para reuso y lodos (MARN, 2006).

### B. Muestras de agua residuales

La muestra es la toma de la parte representativa del objeto de estudio; en el caso de una muestra de agua es la toma de cierta cantidad ya sea del cuerpo receptor o del ente generador para su análisis posterior a nivel de laboratorio.

La toma de muestra de agua se debe de realizar de forma cuidadosa ya que cualquier contaminante externo puede cambiar los resultados de los análisis de la muestra.

### C. Muestra simple

Es la muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso y lodos en el momento de la toma.

### D. Muestras compuestas

Son dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinado de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reuso y lodos; este con el fin de mantener un monitoreo de la calidad de estas (MARN, 2006).

### 2.2.8 Planta de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características indeseables de las aguas; la finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso se le desee dar, a consecuencia la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

Una planta de tratamiento es una estructura artificial donde se propicia el desarrollo controlado de un proceso natural que permite reducir a niveles convenientes el contenido de materia orgánica y de sustancias varias de carácter físico-químico y microbiológico para que de esta forma disminuya la contaminación de las aguas residuales antes de su descarga al medio natural y así favorecer la recuperación y conservación de la calidad de las aguas de los cuerpos receptores (DISEPROSA, 2004).

A continuación, se presentan algunos de tipos de tratamiento más utilizados para aguas residuales:

#### A. Tratamiento por sedimentación:

Este tratamiento se basa en la fuerza de la gravedad, haciendo que las partículas más densas que el agua desciendan depositándose en el fondo del sedimentador; este tratamiento es más efectivo cuando las partículas tengan mayor tamaño; en algunas ocasiones es necesario la implementación de floculadores para que ayude a las partículas a descender y así el sistema es eficiente (Rodríguez Fernández-Alba, y otros, 2006).

#### B. Tratamiento por filtración:

Esta es una operación en la cual se hace pasar el agua a través de un medio poroso, el objetivo de este es retener la mayor cantidad posible de material en suspensión; el medio poroso tradicionalmente es un lecho de arena, de altura variable y dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partículas, siendo la capa superior la más pequeña; estos pueden diseñarse por gravedad o presión (Rodríguez Fernández-Alba, y otros, 2006).

#### C. Tratamiento por filtros percoladores:

Un filtro percolador consiste en una cama de grava o un medio plástico sobre el cual se rocían las aguas residuales, este consiste en que los organismos se pegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre este, a medida que las aguas se percolan por el medio los microorganismos separan los contaminantes, los cuales utiliza como alimento y los eliminan del agua (Rodríguez Fernández-Alba, y otros, 2006).

Los microorganismos sacan la materia biológica almacenándola como alimento, a medida que crece el material este se vuelve demasiado grande para mantenerse atada al medio y se suelta, este es devuelto al tanque de dosificación/clarificador y es precipitada hacia el fondo en donde se convierte en lodo, que muchas veces se utiliza como abono debido a que el material orgánico que posee lo hace apto (Lesikar, Enciso, & Persyn, 2011).

#### D. Tratamiento de lodos activados:

Este tratamiento consiste en poner en contacto un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada, el agua residual con floculos biológicos previamente formados en

los cuales se adsorbe la materia orgánica y donde se degrada por las bacterias presentes.

Este proceso se acompaña con una sedimentación en donde se realiza una recirculación de parte de los lodos para mantener una elevada concentración de microorganismos en el interior del reactor además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos (Rodríguez Fernández-Alba, y otros, 2006).

### 2.2.9 Pruebas biológicas

Las pruebas biológicas son investigaciones que se dan desde hace mucho tiempo esto con el fin de poder obtener una respuesta sobre los efectos de distintos contaminantes a los cuerpos biológicos que atacan y de la misma manera poder presenciarlos.

La investigación formal se inicia en la década de los años 30, esta se da a través del desarrollo de estudios para determinar la relación causa-efecto entre la presencia de contaminantes químicos en el agua y sus efectos biológicos en poblaciones de peces; estos estudios se enfocaron en su mayoría a confirmar si un contaminante del que se sospechaba era el agente causante de un daño que ya había ocurrido y se basaba en pruebas de mortalidad de los organismos.

Durante las décadas de los 40 a 60, los estudios que demostraron los efectos que producían los plaguicidas agrícolas sobre la vida silvestre, catalizaron el desarrollo de la toxicología ambiental, también se medían otros indicadores de importancia ecológica como lo son el crecimiento y la reproducción de organismos.

En el año de 1977 un grupo de científicos interesados en formalizar las pruebas de toxicidad en organismos vivos discutieron las características que deberían tener dichas pruebas y las categorizaron en orden de importancia de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Ser capaces de generar resultados ecológicamente significativos.
- Capaces de generar información defendible desde el punto científico y legal.
- Estar basados en métodos disponibles rutinariamente y de ser de amplia aplicación.
- Predictivas de efectos ecológicos.
- Aplicables a una amplia variedad de compuestos.
- Ser simples y de costo-efectivas.

Desde el punto de vista regulatorio las pruebas biológicas pueden utilizarse para establecer criterio de calidad ambiental, para controlar descargas de aguas residuales municipales e industriales, para regular el uso y producción de sustancias químicas y para enjuiciar y defender actividades relacionadas con los contaminantes en casos de litigio ambiental (Mendoza & Ramirez, 2008).

## 2.3 Objetivos

### 2.3.1 Objetivo general

Estudiar la calidad del agua residual proveniente de la planta empacadora de la Empresa Semillas del Campo, S. A. en el Municipio de Nueva Santa Rosa, Departamento de Santa Rosa, Guatemala e identificar las mejores opciones para su reutilización y vertido a los cauces naturales llenando los estándares de calidad que exige la normativa del país.

### 2.3.2 Objetivos específicos

1. Estudiar de las características de las aguas residuales de la planta empacadora en base a los niveles según los parámetros físico-químicos y microbiológicos establecidos por la legislación nacional.
2. Realizar pruebas biológicas y análisis estadístico, para establecer la incidencia del agua residual en material vegetal.
3. Elaborar un plan de aprovechamiento de las aguas residuales tratadas, que contribuya económica y ecológicamente al desarrollo de las actividades que se desarrollan en la empresa.

## **2.4 Hipótesis**

El agua residual proveniente de la planta empacadora es apta para reutilización y no presenta efecto negativo sobre los organismos vegetales.

## 2.5 Metodología

### 2.5.1 Caracterización del agua residual

Para identificar la calidad del agua residual proveniente de la planta empacadora se realizó un análisis físico-químico y microbiológico del mismo, según los parámetros establecidos por el Acuerdo 236-2006; dicho análisis fue realizado por el Laboratorio Ecosistemas Proyectos Ambientales, S.A. El procedimiento para la recolección de muestra fue el siguiente:

- A. El laboratorio brindó a la empresa los contenedores esterilizados y los reactivos necesarios para la preservación de la muestra.
- B. Se brindó la capacitación de parte del laboratorio para la correcta toma de muestra.
- C. Se contó con 2 recipientes plásticos, 1 recipiente de vidrio y una bolsa con sello de seguridad; los reactivos se identificaban como reactivo 1, reactivo 2 y reactivo 3.
- D. La muestra se tomó directamente de la tubería, antes de entrar en contacto con el cuerpo receptor.
- E. Se inició identificando cada recipiente, colocando la fecha y hora de toma de muestra, ubicación de la empresa, nombre de persona encargada de la toma de muestra y número de muestra.
- F. Como primera muestra se tomó el contenedor para análisis microbiológico por lo cual se usó la bolsa con sello de seguridad y se identificó como muestra 1; se colocó la bolsa en la salida de la tubería de descarga y se dejó llenar hasta el área marcada en la bolsa, seguidamente se cerró la bolsa con el sello de seguridad.

- G. Para la muestra de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO), se utilizó el recipiente de vidrio identificado como muestra 2; el cual se repite el procedimiento anterior y se dejó llenar por completo y se agregó un gotero del reactivo 2, seguidamente el recipiente es sellado; por solicitud del laboratorio el recipiente fue envuelto en papel para mantener oscuridad.
- H. Se utilizó el primer recipiente de plástico en el cual se identificó como muestra 3; este pertenecía a la muestra para metales pesados, se repite el procedimiento y se llenó por completo el recipiente, seguidamente se agregó dos goteros del reactivo 1 y un gotero del reactivo 3, según las indicaciones del laboratorio; finalmente el recipiente fue sellado.
- I. El segundo recipiente de plástico se identificó como muestra 4, el cual pertenecía a la muestra para los parámetros restantes; el recipiente se llenó por completo y es sellado.
- J. Por solicitud del laboratorio las muestras fueron enviadas a bajas temperaturas o cadena fría por lo cual se colocaron en hielera para su transporte.
- K. Los resultados se obtuvieron 8 días después de la entrega de muestras.
- L. En base a los resultados y siguiendo el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos, se determinó la calidad del agua residual.

### 2.5.2 Ensayos biológicos

Determinando la calidad del agua residual proveniente de la planta empacadora, en base a los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos realizados, se decidió realizar

ensayos biológicos para determinar la incidencia del agua residual sobre los organismos vegetales para una alternativa de reutilización.

Para la colocación de los ensayos biológicos se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

#### A. Obtención de materiales

**Sustratos:** Se utilizó como sustratos, suelo y arena fina; estos son proporcionados por la empresa.

**Solución nutritiva:** La dosis de esta es la misma que utiliza la empresa para el cultivo de tomate.

**Agua Desmineralizada:** El agua desmineralizada se obtuvo de la empresa Salvavidas semanalmente.

**Agua Residual:** Se obtuvo directamente de la tubería de descarga de la planta empacadora, utilizando la protección adecuada.

**Agua Potable:** Era obtenida directamente de la toma de agua que se encuentra dentro del invernadero que se utilizó para los ensayos biológicos.

**Macetas:** Como maceta se utilizaron bolsas, las cuales están revestidas en su interior por plástico negro (mulch).

**Semilla:** La materia vegetal utilizado es el girasol (*Helianthus annuus*), la semilla se obtuvo en un agro servicio.

## B. Preparación de materiales

Suelo: Suelo es cernido antes de colocarlo en las macetas, las cuales tuvieron un peso de 3.18 kg.

Arena: Es previamente esterilizada por lo cual se utilizó agua caliente para la misma, el peso de la maceta con la arena es de 3.18 kg.

Riego: El riego se realizó por el método de goteo en el cual se tiene una descarga de  $83\text{cm}^3/\text{min}$  distribuido cada hora; el tiempo establecido de riego es el mismo utilizado en el cultivo de tomate el cual es de 12 h; por lo cual se generó un riego de  $996\text{ cm}^3/\text{d}$ .

Planta de Girasol (*Helianthus annuus*): Se obtuvo la plántula de girasol colocando la semilla en bandeja de duroport con capacidad de 100 semillas; la cual después de germinar y tener un tiempo de 5 días se trasladó a la maceta.

## C. Montaje de ensayo biológico

1. El ensayo se colocó en el invernadero dedicado a investigación; la distribución de las macetas se presenta en la figura 5.

2. El ensayo ocupó 4 canales; en cada canal se colocó 4 macetas con arena y 4 con suelo.

3. Previamente se llenaron los depósitos de agua, identificando a cada uno con el tratamiento a aplicar y estos eran recargados todos los días.

4. Ya colocadas las macetas, se procedió a trasplantar las plántulas de girasol, seguidamente se procedió a colocar el espaguete para riego por goteo e iniciar con el mismo.

#### D. Cosecha de material vegetal

1. El material vegetal se cosechó habiendo cumplido 6 semanas de colocación de los ensayos biológicos, en el cual la planta de girasol ha cumplido su desarrollo total y una mayor posibilidad de floración.

2. La cosecha consistió en recolección de sustratos, material vegetal con su respectivo peso húmedo y posteriormente peso seco de cada órgano de la planta.

#### E. Determinación de laboratorio

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” ubicado en el Edificio UVIGER en la Universidad de San Carlos de Guatemala; en este se realizó un análisis químico de suelos, usados en cada uno de los tratamientos; haciendo énfasis en los siguientes parámetros pH, elementos mayores (P, K, Ca, Mg), elementos menores (Cu, Zn, Fe, Mn).

#### 2.5.3 Diseño experimental

Los ensayos biológicos se establecieron en un invernadero experimental de la empresa con las mismas condiciones utilizadas para el cultivo de tomate. Los ensayos se establecieron con un diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas, en donde se colocaron los siguientes tratamientos:

El cuadro 5 presenta los distintos tratamientos que fueron aplicados a las pruebas biológicas en el cual cada tratamiento tiene 4 repeticiones en los dos sustratos utilizados.

**Cuadro 5.** Tratamientos aplicados en ensayos biológicos

No.	Tratamiento	Sustrato	Repeticiones
1	Solución Nutritiva y Agua Residual	Suelo	4
		Arena	4
2	Agua Residual	Suelo	4
		Arena	4
3	Agua Desmineralizada	Suelo	4
		Arena	4
4	Agua Potable	Suelo	4
		Arena	4

Fuente: Datos de diseño experimental de ensayos biológicos, 2016.

El tratamiento utilizado como testigo es el tratamiento 4, en el cual se utiliza agua potable, estas son las características comunes de agua utilizadas en las actividades diarias de la empresa.

Con el propósito de determinar el tratamiento con mayor aporte nutricional, menor daño a planta y sustrato adecuado para su desarrollo se realizó un análisis estadístico de parcelas divididas con una prueba de Tukey; haciendo una comparación de los resultados de peso promedio de material vegetal seco de cada tratamiento.

El análisis químico de suelo identificó los elementos aportados por cada tratamiento en los diferentes sustratos.

### A. Unidad experimental

Se tomó como unidad experimental una maceta con planta de girasol (*Helianthus annuus*) que se utilizó en los ensayos biológicos como indicador del efecto de los tratamientos.

### B. Variables de respuesta

Biomasa, el cual consistió en:

- Parte aérea
- Raíz

Estas variables se utilizaron en peso seco, comparando el desarrollo de cada una.

### C. Análisis de datos

La información recopilada en base a los resultados de pesos de la materia vegetal obtenida en los ensayos biológicos, se analizó de la siguiente manera:

1. Agrupación de datos, los datos de pesos obtenidos se analizaron con un diseño estadístico de parcelas divididas y seguidamente se realizó un a prueba de Tukey para su análisis final.
2. Se realizó un análisis comparativo de cada tratamiento, en el cual se demostró en base a los resultados de peso que tratamiento obtuvo un mayor aporte nutricional a la prueba y el análisis químico de suelo proporciona los elementos de cada tratamiento.

#### 2.5.4 Modelo estadístico

El experimento se realizó en bloques al azar con arreglo de parcelas divididas por lo cual el modelo estadístico que se utilizó es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + (\alpha\rho)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

$Y_{ijk}$  = Variable de respuesta medida en la  $ijk$ -ésima unidad experimental

$\mu$  = Media general

$\alpha_i$  = Efecto de  $i$ -ésimo nivel de factor A (tratamientos)

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo nivel del factor A con el  $j$ -ésimo bloque.

