

|

Caracterización de aguas residuales de lavandería y de la Planta de Poscosecha de Zamorano para el riego de áreas verdes

Evelin Magaly Espinoza De La Cruz

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Caracterización de aguas residuales de lavandería y la de Planta de Poscosecha de Zamorano para riego de áreas verdes

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Evelin Magaly Espinoza De La Cruz

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Caracterización de aguas residuales de lavandería y de la Planta de Poscosecha de Zamorano para riego de áreas verdes

Evelin Magaly Espinoza De La Cruz

Resumen: La mayoría de las aguas residuales son vertidas en cuerpos hídricos sin ningún pre-tratamiento, incrementando el riesgo de contaminar aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo, en algunos casos, estos efluentes pueden ser aprovechados a través de medidas correctivas que ayuden a incrementar su aplicación en riego. El objetivo del estudio fue caracterizar los efluentes generados de la lavandería y la Planta de Poscosecha de EAP. Zamorano y así sugerir alternativas de tratamiento y poder incorporarlas en el riego de áreas verdes. Para ello se realizaron siete muestreos por cada efluente y fueron caracterizados a través de 24 parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Estos resultados fueron comparados con las normativas vigentes en Honduras. Las aguas residuales de la lavandería incumplen con seis parámetros de la Norma Técnica de descarga de aguas residuales. Sin embargo, para riego de áreas verdes según la Normativa para agua de uso agrícola y pecuario se incumplen tres parámetros: pH, sólidos totales y turbiedad. Con respecto a los efluentes de la Planta de Poscosecha, incumplen la normativa de descarga los parámetros de pH, temperatura y cloruros. Por otro lado, si este efluente se aplica directamente para riego sólo se deberán aplicar medidas correctoras para el parámetro de pH y cloruros. Este estudio propone diferentes alternativas para el aprovechamiento de aguas residuales. En ambos lugares es posible la reincorporación de los efluentes para riego de las áreas verdes, empleando medidas correctoras en todo el flujo de proceso.

Palabras clave: Aguas grises, efluentes, reúso.

Abstract: Wastewater is discharged in water bodies without any pretreatment, increasing the risk of polluting superficial and ground water. However, in some cases, this effluents could be used to irrigate after some treatments. The objective of this study was to characterize the effluents generated in the laundry and Post-Harvest plant in EAP Zamorano and suggest alternatives for their treatment to be incorporated on the irrigation of green areas. Seven samples were taken for each effluent and were characterized through 24 physical-chemical and bacteriological parameters. These results were compared with the regulations in Honduras. The effluents of the laundry facilities do not meeting six parameters of the technical normative for wastewater. However, for irrigation of green areas, based on the normative for agricultural use there are just three parameters unredeemed: pH, total solids and turbidity. The effluents of post-harvest plant do not meet three parameters: pH, temperature and chlorides. On the other hand, for the use of this effluent in irrigation, it is just needed to apply measures to correct pH and chlorides. This study proposes different alternatives for the use of wastewater. In both places it is possible the reuse of the effluents for irrigation of green areas, using corrective measures in all the process flow.

Key words: Effluents, grey water, reuse.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| Portadilla | i |
| Página de firmas | ii |
| Resumen..... | iii |
| Contenido..... | iv |
| Índice de cuadros, figuras y anexos | v |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. MATERIALES Y MÉTODOS | 3 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 7 |
| 4. CONCLUSIONES..... | 22 |
| 5. RECOMENDACIONES..... | 23 |
| 6. LITERATURA CITADA | 24 |
| 7. ANEXOS..... | 28 |

