

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PTAR DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y  
ALCANTARILLADO DE FLORES SAN BENITO, PETÉN (EMAPET) COMO FERTIRRIEGO EN  
FRIJOL  
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

**LISSBETH ANDREA FAJARDO MARROQUÍN**  
CARNET 21119-13

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JULIO DE 2018  
CAMPUS CENTRAL

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PTAR DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y  
ALCANTARILLADO DE FLORES SAN BENITO, PETÉN (EMAPET) COMO FERTIRRIEGO EN  
FRIJOL

SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

**LISSBETH ANDREA FAJARDO MARROQUÍN**

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JULIO DE 2018  
CAMPUS CENTRAL

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

**NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
MGTR. VIRGINIA MOSQUERA SALLES

**TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**  
ING. PAMELA ANDREA ELIZABETH CAMARERO BARREDA DE QUIÑONEZ

Guatemala 01 de abril de 2013

Consejo de Facultad  
Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Lissbeth Andrea Fajardo Marroquín, carné 21119-13, titulada: "EVALUACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PTAR DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE FLORES - SAN BENITO, PETEN (EMAPET) COMO FERTIRRIEGO EN FRIJOL".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Virginia Mosquera Salles, MSc.  
Colegiado no. 4475  
Cod. URL 15159



Universidad  
Rafael Landívar  
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 06969-2018

### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Sistematización de Práctica Profesional de la estudiante LISSBETH ANDREA FAJARDO MARROQUÍN, Carnet 21119-13 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 06112-2018 de fecha 16 de julio de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PTAR DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE FLORES SAN BENITO, PETÉN (EMAPET) COMO FERTIRRIEGO EN FRIJOL

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 17 días del mes de julio del año 2018.

  
\_\_\_\_\_  
MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar



## **AGRADECIMIENTOS**

A Universidad Rafael Landívar por darme una formación con valores.

A mi asesora Mgtr. Virginia Mosquera por su valiosa asesoría, revisión y corrección de la presente Sistematización de Práctica Profesional.

A Mgtr. Julio García por su apoyo en la selección del diseño experimental y propuesta de manejo agronómico de la presente práctica.

A la junta administrativa de EMAPET por permitirme realizar mi práctica profesional e invertir en el desarrollo del proyecto.

A Ing. Carlos Montoya e Ing. Augusto Pinelo por compartir sus conocimientos y brindarme apoyo incondicional durante la realización de esta práctica.

Al equipo de alcantarillado sanitario por su apoyo, especialmente Carmelo López por compartir sus conocimientos y experiencia con el cultivo de frijol.

A laboratorio CUDEP-USAC, Ing Henry Vasquez, Ing Agr. Rudy Torres por permitirme la utilización de equipos de laboratorio en las mediciones de parámetros agrícolas de la presente práctica.

A Daavid Contreras y Adler Solórzano por compartir sus conocimientos en manejo agronómico.

## DEDICATORIA

A

Dios: por todas las bendiciones y darme valor para seguir adelante.

Mi madre: Por ser la persona más importante en mi vida, ser mi mayor inspiración y demostrarme que no importa las adversidades a las que uno pueda enfrentarse, siempre es posible llegar a la meta.

Mis abuelitos: a mi mami Tere y papi Juan por ser mi mayor refugio, por todo el amor y apoyo incondicional que siempre me han brindado.

Mi hermanita: por darle tanta alegría a mi vida.

Mis tíos: a Silvia, Juancho y Lucky por quererme tanto y brindarme su apoyo incondicional.

Mi familia: a los muchis por tanto cariño y apoyo.

Mis amigas: a Sofia, Arlene, Estefania, María José por compartir este camino, las noches de estudio, estar en las buenas y malas.

## INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Gestión integral del recurso hídrico.....	9
2.1.2 Tratamiento de aguas residuales .....	11
2.1.3 Aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola.....	13
2.1.4 Calidad de agua para riego .....	16
2.1.5 Marco legal de Guatemala relacionada al reúso de aguas residuales ..	17
2.1.6 Cultivo de frijol.....	20
2.1.7 Estudios relacionados .....	23
<b>2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA ...</b>	<b>24</b>
2.2.2 Descripción del tratamiento de aguas residuales EMAPET .....	27
<b>3. CONTEXTO DE LA PRÁCTICA .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 NECESIDAD EMPRESARIAL.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3 EJE DE SISTEMATIZACIÓN .....</b>	<b>32</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 GENERAL .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 ESPECÍFICOS.....</b>	<b>32</b>
<b>5. PLAN DE TRABAJO .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 PROGRAMA DESARROLLADO .....</b>	<b>33</b>
5.1.1 Factores a evaluar.....	33
5.1.2 Descripción de los tratamientos .....	34
5.1.3 Diseños experimental.....	34
5.1.4 Modelo estadístico.....	35
5.1.5 Hipótesis .....	35
5.1.6 Ubicación del sitio experimental.....	36



5.1.7 Manejo del experimento .....	36
<b>5.2 INDICADORES DE RESULTADO .....</b>	<b>43</b>
<b>6. Resultados y discusión .....</b>	<b>45</b>
<b>6.1 ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA DEL EFLUENTE.....</b>	<b>45</b>
6.1.1 Análisis de agua para riego.....	45
6.1.2 Comportamiento de fósforo y nitrógeno total .....	47
<b>6.2 INDICADORES DE DESARROLLO VEGETATIVO.....</b>	<b>48</b>
6.2.1 Altura de la planta de frijol por tratamiento.....	50
6.2.2 Largo y ancho de la hoja de frijol por tratamiento .....	51
6.2.4 Área foliar de frijol por tratamiento .....	52
6.2.5 Longitud de la raíz de frijol por tratamiento .....	52
6.2.6 Peso fresco y peso seco de frijol por tratamiento.....	53
<b>6.3 INDICADORES DE PRODUCCIÓN .....</b>	<b>54</b>
6.3.1 Longitud de la vaina de frijol por tratamiento.....	54
6.3.2 Granos por vaina de frijol por tratamiento .....	54
6.3.3 Peso de 100 granos de frijol por tratamiento.....	55
6.3.4 Producción por tratamiento de frijol por tratamiento.....	56
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>60</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>65</b>

### **INDICE DE CUADROS**

<b>Cuadro 1.</b> Cultivos que pueden ser regados con aguas residuales.....	14
<b>Cuadro 2.</b> Sistemas de riego y medidas a considerar para su implementación ...	15
<b>Cuadro 3.</b> Límites máximos permisibles para reúso de aguas residuales.....	18
<b>Cuadro 4.</b> Límites máximos permisibles para entes generadores .....	19
<b>Cuadro 5.</b> Informe de análisis físico-químico y bacteriológico de aguas residuales 22 de marzo de 2017 .....	30
<b>Cuadro 6.</b> Informe de análisis físico-químico de suelos .....	38
<b>Cuadro 7.</b> Análisis de agua para riego .....	45

<b>Cuadro 8.</b> Resumen del análisis de varianza para variables de desarrollo vegetativo y producción.....	49
---	----

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipos de crecimiento en frijol .....	22
<b>Figura 2.</b> Municipios Flores y San Benito, Petén .....	25
<b>Figura 3.</b> Diagrama organizacional EMAPET .....	26
<b>Figura 4.</b> Plano de cobertura alcantarillado sanitario municipios de Flores y San Benito .....	26
<b>Figura 5.</b> Planta de tratamiento de aguas residuales EMAPET .....	28
<b>Figura 6.</b> Arroyo Xucupó.....	29
<b>Figura 7.</b> Tratamiento de aguas residuales EMAPET.....	29
<b>Figura 8.</b> Croquis del experimento para evaluar agua residual como riego de frijol en macetas.....	37
<b>Figura 9.</b> Toma de muestras del efluente de la PTAR y frecuencia de diluciones para tratamientos para riego en frijol.....	40
<b>Figura 10.</b> <i>Collectotrichum lindemuthianum</i> en hojas de frijol .....	41
<b>Figura 11.</b> <i>Lyriomiza</i> spp en hojas de frijol .....	42
<b>Figura 12.</b> Comportamiento de fósforo total del efluente durante el ciclo del cultivo de frijol.....	47
<b>Figura 13.</b> Comportamiento de nitrógeno total del efluente durante el ciclo del cultivo de frijol.....	47
<b>Figura 14.</b> Medias de altura del frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.....	50
<b>Figura 15.</b> Largo y ancho de la hoja del frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET .....	51
<b>Figura 16.</b> Área foliar del frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET .....	52
<b>Figura 17.</b> Longitud de la raíz de frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.....	52

<b>Figura 18.</b> Peso fresco y peso seco del frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET .....	53
<b>Figura 19.</b> Longitud de la vaina de frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.....	54
<b>Figura 20.</b> Granos por vaina de frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.....	54
<b>Figura 21.</b> Peso de 100 granos de frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.....	55
<b>Figura 22.</b> Producción en gramos por tratamiento en frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET .....	56

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Producción de frijol en Guatemala .....	14
<b>Anexo 2.</b> Fenología del frijo .....	15
<b>Anexo3.</b> Insectos que más atacan al cultivo de frijol .....	18
<b>Anexo 4.</b> Programa Bayer para control de plagas y enfermedades en cultivo de frijol.....	19
<b>Anexo 5.</b> Informe de análisis físico-químico y bacteriológico. Noviembre de 2017 .....	70
<b>Anexo 6.</b> Clasificación de la calidad de agua para riego según la FAO .....	74
<b>Anexo 7.</b> Informe de análisis de laboratorio para suelos y agua para riego .....	38
<b>Anexo 8.</b> Análisis estadístico de variables de respuesta .....	80
<b>Anexo 9.</b> Memoria fotográfica del experimento .....	49

# **EVALUACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PTAR DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE FLORES SAN BENITO, PETÉN (EMAPET) COMO FERTIRRIEGO EN FRIJOL**

## **RESUMEN**

La presente práctica profesional tuvo como objetivo evaluar diferentes diluciones del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de los municipios de Flores y San Benito, del departamento de Petén (EMAPET) como fertirriego para producción de frijol. Este trabajo constituye un aporte para la toma de decisiones en cuanto a la implementación de un manejo integral del agua mediante el reúso del efluente. Se seleccionó frijol porque además de ser importante para la región, requiere de un proceso de secado y; cocción antes de ser consumido, siendo más seguro para evaluar el riego con agua residual tratada. Se aplicaron cuatro tratamientos empleando diferentes diluciones: 100% agua del efluente, 75% agua del efluente mezclado con agua entubada, 50% agua del efluente y 50% agua entubada y una unidad comparativa utilizando 100% agua entubada. Se tomó en cuenta que las aguas cumplieran con los parámetros físico-químicos que establece el reglamento 236-2006 para reúso. Se envió a un laboratorio muestras del efluente y del agua entubada para realizar un análisis de agua para riego. Se monitoreó el comportamiento del fósforo y nitrógeno total para conocer el aporte de nutrientes durante el ciclo del cultivo. Se tomaron mediciones para realizar un análisis de varianza de variables de desarrollo vegetativo y producción. Se obtuvo como resultado que el tratamiento I (100% agua del efluente) posee el mayor desarrollo vegetativo y una mayor producción que el resto de tratamientos. Se recomienda evitar la mezcla con agua entubada ya que puede inhibir el aporte de nutrientes.

# 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para el desarrollo de diversas actividades. A pesar de encontrarse en cantidades abundantes la falta de gestión ha provocado la contaminación de cuerpos hídricos, reduciendo la disponibilidad de agua para consumo y otras actividades que requieren de agua potable.

La demanda de agua es cada vez mayor, por lo que la preocupación de implementar medidas de gestión integral ha cobrado mayor interés. “El 70% del agua requerida por la población mundial es utilizada para la agricultura y el 30% para otros usos” (Valencia, Romero, & Aragón, 2010).

El uso de agua residual para riego constituye una medida de mitigación ante el problema de contaminación del agua ya que evita que estas sean vertidas en cuerpos receptores, al aprovechar los nutrientes y materia orgánica para la producción de cultivos.

La empresa municipal de agua potable y alcantarillado de los municipios de Flores y San Benito, departamento de Petén (EMAPET), desea implementar medidas de gestión integral del recurso hídrico. Por lo que está interesada en evaluar alternativas de reúso para evitar la descarga directa de aguas residuales en el arroyo Xucupó, el cual tiene como destino final el lago Petén Itzá, y prevenir su contaminación.

En esta práctica profesional se evaluó la posibilidad de aprovechar la carga de nutrientes contenida en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de EMAPET, para riego en frijol, por ser uno de los más cultivados en el área rural de San Benito y Flores. Mediante un diseño experimental completamente al azar se evaluaron tres diluciones de agua del efluente mezclada con agua entubada y una unidad testigo para determinar los efectos en el desarrollo vegetativo y la producción del frijol. Para comparar las variables de respuesta se hizo un análisis de la varianza (ANDEVA).

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 REVISIÓN DE LITERATURA**

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de la vida a nivel global, un bien común para las sociedades pues, se considera un derecho humano. Además es clave en la agricultura y en procesos industriales que contribuyen a la economía. El uso del recurso implica la generación de aguas residuales ya que se modifica la calidad del mismo.

El vertimiento de aguas residuales en cuerpos receptores aumenta la cantidad de nutrientes disponibles en el agua, propiciando el desarrollo de microorganismos y limitando la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora. A esto se le conoce como eutrofización. Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y nitratos, las aguas residuales que contienen estos nutrientes son principalmente de origen doméstico. (Romero, 2010)

En Guatemala la mayor parte de cuerpos hídricos se encuentran contaminados, entre estos los cuatro lagos más importantes del país (Atitlán, Amatitlán, Izabal-Río Dulce y Petén Itzá). Esto ha provocado que el agua se convierta en un recurso cada vez más escaso. Mientras, la población sigue expandiéndose y la demanda de agua para las diferentes actividades es cada vez mayor. En actividades agroindustriales el consumo anual de agua es de 6,496.56 millones de m<sup>3</sup>. Esto representa un 37.5% de los recursos hídricos utilizados en el país. (IARNA-URL, 2012).

#### **2.1.1 Gestión integral del recurso hídrico**

Para alcanzar una planificación integral del agua y hacer un uso más eficiente, diferentes regiones del mundo como, Australia, Alemania y Estados Unidos; han implementado mecanismos de aprovechamiento de agua previamente utilizada,

en actividades que satisfacen otros usos. (Veliz, Llanes, Fernández, & Bataller, 2009)

De acuerdo con RALCEA (2013), el aprovechamiento de aguas residuales se puede clasificar según su reúso de la siguiente forma:

- Reúso indirecto no planeado: consiste en la recuperación del agua contenida en un efluente para ser vertida en un ente receptor que posteriormente será utilizado para abastecimiento de agua potable.
- Reúso indirecto planeado: es la utilización de efluentes tratados para ser aprovechados en algún uso beneficioso bajo condiciones controladas. Un ejemplo de esto es el fertirriego, que permite el reúso de un efluente de aguas residuales para aprovechar los diversos nutrientes que posee para destinarlos en la recuperación y mejoramiento de suelos así como en fertilización de ciertos cultivos. (Organismo Ejecutivo de Guatemala, 2006)
- Reúso directo planeado: sucede cuando el efluente es directamente aprovechado en alguna aplicación de uso local.

El reúso indirecto planeado se considera una de las opciones más atractivas ya que puede aportar grandes beneficios de “triple dividendo”, es decir, para usuarios urbanos, agricultores y el medio ambiente (Winpenny, Heinz, & Koo-Oshina, 2013). El uso de agua residual para riego reduce la cantidad de agua captada desde embalses o acuíferos y permite conservar el agua para fines de consumo o actividades de mayor valor económico. Al mismo tiempo, los productores agrícolas reciben agua rica en nutrientes que además de reemplazar fertilizantes costosos mejora las condiciones del suelo a largo plazo. En adición a esto la asimilación de los nutrientes de dichas aguas permite reducir la contaminación de cuerpos receptores. (Garcia & Pargament, 2015)

“Un tratamiento eficiente de las aguas residuales, un estricto cumplimiento de las normas establecidas por los organismos nacionales e internacionales para su reúso en riego agrícola, así como un adecuado nivel de información técnico sanitaria de todos los factores que intervienen en el uso productivo de estas aguas, permitiría el aprovechamiento seguro de un gran volumen de agua con gran valor agronómico.” (Veliz *et al*, 2009)

### **2.1.2 Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, utilizados para mejorar las características de las aguas residuales. (Organismo Ejecutivo de Guatemala, 2006). Su objetivo es reducir el contenido en materia orgánica y de nutrientes y; eliminar los microorganismos patógenos y parásitos.

El primer paso es realizar un pretratamiento de las aguas, eliminando las materias de mayor tamaño, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente pueda perturbar el tratamiento total y el funcionamiento de equipos e instalaciones depuradoras. Este proceso puede efectuarse mediante rejillas de desbaste, tamices, trituradores, desarenadores y desengrasantes.

Generalmente por el costo y mantenimiento, se utiliza un sistema compuesto por lagunas de oxidación. El objetivo de estas es la reducción de contenido en sólidos y materia orgánica. Para el tratamiento primario se utilizan las lagunas anaerobias. En estas se produce la degradación de materia orgánica en ausencia de oxígeno.

La estabilización tiene lugar mediante microorganismos capaces de sobrevivir en este medio. En esta los compuestos orgánicos complejos e insolubles se convierten en otros compuestos más sencillos y solubles en agua. Posteriormente estos compuestos son utilizados por bacterias generadoras de ácidos. Como



resultado se convierten en ácidos orgánicos volátiles. Después de la formación de ácidos las bacterias los convierten en metano y dióxido de carbono. (Hernández, Hernández, & Galán, s.f.)

Para el tratamiento secundario se utilizan lagunas facultativas. El objetivo de las lagunas facultativas es alcanzar una elevada estabilización de la materia orgánica y reducir el contenido de nutrientes y bacteria Coliformes. Estas poseen una zona aerobia y una zona anaerobia. En estas hay una mayor diversidad de microorganismos ya que se encuentran de tipo anaerobios, aerobios, algas y protozoos. Sin embargo, los mejor adaptados son bacterias facultativas ya que pueden sobrevivir en condiciones cambiantes de oxígeno disuelto. (Hernández *et al*, s.f.)