$\rho_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo nivel del factor B (tipo de sustrato)

$(\alpha\rho)_{ij}$  = Efecto debido a la interacción del  $i$ -ésimo nivel del factor A con el  $k$ -ésimo nivel del factor B

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental asociado a  $Y_{ijk}$

#### 2.5.5 Tratamientos y distribución

En la figura 19, se presenta la distribución de los tratamientos para ambos sustratos (suelo y arena).

T1: Solución Nutritiva + Agua Residual

T2: Agua residual

T3: Agua desmineralizada

T4: Agua potable

R1 S	R2 S	R3 S	R4 S	Tratamiento I
R1 A	R2 A	R3 A	R4 A	
R1 S	R2 S	R3 S	R4 S	Tratamiento II
R1 A	R2 A	R3 A	R4 A	
R1 S	R2 S	R3 S	R4 S	Tratamiento III
R1 A	R2 A	R3 A	R4 A	
R1 S	R2 S	R3 S	R4 S	Tratamiento IV
R1 A	R2 A	R3 A	R4 A	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Figura 19.** Distribución de pruebas biológicas

### 2.5.6 Manejo del experimento

Los ensayos se manejaron con un riego por goteo cada hora, el cual está programado con el sistema Priva, se tiene un riego de 83 cm<sup>3</sup>/ min; dependiendo de la temperatura, el riego podría ser de 1.30 min a 2 min; el tiempo de riego se basó en proyecciones de evapotranspiración dentro del invernadero.

Se realizó la toma de datos como observaciones del estado de la planta y el ambiente al que estaba expuesto; los tanques de almacenamiento de agua para riego de cada tratamiento se recargaban todos los días.

Al finalizar la semana seis de los ensayos biológicos, se realizó la extracción de las plantas en el cual se buscó obtener la altura final de cada planta y posteriormente obtener el peso seco; debido al tamaño de la planta el peso se obtuvo por órgano, también se obtuvo la raíz de las mismas, se limpiaron y se dejaron secar para poder obtener su peso posteriormente. Se tomó una muestra de sustrato de cada repetición y se identificó con su debido tratamiento para obtener análisis químico de los mismos y establecer los elementos que interactuaron en las pruebas.

## 2.6 Resultados

### 2.6.1 Calidad del agua residual

En el cuadro 6 se presentan los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos realizados al agua residual proveniente de la planta empacadora.

**Cuadro 6.** Resultado de análisis físico- químico y microbiológico de aguas residuales de planta empacadora

Parámetro	Dimensional	Limite de Detección	Resultado	Metodología	Etapa 2 (2 de mayo de 2,015) Acuerdo 236-2006	Etapa 3 (2 de mayo de 2,020) Acuerdo 236-2006
					Descarga a Cuerpo Receptor	Descarga a Cuerpo Receptor
Potencial de Hidrógeno pH (laboratorio)	Unidades	1	7.9	SMWW 4500H-B	6 a 9	6 a 9
Aceites y Grasas	mg/L	5	8.3	EPA 1664	50	25
Materia Flotante	---	---	Ausente	Visual	ausente	Ausente
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO	mg/L	10	22	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D	200 ml/l (artículo 19)	ver artículo 19
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	25	40	Reflujo Cerrado, Merck análogo SMWW 5220D	no especificado	no especificado
Solidos Suspendedos	mg/L	10	44	SMWWWW 2540D	400	150
Solidos Sedimentables	mg/L	0.1	< 0.1	SMWWWW 2540D	no especificado	no especificado
Nitrógeno Total	mg/L	10	42	Colorimétrico Merck disgregación en ISO 11905-1	50	15
Fósforo Total	mg/L	0.005	5.5	Spectroquant Merck Análogo EPA 325 2+3, SMWWWW 4500-PE, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11	30	15
Arsénico As	mg/L	0.002	0.002	UNICAM AN40177_E10/03C	0.1	0.1
Cadmio Cd	mg/L	0.2	No detectado	SMWW 3111B	0.1	0.1
Cianuros	mg/L	0.05	No detectado	Colorimétrico Merck análogo ISO 14403	1	1
Cobre Cu	mg/L	0.03	0.08	SMWW 3111B	3	3
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/L	0.05	No detectado	Colorimétrico Merck análogo SMWW 3500- Cr-D	0.1	0.1
Mercurio Hg	mg/L	0.004	No detectado	UNICAM AN40181_E 10/03C	0.02	0.02
Niquel Ni	mg/L	0.05	No detectado	SMWW 3111B	2	2
Plomo Pb	mg/L	0.05	No detectado	SMWW 3111B	0.4	0.4
Zinc Zn	mg/L	0.01	0.03	SMWW 3111B	10	10
Color Aparente	UC HZ equib. Unid. Pt-Co	1	566	Colorimétrico Merck análogo APHA 2120B DIN 53409	1000	750
Color Real	UC HZ equib. Unid. Pt-Co	1	6	Colorimétrico Merck análogo APHA 2120B DIN 53409	1000	750
Coliformes Fecales	NMP/ 100ml	2	<2	NMP	<1x 10 <sup>5</sup>	<1 x 10 <sup>4</sup>

En el cuadro anterior se presenta los resultados obtenidos por el laboratorio para cada parámetro, cada uno de estos muestra la metodología utilizada para su obtención, el límite de detección y basándose en los rangos para la etapa 3 el cual hay que cumplir para el año 2020 demuestra según el resultado si la calidad del agua residual se encuentra dentro de los límites permisibles según la legislación.

Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO según el Acuerdo 236-2006 se debe de realizar el cálculo mostrado en el cuadro 7 para obtener el valor real de la demanda por día.

**Cuadro 7.** Calculo de demanda bioquímica de oxígeno

<b>Calculo de Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	
<b>Caudal</b>	27,215 L/día
<b>DBO</b>	22 mg/L
<b>Ecuación</b>	$22 \text{ mg/L} \times 27,215 \text{ L/día} \times 1 \text{ g/1000mg} \times 1 \text{ kg/1000g}$
<b>Total</b>	0.598 kg/d

En el cuadro anterior se presenta el resultado del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para el agua residual de la planta empacadora, el cual fue comparado con el valor establecido en el artículo 19 del reglamento de aguas residuales.

Como se observa en el cuadro anterior, los resultados obtenidos del análisis de agua residual se encuentran por debajo de los límites establecidos para los modelos de reducción; para el año 2015 e incluso para el año 2020. Esto de acuerdo al Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos citado en el artículo 19, donde el límite permisible corresponde a 250 mg/L en comparación con el agua residual de la planta empacadora contiene 22 mg/L de DBO.

Al observar los resultados obtenidos en el análisis que se presenta en el cuadro 6 y comparándolos con los valores permisibles que exige la legislación de Guatemala, se puede establecer que según el Acuerdo 236-2006, -Reglamento de Descarga y Reuso de

Aguas Residuales y Disposición de Lodos-, los resultados se encuentran dentro de los valores permisibles e incluso algunos de ellos están por debajo de los límites permisibles para la fecha máxima de cumplimiento del año 2015; sin embargo se debe tomar en cuenta que para el año 2020 los parámetros permisibles cambiarán, con la finalidad de mejorar la calidad del agua; por lo cual será necesario tomar las medidas de consideración para poder seguir con el cumplimiento del reglamento, principalmente en el parámetro de nitrógeno; ya que el valor actual se encontrara fuera del rango para el año 2020.

Estableciendo que los resultados se encuentran dentro de los parámetros permisibles como lo solicita el Acuerdo Gubernativo 236-2006; se confirma que el agua residual proveniente de la planta empacadora cumple con los niveles permisibles de acuerdo al cuadro 6, para su descarga en el cuerpo receptor el cual es el rio El Valle asegurando que la contaminación al mismo sea baja. Sin embargo, el parámetro de Nitrógeno total posee un valor de 42 mg/L que se encuentra debajo del límite permisible el cual es de 50 mg/L, factor a tomar en cuenta en posteriores análisis de aguas residuales para evitar sobrepasar dicho límite y dañar al cuerpo receptor.

Al utilizar hipoclorito de sodio como desinfectantes se consideraba que el agua residual posee altos contenidos del mismo y basándose en los resultados; la presencia de cloro no se encuentra en dicha agua residual esto debido a que el cloro no se encuentra como tal en el agua, sino disociado en dos compuestos, el ácido hipocloroso (HClO) y el ión hipoclorito ClO<sup>-</sup>; de estos compuestos únicamente el ácido hipocloroso (HClO). Dichos compuestos se encuentran repartidos de acuerdo al pH del agua tratada, ya que si el pH es superior a 8 el cloro se encuentra en forma de ión hipoclorito ClO<sup>-</sup>, reduciendo su capacidad de desinfección (Hidritec, 2016).

Los resultados presentados en la figura 31A no indican presencia de cloro en el agua residual; esto indica que el cloro en su mayoría cumple con la función de desinfección.

Al utilizar el hipoclorito de sodio como desinfectante en el agua dentro de la finca, se tiene otro elemento que puede permanecer en el agua en grandes cantidades el cual es el sodio (Na); que de acuerdo a la figura 31A, a su entrada al sistema posee un valor de 0.91 meq/L y al ser utilizada y descartada, el sodio disminuye a 0.37 meq/L, indicando que el sodio también es utilizado en el proceso y el agua descartada no contiene altos residuos de este elemento.

En base a lo anterior no se observa alta residualidad del hipoclorito de sodio en el agua y los valores de los parámetros son permisibles según el reglamento nacional de aguas residuales; se concluyó que el agua residual es adecuada para la implementación de un plan de aprovechamiento del mismo y evitar la descarga al cuerpo receptor.

#### 2.6.2 Ensayos Biológicos

Al comprobar que el agua residual proveniente de la planta empacadora se encuentra dentro de los límites permisibles para la legislación nacional y el daño al cuerpo receptor aún no tiene incidencia significativa, es posible la implementación de reutilización de la misma en actividades dentro de la empresa y beneficiar en aspecto económico y ambiental a la misma.

Para poder establecer el plan de aprovechamiento a corto plazo más adecuado a las características que posee el agua residual, se debe de establecer la incidencia que este tiene en el medio, para dicha resolución se realizaron ensayos biológicos con Girasol (*Helianthus annuus*); los resultados de las mismas se presentan a continuación.

Para la evaluación de resultados de los ensayos biológicos con girasol (*Helianthus annuus*), se considera que diferentes factores ambientales pueden afectar el crecimiento del sistema radicular de la planta y con esto también se ve afectado el desarrollo del mismo, al referirse a la parte aérea; el efecto de dichos factores ambientales puede tener distintas manifestaciones en las diferentes etapas del desarrollo.

Durante el período de germinación y el estadio de dos hojas, la temperatura del suelo influenciará el alargamiento y exploración de la raíz primaria y secundaria. La arquitectura del sistema radical se define durante la etapa germinación-estadio de diez hojas, en este caso el frío puede afectar la absorción de nutrientes a la planta (Luis Aguirrezábal, 2001).

Durante el desarrollo de los ensayos biológicos el cual tuvo una duración de seis semanas, se tomaron en cuenta aspectos como crecimiento, riego y temperatura del lugar, que pueden afectar directamente al desarrollo de la planta.

Debido a que cualitativamente se puede observar las diferencias en crecimiento entre tratamientos (ver anexos); para poder obtener un dato con mayor confiabilidad se demuestra estadísticamente la diferencia entre tratamientos, estos utilizando la cantidad de materia seca de las plantas al finalizar las seis semanas.

Para el análisis estadístico se utilizó un arreglo de bloques al azar de parcelas divididas y posteriormente se realizó una prueba de Tukey al encontrar diferencia significativa entre los tratamientos.

Se realizó un análisis estadístico de la biomasa en parte aérea, otro con la parte radicular y finalmente la suma de las anteriores; se realizó de esta manera para comprobar que parte de la planta tuvo una mayor absorción nutricional del agua utilizada para riego.

#### A. Análisis estadístico de parte aérea

Se presenta en el cuadro 8 los valores obtenidos de peso seco de las pruebas biológicas.

**Cuadro 8.** Materia seca (g) de parte aérea de ensayos biológicos por tratamiento y sus repeticiones

Factores		Bloques				Media
A	B	I	II	III	IV	
Solución Nutritiva + Agua Residual	Arena	52.12	48	65.5	62.53	56.58
	Suelo	56.125	63.25	93.2	59.46	66.60
Agua Residual	Arena	22.26	41.53	46.17	14.56	28.08
	Suelo	33.99	28.6	27.8	25.3	28.76
Agua Desmineralizada	Arena	22.41	16.54	20.975	26.605	21.33
	Suelo	21.205	21.775	22.8	25.65	22.80
Agua Potable	Arena	12.565	10.805	0.335	0.44	2.12
	Suelo	7.95	13.15	19.85	13	12.82

El cuadro anterior presenta los valores de materia seca obtenidos en parte aérea que representa los órganos de tallo, hojas y flor; esta última no se presentó en todas las repeticiones; también estos valores se presentan por cada bloque y una media de cada tratamiento y el sustrato utilizado (cuadro 9).

**Cuadro 9.** Materia seca (g) de parte aérea de ensayos biológicos por tratamiento

	Solución Nutritiva + Agua Residual	Agua Residual	Agua Desmineralizada	Agua Potable
Arena	228.15	124.52	86.53	24.15
Suelo	272.04	115.69	91.43	53.95
	500.19	240.21	177.96	78.10

En el cuadro anterior se presenta los valores totales de materia seca de la parte aérea por cada tratamiento en los distintos sustratos utilizados, este demuestra el desarrollo que obtuvieron las planta en la parte aérea según el tipo de agua aplicada.

En el cuadro 10, se presenta el Análisis de Varianza (ANDEVA) de los datos de parcelas divididas para parte aérea.

**Cuadro 10.** ANDEVA de parcelas divididas para parte aérea

<b>ANDEVA</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b>Bloques</b>	3	396.58			
<b>A</b>	3	12178.29	4059.43	43.07	3.86
<b>Error A</b>	9	848.30	94.26		
<b>B</b>	1	13423.17	152.08	2.21	4.75
<b>AB</b>	3	152.08	70.82	1.03	3.49
<b>Error B</b>	12	212.45	68.85		
<b>Total</b>	31	826.17			

El Análisis de Varianza presenta una diferencia significativa respecto al factor A el cual es el tipo de tratamiento utilizado como riego; y no se presenta una diferencia significativa respecto al factor B el cual representa el tipo de sustrato utilizado para la prueba, de la misma manera también la interacción de estos (AB) no presenta diferencia significativa; pero para poder identificar el tratamiento con mejores resultados respecto a la diferencia significativa se realizó la prueba Tukey, cuyos resultados se presenta en el cuadro 9.

a. Prueba Tukey

En cuadro 11 presenta los valores de la media generados por cada interacción entre sustrato y tratamiento aplicados a las pruebas biológicas para la prueba Tukey.