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

| Cuadros | Página |
|--|--------|
| 1. Clasificación de la ropa según el tipo de prenda y el grado de suciedad. | 4 |
| 2. Métodos para la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las muestras de la lavandería y la Planta de Poscosecha. | 5 |
| 3. Resultados de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas residuales de la lavandería de la EAP, Zamorano. | 12 |
| 4. Comparación de los parámetros de calidad de agua para uso en riego provenientes de aguas residuales de la lavandería de la EAP, Zamorano. | 13 |
| 5. Resultados de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas residuales de la Planta de Poscosecha de la EAP. | 18 |
| 6. Comparación de calidad de las agua con la normativa para uso en riego provenientes de aguas residuales de la Planta de Poscosecha de la EAP. | 20 |

| Figuras | Página |
|---|--------|
| 1. Volumen promedio del consumo diario de la lavandería en septiembre de 2016.. | 7 |
| 2. Comparación de valores reportados y la normativa de pH y temperatura del efluente de la lavandería de la EAP. | 8 |
| 3. Resultados de DBO ₅ y DQO de la lavandería de la EAP. Zamorano. | 9 |
| 4. Comparación de sólidos del agua residual de la lavandería de la EAP y los valores de la normativa hondureña. | 10 |
| 5. Comparación de fósforo y nitrógeno total de aguas residuales de la lavandería, Zamorano. | 11 |
| 6. Mapa de áreas verdes potenciales a ser regados con agua residual proveniente de la lavandería de la EAP. | 14 |
| 7. Volumen promedio de consumo diario de la Planta de Poscosecha en septiembre de 2016. Fuente: Planta Física, Zamorano. | 15 |
| 8. Comparación de pH y temperatura del agua residual de la Planta de Poscosecha, Zamorano. | 16 |
| 9. Comparación de DBO ₅ y DQO del agua residual de la Planta de Poscosecha de la EAP. | 16 |
| 10. Resultados de Sólidos del agua residual Planta de Poscosecha, Zamorano. | 17 |
| 11. Resultados de fósforo y nitrógeno total de aguas residuales de la planta de poscosecha, Zamorano. | 18 |
| 12. Mapa de áreas verdes potenciales a ser regados con agua residual de la Planta de Poscosecha de Poscosecha de la EAP, Zamorano. | 21 |

| Anexos | Página |
|--|--------|
| 1. Plano de restructuración de las instalaciones hidrosanitarias de la Planta de Poscosecha de la EAP. | 28 |
| 2. Plano de la lavandería de la EAP. | 29 |
| 3. Lugar de muestreo de aguas residuales de la lavandería de la EAP..... | 30 |
| 4. Lugar de muestreo de aguas residuales de la Planta de Poscosecha de la EAP. | 30 |
| 5. Bandeja Quanty-Tray 2000 (A), bandejas con celdas positivas para coliformes totales (B) y bandejas con celda positivas para <i>E. coli</i> (C). | 30 |
| 6. Parámetro evaluado antes de 24 horas, de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP..... | 31 |
| 7. Parámetro de nitrógeno total de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP..... | 31 |
| 8. Parámetro evaluado de DBO y DBO ₅ de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP..... | 32 |
| 9. Parámetro de sólidos totales y sólidos totales volátiles de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP. | 33 |
| 10. Parámetro evaluado de Sólidos Sedimentados Totales y Sólidos Sedimentados Volátiles de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP. | 34 |
| 11. Parámetro evaluado de nitratos de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP..... | 34 |
| 12. Parámetro evaluado de coliformes totales de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP | 35 |
| 13. Parámetro de turbidez de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP | 35 |
| 14. Parámetro evaluado de fósforo total, fosfato, fósforo ácido hidrolizable y sulfatos de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP..... | 35 |

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son aquellas que han sido manipuladas por diversas actividades humanas y que debido a la naturaleza de su uso presentan una composición variada. En muchos casos, la disposición final de estos efluentes ocurre en cuerpos de agua superficiales que son vertidos sin tratamientos y ocasionando daños al ambiente y la salud humana. Al momento de evacuar este tipo de efluentes a un cuerpo receptor, se debe cumplir la normativa vigente en cada país (Poch, 1999). Sin embargo, es común que en los países en desarrollo se incumplan las regulaciones y en más del 80% de los casos se descargan los efluentes sin llevar a cabo pre-tratamientos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2015). Por ello, se deben promover tratamientos eficientes que permitan reducir los impactos de las actividades industriales en el entorno (Gonzales y Chiroles, 2011).