Las bacterias y las algas actúan de forma simbiótica, las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades. Estos nutrientes son utilizados por las algas en su crecimiento. (Hernández *et al*, s.f.)

El tratamiento terciario se lleva a cabo en lagunas de maduración. Su objetivo principal es la eliminación de bacterias patógenas. La ventaja de estas lagunas es su efecto desinfectante ya que sustituye la necesidad de cloración. También cumplen otros objetivos como la nitrificación de nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes y clarificación del efluente. (Hernández *et al*, s.f.)

La eliminación de agentes patógenos se debe a la acción combinada de varios factores. La sedimentación y la temperatura son los factores más importantes. Por su peso específico se depositan en el fondo de la laguna y allí son atacados por bacterias que se desarrollan en la capa de fango. La temperatura influye en la velocidad de desaparición de microorganismos patógenos y el tiempo de supervivencia varía inversamente con la salinidad del medio. La evaporación de

las lagunas aumenta la concentración de sales lo cual puede ser beneficioso para este proceso. La eliminación de patógenos también aumenta con el pH. (Hernández *et al*, s.f.)

La baja concentración de materia orgánica disminuye la probabilidad de supervivencia de los microorganismos heterótrofos como bacterias, protozoos y hongos. También existe presencia de algas las cuales secretan sustancias tóxicas que afectan a los microorganismos patógenos.

La naturaleza anaerobia de las lagunas de maduración propicia el desarrollo de bacterias nitrificantes. Esta conversión impide el acceso del nitrógeno amoniacal a cuerpos de agua receptores donde pueden tener efectos nocivos. A pesar de las oscilaciones de oxígeno disuelto durante el día también se produce un descenso durante la noche. A partir de ello se inicia un ciclo de nitrificación-desnitrificación, que conduce a una pérdida de nitrógeno hacia la atmosfera. (Hernández *et al*, s.f.)

### **2.1.3 Aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola**

Winpenny *et al* (2013), indican que un efluente tratado hasta un nivel secundario posee los nutrientes básicos para el crecimiento de cultivos. Para reutilizar las aguas residuales en riego agrícola se debe tener en cuenta, el tipo de cultivo y su requerimiento de nutrientes ya que pueden asimilar diferentes calidades de agua y muchas veces los efluentes superan los requerimientos de algunos cultivos. Para tener un mayor control sobre este factor es ideal realizar diluciones con agua para evitar problemas en el desarrollo vegetativo. (Moscoso, 2016)

Los cultivos que representan menor riesgo para la salud del consumidor, pero que aún requieren medidas de protección para el trabajador de campo dependiendo del sistema de riego, son los cultivos industriales como el algodón. Los cultivos que pasan por un proceso de calor o son secados previo al consumo humano como los granos y oleaginosas. Hortalizas y frutas que se cultivan exclusivamente para ser enlatadas o pasan por un proceso que garantiza la destrucción de

agentes patógenos. Cultivos para forraje y otros cultivos que son secados al sol antes de ser consumidos. (Winpenny *et al*, 2013)

Los cultivos que representan riesgo medio para el consumidor y el manipulador de alimentos son los pastos, forrajes verdes, cultivos que se comen cocidos como papas y berenjenas. Cultivos cuya cáscara no se consume (cítricos, plátanos, nueces, melones). Por otro lado, los cultivos que se comen crudos y crecen en contacto con las aguas residuales (hortalizas frescas, frutas regadas por aspersión, zanahorias) representan un mayor riesgo para el consumidor, el trabajador en el campo y el manipulador de alimentos. (Winpenny *et al*, 2013)

En el cuadro 1 se presentan ejemplos de cultivos que pueden regarse con aguas residuales tratadas y el nivel de tratamiento que requiere según corresponda.

**Cuadro 1. Cultivos que pueden ser regados con aguas residuales**

<b>Tipo de cultivo</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Tratamiento</b>
<b>Cultivos agrícolas</b>	Cebada, maíz, avena	Secundario, desinfección
<b>Cultivos de fibras y semillas</b>	Algodón	Secundario, desinfección
<b>Hortalizas que pueden consumirse crudas</b>	Aguacate, repollo, lechuga, fresa	Secundario, filtración, desinfección
<b>Hortalizas que se procesan antes del consumo</b>	Alcachofa, remolacha, caña de azúcar	Secundario, desinfección
<b>Cultivos para forraje</b>	Alfalfa, cebada, mijo	Secundario, desinfección
<b>Huertos y viñedos</b>	Damasco, naranja, durazno, ciruela, vides	Secundario, desinfección
<b>Invernaderos</b>	Flores	Secundario, desinfección
<b>Bosques comerciales</b>	Madera, álamos	Secundario, desinfección

(Winpenny *et al*, 2013)

También se debe tomar en cuenta el sistema de riego debido a que las partículas presentes en el agua pueden bloquear o tapar los medios de salida. Posteriormente se debe contar con un manejo laboral de las aguas residuales y del riego para la protección de los agricultores (Veliz *et al*, 2009). En el cuadro 2 se menciona los tipos de sistema de riego que pueden utilizarse, factores a considerar para la selección del sistema, y las medidas a tomar en cuenta para ser implementado.

**Cuadro 2. Sistemas de riego y medidas a considerar para su implementación**

<b>Método de riego</b>	<b>Factores de selección</b>	<b>Medidas especiales el reúso de agua en riego</b>
<b>Riego por inundación</b>	Bajo costo. No se requiere una nivelación exacta. Baja eficiencia del uso del agua. Bajo nivel de protección sanitaria.	Rigurosa protección de los trabajadores en el campo, manipuladores de cultivos y consumidores. (Equipos de protección)
<b>Riego por surcos</b>	Bajo costo. Se puede necesitar nivelación. Baja eficiencia de protección sanitaria. Nivel medio de protección sanitaria.	Protección de los trabajadores en el campo, posiblemente de los manipuladores de cultivos y consumidores. (Equipos de protección)
<b>Riego por aspersión</b>	Costo medio-alto. Eficiencia media del uso del agua. Bajo nivel de protección sanitaria.	Distancia mínima de 50-100m desde casas y caminos. Restricciones de la calidad del agua. (Eliminación de agentes patógenos) No se deben utilizar desechos anaeróbicos, debido a los malos olores. Uso de

---

		miniaspersores.
	Alto costo. Alta eficiencia del uso del agua. Mayores rendimientos. Mayor nivel de protección sanitaria	No se requieren medidas de protección. Restricciones de calidad del agua (filtración) para evitar que los dispositivos se obstruyan.
<b>Riego subterráneo y por goteo</b>		

---

(Winpenny *et al*, 2013)

#### **2.1.4 Calidad de agua para riego**

Los efectos del agua para riego dependen de la calidad de la misma, del tipo de cultivo, las características del suelo y el manejo agronómico. Chirinos (s.f.) indica que la calidad de agua para riego se determina mediante la cantidad y tipo de sales que la constituyen.

La concentración de sales está directamente relacionada a la conductividad eléctrica en el agua de riego y puede afectar la absorción de agua por parte del cultivo repercutiendo en el crecimiento. También podría afectar la infiltración de agua en el suelo, o que exista toxicidad por iones específicos y acumularse en niveles tóxicos dentro de la planta.

La concentración relativa de sodio (R.A.S) sirve para medir el peligro potencial de sodio. La presencia de elementos tóxicos como sodio, boro y cloro, afectan en diferente magnitud dependiendo de la sensibilidad de los cultivos. Los problemas de toxicidad perjudican al cultivo cuando se acumulan en los tejidos de las plantas y afectan el metabolismo, dando como resultado una baja producción y una mala calidad de cosecha. (Miranda & Ruiz, s.f.)

Otro de los problemas relacionados a la calidad de agua, es la alcalinidad, la cual se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Esto se debe a la

presencia de bases como bicarbonatos y carbonatos. A mayor concentración pueden aumentar el pH. Estos factores están relacionados sin embargo no son lo mismo y no debe confundirse con el agua alcalina o de pH mayor a 7. (Castellón, Bernal, & Hernández, 2015)

El principal inconveniente de utilizar aguas con alta alcalinidad en sistemas de riego es el taponamiento de goteros y tuberías. Esto es provocado por la precipitación de cationes presentes en el agua, al formar compuestos de baja solubilidad como carbonatos de calcio, bicarbonatos de calcio, sodio y magnesio. Por su parte un pH alto afecta la disponibilidad de micronutrientes como el hierro, zinc y manganeso. Así mismo puede existir un desequilibrio en la relación Ca/Mg resultando en desordenes fisiológicos en los cultivos. (Intagri, 2017)

La alcalinidad es un problema que puede corregirse mediante la acidificación del agua para reducir la concentración de bases. El propósito de esto es neutralizar la acción alcalina hasta dejar como mínimo 0.5 miliequivalentes por litro (meq/L) de bicarbonatos. A dicha concentración se disminuye el riesgo de dañar al cultivo y se baja el pH de la solución alrededor de 5.5 a 6.5. En este rango existe mayor disponibilidad de todos los nutrientes. (Intagri, 2017)

### **2.1.5 Marco legal de Guatemala relacionada al reuso de aguas residuales**

El Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos establece en el artículo 34 que autoriza los siguientes tipos de reuso de aguas residuales relacionados con agricultura siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles según sea el caso.

- Tipo I: Reuso para riego agrícola en general: uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de

suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35 (Cuadro 3). Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.

- 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 (Cuadro 3). Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 (Cuadro 4).
- Tipo IV: Reuso para pastos y otros cultivos: con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35 (Cuadro 3).

El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles para reuso del artículo 35 del Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006:

**Cuadro 3. Límites máximos permisibles para reuso de aguas residuales**

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 IV	No aplica	$<1 \times 10^3$

(Organismo Ejecutivo de Guatemala, 2006)

**Cuadro 4. Límites máximos permisibles para entes generadores**

<b>Parámetros</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Límites máximos permisibles</b>
<b>Temperatura</b>	Grados Celsius	Temperatura del cuerpo receptor +/- 7
<b>Grasas y aceites</b>	Miligramos por litro	10
<b>Materia flotante</b>	Ausencia/Presencia	Ausente
<b>Potencial de hidrógeno</b>	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
<b>Coliformes fecales</b>	Número más probable en 100 mililitros	< 1x10 <sup>4</sup>
<b>Arsénico</b>	Miligramos por litro	0.1
<b>Cadmio</b>	Miligramos por litro	0.1
<b>Cianuro total</b>	Miligramos por litro	1
<b>Cobre</b>	Miligramos por litro	3
<b>Cromo hexavalente</b>	Miligramos por litro	0.1
<b>Mercurio</b>	Miligramos por litro	0.01
<b>Níquel</b>	Miligramos por litro	2
<b>Plomo</b>	Miligramos por litro	0.4
<b>Zinc</b>	Miligramos por litro	10
<b>Color</b>	Unidades platino cobalto	500

(Organismo Ejecutivo de Guatemala, 2006)

Tomando en cuenta los diferentes aspectos para la selección de cultivos para fertirriego con aguas residuales, el frijol es un cultivo ideal ya que representa menor riesgo para la salud. Requiere de un proceso de secado al sol posterior a la cosecha y de cocción antes de ser consumido, haciendo efectiva la eliminación de agentes patógenos. Esto lo categoriza como un cultivo de tipo I en el reglamento 236-2006. La principal ventaja es que no requiere el cumplimiento de límites máximos permisibles (cuadro 3). Como se muestra en la siguiente sección



el frijol es uno de los cultivos más importantes en la región donde se llevará a cabo el estudio.

### **2.1.6 Cultivo de frijol**

Clasificación taxonómica:

Reino: Plantae  
Subreino: Embryobiontha  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsidae  
Subclase: Rosidae  
Orden: Fabales  
Familia: Fabaceae  
Género: *Phaseolus*  
Especie: *Phaseolusvulgaris L.*

Ramírez (2014)

El frijol es un grano de mucha importancia en la vida económica y social de Guatemala. De las variedades cultivadas en el país, el frijol negro es una de las más importantes ya que es la principal fuente de proteína vegetal del guatemalteco y es un cultivo básico en la dieta de la población rural. (Aldana, 2010) “En el año 2015 Guatemala importó 11.2 miles de toneladas métricas de frijol negro por un valor de US\$ 7.4 millones. Las exportaciones alcanzaron 820.7 toneladas métricas por un valor de US\$ 805.6 millones.” (MAGA, 2016)

Se produce en la zona norte de Guatemala en el departamento de Petén y en la zona sur-oriente en los departamentos de Jutiapa, Chiquimula y Santa Rosa. (Anexo1) (MAGA, 2016). De acuerdo con SEGEPLAN (2010) en el área rural de los municipios de San Benito y Flores, Petén; el cultivo de frijol es uno de los de mayor relevancia en la producción de granos básicos.

## Manejo agronómico

El frijol necesita humedad en el suelo, desde el inicio hasta un mínimo de sesenta días después de la siembra. Con ello se logra un buen crecimiento, desarrollo de la planta, formación y llenado de grano (Anexo 2). El cultivo requiere la aplicación de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. A pesar de que la planta produce nódulos que fijan nitrógeno, es necesaria la fertilización para alcanzar una buena producción y una mayor resistencia a plagas y enfermedades. “Se recomienda que el diagnóstico de los problemas nutricionales del frijol, se realice mediante análisis de suelos, de tejido vegetal o bien por observación directa tomando en cuenta las deficiencias del cultivo.” (Aldana, 2010)

Por su parte el fósforo es importante en los procesos fisiológicos, principalmente durante la germinación y desarrollo de la plántula, desarrollo radicular, fecundación e inicio de fructificación. El potasio es un regulador fisiológico de procesos como la permeabilidad de la membrana células, equilibrio básico intracelular, formación y cúmulo de sustancias de reserva, regulador del estrés hídrico de los cultivos. (Ramírez, 2014)

Para sembrar frijol el pH óptimo es entre 6.5 y 7.5. Dentro de dichos límites aumenta la disponibilidad de la mayor parte de elementos nutritivos del suelo. Para seleccionar la variedad de frijol a sembrar se debe tomar en cuenta que este bien adaptada a las condiciones del lugar y producir buenos rendimientos. Para ello es imprescindible conocer su origen e idealmente debe ser lo más pura posible. (Villatoro, Castillo, & Franco, 2011)

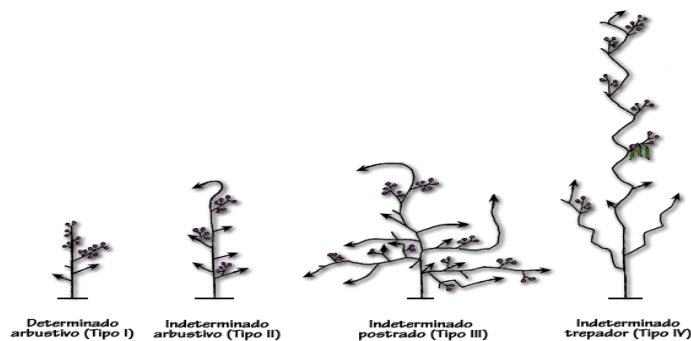
“La época de siembra más adecuada para frijol es aquella en que además de ofrecer las condiciones climáticas para un buen desarrollo del cultivo, permite que la cosecha coincida con el periodo de baja o ninguna precipitación pluvial, para evitar daños en el grano por exceso de lluvia.” (Villatoro *et al*, 2011)

En el departamento de Petén la siembra se hace entre los meses de octubre a enero. Esto se debe a que el clima de la región es cálido y húmedo y se aprovecha que la temperatura baja entre 19 a 25°C al igual que la humedad residual. (ICTA, s.f.)

Para obtener una buena emergencia el frijol se siembra a una profundidad de dos a cuatro centímetros, procurando que quede bien cubierta. Para evitar que los insectos del suelo dañen la semilla y la planta, es ideal proteger la semilla al aplicar algún insecticida. El frijol debe permanecer libre de malezas desde la siembra hasta la cosecha, sin embargo, el periodo más crítico es durante los primeros 35 a 40 días. El control se puede efectuar de forma manual o aplicando herbicidas. (Villatoro *et al*, 2011)

Para control de plagas, se deben realizar revisiones de la plantación para conocer si hay problemas de insectos. La supervisión permite identificar con certeza cuales son los insectos que están presentes y como realizar su control. En el anexo 3 se muestran los insectos que pueden atacar al frijol. (Villatoro *et al*, 2011)

Las plantas de frijol pueden presentar dos tipos de crecimiento dependiendo de la variedad que se cultive. El crecimiento determinado es cuando la planta posee un solo tallo y crece de forma erecta, y el crecimiento indeterminado cuando está presenta ramificaciones y es necesario colocar guías para que pueda sostenerse. (Figura 1)



**Figura 1.** Tipos de crecimiento en frijol (Hábitos de crecimiento, s.f.)

Al llegar a la madurez (anexo 2), cambia la coloración de las hojas y las vainas. A partir de este cambio se puede hacer la cosecha ya que la semilla comienza a perder humedad. La semilla no debe permanecer en el campo después de la madurez porque se puede perder la calidad de esta. (ICTA, s.f.)

### **2.1.7 Estudios relacionados**

En el estudio realizado por Méndez, Ricardo, Pérez, Hernández, & Campos (2006), se evaluó el uso de aguas residuales en rábano, zanahoria y flor del Marigold, en la provincia Ciudad de La Habana, Cuba. Se realizó en condiciones controladas en tanques de zinc galvanizado y se aplicaron tres tratamientos:

1. Riego solo con aguas residuales crudas.
2. Riego con una mezcla del 50% de agua residual cruda y 50% de agua pura del acueducto.
3. Riego solo con agua pura del acueducto.

También se realizaron investigaciones en suelo, en un conjunto de parcelas aplicando dos tratamientos sin replicas:

1. Riego con agua potable.
2. Riego con agua residual.

Los aspectos estudiados implicaron: evaluar la calidad de las aguas residuales empleada, las características de suelos antes y después del riego, la respuesta agrícola de los cultivos plantados y las afectaciones al sistema de riego utilizado. Se determinó con base en los análisis físico-químicos y bacteriológicos que el agua podía ser utilizada para cultivos que no se consuman crudos. También se determinó que al contar con un sistema de filtrado adecuado, las aguas residuales pueden aplicarse a través de sistemas de riego por goteo en cultivos que no se consuman frescos.