**Cuadro 11.** Interacción para prueba Tukey en parte aérea

Código de tratamiento	Interacción	Media (g)
A1B1	Solución nutritiva y agua residual en arena.	56.58
A1B2	Solución nutritiva y agua residual en suelo.	66.60
A2B1	Agua residual en arena.	28.08
A2B2	Agua residual en suelo.	28.76
A3B1	Agua desmineralizada en arena.	21.33
A3B2	Agua desmineralizada en suelo.	22.80
A4B1	Agua potable en arena.	2.12
A4B2	Agua potable en suelo.	12.82

En el cuadro 12, se presenta la matriz de interacción para los tratamientos y sustratos utilizados en la prueba y también con el cual se establece un comparador de 23.25 utilizando la tabla de Tukey.

**Cuadro 12.** Matriz de diferencias para prueba Tukey en parte aérea

		Matriz							
		A1B2	A1B1	A2B2	A2B1	A3B2	A3B1	A4B2	A4B1
Interacción	Media	66.60	56.58	28.76	28.08	22.80	21.33	12.82	2.12
A4B1	2.12	64.48	54.46	26.64	25.96	20.68	19.21	10.70	0.00
A4B2	12.82	53.78	43.76	15.94	15.26	9.98	8.51	0.00	
A3B1	21.33	45.27	35.25	7.43	6.75	1.47	0.00		
A3B2	22.80	43.80	33.78	5.96	5.28	0.00			
A2B1	28.08	38.52	28.50	0.68	0.00				
A2B2	28.76	37.84	27.82	0.00					
A1B1	56.58	10.02	0.00						
A1B2	66.60	0.00							

En el cuadro 13 se presentan los resultados de la prueba de Tukey para medias de los tratamientos utilizados en parte aérea de la planta y representando con letras mayúsculas cada agrupación.

**Cuadro 13.** Resultados de prueba Tukey para parte aérea

<b>Resultados</b>			
<b>Código de tratamiento</b>	<b>Interacción</b>	<b>Media (g)</b>	<b>Grupo Tukey</b>
A1B2	Solución nutritiva y agua residual en suelo	66.60	A
A1B1	Solución nutritiva y agua residual en arena	56.58	B
A2B2	Agua residual en suelo	28.76	C
A2B1	Agua residual en arena	28.08	C
A3B2	Agua desmineralizada en suelo	22.80	C
A3B1	Agua desmineralizada en arena	21.33	C
A4B2	Agua potable en suelo	12.82	D
A4B1	Agua potable en arena	2.12	E

Como se presenta en el cuadro 10 del Análisis de Varianza, se observa diferencia estadísticamente significativa para el factor A, factor que determina el tipo de agua para riego utilizado en los tratamientos. Debido a la presencia de significancia se procedió a realizar una prueba de comparación múltiple de medias bajo el criterio de Tukey.

Utilizando la tabla de Tukey se obtuvo un comparador ( $w$ ) de 23.25 g; los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 13, donde se determinó que el mejor tratamiento en términos de rendimiento de peso de materia seca en la parte aérea es la interacción A1B2, con una media de 66.60 g; siendo este el tratamiento de solución nutritiva y agua residual como riego utilizando suelo como sustrato.

El desarrollo de la parte aérea para la interacción A1B2 comprueba que el aporte del agua residual no afecta de forma adversa ya que contiene elementos que ayudan al desarrollo de la planta, que funcionan como complemento a la gama de elementos aportados por

la solución nutritiva que actualmente utiliza la empresa para el cultivo de tomate; de ello que presenta mayor rendimiento sobre los demás tratamientos.

Comparando el tratamiento A1B2 con el tratamiento A2B2, se observa que existe una diferencia de 36.84 g de peso en materia seca, lo cual puede justificarse debido a que el tratamiento A2B2 contiene agua residual como riego utilizando suelo como sustrato sin haber sido aplicada la solución nutritiva, reduciendo así la gama de aporte de elementos que dicha solución ofrece y que son absorbidos por la planta. Cabe resaltar que se considera el segundo mejor tratamiento por su rendimiento en peso (28.76 g) sin la utilización de solución nutritiva, que representaría una reducción en los costos de producción.

También se puede observar que de todos los valores comparativos que se presenta en el cuadro 13 las interacciones con arena (B1) son los que poseen menor captación de elementos hacia la planta en parte aérea comparados con el suelo; esto se debe a que la arena no posee capacidad de retención comparado con el suelo, provocando que la planta absorba nutrientes solamente al momento de riego; tomando en consideración que la arena tiene la capacidad de fijar elementos especialmente fósforo en sus partículas; representado en la figura 32A, donde se observa que los tratamientos con arena como sustrato aportaron una mayor cantidad fósforo (P) comparado con el suelo.

La interacción A4B1 presenta el valor más bajo en resultados, este representa la utilización de agua potable en arena; si se compara con la interacción A3B1 que representa la utilización de agua desmineralizada en arena, la interacción A3B1 presenta mejores resultados, debido a que el agua desmineralizada no aporta elementos al medio y la arena pudo proporcionar elementos propios los cuales fueron capturados por las plantas.

La interacción A4B1, en su rendimiento pudo verse afectado por factores ambientales, como lo es la falta de luz solar a causa del mal mantenimiento en los alrededores del invernadero, afectando directamente el crecimiento y desarrollo de la planta.

## B. Análisis estadístico de parte radicular

El cuadro 14 presenta los valores de materia seca para la parte radicular de cada bloque y tipo de sustrato utilizado para la prueba biológica, también se presenta el valor de media por cada tratamiento y sustrato.

**Cuadro 14.** Materia seca (g) de parte radicular de ensayos biológicos de tratamientos y repeticiones

Factores		Bloques				
A	B	I	II	III	IV	Media
Solución Nutritiva + Agua Residual	Arena	273.6	223.8	318	346	286.50
	Suelo	117	93.8	176.6	143	129.03
Agua Residual	Arena	76.6	105.4	78	83	85.03
	Suelo	39.26	45.8	40.6	38.12	40.84
Agua desmineralizada	Arena	28.6	16.5	57.95	19.4	26.99
	Suelo	33.29	33.98	25.7	29.9	30.53
Agua Potable	Arena	5.9	6.4	1.8	1.3	3.07
	Suelo	12.3	17.8	8.9	10.7	12.02

El cuadro 15 presenta los valores de materia seca total por cada tratamiento y sustrato de la parte radicular de las pruebas biológicas; al observar los valores se puede identificar los tratamientos con mayor desarrollo de raíz.

**Cuadro 15.** Materia seca (g) de parte radicular de ensayos biológicos por tratamiento

	<b>Solución Nutritiva + Agua Residual</b>	<b>Agua Residual</b>	<b>Agua desmineralizada</b>	<b>Agua Potable</b>
Arena	1161.4	343	122.45	15.4
Suelo	530.4	163.78	122.87	49.7
	1691.8	506.78	245.32	65.1

En el cuadro 16 se presentan los resultados del Análisis de Varianza (ANDEVA) realizada para la parte radicular.

**Cuadro 16.** ANDEVA de parcelas divididas para parte radicular

<b>ANDEVA</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b>Bloques</b>	3	2134.12			
<b>A</b>	3	201207.86	67069.29	63.32**	3.86
<b>Error A</b>	9	9532.27	1059.14		
<b>Sub total</b>		212874.25			
<b>B</b>	1	18793.76	18793.76	91.88**	4.75
<b>AB</b>	3	35138.43	11712.81	57.26**	3.49
<b>Error B</b>	12	2454.56	204.55		
<b>Total</b>	31	269260.99			

La prueba de F del cuadro 16, muestra que hay variación significativa entre tratamientos; se realizó una prueba Tukey para establecer el tratamiento con mayor rendimiento en la parte radicular de la prueba biológica.

a. Prueba Tukey para parte radicular

El cuadro 17 presenta los pesos medios de las interacciones entre tratamientos y sustratos utilizados para la prueba Tukey.

**Cuadro 17.** Interacción para prueba de Tukey en parte radicular

Código de tratamiento	Interacción	Media (g)
A1B1	Solución nutritiva y agua residual en arena.	286.50
A1B2	Solución nutritiva y agua residual en suelo.	129.03
A2B1	Agua residual en arena.	85.03
A2B2	Agua residual en suelo.	40.84
A3B1	Agua desmineralizada en arena.	26.99
A3B2	Agua desmineralizada en suelo.	30.53
A4B1	Agua potable en arena.	3.07
A4B2	Agua potable en suelo.	12.02

En el cuadro 18 se presenta la matriz de diferencias de las interacciones de los tratamientos y sustratos; y utilizando la tabla Tukey se obtiene un comparador (w) 258.42 g.

**Cuadro 18.** Matriz de diferencias para prueba Tukey

		Matriz							
		A1B1	A1B2	A2B1	A2B2	A3B2	A3B1	A4B2	A4B1
Interacción	Media	286.50	129.03	85.03	40.84	30.53	26.99	12.02	3.07
A4B1	3.07	283.43	125.96	81.96	37.78	27.47	23.92	8.95	0.00
A4B2	12.02	274.48	117.01	73.01	28.83	18.52	14.97	0.00	
A3B1	26.99	259.51	102.04	58.04	13.86	3.55	0.00		
A3B2	30.53	255.96	98.49	54.49	10.31	0.00			
A2B2	40.84	245.65	88.18	44.18	0.00				
A2B1	85.03	201.47	44.00	0.00					
A1B2	129.03	157.47	0.00						
A1B1	286.50	0.00							

En el cuadro 19, se presentan los resultados de la prueba de medias de Tukey para la parte radicular.

**Cuadro 19.** Resultado de prueba de Tukey para la parte radicular

<b>Resultados</b>			
<b>Código de tratamiento</b>	<b>Interacción</b>	<b>Media (g)</b>	<b>Grupo Tukey</b>
A1B1	Solución nutritiva y agua residual en arena	286.50	A
A1B2	Solución nutritiva y agua residual en suelo	129.03	B
A2B1	Agua residual en arena	85.03	C
A2B2	Agua residual en suelo	40.84	D
A3B2	Agua desmineralizada en suelo	30.53	E
A3B1	Agua desmineralizada en arena	26.99	F
A4B2	Agua potable en suelo	12.02	G
A4B1	Agua potable en arena	3.07	H

En el cuadro 16 del Análisis de Varianza se observa que existe diferencia estadísticamente significativa, en los factores A, B y AB, por lo cual se realizó una prueba múltiple de medias bajo el criterio de Tukey para comparar los tratamientos de la parte radicular de las pruebas.

Se obtuvo un comparador ( $w$ ) de 258.42 g utilizando la tabla de Tukey; los resultados obtenidos de la prueba se presentan en el cuadro 19, en donde se determinó que el tratamiento A1B1 presentó el mayor rendimiento en peso de materia seca con una media de 286.50 g, cuyo tratamiento consto de solución nutritiva y agua residual como riego utilizando arena como sustrato.

La abundancia del material radicular representado en el peso de la materia seca indica el desarrollo de la raíz en la prueba ya que al utilizar riego por goteo la planta evito la probabilidad de estrés hídrico, sin embargo, la arena posee características de baja retención

de agua y presento partículas pequeñas las cuales permitieron una fácil movilidad de raíz en la maceta en busca de nutrientes y agua; como resultado se obtiene una raíz abundante lo que proporciona mayor peso.

Al utilizar suelo como sustrato en las pruebas se obtuvo una mejor retención de agua comparado con el sustrato arena y una mayor disponibilidad de nutrientes como resultado del uso de fertilizantes químicos aplicados en el ciclo anterior del cultivo de cebolla. Las pruebas realizadas en suelo no permitieron que la parte radicular presentara un mayor crecimiento o exploración en busca de nutrientes a causa de la textura arcillosa que este poseía; obteniendo así raíces de menor longitud y un bajo peso en materia seca con respecto a los tratamientos en los que se utilizó arena como sustrato.

Observando el cuadro 19 es notable el aporte que hace la solución nutritiva en el tratamiento A1B1 comparado al tratamiento A2B1 con una diferencia de 201.47 g, en el cual no se tiene el aporte de la solución nutritiva y solo es utilizada el agua residual; lo cual indica que el agua residual no tiene incidencia adversa en el desarrollo de la planta sin embargo al presentar una menor gama de nutrientes, genero una menor ganancia en peso seco de la planta.

El análisis radicular demuestra que los tratamientos en el que se utilizó arena, el resultado es mayor comparado al suelo; esto se debe a que la arena por sus características le da a la planta la capacidad de explorar; la arena posee características que dificultan la retención de nutrientes; pero dependiendo de las condiciones de riego y la utilización de soluciones nutritivas representa un sustrato viable para el correcto desarrollo de la zona radicular de las plantas.

Al observar el cuadro 19 se concluye que el tratamiento en agua residual tiene aportes nutricionales efectivos sobre la prueba ya que sobrepasa los valores de los tratamientos con agua desmineralizada y agua potable.

### C. Análisis de áreas totales de ensayos biológicos

En el cuadro 20 se presentan los valores de materia seca (g) para toda la planta (área y radicular), esta se presenta por bloques de los tratamientos y sustratos aplicados; también se presenta la media de cada tratamiento uniendo todas las repeticiones.

**Cuadro 20.** Materia seca (g) de parte total de ensayos biológicos por tratamientos y repeticiones

Factores		Bloques				Media
A	B	I	II	III	IV	
Solución Nutritiva + Agua Residual	Arena	333.22	284.8	383.5	408.53	349.19
	Suelo	173.13	157.05	269.8	202.46	196.31
Agua Residual	Arena	98.86	156.93	124.17	97.57	117.09
	Suelo	73.26	76.9	73.4	63.42	71.56
Agua desmineralizada	Arena	54.01	33.04	78.93	53.01	52.27
	Suelo	54.5	55.76	48.5	60.55	54.66
Agua Potable	Arena	18.47	17.21	15.3	3.3	11.26
	Suelo	20.25	31.95	28.75	23.7	25.77

El cuadro 21 presenta los valores de materia seca (g) total por cada tratamiento y según el sustrato utilizado; con este se puede hacer una idea del tratamiento en el cual se obtuvo mayor desarrollo de la planta.

**Cuadro 21.** Materia seca (g) total de ensayos biológicos por tratamientos

	Solución Nutritiva + Agua Residual	Agua Residual	Agua desmineralizada	Agua Potable
Arena	1410.05	477.53	218.99	54.28
Suelo	802.44	286.98	219.31	104.65
	2212.49	764.51	438.3	158.93

En el cuadro 22 se presenta el Análisis de Varianza (ANDEVA) para toda la planta (aérea y radicular).

**Cuadro 22.** ANDEVA de parcelas divididas para parte total

ANDEVA					
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab
<b>Bloques</b>	3	3492.41			
<b>A</b>	3	312896.64	104298.88	74.67**	3.86
<b>Error A</b>	9	12570.62	1396.74		
<b>Sub total</b>		328959.67			
<b>B</b>	1	17459.73	17459.73	49.57**	4.75
<b>AB</b>	3	33544.83	11181.61	31.75**	3.49
<b>Error B</b>	12	4226.52	352.21		
<b>Total</b>	31	384190.75			

Al observar el cuadro anterior se determinó que existe diferencia estadísticamente significativa, por lo cual se procedió a realizar una prueba múltiple de medias bajo el criterio de Tukey para determinar el tratamiento el tratamiento que provea el mejor rendimiento en materia seca en los ensayos, en donde se incluyen las dos partes analizadas con anterioridad como una sola.

a. Prueba Tukey para áreas totales

El cuadro 23 presenta el peso medio de las interacciones entre tratamientos y sustratos aplicados para las pruebas biológicas.