Las aguas residuales provenientes de industrias ocasionan los mayores impactos en el ambiente, esto debido a la diversidad de sus procesos y a la cantidad de sustancias que se utilizan para la fabricación y procesamiento de productos (Nelson y Dasgupta, 1998). Tal es el caso de las industrias textiles, cuyos efluentes se caracterizan por poseer pH básicos, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y cargas orgánicas elevadas (Rojas et al., 1994). Adicionalmente, el 90% de los productos químicos de los procesos de esta industria son vertidos sin previo tratamiento (Paredes, 2013). Estos efluentes, conocidos como aguas grises (Pavas, 2005), se caracterizan por la presencia de detergentes, carbonatos, sales, peróxidos y tintes (Hoag, 2008). Además, las altas cantidades de coloración presentes en estos efluentes limitan el proceso de fotosíntesis (Clemente, 2008; O'Neill et al., 1999) y disminuyen el poder de biodegradación (Kist, Machado, Albrecht y Weide, 2006; Sánchez y Carlos, 2014).

Los colorantes contenidos en las aguas grises persisten en el ambiente. Lograr su eliminación es difícil y costoso, porque generan productos muy tóxicos en el proceso de oxidación o reducción (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 1997; Mansilla, Lizama, Gutarra y Rodríguez, 2001). Algunos procesos para tratar estos efluentes es medio de filtración con membranas o carbón activado y para reducir colorantes reactivos se emplean Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs) y reactores enzimáticos (Clemente, 2008; López, Moreira, Feijoo y Lema, 2007).

Estudios han documentado que la implementación de tratamientos de homogenización, oxigenación y decantación mejoran los efluentes industriales (Palomino, Gabino, Anselmo, Torres y Paz, 2015). La empresa “Tintex River” ubicada en Ecuador, caracterizó las aguas grises del lavado de pantalones y los datos obtenidos superan los límites permisibles de la legislación ecuatoriana. En ese estudio implementaron diversos tratamientos como la trampa de grasa, los sedimentados convencionales, los filtros con medios granulares, los

tanques imhoff y los filtros biológicos. De esta manera se lograron resultados óptimos, volviendo las aguas viables para su uso en el riego de cultivos (Gamboa-López, 2015).

Por otro lado, los efluentes residuales de poscosecha pueden contener compuestos tóxicos derivados de la aplicación de sustancias fungicidas, desinfectantes y detergentes (Mateos, Fouz y Serra, 2000). La carga de nutrientes y materia orgánica contenidas en estas aguas incrementan la fertilidad del suelo y la actividad microbiana, esto ha sido beneficioso para los suelos en la producción de pastos (Lorenzo, Ocaña, Fernández y Venta, 2009; Espinoza, Castillo y Rovira, 2014; Zamora et al., 2009). Estas aguas también pueden contener metales pesados que afectan la producción específicamente de hortalizas (Zamora, Rodríguez, Torres y Yendis, 2008). Pocas investigaciones han estudiado la reutilización de aguas de poscosecha y esto limita la toma de decisiones referentes al uso de aguas residuales en el riego agrícola (Silva, Torres y Madera, 2008).

Debido al poco acceso al agua para riego y crecimiento de industrias, se quiere plantear tratamientos eficientes que optimicen la disponibilidad de agua, disminuyendo así su contaminación (Silva, Torres y Madera, 2008). Para ello, se deben proponer sistemas de tratamiento que consideren la caracterización del efluente, esto permite evaluar el uso que se le dará una vez tratadas (Pescod, 1992). Las aguas residuales no tratadas son utilizadas en el 10% de los cultivos mundiales, porque no tienen ningún costo y están disponibles en períodos de sequía (Rutkowki, Raschid y Buechler, 2007).