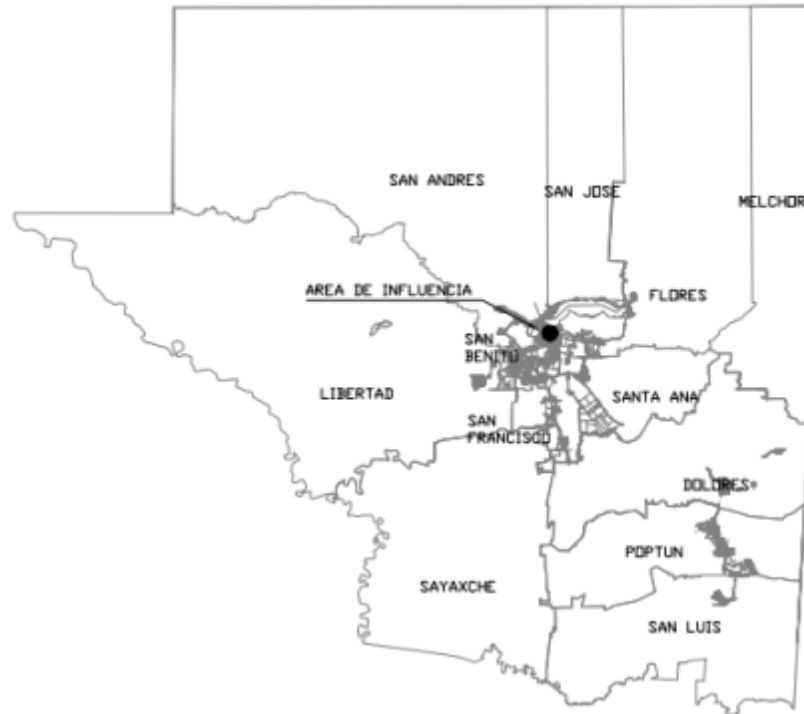
Valencia *et al* (2010), proponen un esquema metodológico con base en un estudio de caso en el cual se determinó el potencial de reutilización del efluente de la

planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Nátaga, Huila, Colombia, para riego en cacao. El esquema plantea tomar en cuenta las condiciones de la zona, del cultivo y de la planta de tratamiento. Sugiere que además de los proyectos de fertirriego se deben tomar en cuenta planes de control ambiental y priorizar el componente socioeconómico como eje fundamental del éxito de proyectos a mediano y largo plazo.

Ramírez (2014), realizó un estudio sobre el efecto de ocho niveles de macronutrientes N-P-K en frijol. El objetivo fue cuantificar el rendimiento de tres variedades mejoradas sometidas a distintos niveles de macronutrientes para priorizar los tratamientos con mayor rendimiento. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar. Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA). El estudio reveló que la combinación de macronutrientes 100-60-100 kg/ha de N-P-K presentaba la mayor producción.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA**

La práctica se llevará a cabo en el departamento técnico de alcantarillado sanitario de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de las municipalidades de Flores y San Benito, departamento de Petén (EMAPET, s.f.). Las oficinas se encuentran en la 2ª Avenida 0-50 zona 2, Santa Elena, Peten. (Figura 2)

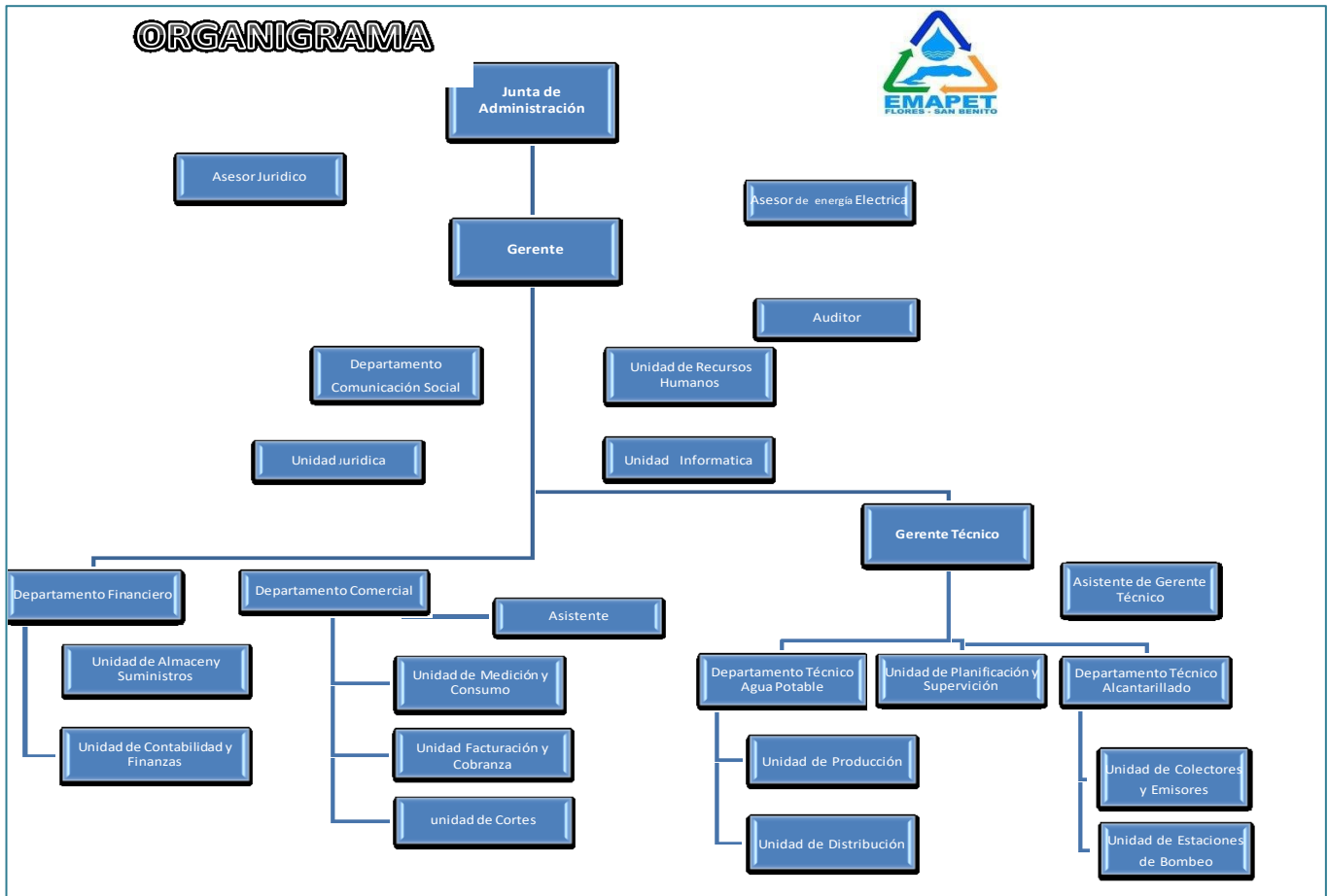


**Figura 2.** Municipios Flores y San Benito, Petén (EMAPET, s.f.)

La institución se encarga de prestar los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario. Su objetivo es mejorar las condiciones de salud y vida de los pobladores de los centros urbanos Isla de Flores, Santa Elena y San Benito. Así mismo busca la protección del medio ambiente, mediante el cumplimiento de la reglamentación nacional y local vigente, donde se regula la obligatoriedad de cumplir con el tratamiento de las aguas residuales.

Para lograr sus objetivos cuenta con conexiones domiciliarias, domésticas, comerciales e industriales, redes de recolección de aguas residuales, colectores principales, estaciones de bombeo, un emisor principal y el tratamiento en lagunas de oxidación. (EMAPET, 2017)

La organización empresarial de EMAPET, se muestra en la figura 3. Se puede identificar los niveles, dependencia, relación y comunicación para el funcionamiento de la institución.



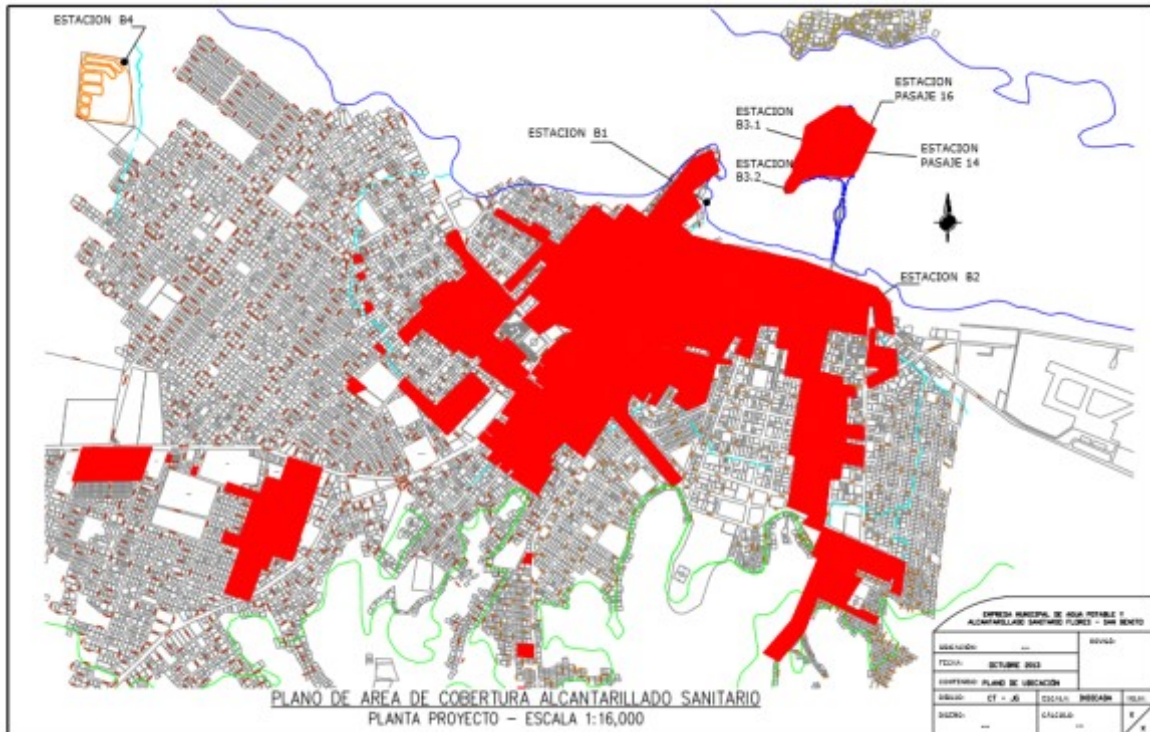
**Figura 3.** Diagrama organizacional EMAPET (EMAPET, s.f.)

### 2.2.1 Departamento técnico de alcantarillado sanitario

El departamento técnico de alcantarillado sanitario tiene a su cargo la unidad de colectores y emisores y la unidad de estaciones de bombeo. Se encarga de cumplir con las tareas necesarias para el funcionamiento correcto de la red de alcantarillado a través del monitoreo y mantenimiento de las estaciones de bombeo. Así mismo tiene a su cargo la planta de tratamiento de aguas residuales.

## 2.2.2 Descripción del tratamiento de aguas residuales EMAPET

Se estima que la población del área urbana de los municipios de San Benito y Flores, Petén; es de 65,200 habitantes. La capacidad máxima de población servida con la planta de tratamiento es de 41, 986 habitantes, para un total de 7,365 conexiones domiciliarias. (Figura 4)



**Figura 4.** Plano de cobertura alcantarillado sanitario municipios de Flores y San Benito (EMAPET, 2017)

El afluente de la planta de tratamiento tiene un origen predominantemente doméstico, sin embargo, presenta algunos vertimientos de alto riesgo procedentes de actividades industriales como la empresa eléctrica y el matadero. Estos deben cumplir con un tratamiento previo a ingresar a la planta, para ello EMAPET realiza un control de la calidad de los efluentes de las diferentes industrias.

La Fase de tratamiento de aguas residuales cuenta con 12 lagunas depuradoras conformadas por tres procesos: el primario por cuatro lagunas anaeróbicas, el



secundario por cuatro lagunas facultativas y terciario por cuatro lagunas de maduración. (Figura 5)



**Figura 5.** Planta de tratamiento de aguas residuales EMAPET (EMAPET, s.f.)

Previo a ser enviadas a las lagunas de tratamiento, las aguas residuales ingresan a una cámara de rejillas en donde se remueven sólidos inertes de mayor tamaño (cartones, trapos, plásticos, trozos de madera y otros). Posteriormente se envían a las lagunas anaeróbicas, en las cuales la descomposición se realiza mediante microorganismos que se desarrollan en medios anóxicos. Con ello se logra remover entre un 50 a 60% de DBO. (EMAPET, s.f.)

El tratamiento secundario se efectúa en lagunas facultativas. En estas se desarrollan microorganismos aerobios y anaerobios que permiten reducir la contaminación al estabilizar la materia orgánica. Como resultado se logra una disminución del DBO en un 90%.

Finalmente, el tratamiento terciario se realiza en las lagunas de maduración mediante fotosíntesis. En este se reduce el número de bacterias Coliformes, entre otros contenidos en el agua, sin embargo, no logra remover nutrientes como fósforo y nitrógeno. (EMAPET, s.f.) El agua tratada se descarga en el arroyo

Xucupó, cuya corriente se dirige al lago Petén Itzá que se encuentra ubicado a 1 km al norte del punto de descarga. (Figura 6)



**Figura 6.** Arroyo Xucupó (EMAPET, 2017)



**Figura 7.** Tratamiento de aguas residuales EMAPET (EMAPET, s.f.)

En el cuadro 5 se presentan los resultados del análisis físico químico y bacteriológico en la entrada de la planta y las salidas 2 y 4 de las lagunas de maduración.

**Cuadro 5. Informe de análisis físico-químico y bacteriológico de aguas residuales 22 de marzo de 2017 (INFOM)**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Entrada</b>	<b>Maduración 2</b>	<b>Maduración 4</b>
<b>Demanda bioquímica de oxígeno, DBO<sub>5</sub></b>	mg/L DBO <sub>5</sub>	230	30	16
<b>Demanda química de oxígeno, DQO</b>	mg/L DQO	680	240	180
<b>Fósforo total</b>	mg/L	5.3	4.2	4.7
<b>Nitrógeno total</b>	mg/L	38	17	31
<b>Color</b>	Unidades Pt-Co	480	420	370
<b>Sólidos en suspensión</b>	mg/L	240	60	60
<b>Sustancias extraíbles con hexano (aceites y grasas)</b>	mg/L	50	<1.0	1.5
<b>pH</b>	Unidades pH	7.2	8.3	7.7
<b>Temperatura</b>	°C	20	20	20
<b>Materia flotante</b>	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
<b>Grupo coliforme fecal</b>	NMP/ 100 mL (²)	9.3x10 <sup>7</sup>	2.4x10 <sup>5</sup>	9.3x10 <sup>4</sup>

## **3. CONTEXTO DE LA PRÁCTICA**

### **3.1 NECESIDAD EMPRESARIAL**

EMAPET es una empresa comprometida con el desarrollo sostenible de los municipios a los que presta servicio. El proyecto de tratamiento de aguas residuales de la institución forma parte del plan de desarrollo integrado de Petén y del programa integral de protección al Lago Peten Itzá, como una medida de mitigación contra la contaminación.

Al ser importante implementar una gestión integrada al recurso hídrico, solicita la evaluación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales para determinar si es apto para ser aprovechado como fertirriego y de este modo evitar que sea descargado en el cuerpo receptor.

### **3.2 JUSTIFICACIÓN**

Mientras la demanda de agua crece, la mala gestión lo ha convertido en un recurso cada vez más escaso. Por lo que implementar medidas de gestión integral como el reúso de aguas residuales, además de evitar que sean descargadas en cuerpos receptores y prevenir procesos de eutrofización; permite aprovechar la carga de nutrientes en actividades que demandan grandes cantidades de agua como la agricultura.

Debido a los altos niveles de contaminación que pueden presentar las aguas residuales su aprovechamiento debe ser planificado para que no represente peligro para la salud de las poblaciones ni para el medio ambiente. Para garantizar esto se debe seleccionar un cultivo con base en la calidad del agua residual. Los cultivos que requieren un proceso de secado y, de cocción, como el

frijol, son más seguros para implementar planes de reúso porque existe menor riesgo para la salud del consumidor.

El proyecto contribuirá al proceso de toma de decisiones de EMAPET para la implementación de un manejo integral del agua. Al evaluar el reúso del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de aprovechar los nutrientes como fósforo y nitrógeno para la producción de uno de los cultivos más importantes en el área rural de Flores y San Benito; EMAPET pretende evitar la descarga en el arroyo Xucupó, el cuál desemboca en el Lago Petén Itzá y prevenir la contaminación del mismo.

### **3.3 EJE DE SISTEMATIZACIÓN**

Se realizará una evaluación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, para identificar si puede ser utilizado como riego en cultivo de frijol.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 GENERAL**

Evaluar diferentes diluciones del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de EMAPET como fertirriego para producción de frijol.

### **4.2 ESPECÍFICOS**

Documentar la concentración de nitrógeno y fósforo del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Determinar la dilución apropiada del efluente para su uso como riego en frijol.

Analizar el crecimiento vegetativo del frijol utilizando agua residual para riego.

Analizar la producción de frijol utilizando agua residual para riego.

## **5. PLAN DE TRABAJO**

### **5.1 PROGRAMA DESARROLLADO**

La metodología empleada fue con base en los estudios de Ramírez (2014) y Valencia *et al* (2010). Se seleccionó frijol para evaluar el reúso del efluente, ya que además de ser un cultivo importante en los municipios de Flores y San Benito, requiere de cocción antes de ser consumido, siendo más seguro para evaluar el riego con agua residual tratada.

#### **5.1.1 Factores a evaluar**

- **Análisis de agua**

Análisis físico-químico: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo total, nitrógeno total, color, sólidos en suspensión, grasas y aceites, pH, temperatura, materia flotante, coliformes totales y metales pesados.

Análisis de agua para riego: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso, zinc, elementos tóxicos (sodio), carbonatos, bicarbonatos, pH, concentración de sales, alcalinidad, razón de absorción de sodio y dureza.

- Factores agrícolas

Desarrollo vegetativo: altura de la planta, ancho de la hoja, largo de la hoja, área foliar, longitud de la raíz, peso fresco y peso seco.

Producción: granos por vaina, longitud de vaina, peso de 100 granos y producción por tratamiento.

En la sección 5.1.7 y sección 5.2 se amplía la información sobre los factores a evaluar.