**Cuadro 23.** Interacción para prueba de Tukey en áreas totales

Código de tratamiento	Interacción	Media (gr)
A1B1	Solución nutritiva y agua residual en arena.	349.19
A1B2	Solución nutritiva y agua residual en suelo.	196.31
A2B1	Agua residual en arena.	117.09
A2B2	Agua residual en suelo.	71.56
A3B1	Agua desmineralizada en arena.	52.27
A3B2	Agua desmineralizada en suelo.	54.66
A4B1	Agua potable en arena.	11.26
A4B2	Agua potable en suelo	25.77

En el cuadro 24 se presenta la matriz de interacción de las pruebas biológicas, con el cual se procede a realizar la prueba de Tukey para conocer el mejor tratamiento utilizado; como comparador (w) utilizando la tabla de Tukey se obtiene un valor de 249.07 g.

**Cuadro 24.** Matriz de diferencias de prueba Tukey para áreas totales

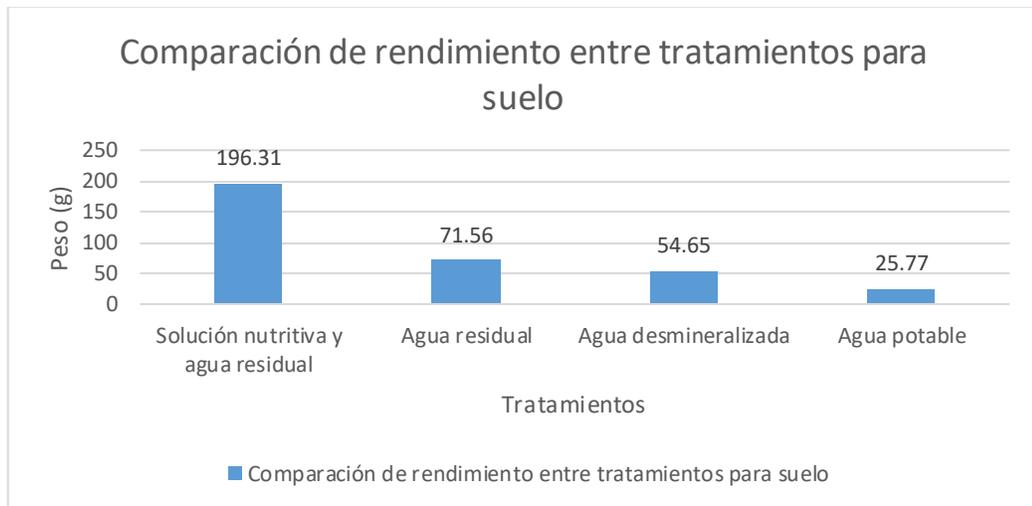
		Matriz							
		A1B1	A1B2	A2B1	A2B2	A3B2	A3B1	A4B2	A4B1
Interacción	Media	349.19	196.31	117.09	71.56	54.66	52.27	25.77	11.26
A4B1	11.26	337.94	185.06	105.83	60.31	43.40	41.02	14.51	0.00
A4B2	25.77	323.43	170.55	91.32	45.79	28.89	26.51	0.00	
A3B1	52.27	296.92	144.04	64.82	19.29	2.38	0.00		
A3B2	54.66	294.54	141.66	62.43	16.90	0.00			
A2B2	71.56	277.63	124.75	45.53	0.00				
A2B1	117.09	232.10	79.22	0.00					
A1B2	196.31	152.88	0.00						
A1B1	349.19	0.00							

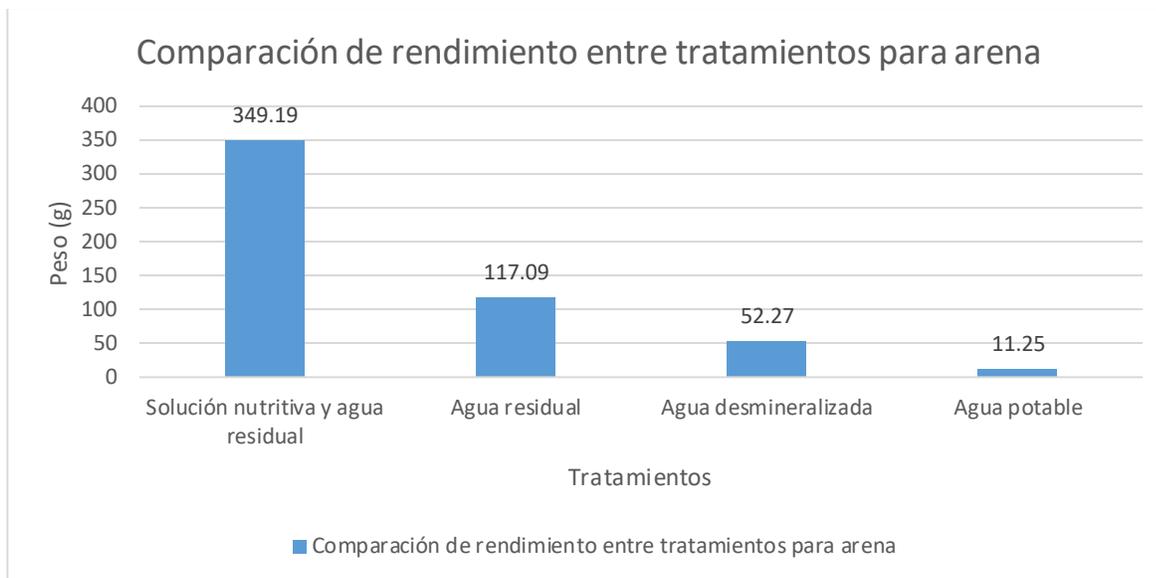
En el cuadro 25 se presenta el resultado de la prueba múltiple de media bajo el criterio de Tukey con una prueba de medias para cada interacción y se presenta el tratamiento que obtuvo resultados óptimos en su aplicación a la prueba biológica.

**Cuadro 25.** Resultado de prueba de Tukey para áreas totales

Resultados			
Código de tratamiento	Interacción	Media	Grupo Tukey
A1B1	Solución nutritiva y agua residual en arena	349.19	A
A1B2	Solución nutritiva y agua residual en suelo	196.31	B
A2B1	Agua residual en arena	117.09	B
A2B2	Agua residual en suelo	71.56	C
A3B2	Agua desmineralizada en suelo	54.66	D
A3B1	Agua desmineralizada en arena	52.27	D
A4B2	Agua potable en suelo	25.77	E
A4B1	Agua potable en arena	11.26	F

En las figuras 20 y 21 se presentan gráficas de rendimientos de los tratamientos para los ensayos biológicos implementados.

**Figura 20.** Rendimiento de tratamientos de ensayos biológicos para suelo



**Figura 21.** Rendimiento de tratamientos en ensayos biológicos para arena

Al obtener diferencia estadística significativa en el Análisis de Varianza que se presenta en el cuadro 22; se procedió a realizar una prueba de medias de Tukey para las áreas totales de los ensayos biológicos implementadas. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 25, este indica que el tratamiento con mayor rendimiento es el A1B1, al cual pertenece el tratamiento 1 en donde se utiliza solución nutritiva y agua residual en arena el cual comprueba que el agua residual no posee elementos dañinos hacia la planta y que el aporte de la solución nutritiva complementa elementos que el agua residual posee en menor cantidad.

Debido a que la arena utilizada es originada por un proceso geológico, el arrastre o transporte del mismo tiende a redondear las partículas; lo cual hace manejable al perder sus aristas disminuyendo su área superficial esto provoca que la absorción de agua se dificulte y al mismo tiempo permita que la raíz explore con mayor facilidad dentro del sustrato, pero también como indica Arenillas, A., (2010) en el documento "Propiedades químicas de las arenas", el sílice es el componente denominante en las arenas, estar resultan pobres en relación a los principales nutrientes para las plantas ya que no contienen nitrógeno y las concentraciones de fósforo y potasio son relativamente bajas.

Algunas arenas provenientes de zonas de rocas graníticas o basálticas, que son rocas jóvenes pueden contener altos niveles de potasio y una mejor absorción de fosforo (Arenillas, 2010). En el caso de la arena utilizada en los ensayos biológicos como se observa en la figura 32A, en el cual todos los tratamientos en arena aportaron mayor cantidad de potasio (K) y fósforo (P) comparado al utilizar como sustrato el suelo; también considerando las características físicas de la arena, provocó un mayor desarrollo radicular y por ende mayor peso; el peso en la parte radicular es el de mayor incidencia al momento de obtener el peso de la materia seca de la planta.

Al observar el cuadro 25 se observa que la diferencia que se encuentra entre el tratamiento A1B1 y A2B2 es el aporte de nutrientes que brindo la solución nutritiva al tratamiento A1B1; demostrando así la capacidad del agua residual para su utilización como fertiriego en situaciones de bajo presupuesto o reducción de costos.

Al comparar todos los resultados del cuadro 25, se observa que el tratamiento de agua residual y solución nutritiva obtuvo un mayor rendimiento en peso de materia seca, lo cual indica un mayor desarrollo tanto de la parte radicular como aérea de la planta; seguidamente se comprueba que el tratamiento que utilizó solo agua residual posee elementos mayores y menores esenciales en las plantas para su desarrollo ya que tiene un mejor resultado comparado con los tratamientos de agua desmineralizada y agua potable (ver figura 32A).

El tratamiento perteneciente al agua desmineralizada, tiene un desarrollo menor debido a que dicha agua no aporta elementos para el desarrollo de la planta; esta obtuvo los nutrientes necesarios de los sustratos principalmente de la residualidad de fertilizantes químicos en el sustrato suelo. El tratamiento al agua potable tiene el menor desarrollo comparado con los otros tratamientos.

Al comparar el mejor rendimiento entre sustratos y comparar la figura 20 contra la figura 21, se puede observar que la arena representa un mejor rendimiento en los ensayos biológicos, al obtener mayor peso en materia seca, como se mencionó con anterioridad, las

propiedades de esta permitieron que el desarrollo radicular de la planta fuera mucho mayor que en suelo.

Como se observa en las figuras de rendimientos de los tratamientos representadas en gráficas (ver anexos), el rendimiento entre repeticiones es homogéneo, lo que indica que toda la repetición de cada tratamiento recibió la dosis de agua establecida y las condiciones del medio en el que se estableció el ensayo tuvieron menor incidencia en su desarrollo.

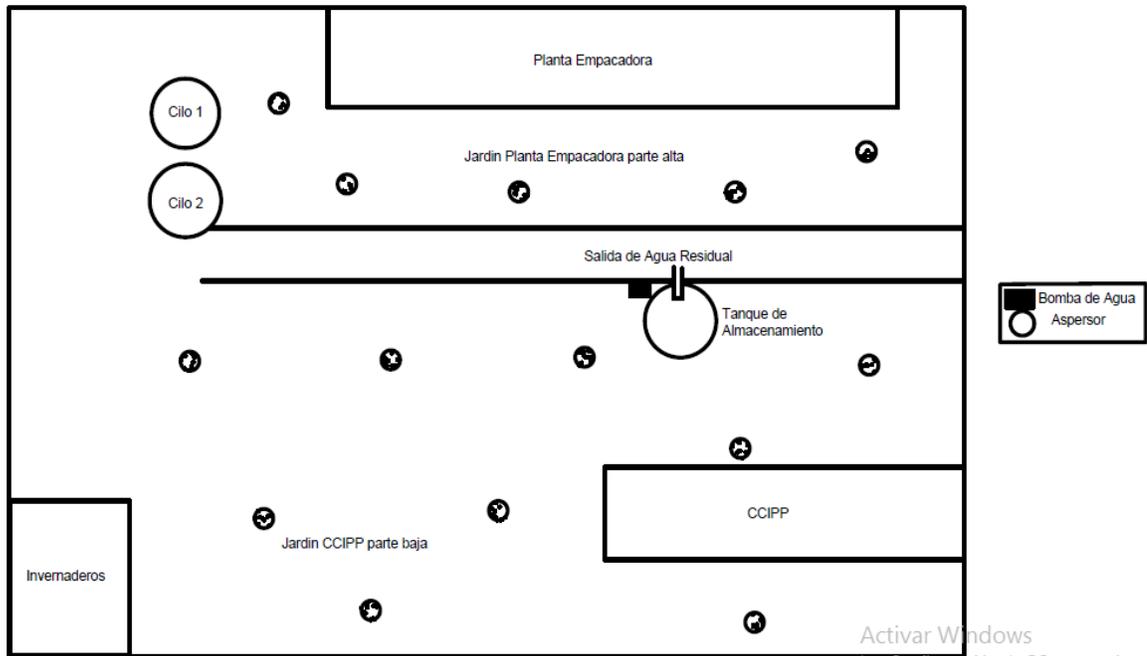
Se puede observar en la figura 31A, el análisis realizado en el laboratorio de Suelo y Agua indica que la conductividad eléctrica del agua residual es de 251  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se encuentra clasificada según USDA como C2S1, esta clasificación indica que es un agua con mediana salinidad y bajo contenido de sodio, considerada moderadamente dura y como resultado no tiene incidencia en el desarrollo de los ensayos. También se puede observar en la figura 32A, que en todos los tratamientos utilizando el suelo como sustrato aportó mayores elementos de Ca, Mg, Cu, Zn, Fe y Mn a las pruebas.

### 2.6.3 Plan de aprovechamiento de aguas residuales

El plan de aprovechamiento para aguas residuales se basó en su reutilización como riego de la jardinería de la Empresa Semillas del Campo, S.A.; en el cual dicha agua residual no tendrá tratamiento previo para su utilización.

Con un caudal máximo de 27,200 L/d en época de producción máxima que comprende los meses de mayo a octubre; se busca aprovechar la mayor cantidad de agua residual posible y evitar su descarga en el cuerpo de agua.

En la figura 22 se presenta el croquis de la distribución de riego para la reutilización de agua residual.



**Figura 22.** Croquis de distribución de riego para jardín de empresa Semillas del Campo, S.A.

Para una mejor optimización en la reutilización del agua residual, se propone utilizar las mismas salidas por aspersión que ya posee en la empresa y el tubo principal que distribuye dicho riego se retirará y se ubicará uno nuevo a la salida ubicada en el tanque de almacenamiento, en el cual con ayuda de una bomba sumergible de 1 HP se distribuirá el agua en la parte con mayor elevación del terreno; la distribución en la parte baja se realizará por gravedad, como funciona actualmente.

En el cuadro 26 se presenta el costo económico de la instalación de riego para la reutilización de aguas residuales.

La ubicación geográfica de la empresa, en época de verano y que coincide con la temporada de mayor producción, el riego se realiza de 2 a 3 veces al día y se recomienda una cisterna con capacidad de 10,000 L, ya que podrá almacenar la mayor cantidad de agua residual posible y al mismo tiempo esta será descartada a las horas de riego, teniendo un movimiento constante del agua.

**Cuadro 26.** Costo de materiales a utilizar para la reutilización de agua residual como riego en jardín

<b>Costo de Materiales</b>	
Tubería PVC	Q. 1,750.00
Accesorios	Q. 376.80
Pegamento	Q. 160.00
Aspersores	Q. 565.30
Cisterna de 10,000 L (almacenamiento de agua)	Q. 7,800.00
Bomba de Agua 1 HP (220 V)	Q. 7,100.00
Mano de Obra	Q. 3,500.00
Servicio Eléctrico	Q. 1,350.00
<b>Total</b>	<b>Q. 22,601.10</b>

#### A. Valor de extracción de agua

El agua utilizada en las actividades de la empresa carece de un valor económico de tarifa de consumo debido a que el pozo utilizado para la extracción de agua pertenece a la empresa; pero tomando en cuenta que en la actualidad los servicios ambientales tienen un valor económico importante como consecuencia de la actividad humana y el impacto en su sobre los ecosistemas y el medio que lo rodea; se realiza la valorización económica de extracción del agua utilizada en la empresa.

Para considerar el valor de extracción del agua que posee la empresa, se relacionó valor económico de construcción del pozo y el tiempo de vida del mismo; para obtener un valor mensual del servicio de agua, esto con el fin de visualizar el costo de inversión en el plan de aprovechamiento de aguas residuales y economizar a largo plazo la extracción de agua. En el cuadro 27 y 28 se presentan los costos de elaboración del pozo para una profundidad de 121.92 m y un tiempo de vida de 27 años, posteriormente en el cuadro 30 se presenta el valor mensual del agua.

**Cuadro 27.** Suministro e instalación de sistema de bombeo sumergible para producir 70 GPM a 121.92 m para descarga a boca de pozo, Semillas del Campo, S.A.

Cantidad	Descripción del Artículo	Precio Unitario	Precio Total
1	Bomba Sumergible Marca Wilo modelo 90S6S 10-9 en Acero Inoxidable 10 HP - 9048719	Q. 5,500.00	Q. 5,500.00
1	Motor Sumergible Marca Grundfos 10 HP 460 V 3F - 9017465	Q. 8,900.00	Q. 8,900.00
1	Panel de Control 3F 10 HP con Variador de Frecuencia que incluye: Interruptor principal y de mando, Variador, supresor de transientes, señales lumínicas. - 9004463 Armado y probado	Q. 16,200.00	Q. 16,200.00
1	Motor Protector Mp-204 – 9012670	Q. 4,900.00	Q. 4,900.00
420	Pies Cable sumergible No. 12/3 – 9020893	Q. 5.00	Q. 2,100.00
20	Tubo Galvanizado TM 3 in	Q. 890.00	Q. 17,800.00
2	Válvula Cheque Flomatic 3 in 7939 – 9038969	Q. 2,225.00	Q. 4,450.00
1	Válvula de Compuerta Br. 3 in – 9008577	Q. 970.00	Q. 970.00
1	Funda para enfriamiento PVC	Q. 650.00	Q. 650.00
1	Collarín de soporte HF 3 in – 9046826	Q. 490.00	Q. 490.00
1	Plato de Soporte (Sello Sanitario) 8 in X 3 in – 9046827	Q. 750.00	Q. 750.00
1	Manómetro Amortiguado 0-200PSI – 9005003	Q. 275.00	Q. 275.00
1	Sistema de llenado a tanque de reserva elevado (distancia no mayor 20 m.) (instalación eléctrica + guarda niveles L/RH)	Q. 1,800.00	Q. 1,800.00
1	Kit de Accesorios para empalmes y amarres	Q. 1,900.00	Q. 1,900.00
1	Sistema para dosificador de Cloro que incluye: Dosificador 30GPD, Solución Hipoclorito de Sodio 12 % (tonel 55 gal) - instalación eléctrica hacia panel de control eq. sumergible	Q. 8,200.00	Q. 8,200.00
1	Kit Accesorios hidráulicos manifold descarga de equipo y a boca pozo (Tee, niples, unión universal, Red Bushing)	Q.3,800.00	Q. 3,800.00
1	Valor Mano de obra instalación de equipo y tubería galvanizada en 3" - movimiento de maquinaria.	Q. 6,400.00	Q. 6,400.00
1	Mano de obra por montaje de controles, instalación de equipo y pruebas de funcionamiento	Q. 5,200.00	Q. 5,200.00
		<b>TOTAL</b>	<b>Q. 90,285.00</b>

**Cuadro 28.** Perforación de pozo mecánico de 121.92 m de profundidad y 8 in de diámetro

Cantidad	Descripción del Artículo	Precio Unitario	Precio Total
	<p>Perforación de pozo en diámetro de 12-1/4 in para entubado de 8" en hierro el cual incluye: Logística de maquinaria para perforación (herramienta, materiales, polímeros, camión sistema y vehículos de apoyo). Montaje y desmontaje de maquinaria y nivelación equipo de perforación.</p> <p>Perforación de Pozo a profundidad de 800 pies que incluye: Diésel para perforación, aditivos, polímeros, lodos de perforación (Bentonita)</p> <p>Colocación de tubería (ADEME) incluye: equipo de soldadura eléctrica, autógena, soldador, entubado de tubería de revestimiento en Acero al Carbón ASTM Grado B A53 en 8 in X 0.219 in espesor por pie.</p> <p>Rejilla vertical ranurada de fábrica Acero al Carbón ASTM A53 Grado B en 8 in diámetro X 0.219 in espesor por pie.</p> <p>Filtro de Grava canto rodado calibre seleccionado 3/8 in, Sello Sanitario de cemento y Brocal de pozo.</p> <p>Desarrollo y limpieza mecánica de pozo de 24 h con pistón y cubeta para extracción de sólidos, agitación de acuífero, consolidación de empaque de grava; incluye: Planta eléctrica, Diésel, equipo sumergible de prueba, medición de niveles y caudal con sonda electrónica y caudal metro.</p> <p>Análisis fisicoquímico del agua en laboratorio de ciudad de Guatemala, informe final de perforación que incluye cuadro estratigráfico.</p>		Q550,000.00
		<b>TOTAL</b>	<b>Q550,000.00</b>

En el cuadro 29, se presenta el valor económico de extracción de agua del pozo utilizado en para las actividades de la planta empacadora.

**Cuadro 29.** Valor económico mensual de extracción de agua, Semillas del Campo, S.A.

Valor mensual de extracción de Agua	
Valor total de Pozo	Q. 640,285.00
Tiempo de Vida	30 años
Valor por Año	Q. 21, 342.23
Valor por mes (extracción de 2,400,000.00 L/mes)	Q. 1,778.51
Valor por día (extracción de 80,000 L/d)	Q. 59.28

Diariamente se extraen 80,000 L de agua de pozo, para satisfacer las diferentes necesidades de la empresa; al colocar un valor económico de extracción de agua de manera mensual para un tiempo de vida del pozo de 27 años según el cuadro 29 es de Q. 1,778.51; que en forma diaria se estaría pagando por el agua Q.59.28; en el cual es utilizado sin tratamiento posterior para su descarga en cuerpos receptores.

#### B. Aprovechamiento ambiental de reutilización de aguas residuales

Al reutilizar el agua residual de la planta empacadora se obtienen beneficios ambientales, con los que se espera tener incidencia tanto a corto como a largo plazo, principalmente en los cuerpos receptores del mismo.

Como beneficio de la reutilización de aguas residuales se tiene:

- A. Ausencia de contaminación en el cuerpo receptor río El Valle; lo que genera que los ecosistemas interactuantes consuman los elementos necesarios para su desarrollo, sin competencia de agentes externos para la supervivencia.

- B. Fertilización natural a cuerpos receptores vegetales que en este caso sería las plantas ornamentales de la empresa ya que el agua residual posee elementos mayores y menores necesarios para el desarrollo de las plantas.
- C. Ayuda al acuífero disminuyendo la extracción de agua en los pozos, destinada para el riego de la jardinería; al reutilizar el agua residual se tiene una disponibilidad máxima de 27,200 L/d, para la utilización en riego, especialmente en época de verano.
- D. Ayuda a la infiltración de agua en suelo para la recarga hídrica en acuíferos.
- E. Mejoramiento de suelos por los elementos que el agua residual contiene en su descarga.
- F. Se mejora la imagen hacia clientes o personal ajeno a la empresa con concientización ambiental.
- G. Mayor posibilidad de acreditaciones nacionales como lo es la Normativa ISO 14000, relacionada con el cuidado del ambiente.
- H. Mayor oportunidad de mercado internacional, especialmente en países con normativas ambientales en sus productos.
- I. Oportunidad de reutilización de agua residual en otras actividades a largo plazo.

#### C. Aprovechamiento Económico de Reutilización de Agua Residual

La inversión económica para llevar a cabo el plan de aprovechamiento que se observa en el cuadro 26 es de **Q. 22,601.10**, dicho valor pertenece todos los materiales a utilizar para el almacenamiento y distribución del agua residual.

Al reutilizar el agua residual se tiene un beneficio económico hacia la empresa con posibilidades de aumentar dicho beneficio a largo plazo; algunos de estos beneficios son:

- A. Al disminuir la extracción de agua de los pozos, esta mejora su vida útil y se evita a corto plazo la construcción de un nuevo pozo en busca de agua, como indica el cuadro 27 y 28 tiene un costo de construcción de Q. 640,285.10, con un tiempo de vida de 27 años; y este valor podría aumentar dependiendo de la profundidad del acuífero.
- B. El ahorro de inversión en la compra para fertilización de plantas en jardines, ya que el agua residual posee elementos nutricionales indispensables para el desarrollo de los mismos.
- C. A largo plazo la inversión para nuevas actividades en la reutilización de agua residual, es mínima; ya que se el tanque de almacenamiento para contener dicha agua ya estará en uso.
- D. El agua residual por su aporte nutricional demostrado en los ensayos biológicos que puede ser utilizado como fertiriego; esto se considera como beneficio a los agricultores productores de papaya aledaños, debido a que poseen dificultad en el desarrollo de su cultivo.
- E. El agua residual como fertiriego se puede colocar un valor monetario, se podría considera como valor el pago mensual por el servicio de agua del municipio de Nueva Santa Rosa el cual es de Q.40.00 mensual; pero tomando en cuenta los datos del cuadro 29, el valor que se debe de considerar para el agua es de Q. 1,778.51 mensual, dicho valor es apropiado considerando el impacto que realiza el hombre al medio ambiente al utilizar el recurso.
- F. Considerar vender el agua residual a largo plazo, a los productores de cultivo de papaya aledaños que se encuentran ubicados en la parte baja de los límites de la

empresa podría establecerse como un actividad para el costo de retorno de la inversión del plan de aprovechamiento y debido a que los productores se encuentran ubicados en la parte baja de los límites de la empresa se establece que los costos de inversión para el sistema de riego serian mínimos ya que se consideraría realizarlo por gravedad.

- G. Tomando en cuenta las posibilidades económica de dichos productores de papaya el cual se sabe que son 3 y haciendo referencia al valor que tiene el uso mensual del agua del municipio y comparando el valor de extracción del agua, se debe de considerar ajustar el pago por el agua residual; el valor del agua residual puede colocarse un monto mensual de Q200.00 debido al valor agregado que hacen los elementos nutricionales que esta posee en beneficio al desarrollo del cultivo; dicho valor puede considerar aumentarse a largo plazo, haciendo un acuerdo con los productores en la concientización y el beneficio de cuidar el recurso.

En el cuadro 30 se presenta el tiempo de retorno de inversión es de 3 años, considerando un valor mínimo de extracción de agua, pasando dicho tiempo los ingresos serán ganancias, las cuales pueden invertirse en el uso de un tratamiento específico del agua residual para su utilización en otras áreas con mayor inocuidad e incluso para uso humano.

**Cuadro 30.** Determinación de tiempo de retorno de inversión para reutilización de agua residual como riego

Inversión	Q.22,601.10
Valor mensual de agua residual	Q. 200.00
Cantidad de agricultores, productores de papaya	3
Ingreso Mensual	Q. 600.00
Ingreso Anual	Q. 7,200.00
Tiempo de retorno (años)	3

## 2.7 Conclusiones y Recomendaciones

1. Como resultado de los análisis físico-químico y microbiológico de las aguas residuales de la planta empacadora, se comprueba que los parámetros del agua residual están por debajo de los valores establecidos por la legislación nacional; esto indica que el ente receptor no es afectado significativamente por la descarga; y así mismo que las aguas residuales tiene viabilidad para reutilización.
2. Con base a los resultados de las pruebas biológicas se establece el que agua residual aporta nutrientes a las plantas de forma significativa, sin importar el sustrato en el que se encuentre; debido a lo anterior, el agua residual es un candidato óptimo en reutilización como riego en jardines y otros especímenes vegetales.
3. El plan de aprovechamiento propuesto se basa en la reutilización del agua residual como riego, esto contribuye a beneficio tanto ambiental como económico a la empresa; y también da lugar que a un largo plazo pueda reutilizarse en otras actividades con un tratamiento adecuado.
4. Realizar un análisis físico-químico y microbiológico del agua residual cada año para llevar un control del agua y seguir vigentes según la legislación nacional; y así cumplir con los parámetros establecidos para el año 2020.
5. Considerar a largo plazo un tratamiento específico del agua residual para su uso en otras actividades e incluso para uso humano y poder ser más amigables con el ambiente.
6. Elaborar ensayos biológicos en cultivos de tomate y chile, debido a que la empresa es productora, para establecer el tipo de tratamiento adecuado del agua residual y considerar el uso del agua en la producción.