### **5.1.2 Descripción de los tratamientos**

Se aplicarán cuatro tratamientos, empleando diferentes diluciones de la siguiente forma:

T1: 100% agua del efluente.

T2: 75% agua del efluente mezclado con agua entubada.

T3: 50% agua del efluente y 50% agua entubada.

Testigo: 100% agua entubada.

Por cada tratamiento se hicieron cuatro repeticiones.

### **5.1.3 Diseños experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Para calcular el número de unidades experimentales se multiplicó el número de tratamientos por el número de repeticiones, por lo que se requirió de 16 unidades experimentales.

$$\text{Número de unidades experimentales} = 4 * 4 = 16.$$

#### 5.1.4 Modelo estadístico

Los datos obtenidos para las variables de respuesta: altura de la planta, ancho de la hoja, largo de la hoja, área foliar, longitud de la raíz, granos por vaina, longitud de vaina y peso de 100 granos fueron sometidos a un análisis de varianza en R Project. El modelo estadístico para dichas variables de respuesta del diseño experimental fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Respuesta de la  $i$ -ésima variable.

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto asociado al  $i$ -ésimo tratamiento

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental asociado a la  $i$ -ésima unidad experimental

Al identificar diferencia significativa entre los tratamientos por cada variable se efectuó una prueba de medias de tukey.

#### 5.1.5 Hipótesis

$H_a$  Al menos uno de los tratamientos, mostrará diferencias significativas en el desarrollo vegetativo del frijol (altura de la planta, ancho de la hoja, longitud de raíz) y al menos uno de los tratamientos, mostrará diferencias significativas en la producción de frijol y en sus componentes de rendimiento: granos por vaina, longitud de la vaina y peso de 100 granos.

$H_0$  Ninguno de los tratamientos, mostrará diferencias significativas en el desarrollo vegetativo y en la producción de frijol.



### **5.1.6 Ubicación del sitio experimental**

El experimento se llevó a cabo en el área donde se encuentra ubicada la planta de tratamiento de aguas residuales de EMAPET. Está se sitúa en el Barrio Vista Hermosa del municipio de San Benito, departamento de Petén. A 137 msn en las coordenadas E560.703.10 y N 1872.432.89.

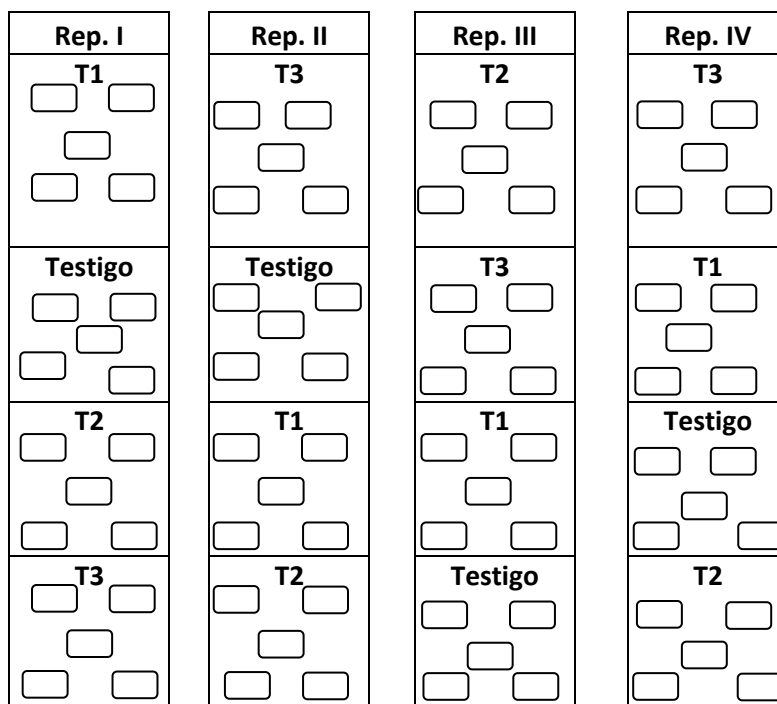
### **5.1.7 Manejo del experimento**

#### **Distribución**

En la figura 8 se muestra el croquis del experimento, la distribución se hizo de forma completamente al azar. Se evaluaron tres tratamientos: 100% aguas del efluente, 75% agua del efluente mezclada con agua entubada, 50% agua del efluente y 50% agua entubada y una unidad de blanco comparativo (testigo). Se decidió llevar a cabo en cuatro repeticiones por tratamiento. Los tratamientos se almacenarán en toneles cubiertos

En cada repetición se contó con cuatro unidades experimentales en las cuales se tenía cinco unidades de observación (macetas); en las que se plantaran cuatro semillas. Por unidad experimental había un total de veinte plantas. Se requirió de ochenta macetas por todo el experimento.

La siembra se llevó a cabo el 18 de diciembre de 2017, se adquirió frijol negro de tipo arbustivo cultivado en el área de Santa Ana, Petén y se sembraron 320 semillas. Se utilizó Blindage® (imidacloprid, thiodicarb) para el tratamiento de las semillas para protección ante insectos y enfermedades antes de la germinación. (Anexo 4)



**Figura 8.** Croquis del experimento para evaluar agua residual como riego de frijol en macetas.

El ensayo se efectuó bajo condiciones controladas con el fin de acelerar el desarrollo del cultivo y homogenizar las condiciones para las unidades experimentales. La siembra se hizo en cajas transparentes y fueron colocadas bajo un toldo con 75% de sombra. Para favorecer el drenaje de las unidades de observación, el sustrato consistió en una mezcla de tierra y arena en una proporción de 1:1.

La tierra para el sustrato se extrajo del terreno en el que se encontraba el experimento. Para conocer diferentes parámetros físico - químicos como el aporte de nutrientes; se envió una muestra al laboratorio soluciones analíticas (cuadro 6).

**Cuadro 6. Informe de análisis físico-químico de suelos**

<b>Parámetro</b>	<b>Rango adecuado</b>	<b>Resultado</b>
<b>pH</b>	5.50 – 7.20	7.68
<b>Concentración de sales</b>	0.2 – 0.8	1.61 ds/m
<b>Materia orgánica</b>	2.0 – 4.0	2.95%
<b>Humedad</b>	No aplica	24.40%
<b>Capacidad de intercambio cationico</b>	5.0 – 15.0	77.5 meq/ml
<b>Saturación K</b>	4% – 6%	0.31%
<b>Saturación Ca</b>	60 – 80%	96.09%
<b>Saturación Mg</b>	10% – 20%	3.61%
<b>Saturación Al + H</b>	< 20%	0.00%
<b>Fósforo</b>	30 – 75 ppm	< 10 ppm
<b>Potasio</b>	300 – 500 ppm	92.2 ppm
<b>Calcio</b>	2000 – 3000 ppm	14890.0 ppm
<b>Magnesio</b>	250 – 500 ppm	335.5 ppm
<b>Azufre</b>	10 – 100 ppm	286.8 ppm
<b>Cobre</b>	1 – 7 ppm	3.0 ppm
<b>Hierro</b>	40 – 250 ppm	78.8 ppm
<b>Manganeso</b>	10 – 250 ppm	85.5 ppm
<b>Zinc</b>	2 – 25 ppm	0.8 ppm
<b>Aluminio</b>	<20% sat Al	< 8.0 ppm
<b>%Humedad 1/3 atm (Capacidad de campo)</b>	No aplica	40.87
<b>%Humedad 15 atm (Punto de marchitez permanente)</b>	No aplica	35.62
<b>Densidad aparente</b>	No aplica	1.24 g/cm <sup>3</sup>

(Soluciones analíticas, 2017)

## **Volumen de agua para riego**

Para determinar el volumen mínimo de agua para riego se utilizó la fórmula propuesta por Méndez (2014):

$$Dn = \frac{CC(40.87) - PMP(35.62)}{100} * Da(1.24) * Zr (20) * UR(0.50) = 0.651 \text{ cm}$$

Dónde:

Dn: La lamina neta por riego en cm

CC: Humedad del suelo a capacidad de campo en %.

PMP: Humedad del suelo a punto de marchitez permanente en %.

Da: densidad aparente

Zr: zona radical del cultivo (cm)

UR: Umbral de riego

Área de la unidad de observación = base (52) \* altura (23) = 1196 cm<sup>2</sup>

Volumen de agua para riego = área (1196 cm<sup>2</sup>) \* lamina de riego (0.651 cm) = 778.596 cm<sup>3</sup>

Se aplicó el mismo volumen de riego para cada unidad de observación de modo que la tierra quedara mojada por completo, esto con el fin de crear un régimen de fertirriego para mejorar el desarrollo vegetativo y producción de grano en las plantas de frijol. El riego se hizo de forma manual procurando mantener la humedad del sustrato.

## **Calidad de agua para riego**

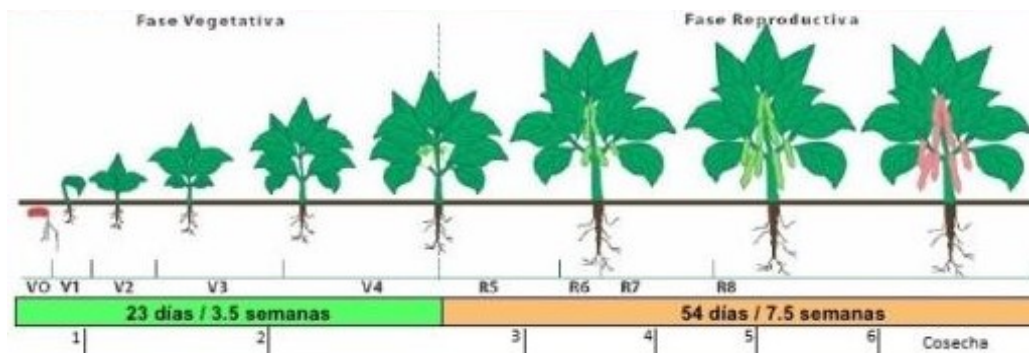
EMAPET realizó un análisis físico-químico y bacteriológico para determinar el cumplimiento con el reglamento de descarga de aguas residuales y disposición de lodos 236-2006. Los parámetros fueron la demanda bioquímica de oxígeno,

demanda química de oxígeno, fósforo total, nitrógeno total, color, sólidos en suspensión, grasas y aceite, coliformes totales y metales pesados (cobre, cromo hexavalente, cianuro total, níquel, zinc, plomo, arsénico, cadmio). (Anexo 5)

Se enviaron muestras para realizar análisis de agua para riego del efluente. Para conocer la proporción de nutrientes en forma asimilable y verificar que no exista presencia de elementos que puedan afectar el uso del efluente como agua para riego. (Cuadro 7)

Para evaluar el comportamiento de fósforo y nitrógeno se realizarán seis análisis de fósforo total y nitrógeno total. Para el análisis previo a la siembra se tomó en cuenta los resultados del análisis físico químico que realizó EMAPET en noviembre de 2017 (Anexo 5). El resto de muestras fueron tomadas durante el ciclo del cultivo cada que vez que se tomó agua del efluente para realizar diluciones para los tratamientos en un intervalo aproximado de 15 días (figura 9) en las fechas:

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| 2) 03 de enero de 2018   | 5) 16 de febrero de 2018 |
| 3) 18 de enero de 2018   | 6) 04 de marzo de 2018   |
| 4) 02 de febrero de 2018 |                          |



**Figura 9.** Toma de muestras del efluente de la PTAR y frecuencia de diluciones para tratamientos para riego en frijol.

## Control y cosecha

El cultivo fue monitoreado para el control de malezas semanalmente y se hizo un deshierbe manual cada vez que era necesario. También se hizo una revisión para control de plagas y enfermedades. En la etapa V4 se detectó que el cultivo tenía Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) (figura 10) y algunas hojas evidenciaban la presencia de gusanos minadores (*Lyriomyza* spp) (figura 11).

Para el control de la antracnosis se aplicaron dos dosis de Antracol® (Propineb), en un intervalo de 7 días, al observar que el hongo seguía avanzando fue necesario utilizar un fungicida correctivo por lo que se aplicó una dosis de Amistar® (Azoxistrobina). Para el control de gusanos minadores y la prevención ante otros insectos se aplicaron 3 dosis de monarca® (thiacloprid, beta-cyfluthrina). Se dejó un intervalo de 7 días entre cada aplicación. (Anexo 4)



**Figura 10.** *Collectotrichum lindemuthianum* en hojas de frijol



**Figura 11.** *Lyriomiza* spp en hojas de frijol

Aproximadamente a los 70 días desde la siembra se alcanzó la etapa R8 del cultivo. Se tomaron las mediciones para obtener las variables de respuesta altura de la planta, largo de la hoja, ancho de la hoja, longitud de la vaina y granos por vaina. El área foliar se calculó utilizando la formula propuesta por (Bhatt & Chanda, 2003)

$$\text{Área foliar} = 0.88(\text{Largo} + \text{ancho})$$

Se efectuó la cosecha, se extrajo el grano de la vaina y se dejó secar al sol durante un día y otro día en sombra. Se removieron las plantas del suelo y se midió la longitud de la raíz. Se tomó una muestra de 20 individuos por tratamiento y se efectuó el pesaje de las plantas frescas. Se puso a secar cada muestra en un horno de deshidratación a 60°C hasta obtener un peso constante.

Se contarón 10 veces 100 granos al azar por tratamiento para determinar su peso. Finalmente se tomó el peso del total de granos producidos por cada tratamiento y la unidad comparativa.

## 5.2 INDICADORES DE RESULTADO

- Análisis de la calidad de agua del efluente
  - Análisis de agua para riego: se tomaron muestras del agua del efluente y del agua entubada y fueron llevadas al laboratorio Soluciones Analíticas donde se hizo un análisis previo a ser usadas como riego, para determinar que no existan elementos que puedan bloquear la asimilación de nutrientes.
  - Análisis de fósforo total y nitrógeno total del efluente de la planta de tratamiento: Se tomaron muestras del efluente de la PTAR aproximadamente cada 15 días durante el ciclo de vida del cultivo y posteriormente se enviaron al laboratorio de AMSA para su análisis. Para conocer las variaciones en la concentración de nutrientes en un periodo de tiempo. (Figura 10)
  
- Indicadores de desarrollo vegetativo
  - Altura de la planta (cm): se midió la altura de la planta más representativa por unidad de observación por cada repetición del tratamiento en una unidad experimental.
  - Ancho de la hoja (cm): se midió el ancho de las hojas más representativas por unidad de observación por cada repetición del tratamiento en una unidad experimental.
  - Largo de la hoja (cm): se midió el largo de las hojas más representativas por unidad de observación por cada repetición del tratamiento en una unidad experimental.
  - Área foliar: se estimó el área foliar para la muestra de cada tratamiento.



- Longitud de raíz (cm): Se midió la longitud de la raíz inmediatamente después de la etapa de cosecha (R9).
  - Peso fresco de la planta (gr): Se tomó el peso fresco de una muestra de 20 plantas por cada tratamiento. Esto se efectuó después de la etapa de cosecha (R9).
  - Peso seco de la planta (gr): Se tomó el peso seco de una muestra de 20 plantas por cada tratamiento. Esto se realizó después de haber obtenido el peso fresco de las plantas. Por medio del uso de un horno de deshidratación en un periodo de 48 horas a 60°C.
- 
- Indicadores de producción
    - Grano por vaina (número): Se contó el número de granos en la planta más significativa por unidad de observación.
    - Longitud de vaina (número): Se midió la vaina más representativa de cada planta por unidad de observación.
    - Peso de 100 granos (gr): se tomó al azar 10 veces 100 granos por tratamiento y se determinó su peso en gramos.
    - Peso total de granos por tratamiento (g): se tomó el peso total por cada unidad de observación, para conocer la producción total por cada tratamiento.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1 ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA DEL EFLUENTE

#### 6.1.1 Análisis de agua para riego

**Cuadro 7. Análisis de agua para riego**

Parámetros	Rango adecuado	Agua entubada	Agua del efluente
pH	5.0 – 6.8	6.5	6.8
Concentración de sales (C.E.)	1.0 – 3.0 ds/m	0.78 ds/m	0.92 ds/m
Concentración relativa de sodio (R.A.S.)	<4.0	0.08	1.46
Dureza	<150 mg/L CaCO <sub>3</sub>	478.5	321.2
Alcalinidad total	<150 mg/L CaCO <sub>3</sub>	326.3	292.5
Nitrógeno	0.00 – 21.00 mg/L	0.50	0.90
Fósforo	0.00 – 5.00 mg/L	0.20	4.72
Potasio	0.00 – 70.00 mg/L	3.00	10.96
Calcio	0.00 – 121.00 mg/L	173.90	104.90
Magnesio	0.00 – 25.00 mg/L	10.64	14.31
Boro	0.00 – 0.50 mg/L	0.09	0.09
Cobre	0.00 – 0.20 mg/L	0.02	0.02
Hierro	0.00 – 0.20 mg/L	0.06	0.18
Manganeso	0.00 – 0.20 mg/L	0.01	0.07
Zinc	0.00 – 0.50 mg/L	0.04	0.04
Sodio	0.00 – 60.00 mg/L	3.86	60.19
Carbonatos	0.00 – 5.00 mg/L	5.00	5.00
Bicarbonatos	0.00 – 183.00 mg/L	398.14	356.90

(Soluciones analíticas, 2017)

Los resultados del análisis del agua entubada y del efluente para riego reflejan que la mayor parte de los parámetros se encuentran dentro de un rango adecuado. De acuerdo con la clasificación de la calidad de agua para riego de la FAO, ambos tipos de agua son aptos para uso en riego agrícola. Siendo la R.A.S del agua entubada 0.08 y del efluente 1.46, y la concentración de sales que es directamente proporcional a la conductividad eléctrica, 0.78 ds/m para el agua entubada y 0.92 ds/m para el agua del efluente, no hay peligro potencial de salinidad (Anexo 7).

De igual manera el análisis de parámetros físico-químicos revela que la concentración de metales pesados es casi nula (Anexo 5). Por lo cual no hay riesgo de acumulación de elementos en niveles tóxicos dentro de las plantas, ni afectación al metabolismo de las mismas o la absorción de agua. (Miranda & Ruiz).

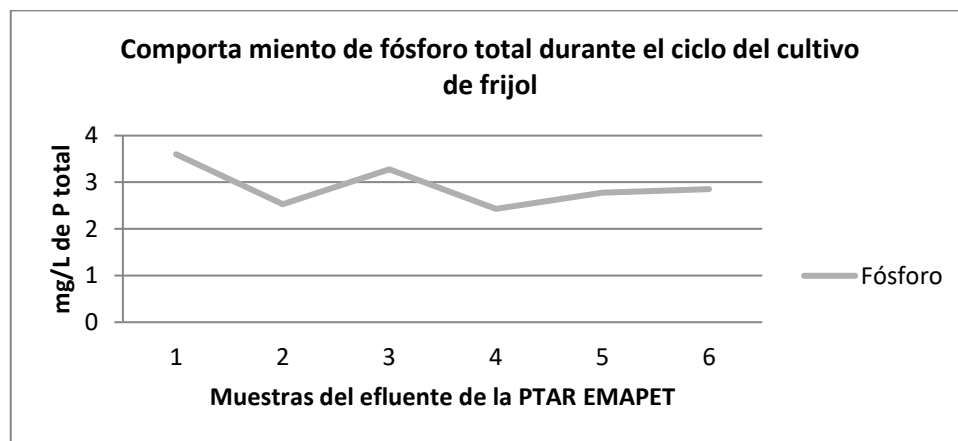
Sin embargo, la concentración de los macronutrientes esenciales para el crecimiento del cultivo de frijol, en el agua entuba es baja, al observar el cuadro 7 el nitrógeno se encuentra en 0.50 mg/L, el fósforo en 0.20 mg/L y el potasio en 3 mg/L. Estos factores limitan el desarrollo vegetativo y producción de frijol en los tratamientos en los que se empleó esta agua dando como resultado plantas con menor crecimiento y menor producción, como se muestra más adelante.

Tanto el agua entubada como el agua del efluente presentan una alta dureza 478.5 mg/L y 321.2 mg/L respectivamente, una alta alcalinidad 326.3 mg/L y 292.5 mg/L respectivamente y una mayor concentración de bicarbonatos, 398.14 mg/L y 356.90 mg/L. Al realizar diluciones no solo disminuye la proporción de nutrientes que el agua del efluente aporta, sino también se aumenta la concentración de bases. Debido a la alta cantidad de calcio es posible que haya existido un desequilibrio en relación al magnesio, afectando el crecimiento de las plantas.

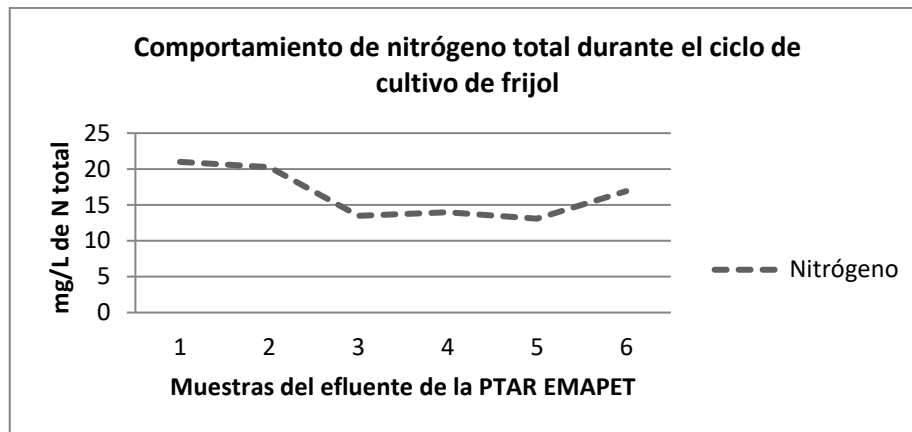
En contraste al utilizar agua del efluente al 100% la concentración de bases es menor ya que está disminuye debido a el tratamiento en las lagunas de oxidación. Además, posee una proporción más alta de macronutrientes como el fósforo (4.72 mg/L) y potasio (10.96). El fósforo es el nutriente más importante para el ciclo del cultivo, optimizando los procesos fisiológicos, la germinación y desarrollo de la plántula, desarrollo radicular, fecundación e inicio de fructificación. En conjunto con el potasio se obtienen mejores resultados ya que este ayuda a la retención de otros nutrientes.

A pesar de que el análisis de agua para riego muestra una baja concentración de nitrógeno (0.90 mg/L). Los análisis de nitrógeno total muestran que se mantiene en una concentración promedio de 16.46 mg/L (Figura 13). A pesar de que el frijol produce nódulos que fijan nitrógeno. La fertilización con nitrógeno ayuda a que las plantas tengan mayor resistencia ante plagas y enfermedades.

### 6.1.2 Comportamiento de fósforo y nitrógeno total del efluente durante el ciclo del cultivo de frijol



**Figura 12.** Comportamiento de fósforo total del efluente durante el ciclo del cultivo de frijol.



**Figura 13.** Comportamiento nitrógeno total del efluente durante el ciclo del cultivo de frijol.

En la figura 12 y 13 se observa el comportamiento del fósforo total y nitrógeno total, la primera muestra se tomó previa a la siembra del cultivo. El resto de muestras fueron tomadas durante el ciclo del cultivo en un intervalo aproximado de 15 días.

El fósforo total se mantiene en una concentración promedio de aproximadamente 2.91 mg/L. El fósforo es necesario para favorecer la maduración ya que es crucial en la floración y llenado de granos dando un mejor rendimiento en el cultivo. Al observar los análisis estadísticos que se presentan en la sección 6.2 se destaca que optimiza los resultados en las variables de respuesta que recibieron el 100% de este nutriente. En cuanto al nitrógeno este tiene una mayor fluctuación, siendo la concentración máxima de 21 mg/L y la mínima de 13.09 mg/L. Manteniéndose en una concentración promedio de 16.46 mg/L.

## 6.2 INDICADORES DE DESARROLLO VEGETATIVO

Cuando el cultivo alcanzó la etapa de fructificación R8 se tomaron las mediciones para realizar el análisis de varianza ANOVA (Anexo 8). En el cuadro 8 se muestra un resumen de los resultados del ANOVA para las variables de respuesta de desarrollo vegetativo y producción. El valor P corresponde al nivel de significancia

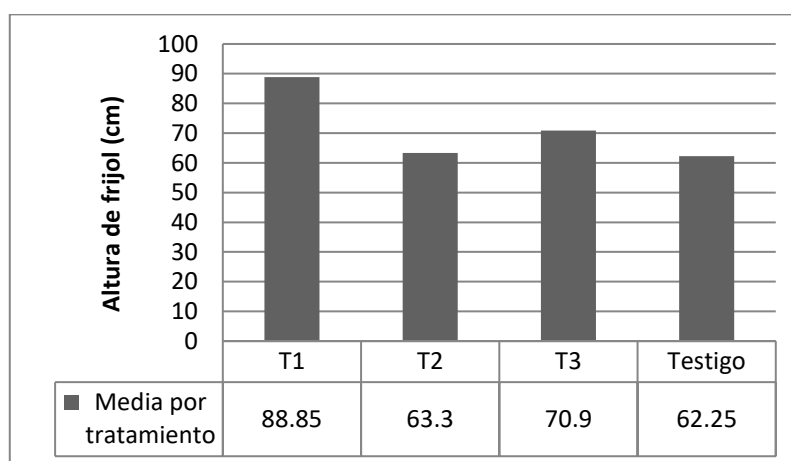
que conduce al rechazo de la hipótesis nula  $H_0$ , si el valor de P es menor a 0.05 es posible afirmar que existe una diferencia estadísticamente significativa (\*\*\*) entre tratamientos. En el cuadro también se muestra entre que tratamientos existe diferencia según la prueba de medias de tukey (Anexo 8).

**Cuadro 8. Resumen del análisis de varianza para variables de desarrollo vegetativo y producción**

<b>Variable de respuesta</b>	<b>Valor P</b>	<b>Diferencia significativa</b>	<b>Prueba Tukey</b>
<b>Altura de la planta</b>	0.00000774	***	T1-T2
			T1-T3
			T1-Testigo
<b>Ancho de las hojas</b>	0.0000000206	***	T1-T2
			T1-T3
			T1-Testigo
			T3-T2
<b>Largo de las hojas</b>	0.0000701	***	T1-T2
			T1-T3
			T1-Testigo
<b>Área foliar</b>	0.00000147	***	T1-T2
			T1-T3
			T1-Testigo
<b>Longitud de la raíz</b>	0.0000335	***	T1-T3
			T1-Testigo
<b>Longitud de la vaina</b>	$2 \times 10^{-16}$	***	T1-T2
			T1-T3
			T1-Testigo
<b>Granos por vaina</b>	0.000257	***	T1-T2
			T1-T3
			T1-Testigo
			T1-T2
			T1-T3

<b>Peso de 100 granos</b>	$7.27 \times 10^{-16}$	***	T1-Testigo T3-T2 T2-T4
<b>Producción de granos por tratamiento</b>	$2.22 \times 10^{-15}$	***	T1-T2 T1-T3 T1-Testigo

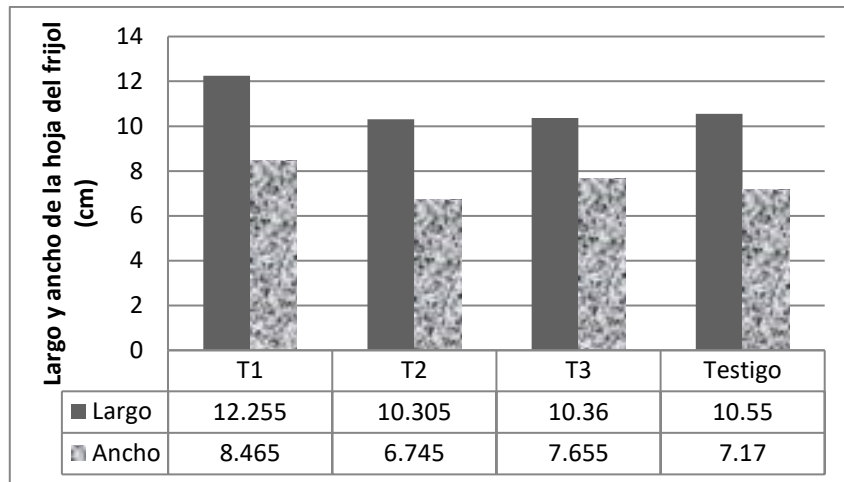
### 6.2.1 Altura de la planta de frijol por tratamiento



**Figura 14.** Medias de altura del frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.

En la figura 14 se muestra la altura media que alcanzaron los individuos expuestos a los diferentes tratamientos y la unidad comparativa o testigo. El ANOVA muestra que existen diferencias significativas entre las medias de las alturas de las plantas entre los distintos tratamientos ( $p = 0.00000774$ ). Al ver las medias se observa que el tratamiento I tiene una media mayor al resto de los grupos (88.85 cm). Para comprobar que existe diferencia entre los grupos de interés, se realizó una prueba de Tukey encontrando diferencias significativas entre la media del tratamiento I y el resto de tratamientos, por lo que es posible afirmar que la media de la altura para este grupo es significativamente mayor a la del resto.

### 6.2.2 Largo y ancho de la hoja de frijol por tratamiento



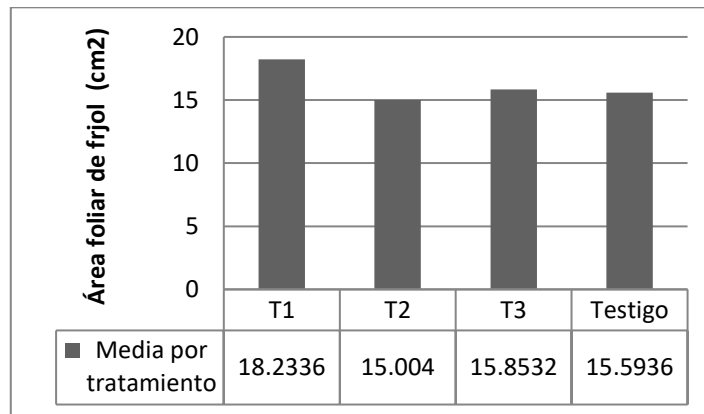
**Figura 13.** Largo y ancho de la hoja del frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.

En la figura 15 puede observarse la media que alcanzaron los individuos expuestos a los diferentes tratamientos y el testigo del ancho y largo de las hojas. Para la variable de respuesta del ancho de las hojas, el ANOVA refleja que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.0000000206$ ). Para verificar que tratamientos son estadísticamente diferentes se realizó una prueba de Tukey encontrando diferencias significativas entre la media del tratamiento I (8.465 cm) y el resto de tratamientos, por lo que es posible afirmar que la media del ancho de las hojas para este grupo es significativamente mayor a la del resto.

Del igual manera existen diferencias significativas para el largo de las hojas entre los tratamientos ( $p = 0.0000701$ ). Se observa que la media del tratamiento I (12.255 cm) es mayor. Con la prueba de Tukey se corroboró que la media del tratamiento I es estadísticamente diferente a la del resto.



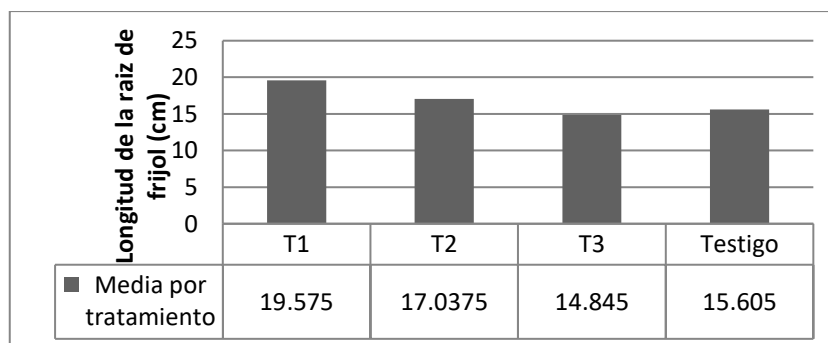
### 6.2.4 Área foliar de frijol por tratamiento



**Figura 14.** Área foliar del frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.

En la figura 16 se muestra la media del área foliar por cada tratamiento y el testigo. El ANOVA muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.00000147$ ). Para verificar entre que grupos de interés existe diferencia estadísticamente significativa se realizó una prueba de Tukey. Como resultado los individuos expuestos al tratamiento I presentan mayor área foliar (18.23 cm). Mientras que no existe diferencia entre el resto de tratamientos los cuales poseen medias de 15 cm.

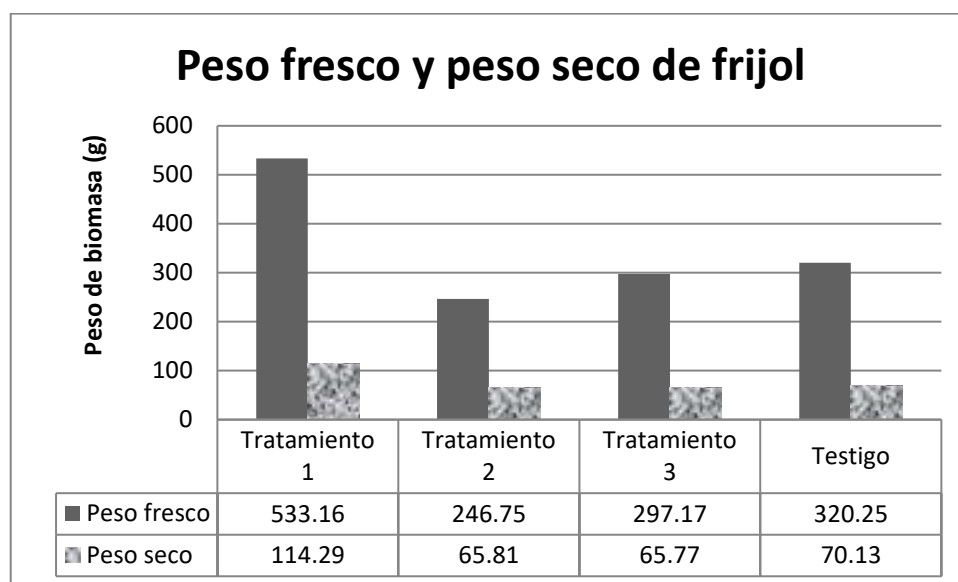
### 6.2.5 Longitud de la raíz de frijol por tratamiento



**Figura 17.** Longitud de la raíz de frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.

En la figura 17 se muestra la media para longitud de raíz por cada tratamiento y la unidad comparativa. El ANOVA muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.0000335$ ). El tratamiento I y el tratamiento II poseen medias más altas, siendo 19.57 cm y 17.03 cm respectivamente. Para verificar que existe diferencia estadísticamente significativa entre los grupos de interés se realizó una prueba de Tukey. Como resultado se obtuvo que existe diferencia entre las medias del tratamiento I y el tratamiento III; y entre el tratamiento I y el testigo. El resto de tratamientos no muestra diferencias entre sí.

### 6.2.6 Peso fresco y peso seco de frijol por tratamiento

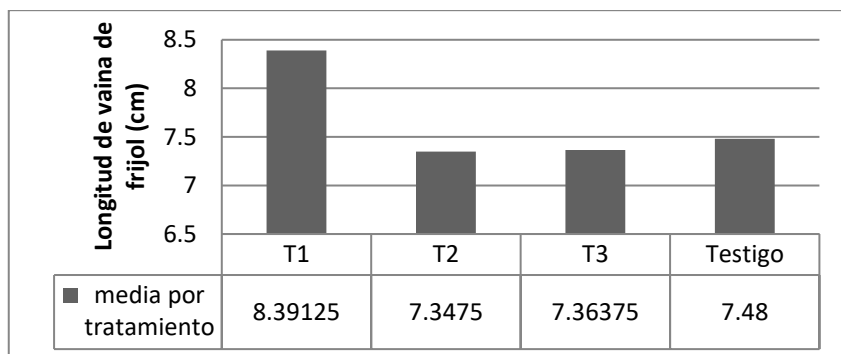


**Figura 18.** Peso fresco y peso seco del frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.

En la figura 18 se muestra los valores obtenidos del peso fresco y el peso seco de la muestra de plantas por tratamiento y el testigo. Al observar las variables de respuesta anteriores, se destaca que el tratamiento I posee los valores más altos en cuanto a desarrollo vegetativo. Por este motivo al pesar una muestra de plantas frescas es congruente contar con un valor más alto que el resto de tratamientos. Al igual que los valores para peso seco.