## 2.8 Bibliografía

1. Aguirrezábal, L. A., Orioli, G., Hernández, L., Pereyra, V., & Miravé, J. (2001). Girasol, aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Mar de Plata, Argentina: INTA.
2. Ambientum. (Febrero de 2002). Nitrógeno en el agua. Obtenido de Revista Ambientum: [http://www.ambientum.com/revista/2002\\_05/NTRGNO2.asp](http://www.ambientum.com/revista/2002_05/NTRGNO2.asp)
3. ANC. (1985). Constitución política de la república de Guatemala. Consultado el 20 de Octubre de 2015, de Asamblea Nacional Constituyente; OAS-OEA: [https://www.oas.org/juridico/mla/sp/gtm/sp\\_gtm-int-text-const.pdf](https://www.oas.org/juridico/mla/sp/gtm/sp_gtm-int-text-const.pdf)
4. Arenillas, A. (2010). Propiedades químicas de las arenas. Consultado el 27 de enero de 2017, de Greenkeepers: [www.aegreenkeepers.com/descargas/Articulos\\_tecnicos/Propiedades\\_quimicas\\_de\\_las\\_arenas.pdf](http://www.aegreenkeepers.com/descargas/Articulos_tecnicos/Propiedades_quimicas_de_las_arenas.pdf)
5. Ayora Cañada, M. J. (2007). Análisis de aguas. Consultado el 08 de Septiembre de 2015, de Universidad de Jaén: [http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia\\_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf](http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf)
6. Carrera, J. L., Gálvez, J., & López, E. (2012). Perfil ambiental de Guatemala: recursos hídricos mucha agua, poca gestión. Consultado el 20 de Octubre de 2015, de Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente: [http://www.infoiarna.org.gt/dmdocuments/1\\_pu\\_pro\\_per\\_12-PERFAM2010-2012.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/dmdocuments/1_pu_pro_per_12-PERFAM2010-2012.pdf)
7. COGUANOR. (1985). Norma COGUANOR NGO 29001, agua potable especificaciones. Consultado el 03 de Septiembre de 2015, de Comisión Nacional de Normas y Regulaciones: [http://www.ada2.org/sala-prensa/publicaciones/doc\\_view/28-coguanor-29001-99](http://www.ada2.org/sala-prensa/publicaciones/doc_view/28-coguanor-29001-99)
8. DISEPROSA. (2004). Plantas de tratamiento de aguas. Consultado el 03 de Septiembre de 2015, de Diseños y Proyectos Reunidos: [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/87264/Plantas\\_de\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87264/Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas.pdf)
9. EcoEstrategia. (2004). Glosario ambiental. Consultado el 01 de Septiembre de 2015, de EcoEstrategia: <http://www.ecoestrategia.com/articulos/glosario/glosario.pdf>

10. GEA. (2011). Política nacional del agua de Guatemala y sus estrategias. Consultado el 17 de Septiembre de 2015, de Gabinete Específico del Agua: [http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas\\_publicas/Recursos%20Naturales/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf](http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Recursos%20Naturales/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf)
11. Guillermo, I. R. (2014). Caracterización y propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la industria de galvanizado de lámina por inmersión en caliente. (Tesis MSc.). Guatemala, USAC, ERIS. Consultado el 02 de Septiembre de 2015, de USAC, Biblioteca Central: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0375\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0375_MT.pdf)
12. Hidritec. (2016). Cloro. Consultado el 29 de Marzo de 2017, de Hidritec: <http://www.hidritec.com/hidritec/cloro>
13. IARNA. (2006). Perfil ambiental de Guatemala: calidad del agua. Consultado el 02 de Septiembre de 2015, de Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente: <http://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=41022>
14. Lesikar, B., Enciso, J., & Persyn, R. (2011). Sistemas Individuales para tratamiento de aguas negras. Consultado el 10 de Septiembre de 2015, de University Texas A&M, Servicio de Extensión Agrícola de Texas: [https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems\\_Gravel-less-Pipe-S.pdf](https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems_Gravel-less-Pipe-S.pdf)
15. MARN. (2006). Reglamento de descarga y reuso de aguas residuales y disposición de lodos. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Consultado el 02 de Septiembre de 2015
16. Mendoza, P., & Ramirez, A. (2008). Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo, la experiencia en México. Consultado el 20 de octubre de 2015, de INECC: [http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/consultaPublicacion.html?id\\_pub=573](http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/consultaPublicacion.html?id_pub=573)
17. Oocities. (2015). Geocities. Obtenido de Geocities: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>
18. Rabanales, K. D. (2015). Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Chichorin, del municipio de San Lucas Sacatepéquez, diagnóstico y servicios realizados en la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez,

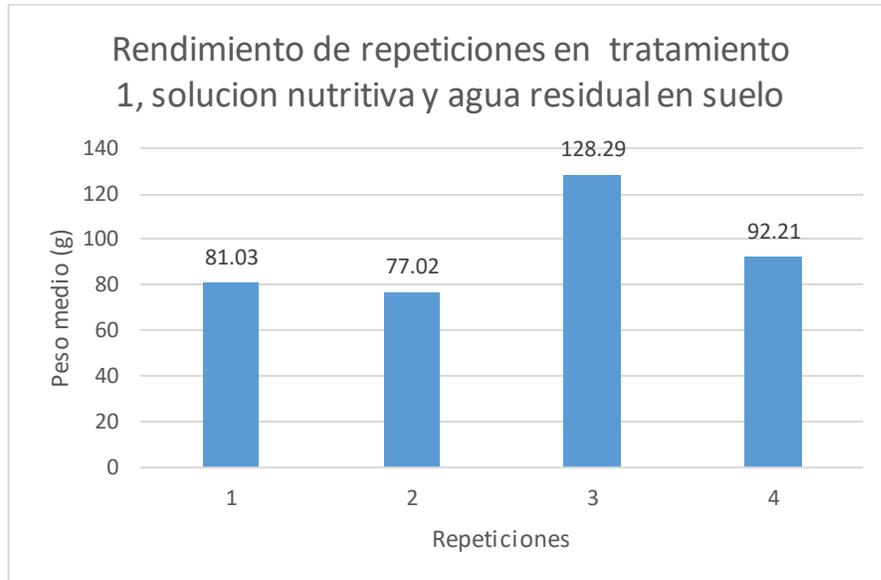
Guatemala, C.A. (Tesis Ing. Agr.). Consultado el 01 de Septiembre de 2015, de USAC, Bilioteca Cdntral: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2326/>

19. Rodríguez Fernández-Alba, A., Letón García, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., & Sanz García, J. M. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. (C. /. Madrid, Ed.) Consultado el 10 de Septiembre de 2015, de Madrimasd: [https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2\\_Tratamientos\\_avanzados\\_de\\_aguas\\_residuales\\_industriales.pdf](https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf)
20. USAL. (2013). Recuento de coliformes totales; filtración a travez de membrana. Consultado el 01 de Septiembre de 2015, de Universidad de Salamanca, Departamento de Microbiología y Genética, Laboratorio de Tecnología Educativa: [http://virus.usal.es/Web/demo\\_fundacua/demo2/FiltraMembColiT\\_auto.html](http://virus.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html)

2013  
FAUSAC  
TESIS Y DOCUMENTOS DE GRADUACIÓN  
\* REVISIÓN \*

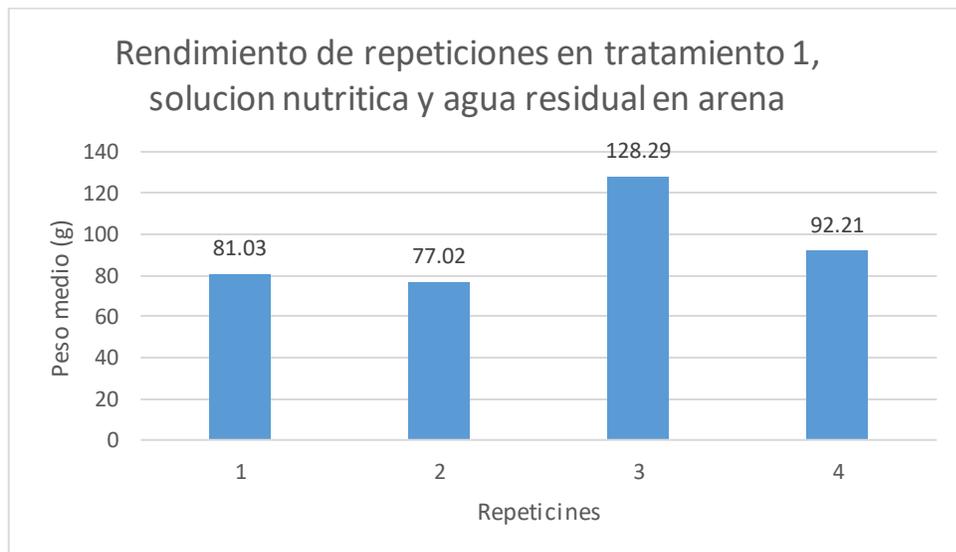
Polando Barrera

2.9 Anexos



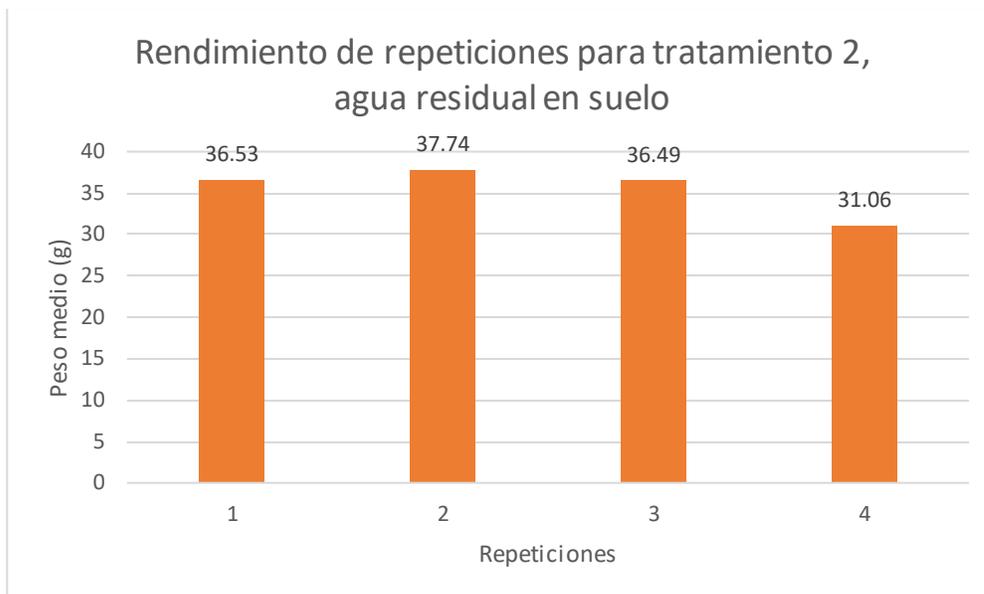
Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 23A.** Rendimiento de repeticiones en pruebas biológicas para tratamiento 1 en suelo



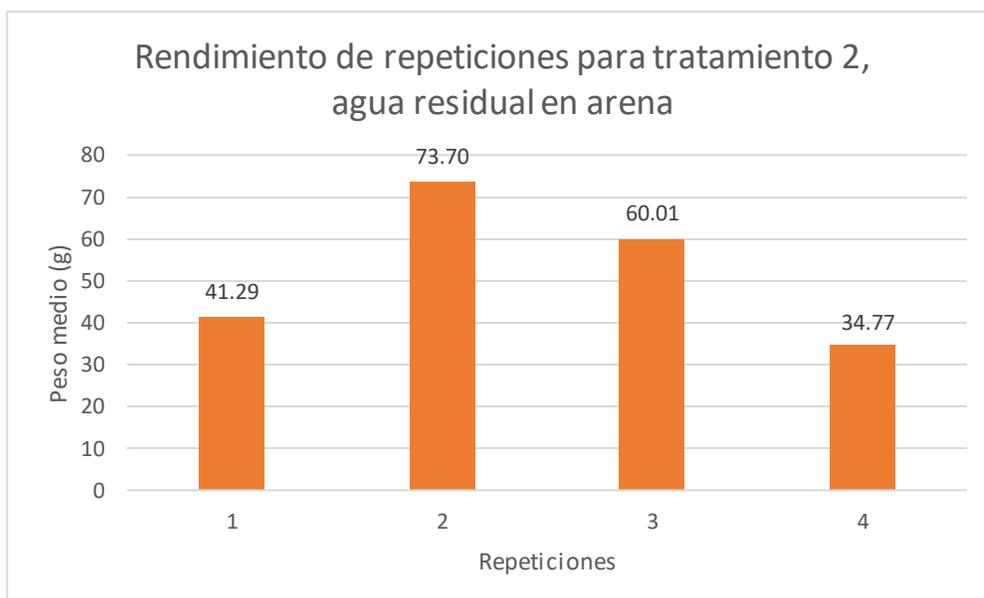
Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 24A.** Rendimiento de repeticiones para pruebas biológicas para tratamiento 1 en arena



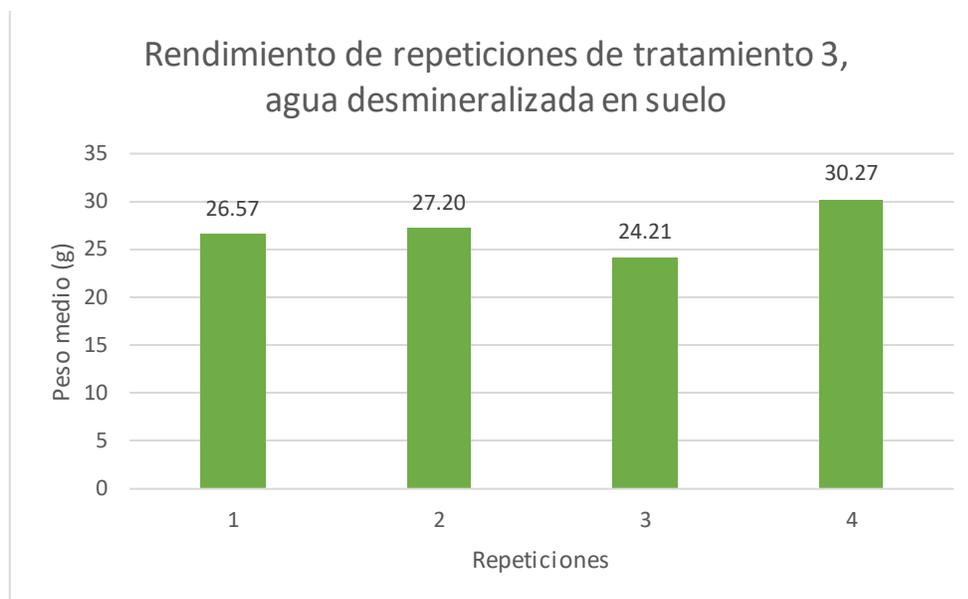
Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 25A.** Rendimiento de repeticiones para pruebas biológicas en tratamiento 2 en suelo



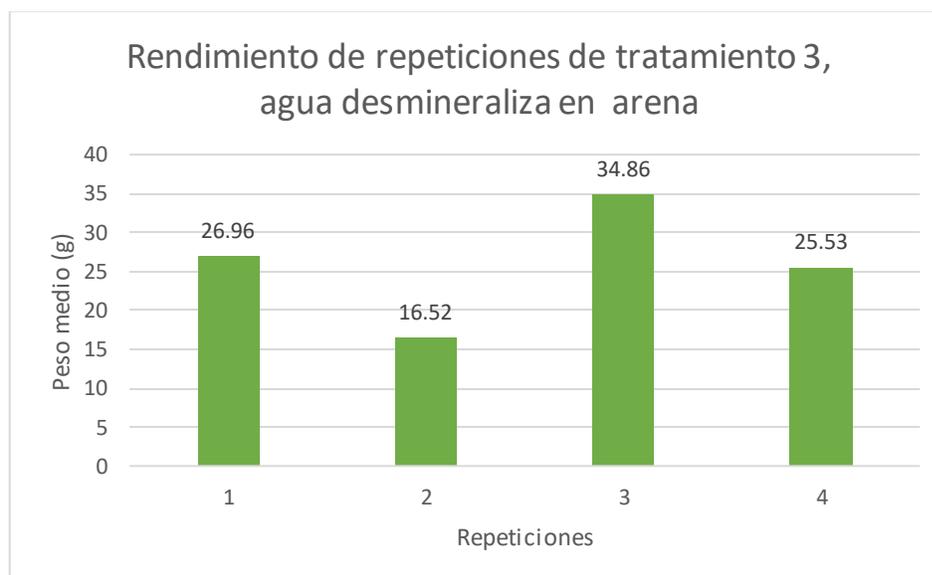
Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 26A.** Rendimiento de repeticiones para pruebas biológicas para tratamiento 2 en arena