## 6.3 INDICADORES DE PRODUCCIÓN

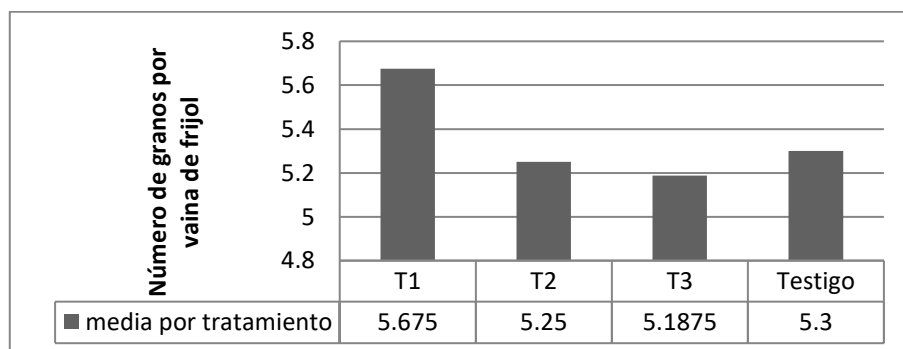
### 6.3.1 Longitud de la vaina de frijol por tratamiento



**Figura 19.** Longitud de la vaina de frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.

En la figura 19 se muestra la media para longitud de la vaina por cada tratamiento y la unidad comparativa o testigo. El ANOVA muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 2 \times 10^{-16}$ ). Al observar las medias se destaca que el tratamiento I posee las vainas más largas (8.39 cm). Mediante la prueba de Tukey se comprueba que el tratamiento I es estadísticamente diferente al resto de tratamientos.

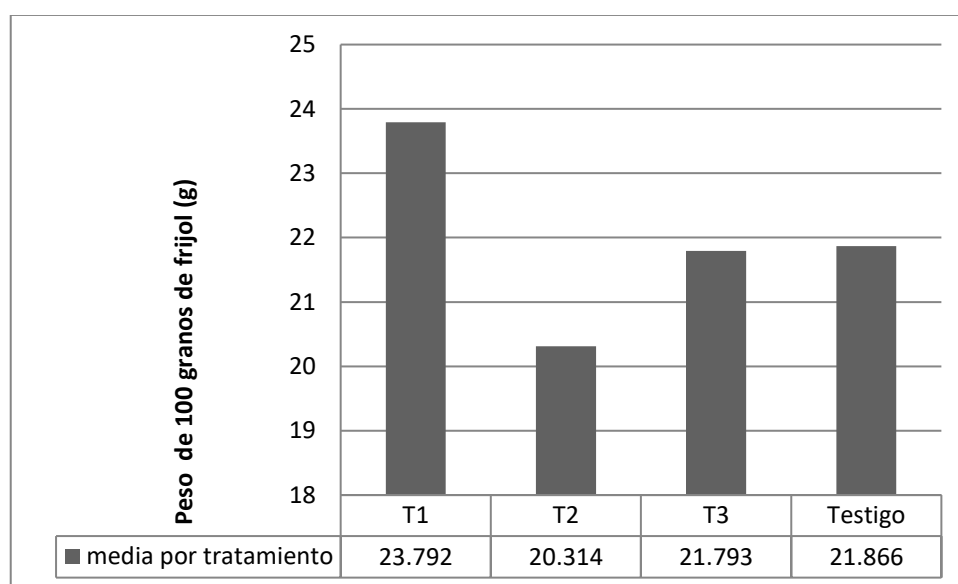
### 6.3.2 Granos por vaina de frijol por tratamiento



**Figura 20.** Granos por vaina de frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.

En la figura 20 se muestra la media de granos por vaina por cada tratamiento y la unidad comparativa o testigo. El ANOVA muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.000257$ ). Al observar las medias el tratamiento I posee una mayor cantidad de granos por vaina. Al realizar la prueba de Tukey es posible afirmar que la media para este grupo es diferente al resto de tratamientos.

### 6.3.3 Peso de 100 granos de frijol por tratamiento

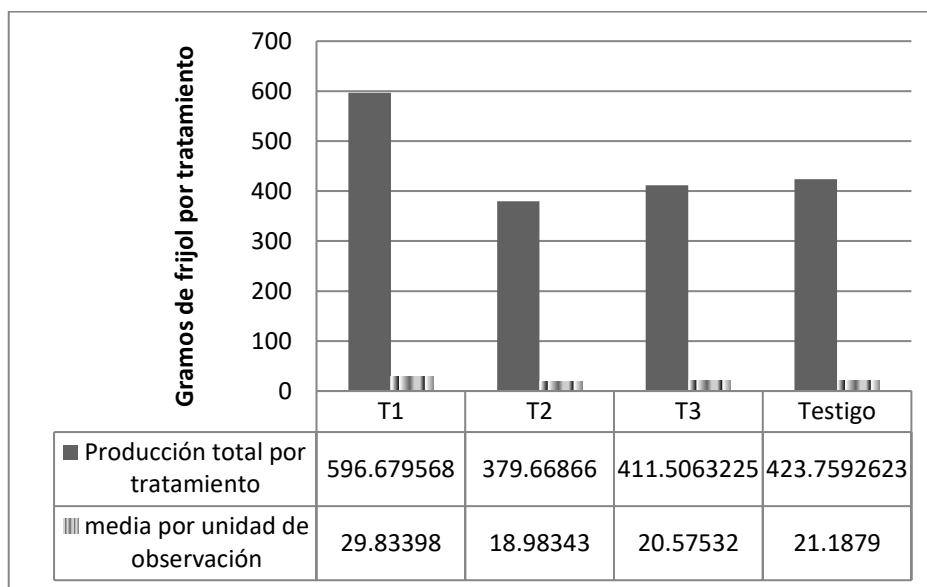


**Figura 15.** Peso de 100 granos de frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.

En la figura 21 se muestra el peso de 100 granos por unidad de tratamiento. El ANOVA denota que existe diferencia significativa ( $p = 7.27 \times 10^{-16}$ ). El tratamiento I posee el mayor peso con una media de 23.79g. Al realizar la prueba de Tukey este tratamiento presenta diferencias significativas con el resto de tratamientos. El tratamiento II también es significativamente diferente al resto de tratamientos al poseer el menor peso de 100 granos con una media de 20.31 g. No existe diferencia significativa entre el tratamiento III y el testigo. Es posible que el tratamiento II posea un menor peso debido a que el aprovechamiento de

nutrientes se concentró en el desarrollo vegetativo en variables como la longitud de la raíz y la altura de la planta.

### 6.3.4 Producción de frijol por tratamiento



**Figura 16.** Producción en gramos por tratamiento en frijol con riego a diferentes concentraciones del efluente de la PTAR EMAPET.

En la figura 22 se muestra la producción total en gramos por tratamiento y la producción media por unidad de observación. Se observa que el tratamiento I posee una media mayor a la del resto con 29.83g y una producción total de 596.68 g equivalente a 1.32 lbs. Seguida del testigo con una media de 21.19g y una producción total de 423.76g (0.93 lb), el tratamiento III con una media de 20.58 g y una producción total de 411.51g (0.91 lb) y por último el tratamiento II con 18.98g y una producción total de 379.67g (0.83 lb).

Al efectuar el análisis de varianza se determinó que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p = 2.22 \times 10^{-15}$ ). La prueba de tukey confirma que existe diferencia significativa entre el tratamiento I y el resto de tratamientos. Esto se debe a que recibió el 100% del fósforo contenido en el efluente, como se

mencionó en la sección 6.1.1 este nutriente es clave para la etapa de fructificación (R8).

## 7. CONCLUSIONES

1. Se determinó que el efluente es apto para reuso como fertirriego de frijol al evaluar tres tratamientos con diferentes diluciones del efluente. Se identificó que los individuos presentes en el tratamiento I que corresponde al uso de 100% agua del efluente tienen una respuesta positiva al emplearse como fertirriego. Siendo estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) al tener un mayor crecimiento vegetativo y producción en comparación a los otros tratamientos. La predominancia del tratamiento I en cada variable de respuesta se atribuye a la mayor cantidad de fósforo, nitrógeno y potasio que aporta el fertirriego a los individuos mejorando el crecimiento fenológico de los mismos. Mientras que el tratamiento II, 75% agua del efluente y el tratamiento III, 50% agua del efluente, no presentan diferencias significativas con el blanco comparativo, mostrando menor crecimiento y un bajo rendimiento, debido a que el aporte de nutrientes es casi nulo.
2. La concentración de fósforo en el efluente se mantiene constante en un promedio de 2.9 mg/L. El nitrógeno tiende a variar considerablemente disminuyendo de 20.28 mg/L a 13 mg/L manteniéndose así durante un periodo de tiempo y finalmente aumentado a 16.91mg/L. El aporte constante de estos nutrientes, ayuda al desarrollo vegetativo y rendimiento del frijol.
3. Se determinó que no es necesario diluir el agua del efluente para su uso como riego en frijol, ya que el análisis estadístico mostró que el tratamiento

I obtuvo no solo un mayor desarrollo vegetativo sino también mayor grado de producción.

4. Los individuos presentes en el tratamiento I mostraron un crecimiento medio de altura de 88.85 cm en comparación de el tratamiento II mostrando 63.30 cm, el tratamiento III con 70.90 cm y el testigo el cual mostró el menor crecimiento vegetativo en altura promedio con 62.25 cm. El tratamiento I presenta las hojas más anchas con una media de 8.46 cm, seguido del tratamiento III y el testigo con medias de 7.65 cm y 7.17 cm y por último el tratamiento II con una media de 6.74 cm. En la variable de área foliar el tratamiento I también fue predominante al mostrar 18.23 cm<sup>2</sup>, teniendo un mayor crecimiento promedio entre sus individuos a comparación al resto de tratamientos. En cuanto a la longitud de la raíz se obtuvo que el tratamiento I cuenta con un valor promedio mayor al resto de tratamientos, siendo la media 19.57 cm, 17.03 cm para el tratamiento II, 14.85 cm para el tratamiento III, y 15.60 para el testigo. Por último, se obtuvo el peso fresco y seco de la muestra de individuos representativos por tratamiento. El tratamiento presenta mayor peso tanto fresco como seco en comparación a los otros tratamientos.

5. El tratamiento I presenta mejores resultados en las variables de producción en comparación al resto de tratamientos. Según el ANOVA dicho tratamiento es estadísticamente diferente, ya que cuenta con una media de longitud de vaina de 8.39 cm, una media de 6 granos por vaina y una producción media por unidad de observación de 29.83g. Para un total de 596.68g equivalente a 1.32lbs de semilla. En comparación al resto de tratamientos cuyas medias de longitud de vainas es en promedio de 7 cm y un número de 5 semillas por vaina. La producción total del resto de tratamientos fue de 0.83lbs para el tratamiento II, 0.91lbs para el tratamiento III y 0.93lbs para el testigo. En cuanto al peso de 100 granos el ANOVA refleja que todos los tratamientos son estadísticamente diferentes,

a excepción del tratamiento III y el testigo. El tratamiento I con una media de 23.79g, el tratamiento II 20.31g, el tratamiento III 21.79g y el testigo 21.86g.

## **8. RECOMENDACIONES**

Se recomienda reutilizar el agua del efluente en una concentración del 100%; en cultivo de frijol. Ya que la mezcla con agua entubada puede inhibir el aporte de nutrientes.

Evaluar la respuesta de otros cultivos que cumplan con las características para ser regados con agua residual tratada, ya que debido a los niveles de contaminación microbiológica no puede efectuarse en cualquier cultivo. De preferencia deben ser aquellos que pasen por más de un proceso de desinfección o que no tienen contacto directo con el agua (frutales que crecen en alto, semillas, o no comestibles como el algodón). Tomando en cuenta esto se puede hacer una planificación para establecer plantaciones combinadas.

Debido a que el agua favorece el aumento de área foliar podría ser ideal para el riego de las plantas ornamentales en los jardines de la empresa.

Se puede dar un reúso del efluente en planes de jardinería de las municipalidades de Flores y San Benito.

En caso de requerir la implementación de un sistema de riego, para que no existan taponamientos se recomienda evaluar medidas para corregir la alcalinidad del agua.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aldana, L. F. (2010). *Manual técnico agrícola: Producción comercial y de semilla de frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Quetzaltenango: ICTA.
- Bhatt, M., & Chanda, S. V. (2003). Prediction of leaf area in *Phaseolus vulgaris* by non destructive method. Rajkot: Saurashtra University.
- Castellón, J. J., Bernal, R., & Hernández, M. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Revista ingeniería*, 19 (1), 39-50.
- Chirinos, H. (s.f.). *¿Es su agua de riego adecuada para los cultivos?* Recuperado el 11 de Marzo de 2018, de [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/62BE8B18BD5BD3C206256AE8005EF92A/\\$file/es+su+agua.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/62BE8B18BD5BD3C206256AE8005EF92A/$file/es+su+agua.pdf)
- EMAPET. (2017). *Estudio Técnico de Aguas Residuales*. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario Flores - San Benito (EMAPET), Departamento Técnico de Alcantarillado.
- EMAPET. (s.f.). *Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de oxidación: anaerobias, facultativas y de maduración*. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Flores-San Benito, Petén (EMAPET).
- Garcia, X., & Pargament, D. (2015). Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision making. Elsevier , 154-166.

Hábitos de crecimiento. (s.f.). Recuperado el 12 de junio de 2018, de Sitio web de Pontificia universidad católica de Chile: [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/cultivos/legumino/frejol/crecimien.htm](http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/legumino/frejol/crecimien.htm)

Hernández, A., Hernández, A., & Galán, P. (s.f). Lagunas anaerobias. Recuperado el 09 de octubre de 2017, de centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua (CIDTA): <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/pretratamiento.pdf>

IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2012). Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo. Guatemala: Autor.

ICTA. (s.f.). *Producción artesanal semilla de frijol*. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de ICTA: <http://www.icta.gob.gt/publicaciones/Frijol/Produccion%20artesanal%20semilla%20de%20frijol.pdf>

Intagri. (2017). El uso de ácidos para mejorar la calidad del agua de riego. Recuperado el 12 de Marzo de 2018, de <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/el-uso-de-acidos-para-mejorar-la-calidad-del-agua-de-riego>

Little, T. M. (1991). *Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura* (Segunda edición ed.). (A. De Paula, Trad.) México: Editorial Trillas.

Maab, O., & Grundmann, P. (2016). Added-value from linking the value chains of wastewater treatment, crop production and bioenergy production: A case study on reusing wastewater and sludge in crop production in Braunschweig (Germany). Elsevier , 195-211.

Malajovich, M. (s.f.). *Obtención de masa seca*. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de Biotecnología: enseñanza y divulgación: [https://bteduc.com/guias\\_es/52\\_Obtencion\\_de\\_masa\\_seca.pdf](https://bteduc.com/guias_es/52_Obtencion_de_masa_seca.pdf)

MAGA. (2016). *Situación del frijol en Guatemala*. Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación, Dirección de planeamiento, Guatemala.

Méndez, G. (2014). *Cuaderno de trabajo Riegos I*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Méndez, M., Ricardo, M., Pérez, J., Hernández, G., & Campos, O. (2006). Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. *Revista Ciencias Técnicas agropecuarias*, 15 (3), 17-21.

Mateo, J. (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: FAO.

Miranda, O., & Ruiz, R. (s.f.). *Calidad del agua de riego*. Recuperado el 12 de Marzo de 2018, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR11839.pdf>

Moscoso, J. (2016). *Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas*. Lima, Perú: Creacolor.

Ontiveros, R., Diakite, L., Álvarez, E., & Coras, P. (2013). Evaluación de aguas residuales de la ciudad de México utilizadas para riego. *Tecnología y ciencias del agua*, IV (4), 127-140.

Organismo Ejecutivo de Guatemala (2006). *Acuerdo Gubernativo, Número 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la*

*disposición de lodos. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 03 de septiembre de 2017, de: <http://www.marn.gob.gt/documentos/guias/documentos/reglamento.pdf>*

Perez, J. (2012). Depuración y reutilización de aguas residuales para riego. *Curso superior de especialización. Mejora de la eficiencia en el uso de agua en cultivos* (págs. 447-469). España: Estación experimental Cajamar "Las palmerillas".

RALCEA. (2013). *Aprovechamiento y reuso de aguas residuales: tecnologías de tratamiento de aguas residuales para reuso*. Buenos Aires: CETA: Universidad de Buenos Aires.

Ramírez, M. (2014). *Evaluación de ocho niveles de macronutrientes N-P-K, en tres materiales de frijol (Phaseolus vulgaris L. en la aldea Javillal, municipio Quezaltepeque, departamento Chiquimula, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Romero, M. (2010). Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de efluentes. *Revista Ingeniería Primero* (17), 64-74.

Sánchez, H. L. (s.f.). *Estudio de Evaluación de impacto ambiental: Diseño de la II fase de la planta de tratamiento de aguas residuales del área central ubicada en San Benito, departamento de Petén*. Recuperado el 03 de Septiembre de 2017, de [http://snip.segeplan.gob.gt/share/SCHE\\$SINIP/OTROS\\_DOCUMENTOS/60635-HABPYZWTJA.pdf](http://snip.segeplan.gob.gt/share/SCHE$SINIP/OTROS_DOCUMENTOS/60635-HABPYZWTJA.pdf)

SEGEPLAN. (2010). *Plan de desarrollo municipal Flores*. Secretaria de planificación y programación de la presidencia, Guatemala.

Valencia, E., Romero, J., & Aragón, R. (2010). Esquema metodológico para la reutilización de aguas residuales domésticas tratadas en riego. *Revista Eidenar* (9), 55-59.

Veliz, E., Llanes, J., Fernández, L., & Bataller, M. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración Crítica. *Revista CENIC ciencias biológicas* , 35-44.

Villatoro, J., Castillo, F., & Franco, J. (2011). *Producción de frijol*. Guatemala: ICTA.

Winpenny, J., Heinz, I., & Koo-Oshina, S. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura ¿Beneficio para todos?* FAO: Roma.

## 10. ANEXOS

### Anexo 1. Producción de frijol en Guatemala

Guatemala: Estimaciones de producción de frijol por departamento  
Periodos: 2014/2015 y 2015/2016

Departamento	Producción de frijol (quintales)		
	2014/2015	2015/2016	%
1 Guatemala	211,122	216,623	4.1
2 El Progreso	140,776	144,444	2.7
3 Sacatepéquez	41,093	42,164	0.8
4 Chimaltenango	197,150	202,287	3.8
5 Escuintla	30,515	31,310	0.6
6 Santa Rosa	349,808	358,922	6.8
7 Sololá	38,624	39,630	0.7
8 Totonicapán	39,089	40,107	0.8
9 Quetzaltenango	25,531	26,196	0.5
10 Suchitepéquez	4,635	4,756	0.1
11 Retalhuleu	6,222	6,384	0.1
12 San Marcos	78,074	80,108	1.5
13 Huehuetenango	212,176	217,704	4.1
14 Quiché	262,399	269,236	5.1
15 Baja Verapaz	136,446	140,001	2.6
16 Alta Verapaz	253,237	259,835	4.9
17 Petén	1,398,392	1,434,826	27.0
18 Izabal	103,586	106,285	2.0
19 Zacapa	125,145	128,406	2.4
20 Chiquimula	513,964	527,355	9.9
21 Jalapa	328,603	337,165	6.3
22 Jutiapa	684,912	702,757	13.2
<b>Total República</b>	<b>5.181,500</b>	<b>5.316,500</b>	<b>100.0</b>

(MAGA, 2016)

### Anexo 2. Fenología del frijol

Fenología: Sistema de Monitoreo de SMC	GERMINACIÓN				CRECIMIENTO I				CRECIMIENTO II		FRUCTIFICACIÓN		COSECHA
	V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	RB	R9			
Etapas de desarrollo del frijol para Guatemala													
Descripción	V0 - V4 = Fase Vegetativa				R5 - R9 = Fase Reproductiva								
Descripción	La semilla absorbe gran cantidad de agua. Se abre la cascara exterior y se puede observar la aparición de las raíces.	Se observa que emerge del suelo el "soldadito", la semilla conserva parte de la cascara y se ven las puntas de las primeras hojas.	Se observan las primeras hojas totalmente extendidas. Los restos de la semilla se arragan y arquean.	Aparece la primera hoja triple totalmente abierta y plana.	Aparece la tercera hoja triple totalmente abierta y plana, se comienzan a ver también los primeros tallos y ramos.	Se pueden observar los primeros racimos de botones de flores aún cerrados.	Se puede observar la primera flor abierta.	Se pueden observar los primeros racimos formándose. En esta etapa aún no se puede ver ningún grano formándose.	Se empiezan a ver los primeros granos de frijol; en algunas variedades se pueden observar cambios en el color de la vaina. Ya hacia el final de esta etapa los granos adquieren su color final.	La planta se ve triste y comienza a secarse, igual que las vainas, el grano comienza a endurecerse. Hacia el final de esta etapa las vainas están listas para cosecharse.			

(Aldana, 2010)

### Anexo 3. Insectos que más atacan al cultivo de frijol

#### A la raíz

Gallina ciega  
(*Phyllophaga* spp.)



Larva



Adulto

Gusano alambre  
(*Agrilus ipsilum*)



Larva



Adulto

#### Al follaje



Babosas (*Sarasimula plebeia*)



Chicharritas (*Empoasca fabae*)



Minadores de las hojas  
(*Liriomyza huidobrensis*)



Minadores de las hojas (*Liriomyza huidobrensis*)



Tortuguillas (*Diabrotica* spp.)



Cortadores o nicheros (*Spodoptera* spp.)

#### Al fruto



Picudo de la vaina (*Trichopion godmani*)



Barrenador de la vaina (*Epinotia aporema*)



Gorgojos (*Acanthoscelides obtectus*)

#### Al grano

(ICTA, s.f.)


## Anexo 4. Programa Bayer para control de plagas y enfermedades en cultivo de frijol

Programa Bayer para el cultivo de Frijol.								
<b>Tratamiento de semillas</b>							<b>Blindage</b>	100 cc / 50 lbs de semilla.
<b>Insecticidas</b>							<b>decis</b> <b>CONNECT</b> <b>Monarca</b>	75 - 100 ml / ha 50 - 75 ml / ac. 1 copa Decis® 10 EC (8-cc) / bomba 16 lt. 0.5 a 0.75 l/ha en 250-500 litros de agua. 0.35 a 0.525 l/ha en 175 a 350 litros de agua. 1 medida Bayer por bomba de 16 lt. 0.5 a 0.75 l/ha en 250-500 litros de agua. 0.35 a 0.525 l/ha en 175 a 350 litros de agua. 1 medida Bayer por bomba de 16 lt.
<b>Herbicidas</b>							<b>WHIP®</b>	1 - 1.25 l/ha 0.7 - 0.9 l/ha 2 Medidas Bayer por bomba de 16 8. Utilice siempre Advantus® 810.
<b>Fungicidas</b>							<b>NATIVO</b> <b>Antracol</b>	200 gr/ha 140 gr/ha 80 gr/ha de 200 lt. 7 gr/bomba de 16 lt. 1.5 - 2.5 kg/ha en 300 - 600 lt agua (1.0 - 1.75 kg/ha en 200 - 400 lt agua) (5 - 8 medidas Bayer separadas de 16 lt.)






# Anexo 5. Informe de análisis físico-químico y bacteriológico. Noviembre de 2017



**LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"**  
 DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD  
 INFORME DE ANÁLISIS, UNIDAD DE ALIMENTOS



**Serie "B"**

Nº 0014659

---

**Informe de Análisis**  
**Muestra(s) Particular(es)**

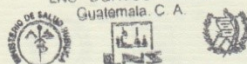
UGCF096  
 Rev. 4 (1 de 1)  
**Página 2 de 2**

<p>No. del LNS: AP17-1217          Nombre del Producto: AGUA RESIDUAL          Tipo de Muestra: AGUA RESIDUAL          Condición de la Muestra: APROPIADA          Nombre del Fabricante: -----          Dirección del Fabricante: -----          Nombre del Distribuidor: -----          Dirección del Distribuidor: -----</p>	<p>Remitente: ING. AUGUSTO JAVIER          PINELO GUZMAN          Procedencia: EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA          POTABLE Y ALCANTARILLADO          DEL AREA CENTRAL DE PETEN          "EMAPET FLORES- SAN BENITO"          -----          Marca: -----          Envase: FRASCO PLASTICO          Lote: -----          Fecha de Vencimiento: -----          Fecha de Ingreso: 09/10/2017          Fecha de Egreso: 17/11/2017</p>
---	---


**Resultado de Análisis**

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	COLIFORMES FECALES
SALIDA DE PLANTA	1.6 x 10 <sup>4</sup> NMP/100mL

**RESULTADO DE ANALISIS**  
 LNS DGRVCS MSPAS  
 Guatemala, C. A.



Area Microbiología de Alimentos:

  
 Inga. Mónica Méndez de Maldonado  
 Coordinadora a. j. Unidad de Alimentos

**Método:**  
 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 Edición. Año 2012. 9221. Técnica Fermentación de Tubos Múltiples para el Grupo Coliforme.

**NMP: Número Más Probable**  
 mL: mililitro

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES:**

REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

Analista/Supervisor o Coordinador	Código Laboratorio
PM/MdeM	MIALR-MP03-17/37

JMCG

**ÚLTIMA LÍNEA**

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"

---

Km. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A. • PBX: 6644-0599 FAX: 6644-0599 ext. 241. • E-mail: informacion@lns.gob.gt

Duplicado USUARIO



**LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"**  
 DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD  
 INFORME DE ANÁLISIS, UNIDAD DE ALIMENTOS



Serie "B"

Nº 0014658

**Informe de Análisis**  
**Muestra(s) Particular(es)**

UGCF096  
 Rev. 4 (1 de 1)

**Página 1 de 2**

No. del LNS:	AP17-1217	Remitente:	ING. AUGUSTO JAVIER PINELO GUZMAN
Nombre del Producto:	AGUA RESIDUAL	Procedencia:	EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL AREA CENTRAL DE PETEN "EMAPET FLORES- SAN BENITO" SALIDA DE PLANTA
Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Marca:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Envase:	GALON PLASTICO / FRASCO DE VIDRIO
Nombre del Fabricante:	-----	Lote:	-----
Dirección del Fabricante:	-----	Fecha de Vencimiento:	-----
Nombre del Distribuidor:	-----	Fecha de Ingreso:	03/10/2017
Dirección del Distribuidor:	-----	Fecha de Egreso:	17/11/2017

**Resultado de Análisis**

ANALISIS	RESULTADO
DQO <sup>(1)</sup> :	222,0 mg/L
DBO <sub>5</sub> <sup>(2)</sup> :	25,4 mg/L
Color <sup>(3)</sup> :	1 472,0 U Pt-Co*
Grasas y Aceites <sup>(3)</sup> :	< 10,0 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales <sup>(3)</sup> :	102,1 mg/L
Nitrógeno Total <sup>(4)</sup> :	21,0 mg/L
Fósforo Total <sup>(5)</sup> :	3,6 mg/L
Cromo Hexavalente <sup>(6)</sup> :	< 0,05 mg/L
Cobre (Cu) <sup>(3,7,8)</sup> :	< 0,35 mg/L
Níquel <sup>(3,7,8)</sup> :	< 0,5 mg/L
Zinc (Zn) <sup>(3,7,8)</sup> :	< 0,35 mg/L
Arsénico (As) <sup>(3,7,9)</sup> :	< 0,005 mg/L
Cadmio (Cd) <sup>(3,7,9)</sup> :	< 0,00075 mg/L
Plomo (Pb) <sup>(3,7,9)</sup> :	< 0,005 mg/L
Cianuro Total (CN) <sup>(10)</sup> :	0,058 mg/L

**RESULTADO DE ANALISIS**  
 LNS DGRVCS MSPAS  
 Guatemala, C. A.

Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

Inga. Mónica Méndez de Maldonado  
 Coordinadora a.i. Unidad de Alimentos

**Método:**

- <sup>(1)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. COD Cell Test. 1.14541.0001
  - <sup>(2)</sup> DBO<sub>5</sub> 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21<sup>st</sup>. Edition 2005.
  - <sup>(3)</sup> Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21<sup>st</sup>. Edition 2005.
  - <sup>(4)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Nitrogen Cell Test. 1.14537.0001
  - <sup>(5)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Phosphate Cell Test. 1.14543.0001
  - <sup>(6)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Chromate Cell Test. 1.14552.0001
  - <sup>(7)</sup> Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.
  - <sup>(8)</sup> Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Flame AAS.
  - <sup>(9)</sup> Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
  - <sup>(10)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Cyanide Cell Test 1.14561.0001
- Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES:**

\* Color: Expresado en u. Unidades de Color Aparente en la Escala Platino-Cobalto.  
 REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

Analista/Supervisor o Coordinador	Código Laboratorio
SJ,CCh,RT/MdeM	CT66-CAS/229

JMCG

**CONTINÚA**

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"



**LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"**  
 DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD  
 INFORME DE ANÁLISIS, UNIDAD DE ALIMENTOS



Serie "B"

Nº 0014657

**Informe de Análisis  
 Muestra(s) Particular(es)**

UGCF096  
 Rev. 4 (1 de 1)  
**Página 2 de 2**

No. del LNS:	AP17-1216	Remitente:	ING. AUGUSTO JAVIER PINELO GUZMAN
Nombre del Producto:	AGUA RESIDUAL	Procedencia:	EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL AREA CENTRAL DE PETEN "EMAPET FLORES- SAN BENITO"
Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Marca:	-----
Condición de la Muestra:	APROPIADA	Envase:	FRASCO PLASTICO
Nombre del Fabricante:	-----	Lote:	-----
Dirección del Fabricante:	-----	Fecha de Vencimiento:	-----
Nombre del Distribuidor:	-----	Fecha de Ingreso:	09/10/2017
Dirección del Distribuidor:	-----	Fecha de Egreso:	17/11/2017

**Resultado de Análisis**

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	COLIFORMES FECALES
ENTRADA PLANTA	1.6 x 10 <sup>7</sup> NMP/100mL

**RESULTADO DE ANALISIS**  
 LNS DGRVCS MSPAS  
 Guatemala, C. A.

Area Microbiología de Alimentos:



Inga. Mónica Méndez de Maldonado  
 Coordinadora a.i. Unidad de Alimentos

**Método:**

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 Edición. Año 2012. 9221. Técnica Fermentación de Tubos Múltiples para el Grupo Coliforme.

**NMP: Número Más Probable**  
 mL: mililitro

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES:**

REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

Analista/Supervisor o Coordinador	Código Laboratorio
MS/MdeM	MIALR-MP03-17/36

JMCG

**ÚLTIMA LÍNEA**

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"



**LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"**  
 DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD  
 INFORME DE ANÁLISIS, UNIDAD DE ALIMENTOS



Serie "B"

Nº 0014656

**Informe de Análisis  
 Muestra(s) Particular(es)**

UGCF096

Rev. 4 (1 de 1)

**Página 1 de 2**

No. del LNS: AP17-1216  
 Nombre del Producto: AGUA RESIDUAL  
 Tipo de Muestra: AGUA RESIDUAL  
 Condición de la Muestra: APROPIADA  
 Nombre del Fabricante: -----  
 Dirección del Fabricante: -----  
 Nombre del Distribuidor: -----  
 Dirección del Distribuidor: -----

Remitente: ING. AUGUSTO JAVIER  
 PINELO GUZMAN  
 Empresa MUNICIPAL DE AGUA  
 POTABLE Y ALCANTARILLADO  
 DEL AREA CENTRAL DE PETEN  
 "EMAPET FLORES- SAN BENITO"  
 ENTRADA PLANTA

Marca: -----  
 Envase: GALON PLASTICO /  
 FRASCO DE VIDRIO

Lote: -----  
 Fecha de Vencimiento: -----  
 Fecha de Ingreso: 03/10/2017  
 Fecha de Egreso: 17/11/2017

**Resultado de Análisis**

ANALISIS	RESULTADO
DOO <sup>(1)</sup> :	610,0 mg/L
DBO <sub>5</sub> <sup>(2)</sup> :	340,0 mg/L
Color <sup>(3)</sup> :	1 483,50 U Pt-Co*
Grasas y Aceites <sup>(3)</sup> :	< 10,0 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales <sup>(3)</sup> :	242,60 mg/L
Nitrógeno Total <sup>(4)</sup> :	35,0 mg/L
Fósforo Total <sup>(5)</sup> :	6,6 mg/L
Cromo Hexavalente <sup>(6)</sup> :	0,06 mg/L
Cobre (Cu) <sup>(3,7,8)</sup> :	< 0,35 mg/L
Níquel <sup>(3,7,8)</sup> :	< 0,5 mg/L
Zinc (Zn) <sup>(3,7,8)</sup> :	< 0,35 mg/L
Arsénico (As) <sup>(3,7,9)</sup> :	< 0,005 mg/L
Cadmio (Cd) <sup>(3,7,9)</sup> :	< 0,00075 mg/L
Plomo (Pb) <sup>(3,7,9)</sup> :	< 0,005 mg/L
Cianuro Total (CN) <sup>(10)</sup> :	0,108 mg/L

**RESULTADO DE ANALISIS**



Area Contaminantes de Ambiente y Salud:

Inga. Mónica Méndez de Maldonado  
 Coordinadora a.i. Unidad de Alimentos

**Método:**

- <sup>(1)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. COD Cell Test. 1.14541.0001
- <sup>(2)</sup> DBO<sub>5</sub> 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21<sup>st</sup>. Edition 2005.
- <sup>(3)</sup> Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21<sup>st</sup>. Edition 2005.
- <sup>(4)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Nitrogen Cell Test. 1.14537.0001
- <sup>(5)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Phosphate Cell Test. 1.14543.0001
- <sup>(6)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Chromate Cell Test. 1.14552.0001
- <sup>(7)</sup> Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.
- <sup>(8)</sup> Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Flame AAS.
- <sup>(9)</sup> Perkin Elmer Instruments. Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
- <sup>(10)</sup> Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Cyanide Cell Test 1.14561.0001

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES:**

\* Color: Expresado en u. Unidades de Color Aparente en la Escala Platino-Cobalto.  
 REFERENCIA NORMATIVA: ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. "REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS".

Analista/Supervisor o Coordinador	Código Laboratorio
SJ,CCh,RT/MdeM	CT66-CAS/228

JMCG

**CONTINÚA**

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario"

## Anexo 6. Clasificación de la calidad de agua para riego según la FAO

	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO		
	Ninguno	Ligero o moderado	Severo
Problema potencial: SALINIDAD			
C.E.	<0,7	0,7-3,0	<3,0
Problema potencial: INFILTRACIÓN			
RAS entre 0 y 3 y C.E. =	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS entre 3 y 6 y C.E. =	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
RAS entre 6 y 12 y C.E. =	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS entre 12 y 20 y C.E. =	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
RAS entre 20 y 40 y C.E. =	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9

Tabla II.- Clasificación de la calidad del agua para riego según la FAO (Ayers y Westcot, 1985). C.E.: Conductividad eléctrica (en mS/cm ó dS/m).