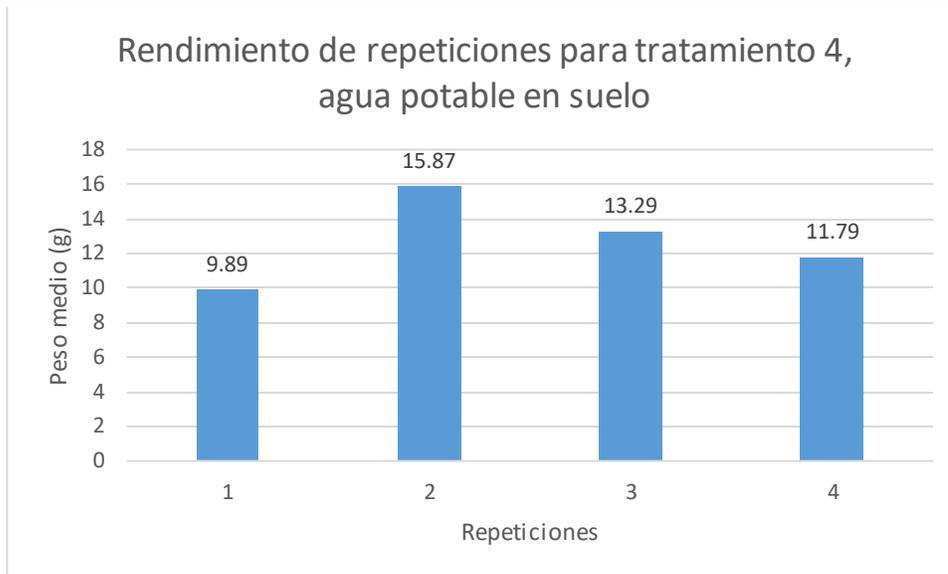
Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 27A.** Rendimientos de repeticiones para pruebas biológicas de tratamiento 3 en suelo



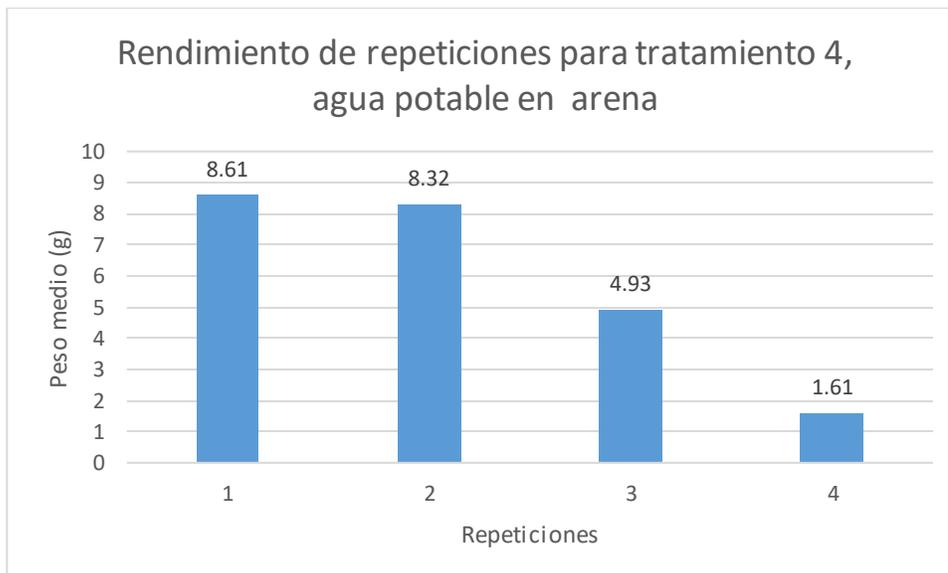
Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Figura 28A.** Rendimiento de repeticiones para pruebas biológicas de Tratamiento 3 en arena



Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 29A.** Rendimiento de repeticiones en pruebas biológicas para tratamiento 4 en suelo



Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 30A.** Rendimiento de repeticiones en pruebas biológicas para tratamiento 4 en arena

IDENT	pH	$\mu\text{S/cm}$ C.E.	Meq/litro				Ppm				RAS	CLASE	DUREZA CaCO <sub>3</sub> (ppm)
			Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn			
ENTRADA	7.0	220	1.00	0.33	0.91	0.13	0.0	0.0	0.0	0.0	1.11	C1S1	60.05
DESCARGA	6.6	251	1.05	0.36	0.37	0.73	0.0	0.2	0.0	0.0	0.44	C2S1	63.47

Según clasificación **USDA** la muestra se clasifica como:

**C1** : AGUAS DE BAJA SALINIDAD  
**C2** : AGUAS DE MEDIANA SALINIDAD  
**S1**: AGUAS DE BAJA SODICIDAD ( bajo contenido de sodio)

DUREZA:

0-50	BLANDA	150-300	DURA
51-150	MODERAMENTE DURA	>300	MUY DURA

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua (UVIGER), 2015.

**Figura 31A.** Análisis de agua residual de planta empacadora de elementos básicos

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS									
Identificación	pH	ppm		Meq/100gr		ppm			
		P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
<b>RANGO MEDIO</b>	6-6.5	12-16	120-150	6-8	1.5-2.5	2-4	4-6	10-15	10-15
<b>M-1 T1 SUELO</b>	5.8	95	565	7.80	2.52	2.00	57.50	75.00	34.00
<b>M-2 T2 ARENA</b>	6.9	148	1,875	4.99	2.78	1.50	17.50	28.00	54.00
<b>M-3 T3 SUELO</b>	5.7	95	590	7.80	2.12	2.00	55.00	75.00	35.00
<b>M-4 T4 ARENA</b>	7.3	115	1,038	3.43	1.95	1.00	5.00	20.50	32.50
<b>M-5 T5 SUELO</b>	5.8	74	415	7.49	1.56	1.50	55.00	70.50	32.00
<b>M-6 T6 ARENA</b>	7.2	83	1,000	2.50	1.34	1.00	5.50	18.00	29.00
<b>M-7 T7 SUELO</b>	5.8	76	425	6.24	1.90	2.00	77.50	97.50	33.00
<b>M-8 T8 ARENA</b>	7.5	104	1,150	2.81	1.34	1.00	6.00	20.50	29.00

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua (UVIGER), 2016.

**Figura 32A.** Análisis químico de suelo de pruebas biológicas



## LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Oficinas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455

laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

REG 016 Resultados de Análisis

Ref 066-16

Pág 1/2

Muestra: 1 muestra de agua  
Análisis solicitado por: Semillas del Campo, S.A.  
Dirección: Km 77.5 carretera a Mataquesuintla Nueva Santa Rosa  
Procedencia de la muestra: Agua Residual de Planta Empacadora  
Fecha de ingreso de muestra: 120116  
Fecha de análisis: 120116-210116  
Fecha del informe: 210116

Identificación de la muestra: Tubería Des. Empacad.

Correlativo Ecosistemas: 3593

Acuerdo Gubernativo 236-2006					etapa 2 ( 2 de mayo de 2,015) Acuerdo 236-2006	Etapa 3 (2 de mayo de 2020 Acuerdo 236-2006
PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA	descarga a cuerpo receptor	descarga a cuerpo receptor
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	7.90	SMWW 4500H-B	6 a 9	6 a 9
* Aceites y Grasas	mg/l	5	8.3	EPA 1664	50	25
Materia Flotante	---	---	ausente	Visual	ausente	ausente
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	22	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D	ver nota	ver nota
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	40	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D	no especificado	no especificado
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	44	SMWW 2540D	400	150
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F	no especificado	no especificado
Nitrógeno Total	mg/l	10	42	Colorimétrico Merck, disgregación EN ISO 11905-1	50	25
Fósforo Total	mg/l	0.05	5.50	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6878/1, DIN EN 11309 D11	30	15
* Arsénico As	mg/l	0.002	0.002	UNICAM AN40177 E10/03C	0.1	0.1
* Cadmio Cd	mg/l	0.02	N.D.	SMWW 3111B	0.1	0.1
Cianuros	mg/l	0.05	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403	1	1
* Cobre Cu	mg/l	0.03	0.08	SMWW 3111B	3	3
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.05	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D	0.1	0.1
* Mercurio Hg	mg/l	0.004	N.D.	UNICAM AN40181 E10/03C	0.02	0.02
* Níquel Ni	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B	2	2



## LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Ofibodegas Zaragoza 2 | Bodega 2  
502 + 2437 7224 | 2437 4455  
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 066-16  
Pag 2/2

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA	etapa 2 ( 2 de mayo de 2,015)	Etapa 3 (2 de mayo de 2020)
					Acuerdo 236-2006	Acuerdo 236-2006
					descarga a cuerpo receptor	descarga a cuerpo receptor
* Plomo Pb	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B	0.4	0.4
* Zinc Zn	mg/l	0.01	0.03	SMWW 3111B	10	10
Color Aparente	UC HZ equiv Unid. Pt-Co	1	566	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409	1000	750
Color Real	UC HZ equiv Unid. Pt-Co	1	6	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409		
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP	< 1 x 10 <sup>5</sup>	< 1 x 10 <sup>4</sup>

**Notas:**

*Captación de muestras: La muestra fue captada por personal ajeno a Ecosistemas.*

*Transporte y preservación de la muestra: Refrigeración.*

*Metodología: Espectrofotométricos / Standard Methods for water and wastewater APHA, AWWA, 22 edic.*

*Organic Reagents for Trace Analysis, J.Fries/H. Getrost. E. Merck Darmstadt. 1977, EPA 1664*

*Respecto a la DBO el acuerdo 236-2006 la relaciona como "carga" junto al caudal y como meta de cumplimiento un valor de DBO de 200 mg/l (ver Acuerdo Artículo 19).*

*N.D. No detectable. Debajo del límite de detección.*

*NMP: Número más probable*

*Se trabajaron diluciones.*

*Los resultados obtenidos corresponden únicamente a la muestra recibida por el personal de Ecosistemas Proyectos Ambientales.*

*Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Ecosistemas Proyectos Ambientales.*

*\* Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA LE 006-04*

*\*\* Análisis referido.*

Ing. Oscar Páez  
Gerente Técnico

VoBo Ing. Fernando Fuentes  
Gerente de Calidad

**Luis Fernando Fuentes Méndez**  
Ingeniero Químico  
Colegiado 876

Figura 33A. Resultado de análisis físico-químico y microbiológico de aguas residuales

Fuente: laboratorio Ecosistemas, 2015.



Fuente: elaboración propia, 2015.

**Figura 34A.** Fotografía del material para recolección de muestra de agua residual



Fuente: elaboración propia, 2015.

**Figura 35A.** Fotografía de la semana 2 de ensayo biológico, tratamiento 1, sustrato suelo



Fuente: elaboración propia, 2015.

**Figura 36A.** Fotografía de semana 2 de ensayo biológico de tratamiento 4, sustrato arena



Fuente: elaboración propia, 2015.

**Figura 37A.** Fotografía del crecimiento de ensayo biológico, semana 3



Fuente: elaboración propia, 2015.

**Figura 38A.** Fotografía del desarrollo de ensayo biológico, semana 4



Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 39A.** Fotografía de finalización de ensayo biológico, tratamiento 1, semana 6



Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 40A.** Fotografía de finalización de ensayo biológico, tratamiento 3



Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 41A.** Fotografía de cosecha de material vegetal, tratamiento 1



Fuente: elaboración propia, 2016.

**Figura 42A.** Fotografía de cosecha de raíz de tratamientos





### **CAPÍTULO III**

#### **3. SERVICIOS REALIZADOS EN EMPRESA SEMILLAS DEL CAMPO, S.A., NUEVA SANTA ROSA, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.**



### **3.1 Presentación**

El presente documento describe los servicios efectuados durante el Ejercicio Profesional Supervisados (EPS), que se llevó a cabo en los meses de agosto 2015 a mayo 2016, en la empresa Semillas del Campo, S.A., ubicada en el km 77 del municipio de Nueva Santa Rosa, perteneciente al departamento de Santa Rosa.

Los objetivos fueron propuestos con el fin de colaborar en la oficina de certificaciones de la empresa, principalmente en el tema ambiental y empezar la documentación adecuada respecto al control de aguas residuales y la disposición final de desechos sólidos proveniente de la planta empacadora, con la finalidad de continuar con el control adecuado de dichas actividades.

Se llevó a cabo la elaboración de un estudio técnico de aguas residuales proveniente de la planta empacadora, para documentación y conocimiento de la calidad del agua residual y posteriormente ser presentadas antes los entes auditores.

También se llevó a cabo la elaboración de un documento del proceso de almacenamiento y reciclaje de residuos de empaque y cartón de la planta empacadora, el cual se daría a conocer al personal encargado de este proceso y mantener los controles y registros adecuados para llevar a cabo el almacenamiento y reciclajes de los residuos.

### **3.2 Elaboración de estudio técnico de aguas residuales de planta empacadora, empresa Semillas del Campo, S.A.**

#### 3.2.1 Objetivos

##### A. Objetivo General

Colabora con la oficina de certificación de la empresa Semillas del Campo, S.A., en la elaboración del estudio técnico de aguas residuales proveniente de la planta empacadora.

##### B. Objetivos Específicos

1. Conocer la calidad del agua residual proveniente de la planta empacadora de la empresa Semillas del Campo, S.A.; basados en el Reglamento de Aguas Residuales y Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006.
2. Realizar un estudio técnico de aguas residuales provenientes de la planta empacadora para documentación y uso en evaluación de certificaciones.

#### 3.2.2 Metodología

##### A. Toma de muestra

Se realizó la toma de muestra en el punto de descarga de las aguas residuales, con el equipo brindado por el laboratorio al cual se enviaron las muestras de agua.

La muestra se envió ese mismo día al laboratorio en hielera como fue solicitado.



Fuente: elaboración propia, 2015.

**Figura 43.** Fotografía de toma de muestra.



Fuente: elaboración propia, 2015.

**Figura 44.** Fotografía de aplicación de reactivos para preservación del contenido de la muestra, según la técnica de muestreo que realiza el Laboratorio Ecosistemas Proyectos Ambientales, S.A.

## B. Análisis de resultados

Los resultados de las muestras de aguas residuales se obtuvieron una semana después de ser enviadas.

Se compararon los resultados con los parámetros establecidos en la legislación nacional el cual corresponde al Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos”, para concluir la calidad del agua residual.