(Mateo, 2017)

# Anexo 7. Informe de análisis de laboratorio para suelos y agua para riego

14 avenida 19-50 Condado El Naranjo  
 Oficinas San Sebastián, Bodega 23,  
 Zona 4 de Mixco, Guatemala.  
 PBX.: 2416-2916 Fax: 2416-2917  
 info@solucionesanaliticas.com  
 www.solucionesanaliticas.com



Lotificación El Relicario, Lote 6  
 Carretera al Pacífico, Km. 91  
 Santa Lucía Cotz, Escuintla  
 PBX: 7882-2428  
 info@solucionesanaliticas.com  
 www.solucionesanaliticas.com

## INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

Cliete : EMAPET (12970)  
 Persona Responsable : LISSBETH FAJARDO  
 Finca : PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS  
 Localización : San Benito, PETEN  
 Referencia Cliente : MUESTRA DE SUELO  
 Cultivo : GENERALES ( 87)

Número de orden : 103579  
 Código de muestra : 17.10.23.02.03  
 Fecha de ingreso : 23/10/2017  
 Fecha del informe : 03/11/2017  
 Asesor : RECEPCION AGRICOLA

PARAMETROS DE SUELOS		RANGO ADECUADO
pH	7.68	5.50 _ 7.20
Concentración de Sales (C.S.)	1.61 dS/m	0.2 _ 0.8
Materia Orgánica (M.O.)	2.95 %	2.0 _ 4.0
Humedad	24.40 %	** **
C.L.C.e	77.5 meq/100 ml	5.0 _ 15.0
Saturación K	0.31 %	4% _ 6%
Saturación Ca	96.09 %	60% _ 80%
Saturación Mg	3.61 %	10% _ 20%
Saturación Al+H	0.00 %	< 20%

ELEMENTO	CONC. ppm (p/v)	NIVELES			RANGO ADECUADO ppm (p/v)	DOSIS Kg/Ha *
		BAJO	ADECUADO	ALTO		
Fósforo	P	< 10.0	X		30 - 75	200 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Potasio	K	92.2	XXX		300 - 500	180 K <sub>2</sub> O
Calcio	Ca	14890.0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		2000 - 3000	
Magnesio	Mg	335.5	XXXXXXXXXXXXXXXX		250 - 500	120 MgO
Azufre	S	286.8	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		10 - 100	
Cobre	Cu	3.0	XXXXXXXXXXXXXXXX		1 - 7	
Hierro	Fe	78.8	XXXXXXXXXXXXXX		40 - 250	
Manganeso	Mn	85.5	XXXXXXXXXXXXXX		10 - 250	
Zinc	Zn	0.8	XXXXX		2 - 25	6 Zn
Aluminio	Al	< 8.0	X		< 20% Sat Al	

\*\* No se tienen datos del rango adecuado para este elemento. \* Kg/Ha x 1.54 = lbs/mz

Revisado:   
 Gerente de Laboratorios

Metodología con base en:  
 Sparks D.(ed) (1996). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods.  
 Soil pH(1:2). Soil: Water Ratio Method.  
 Western States Laboratory Proficiency Testing program Soil and Plant Analytical Methods. Versión 4.10.1998

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.  
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.  
 Este informe es válido únicamente en su impresión original



### INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

Cliente	: EMAPET (12970)	Número de orden	: 103580
Persona Responsable	: LISSBETH FAJARDO	Fecha de ingreso	: 23/10/2017
Finca	: PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS	Fecha del informe	: 15/11/2017
Localización	: San Benito, PETEN	Asesor	: RECEPCION AGRICOLA
Cultivo	: GENERALES ( 87)		

#### PARAMETROS DE SUELOS

Muestra	Referencia Cliente	%Humedad 1/3 atm (Capacidad de Campo)	%Humedad 15 atm (Punto Marchitez)
17.10.23.06.02	MUESTRA DE SUELO	40.87	35.62

Revisado:   
Gerente de Laboratorios

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.  
La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.  
Este informe es válido únicamente en su impresión original.

14 avenida 19-50 Condado El Naranjo  
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23,  
Zona 4 de Mixco, Guatemala.  
PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917  
info@solucionesanaliticas.com  
www.solucionesanaliticas.com



Lotificación El Relicario, Lote 6  
Carretera al Pacífico, Km. 91  
Santa Lucía Cotz, Escuintla  
PBX: 7882-2428  
info@solucionesanaliticas.com  
www.solucionesanaliticas.com

**Cliente** : EMAPET (12970)  
**Persona Responsable** : LISSBETH FAJARDO  
**Finca** : PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
**Localización** : San Benito, PETEN  
**Referencia Cliente** : MUESTRA DE SUELO  
**Cultivo** : GENERALES ( 87)

**Número de orden** : 103579  
**Código de muestra** : 17.10.23.02.04  
**Fecha de ingreso** : 23/10/2017  
**Fecha del informe** : 31/10/2017  
**Asesor** : RECEPCION AGRICOLA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR
Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>	1.24

Revisado:   
Gerente de Laboratorios

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.  
La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.  
Este informe es válido únicamente en su impresión original.



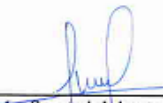


**INFORME DE ANALISIS DE AGUA**

**Cliente** : EMAPET (12970)  
**Persona Responsable** : LISSBETH FAJARDO  
**Finca** : PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
**Localización** : San Benito, PETEN  
**Cultivo** : SIN CULTIVO (SN)  
**Referencia Cliente** : AGUA POTABLE  
**Número de orden** : 103579  
**Código de muestra** : 17.10.23.05.02  
**Fecha de ingreso** : 23/10/2017  
**Fecha del informe** : 02/11/2017  
**Asesor** : RECEPCION AGRICOLA

PARAMETROS	RANGO ADECUADO	NIVEL
pH	6.5	5.0 - 6.8 Normal
C.S.	0.78 dS/m	1.0 - 3.0 ds/m Normal
R.A.S.	0.08	< 4.0 Normal
DUREZA	478.5 ppm CaCO <sub>3</sub>	< 150 Dura
ALCALINIDAD TOTAL	326.3 ppm CaCO <sub>3</sub>	< 150 Alto

ELEMENTO	ppm	RANGO NORMAL	NIVEL
Nitrógeno N-NO <sub>3</sub>	0.50	0.00 - 21.00	Normal
Fósforo P	< 0.20	0.00 - 5.00	Normal
Potasio K	< 3.00	0.00 - 70.00	Normal
Calcio Ca	173.90	0.00 - 121.00	Alto
Magnesio Mg	10.64	0.00 - 25.00	Normal
Boro B	< 0.09	0.00 - 0.50	Normal
Cobre Cu	< 0.02	0.00 - 0.20	Normal
Hierro Fe	< 0.06	0.00 - 0.20	Normal
Manganeso Mn	< 0.01	0.00 - 0.20	Normal
Zinc Zn	0.04	0.00 - 0.50	Normal
Sodio Na	3.86	0.00 - 60.00	Normal
Carbonatos CO <sub>3</sub>	< 5.00	0.00 - 5.00	Normal
Bicarbonatos HCO <sub>3</sub>	398.14	0.00 - 183.00	Alto

Revisado:   
 Gerente de Laboratorios

ppm = Partes por Millón  
 dS/m = DeciSiemens por Metro

Metodología con base en:

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF. 20th.ed. 1998

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.  
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.  
 Este informe es válido únicamente en su impresión original



14 avenida 19-50 Condado El Naranjo  
 Oficinas San Sebastián, Bodega 23,  
 Zona 4 de Mico, Guatemala.  
 PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917  
 Info@solucionesanaliticas.com  
 www.solucionesanaliticas.com



Lotificación El Relicario, Lote 6  
 Carretera al Pacífico, Km. 91  
 Santa Lucía Cotz, Escuintla  
 PBX: 7882-2428  
 info@solucionesanaliticas.com  
 www.solucionesanaliticas.com

### INFORME DE ANALISIS DE AGUA

**Cliente** : EMAPET (12970)  
**Persona Responsable** : LISSBETH FAJARDO  
**Finca** : PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
**Localización** : San Benito, PETEN  
**Cultivo** : SIN CULTIVO (SN)  
**Referencia Cliente** : EFUENTE  
**Número de orden** : 103579  
**Código de muestra** : 17.10.23.05.03  
**Fecha de ingreso** : 23/10/2017  
**Fecha del informe** : 02/11/2017  
**Asesor** : RECEPCION AGRICOLA

PARAMETROS		RANGO ADECUADO	NIVEL
pH	6.8	5.0 - 6.8	Normal
C.S.	0.92 dS/m	1.0 - 3.0 dS/m	Normal
R.A.S.	1.46	< 4.0	Normal
DUREZA	321.2 ppm CaCO <sub>3</sub>	< 150	Dura
ALCALINIDAD TOTAL	292.5 ppm CaCO <sub>3</sub>	< 150	Alto

ELEMENTO	ppm	RANGO NORMAL	NIVEL
Nitrógeno N-NO <sub>3</sub>	0.90	0.00 - 21.00	Normal
Fósforo P	4.72	0.00 - 5.00	Normal
Potasio K	10.96	0.00 - 70.00	Normal
Calcio Ca	104.90	0.00 - 121.00	Normal
Magnesio Mg	14.31	0.00 - 25.00	Normal
Boro B <	0.09	0.00 - 0.50	Normal
Cobre Cu <	0.02	0.00 - 0.20	Normal
Hierro Fe	0.18	0.00 - 0.20	Normal
Manganeso Mn	0.07	0.00 - 0.20	Normal
Zinc Zn	0.04	0.00 - 0.50	Normal
Sodio Na	60.19	0.00 - 60.00	Alto
Carbonatos CO <sub>3</sub> <	5.00	0.00 - 5.00	Normal
Bicarbonatos HCO <sub>3</sub>	356.90	0.00 - 183.00	Alto

Revisado:  Gerente de Laboratorios

ppm = Partes por Millón  
 dS/m = DeciSiemens por Metro

Metodología con base en:

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WQEF. 20th ed. 1998

## Anexo 8. Análisis estadístico de variables de respuesta

Los “\*” representan la diferencia significativa cuando el valor de P es menor a 0.05, al acercarse el valor a “0” la significancia aumenta.

ANOVA para altura de la planta

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Valor F	Pr(>F)	significancia
<b>Grupo</b>	3	9081	3027.1	10.46	0.00000774	***
<b>Residuales</b>	76	21996	289.4			

Medias de altura de la planta

	Media	Desviación estándar	Muestra
T1	88.85	9.438304	20
T2	63.3	18.626806	20
T3	70.9	17.841112	20
T4	62.25	20.083706	20

Prueba de tukey para medias de altura de la planta

	Estimado	Errorrest.	Valor t	Pr(> t )	Significancia
<b>T2-T1</b>	-25.55	5.38	-4.749	<0.001	***
<b>T3-T1</b>	-17.95	5.38	-3.337	0.00712	**
<b>T4-T1</b>	-26.6	5.38	-4.944	<0.001	***
<b>T3-T2</b>	7.6	5.38	1.413	0.49544	
<b>T4-T2</b>	-1.05	5.38	-0.195	0.99734	
<b>T4-T3</b>	-8.65	5.38	-1.608	0.3804	

ANOVA para ancho de la hoja

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Valor F	Pr(>F)	significancia
<b>Grupo</b>	3	32.68	10.892	16.66	0.0000000206	***

<b>Residuales</b>	76	49.69	0.654
-------------------	----	-------	-------

Medias de ancho de la hoja

	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Muestra</b>
T1	8.465	0.8719458	20
T2	6.745	0.4382681	20
T3	7.655	0.9533735	20
T4	7.179	0.8682105	20

Prueba de tukey para medias de ancho de la hoja

	<b>Estimado</b>	<b>Error est.</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>	<b>Significancia</b>
<b>T2-T1</b>	-1.7200	0.2557	-6.727	<0.001	***
<b>T3-T1</b>	-0.8100	0.2557	-3.168	0.01162	*
<b>T4-T1</b>	-1.2950	0.2557	-5.065	<0.001	***
<b>T3-T2</b>	0.9100	0.2557	3.559	0.00348	**
<b>T4-T2</b>	0.4250	0.2557	1.662	0.35077	
<b>T4-T3</b>	0.4850	0.2557	-1.897	0.23806	

ANOVA para largo de la hoja

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de cuadrados</b>	<b>Valor F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>significancia</b>
<b>Grupo</b>	3	52.0	17.333	8.377	0.0000701	***
<b>Residuales</b>	76	157.3	2.069			

Medias de largo de la hoja

	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Muestra</b>
T1	12.255	1.0980725	20
T2	10.305	0.9063954	20
T3	10.360	2.0045737	20
T4	10.550	1.4936709	20

Prueba de tukey para medias de largo de la hoja

	<b>Estimado</b>	<b>Error est.</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>	<b>Significancia</b>
<b>T2-T1</b>	-1.9500	0.4549	-4.287	<0.001	***
<b>T3-T1</b>	-1.8950	0.4549	-4.166	<0.001	***
<b>T4-T1</b>	-1.7050	0.4549	-3.748	0.002	***
<b>T3-T2</b>	0.0550	0.4549	0.121	0.999	
<b>T4-T2</b>	0.2450	0.4549	0.539	0.949	
<b>T4-T3</b>	0.1900	0.4549	0.418	0.975	

ANOVA para área foliar

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de cuadrados</b>	<b>Valor F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>significancia</b>
<b>Grupo</b>	3	121.0	40.34	10.46	0.00000147	***
<b>Residuales</b>	76	253.3	3.33			

Medias de área foliar

	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Muestra</b>
T1	18.2336	1.638040	20
T2	15.0040	1.046891	20
T3	15.8532	2.409857	20
T4	15.5936	1.935073	20

Prueba de tukey para medias de área foliar de la planta

	<b>Estimado</b>	<b>Error est.</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>	<b>Significancia</b>
<b>T2-T1</b>	-3.2296	0.5773	-5.594	<0.001	***
<b>T3-T1</b>	-2.3804	0.5773	-4.123	0.000530	**
<b>T4-T1</b>	-2.6400	0.5773	-4.573	0.000162	***
<b>T3-T2</b>	0.8492	0.5773	1.471	0.459907	
<b>T4-T2</b>	0.5896	0.5773	1.021	0.737536	
<b>T4-T3</b>	0.2596	0.5773	-0.450	0.969494	

## ANOVA para longitud de la raíz

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de cuadrados</b>	<b>Valor F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>significancia</b>
<b>Grupo</b>	3	260.0	86.68	9.063	0.0000335	***
<b>Residuales</b>	76	726.9	9.56			

## Medias de longitud de la raíz

	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Muestra</b>
T1	19.5750	2.202122	20
T2	17.0375	3.320862	20
T3	14.8450	3.178956	20
T4	15.6050	3.503303	20

## Prueba de tukey para medias de longitud de raíz

	<b>Estimado</b>	<b>Error est.</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>	<b>Significancia</b>
<b>T2-T1</b>	-2.538	0.978	-2.595	0.0543	
<b>T3-T1</b>	-4.730	0.978	-4.837	<0.001	***
<b>T4-T1</b>	-3.970	0.978	-4.059	<0.001	***
<b>T3-T2</b>	-2.192	0.978	-2.242	0.1214	
<b>T4-T2</b>	-1.433	0.978	-1.465	0.4636	
<b>T4-T3</b>	0.760	0.978	-0.777	0.8646	

## ANOVA para longitud de la vaina

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de cuadrados</b>	<b>Valor F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>significancia</b>
<b>Grupo</b>	3	60.14	20.046	29.99	< 2e-16	***
<b>Residuales</b>	316	211.24	0.668			

Medias de longitud de la vaina

	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Muestra</b>
T1	8.39125	0.8089990	80
T2	7.34750	0.9148528	80
T3	7.36375	0.7832493	80
T4	7.48000	0.7542057	80

Prueba de tukey para longitud de la vaina

	<b>Estimado</b>	<b>Error est.</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>	<b>Significancia</b>
<b>T2-T1</b>	-1.04375	1.12927	-8.074	<0.0001	***
<b>T3-T1</b>	-1.02750	1.12927	-7.948	<0.0001	***
<b>T4-T1</b>	-0.91125	1.12927	-7.049	<0.0001	***
<b>T3-T2</b>	-0.01625	1.12927	0.126	0.999	
<b>T4-T2</b>	0.13250	1.12927	1.025	0.735	
<b>T4-T3</b>	0.11625	1.12927	0.899	0.805	

ANOVA para granos por vaina

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de cuadrados</b>	<b>Valor F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>significancia</b>
<b>Grupo</b>	3	11.56	3.853	6.562	0.000257	***
<b>Residuales</b>	316	185.54	0.587			

Medias granos por vaina

	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Muestra</b>
T1	5.6750	0.6319550	80
T2	5.2500	0.7377695	80
T3	5.1875	0.9013878	80
T4	5.3000	0.7696785	80

Prueba de tukey para medias de granos por vaina

	<b>Estimado</b>	<b>Error est.</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>	<b>Significancia</b>
<b>T2-T1</b>	-0.4250	0.1212	-3.508	0.00305	**
<b>T3-T1</b>	-0.4875	0.1212	-4.024	< 0.001	***
<b>T4-T1</b>	-0.3750	0.1212	-3.095	0.01156	*
<b>T3-T2</b>	-0.0625	0.1212	-0.516	0.95526	
<b>T4-T2</b>	0.0500	0.1212	0.413	0.97626	
<b>T4-T3</b>	0.1125	0.1212	0.929	0.78956	

ANOVA para peso de 100 granos

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de cuadrados</b>	<b>Valor F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>significancia</b>
<b>Grupo</b>	3	61.01	20.336	78.55	7.27e-16	***
<b>Residuales</b>	36	9.32	0.259			

Mediaspeso de 100 granos

	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Muestra</b>
T1	23.792	0.4860910	10
T2	20.314	0.2977396	10
T3	21.793	0.3133706	10
T4	21.866	0.7826053	10

Prueba de tukey para medias peso de 100 granos

	<b>Estimado</b>	<b>Error est.</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>	<b>Significancia</b>
<b>T2-T1</b>	-3.4780	0.2276	-15.284	<0.00001	***
<b>T3-T1</b>	-1.9990	0.2276	-8.785	<0.00001	***
<b>T4-T1</b>	-1.9260	0.2276	-8.464	<0.00001	***
<b>T3-T2</b>	-1.4790	0.2276	6.500	<0.00001	***
<b>T4-T2</b>	1.5520	0.2276	6.820	<0.00001	***
<b>T4-T3</b>	0.0730	0.2276	0.321	0.988	



ANOVA para peso por unidad de observación

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>de Media de cuadrados</b>	<b>Valor F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>significancia</b>
<b>Grupo</b>	3	1429.9	476.6	39.06	2.22e-15	***
<b>Residuales</b>	76	927.5	12.2			

Medias peso de 100 granos

	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Muestra</b>
T1	29.83398	2.276289	20
T2	18.98343	3.622415	20
T3	20.57532	3.874765	20
T4	21.18796	3.936850	20

Prueba de tukey para medias peso de 100 granos

	<b>Estimado</b>	<b>Error est.</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>	<b>Significancia</b>
<b>T2-T1</b>	-10.8505	1.1047	-9.822	<0.00001	***
<b>T3-T1</b>	-9.2587	1.1047	-8.381	<0.00001	***
<b>T4-T1</b>	-8.6460	1.1047	-7.826	<0.00001	***
<b>T3-T2</b>	1.5919	1.1047	1.441	0.478	
<b>T4-T2</b>	2.2045	1.1047	1.996	0.199	
<b>T4-T3</b>	0.6126	1.1047	0.555	0.945	

## Anexo 9. Memoria fotográfica del experimento