Acuerdo Gubernativo 236-2006					etapa 2 ( 2 de mayo de 2,015) Acuerdo 236-2006	Etapa 3 (2 de mayo de 2020 Acuerdo 236-2006
PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA	descarga a cuerpo receptor	descarga a cuerpo receptor
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	7.90	SMWW 4500H-B	6 a 9	6 a 9
* Aceites y Grasas	mg/l	5	8.3	EPA 1664	50	25
Materia Flotante	---	---	ausente	Visual	ausente	ausente
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	22	Oxítop-Merck Análogo SMWW 5210D	ver nota	ver nota
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	40	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D	no especificado	no especificado
* Sólidos Suspendedos	mg/l	10	44	SMWW 2540D	400	150
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	< 0.1	SMWW 2540F	no especificado	no especificado
Nitrógeno Total	mg/l	10	42	Colorimétrico Merck, disgregación EN ISO 11905-1	50	25
Fósforo Total	mg/l	0.05	5.50	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11	30	15
* Arsénico As	mg/l	0.002	0.002	UNICAM AN40177 E10/03C	0.1	0.1
* Cadmio Cd	mg/l	0.02	N.D.	SMWW 3111B	0.1	0.1
Cianuros	mg/l	0.05	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403	1	1
* Cobre Cu	mg/l	0.03	0.08	SMWW 3111B	3	3
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.05	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D	0.1	0.1
* Mercurio Hg	mg/l	0.004	N.D.	UNICAM AN40181 E10/03C	0.02	0.02
* Níquel Ni	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B	2	2

Fuente: Laboratorio Ecosistemas Proyectos Ambientales, S.A., 2015.

**Figura 45.** Fotografía de resultado de análisis físico-químico de aguas residuales de planta empacadora

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA	etapa 2 ( 2 de mayo de 2015) Acuerdo 236-2006	Etapa 3 (2 de mayo de 2020) Acuerdo 236-2006
					descarga a cuerpo receptor	descarga a cuerpo receptor
* Plomo Pb	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B	0.4	0.4
* Zinc Zn	mg/l	0.01	0.03	SMWW 3111B	10	10
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	566	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409	1000	750
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	6	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409		
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	< 2	NMP	< 1 x 10 <sup>5</sup>	< 1 x 10 <sup>4</sup>

Fuente: Laboratorio Ecosistemas Proyectos Ambientales, S.A.

**Figura 46.** Fotografía de resultados de análisis microbiológicos de aguas residuales de planta empacadora

### C. Elaboración de estudio técnico de agua residual

Con los resultados de laboratorio y comparados con la legislación nacional, se procedió a la elaboración del documento de estudio técnico de aguas residuales utilizando como formato un diseño establecido por la empresa basado en las solicitudes de las empresas certificadoras.

### 3.2.3 Resultados

#### A. Información general solicitada en el estudio técnico

1. Nombre, razón o denominación social de la persona individual o jurídica, pública o privada

Semillas del Campo, Sociedad Anónima

## 2. Persona Contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

Como contacto directo de la Empresa Semillas del Campo, S.A. se designa a la Asistente de Certificaciones Yaseni López, Celular 31413735 y al Jefe de Área de Empacadora Ing. Walfred Pérez, Celular 40033187.

### B. Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica sujeta al presente Reglamento

La Patente de Comercio de Sociedad de la Empresa Semillas del Campo, S.A. manifiesta en su objeto: “La Agricultura, La Ganadería, La Piscicultura, La Acuicultura y en General, las actividades que tengan con objeto o se relacionen con la reproducción, cría, crecimiento y negociación de animales y plantas de todos los géneros y especies; la compra, venta, urbanización, lotificación, construcción, desarrollo, promoción, arrendamiento, corretaje y negociación en general de bienes inmuebles y derechos sobre los mismos y otros”<sup>1</sup>

La Patente de La Empresa Mercantil perteneciente a Semillas del Campo, Sociedad Anónima tiene como objeto: “Agricultura, La Ganadería, La Acuicultura y en General las actividades que tengan como objeto o se relaciona con la reproducción, cría, crecimiento y negociación de animales y plantas de todos los géneros y especies; la compra, venta y otros que constan en la escritura social”<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Registro Mercantil Patente de Comercio de Sociedad, Registro 51071, Folio 706, Libro 144 de Sociedades. Inscrita el día 02 de Julio del año 2,002.

<sup>2</sup> Registro Mercantil Patente de Comercio Empresa Mercantil, Registro 432214, Folio 159, Libro 394 de Empresas Mercantiles. Inscrita el día 05 de octubre del año 2,006.

### C. Horario de descarga de aguas residuales

La Empresa Semillas del Campo, S.A. realiza las descargas en jornada diurna correspondiente a las horas de trabajo, que se comprenden de 7:00 a 17:00 horas la cual corresponde exclusivamente a descarga de la planta empacadora incluyendo duchas y lavamanos. La descarga se hace de forma continua hasta el horario establecido.

Para cumplir con la información solicitada en dicho aspecto y así darle seguimiento y control se debe cumplir con el artículo 49 del Reglamento de Aguas Residuales el cual establece "Para el seguimiento y evaluación de aguas residuales y de aguas para reuso, los entes generadores deberán tomar como mínimo dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico.

Los entes generadores deberán llevar un registro del resultado de estos análisis y conservarlos durante un plazo de cinco años posteriores a su realización, para su presentación al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales cuando le sea requerido por razones de seguimiento y evaluación.<sup>3</sup>

### D. Descripción del tratamiento de aguas residuales

El ente generador no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales ya que se está trabajando en la propuesta de un plan de aprovechamiento en el cual se busca la posibilidad de la reutilización del mismo; principalmente en el riego de jardines en las instalaciones.

---

<sup>3</sup> Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Acuerdo Gubernativo 236-2006 "Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos"; Capítulo IX "Seguimiento y Evaluación", Artículo 49: Frecuencia de toma de muestras. Página 19.

#### E. Caracterización del Efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables

Se realizaron los análisis de aguas residuales en el laboratorio Ecosistemas Proyectos Ambientales, S.A. El laboratorio se encuentra acreditado por la Norma ISO 17025 según OGA-LE 006-04.

Según los resultados que se presentan en la figura 45 y 46, se realizó la caracterización del efluente.

#### F. Caracterización de las aguas residuales para reuso

En base al plan de aprovechamiento que se realizó; se considera el reuso de las aguas residuales como prioridad o en su caso la descarga al ente receptor bajo los parámetros establecidos por el reglamento nacional.

El Reglamento autoriza los siguientes tipos de reuso a aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso correspondan. (MARN, 2006)

##### a. Tipo I, reuso para riego agrícola en general

Uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en riego extensivo e intensivo, a manera de fertiriego para recuperación y manejo de suelos y como fertilizante en aplicaciones de cultivos que previamente a su consumo requieren un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35, se exceptúa de su reuso los cultivos considerados en el tipo II.

b. Tipo II, reuso para cultivos comestibles

Con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para el caso de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles del artículo 35. Adicionalmente para otros parámetros deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 del Reglamento, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno total y fosforo total.

c. Tipo IV, reuso para pastos y otros cultivos

Con restricciones en el riego de áreas de cultivo no alimentación para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. (MARN, 2006)

En la figura 47 se presenta los parámetros y límites permisibles que el agua residual para reuso debe cumplir.

Tipo de reuso	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$< 2 \times 10^2$
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	$< 1 \times 10^3$
Tipo V	200	$< 1 \times 10^3$

Fuente: Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos, 2006.

**Figura 47.** Artículo 35, parámetros y límites máximos permisibles para reuso

G. Caracterización de los lodos a disponer

La Empresa Semillas del Campo, S.A. no genera lodos en su descarga.

#### H. Caracterización del afluente

El afluente utilizado es proveniente del pozo 1 y lavamanos; los análisis son realizados por el laboratorio INLASA en donde se comprueba que el agua utilizada se encuentra dentro de los parámetros microbiológicos referente a coliformes y E. Coli para su uso en las distintas actividades de la planta.

#### I. Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica

El ente generador realiza su descarga en el cuerpo receptor el cual es un riachuelo denominado el Valle que se encuentra dentro de la propiedad de la empresa y este se infiltra en el área de reforestación en época de verano y en época de invierno debido a la saturación en el suelo probablemente este llegue hasta el cuerpo de agua el cual es un río identificado como los achiotes.

#### J. Identificación del alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales

Las aguas residuales no se descargan en un sistema de alcantarillado.

#### K. Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva

El ente generador no se encuentra exento de medición para aguas residuales de acuerdo con el artículo 12 del Reglamento; debido a que el ente no genera lodos, será una medición y tratamiento que no se tomará en cuenta en este estudio.

#### L. Documentos solicitados para el estudio técnico

Los documentos solicitados se adjuntaron al estudio técnico de forma física.

- Plano de localización
- Plano de Ubicación
- Planos de ubicación y localización, con coordenadas geográficas, del o los dispositivos de descarga, para la toma de muestras, tanto del afluente como del efluente. En el caso del afluente cuando aplique.
- Toma de muestra

#### M. Solicitud de caracterización de agua residual

Al comparar los resultados obtenidos con los parámetros exigidos por el Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos que se presentan en la figura 45 y 46, se observó que los valores se encuentran debajo de los límites permisibles, para la fecha máxima de cumplimiento del año 2015; se trabajó en la propuesta de un plan aprovechamiento para dicha agua con el fin de evitar su disposición final al cuerpo receptor y también cumplir con las disminución porcentual establecida para el año 2020.

El proceso se mantendrá constante ya que las funciones de la entidad así lo solicita; al generarse algún cambio en la realización de actividades o modificaciones a la patente de comercio que puedan incurrir en procesos diferentes a los establecidos actualmente y que estos generen aumento en los contaminantes u otro tipo de contaminación deberá realizarse otro análisis para establecer los parámetros a controlar.

#### 3.2.4 Evaluación

En cumplimiento de los objetivos planteados se logró la ejecución de los mismos en su totalidad y como resultado se presentó a la oficina de certificación el estudio técnico de aguas residuales para su uso y documentación.

### **3.3 Elaboración de documento para proceso de almacenamiento y reciclaje de residuos de empaque y cartón de la planta empacadora**

#### 3.3.1 Objetivos

##### A. Objetivo General

Colaborar en la oficina de certificación de la empresa Semillas del Campo, S.A., para la elaboración de un documento que contenga el proceso de almacenamiento y reciclaje de residuos de empaque y cartón de la planta empacadora.

##### D. Objetivos Específicos

1. Plasmar en el documento el correcto procedimiento de recolección de residuos plásticos y cartón para su posterior almacenaje y reciclado.
2. Presentar el documento al personal de la planta empacadora para iniciar con los procedimientos de indicados.

#### 3.3.2 Metodología

##### A. Reconocimiento de residuos reciclables de planta empacadora

Como parte del diagnóstico realizado se conoce que en la planta empacadora se obtienen residuos de material vegetal y residuos sólidos los cuales son descartados sin ningún procedimiento.

Los residuos con potencial reciclable a corto plazo encontrados en la planta empacadora fueron el plástico proveniente del empaque utilizado para el producto y el cartón de las casas de almacenamiento, por lo cual se trabajó el documento en base a dichos residuos sólidos.

#### B. Elaboración del documento de procedimientos para almacenaje de residuos sólidos

Los procedimientos descritos en el documento inician desde la utilización de los materiales sólidos hasta finalizar parte de ellos como un residuo.

También describe la forma correcta de almacenaje y las áreas dispuestas para su almacenamiento, finalizando con la recolecta para su reciclaje.

### 3.3.3 Resultados

#### A. Procesos generadores de residuos reciclables y disposición final adecuada

1. Al iniciar el proceso de empaque se realiza la separación del producto según el reglamento establecido por la empresa.
2. Al tratar producto en donde se utiliza empaque de bolsa plástica o en cartón, este genera residuos por material defectuoso o al ser manejado puede sufrir daños por lo cual es necesario que se descarte.
3. Al utilizar empaque de bolsa plástica debe realizarse un corte para cerrar la bolsa y así el empaque quede de forma y tamaño adecuado para su venta; este corte tiene como resultado la generación de un residuo plástico, el cual es el sobrante cortado.

4. Los residuos plásticos son almacenados en contenedores durante el proceso en el día y al finalizar, estos son reunidos para depositarlos en bolsas plásticas y ser selladas para su disposición final.
5. Estas bolsas que contienen los residuos plásticos también son recicladas y se almacenan en un espacio que se encuentra en el área de carga de camiones con producto vegetal, junto con los residuos de cartón, el cual también es reciclado a través de dos empresas distintas.
6. Al tener una cantidad mayor a 5 quintales de plástico este es retirado por la empresa recicladora para realizar su proceso; la empresa recicladora llamada CARE representada por el Señor Jam Feterman, emite una constancia en donde hace veracidad que la Empresa Semillas del Campo, S.A. contribuye a la disminución de generación de residuos hacia los rellenos sanitarios, realizando el proceso adecuado de reciclaje.
7. Como resultado de almacenar y reciclar el material plástico, se evita el envío de 3 q a 5 q semanales de este material al relleno sanitario en el cual no puede recibir tratamiento y al ser un material plástico su degradación es muy lenta; al hablar del residuo de cartón se llega a reciclar aproximadamente de 5 q a 10 q semanales.

#### B. Proceso de Almacenaje

1. Se realiza el proceso de separación de fruto para su empaque.
2. Al utilizar el empaque de plástico y llenarse correctamente se debe de realiza un corte en la parte inferior para que pueda quedar ajustado con el contenido.
3. El residuo de plástico que se obtiene, producto del corte se debe de depositar en un contenedor o canasta plástica exclusivo solo dicho desechos.

4. También se puede almacenar con los residuos plásticos del corte de empaque, las bolsas defectuosas u otros residuos plásticos.
5. Al llenarse el contenedor con los residuos, estos deben de ser almacenados en una bolsa plástica grande y al estar llena debe de ser trasladada al área de almacenaje designada que se encuentra ubicada a un costado del área de carga y descarga de camiones.
6. Al utilizar las cajas de cartón u obtener residuos de este por defectos, deben de almacenarse sobre una tarima hasta obtener una cantidad apropiada o finalice las labores del día.
7. Al tener el cartón en la tarima en una cantidad considerable, debe de ser trasladado al lugar de almacenaje el cual es el mismo en donde se encuentra el residuo de plástico pero siempre separando cada material.
8. Los materiales deberán de ser cubiertos para evitar su deterioro debido a las lluvias o el sol.
9. La recolección de residuo plástico se realizará al obtener una cantidad de 10 q, se deberá de comunicar al comprador para coordinar la extracción de los residuos.
10. La recolección del cartón se realizara según la programación que posea el comprador.

### 3.3.4 Evaluación

En cumplimiento de los objetivos planteados se logró la ejecución de los mismos parcialmente, como resultado se presentó a la oficina de certificación el documento que contiene el procedimiento adecuado de almacenaje y reciclaje de residuos de empaque plástico y cartón generado en la planta empacadora.

Por motivos de aumento de demanda de producción en la planta empacadora no fue posible presentar y explicar el documento al personal durante la realización del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), por consecuencia se dejan las indicaciones adecuadas al jefe de área de la planta empacadora para iniciar con los procedimientos plasmados en el documento.

## 3.4 Bibliografía

1. MARN. (2006). *Reglamento de descarga y reuso de aguas residuales y disposición de lodos*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Consultado el 02 de Septiembre de 2015



A circular stamp from FAUSAC (Facultad de Ciencias de la Ingeniería) is stamped over a handwritten signature. The stamp contains the text "TESIS Y DOCUMENTOS DE GRADUACIÓN" around the top edge, "FAUSAC" in the center, and "REVISIÓN" around the bottom edge. The handwritten signature is "Polando Barrera" and the date "09/30" is written above the signature.