Las aguas residuales generadas de la lavandería y la Planta de Poscosecha de Zamorano son descargadas sin pre-tratamiento al sistema de manejo de las mismas: Esto provoca que se mezclen con aguas residuales con mayores cargas orgánicas y posteriormente son tratadas en la laguna de oxidación. En estas áreas, hasta la fecha no se han realizado estudios que evalúen el potencial de reúso. Ya que caracterizan las aguas residuales con el fin de conocer la calidad de descarga. Estas evaluaciones ayudarían al momento de elegir tratamientos factibles.

El objetivo de este estudio fue evaluar las aguas residuales producidas por la lavandería y la Planta de Poscosecha y así sugerir alternativas de tratamiento para su incorporación en riego. Para esto se propuso:

- Caracterizar las aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha mediante parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.
- Identificar parámetros o características prioritarias de tratamiento para lograr el cumplimiento de la normativa nacional vigente en aguas residuales de Honduras.
- Proponer alternativas de tratamiento para estas aguas residuales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se caracteriza por ser un estudio exploratorio, descriptivo, prospectivo y comparativo. Se caracterizaron las aguas residuales producidas por la lavandería y la Planta de Poscosecha de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, ubicada en el kilómetro 30 de la carretera hacia Danlí, Honduras. En la lavandería, el agua es empleada para el lavado de prendas y en la Planta de Poscosecha para lavado de frutas y vegetales. Ambos efluentes son descargados al sistema de alcantarillado de la universidad para su posterior disposición y tratamiento.

El consumo de agua de todas las instalaciones de la EAP es registrado por la Dirección de Planta Física de la misma institución. Cada unidad productiva cuenta con un medidor, el cual registra el consumo de agua utilizado. En el caso de la lavandería, el registro de consumo se realiza a diario y en la Planta de Poscosecha es registrado mensualmente. Se recolectó información histórica mensual del consumo de agua en cada instalación desde enero del 2013 a junio de 2016. Además, se registró el consumo diario en ambos sitios entre los meses de agosto y septiembre del presente año, esto se realizó entre las 6:30 a.m. y las 7:00 a.m. y se obtuvo el registro del día anterior.

Además, en este estudio se caracterizaron las aguas residuales que producen, la lavandería y la Planta de Poscosecha. En primer lugar se realizaron visitas previas con el fin de conocer el proceso que realiza cada instalación y seleccionar los sitios de muestreo. Finalmente, se identificaron las áreas en las que se utiliza agua a través de todo el flujo de proceso en ambos sitios.

Actualmente, la lavandería posee máquinas lavadoras de capacidades diferentes: una con capacidad de 150 lb, dos máquinas de 125 lb y dos máquinas de 65 lb. El promedio de lavado mensual es de 8,800 kg de ropa y aproximadamente se realizan 34 lavados por día. La lavandería utiliza cinco productos químicos para el proceso de lavado: detergente concentrado (LC Det Plus®), suavizante (LC Soft®), incrementador – desengrasante alcalino (LC Break®), bactericida – sanitizante (Odolemon®) y blanqueador (LC Color Safe®). Para la aplicación de estos químicos se emplean nueve formulaciones diferentes, esto según el tipo de prendas y el tipo de suciedad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de la ropa según el tipo de prenda y el grado de suciedad.

| Fórmula | Tipo de prenda | Tipo de Suciedad |
|----------------|---|-------------------------|
| 1 | Camisa azul/ Jeans azul/ overol de color/ mantel de color | Pesada |
| 2 | Fundas blancas/ gabachas blancas/ sábanas blancas | Media |
| 3 | Fundas de color/ sabanas de color/ sobre funda de color | Liviana |
| 4 | Mantel blanco | Media |
| 5 | Interior blanca/ camiseta/ ropa particular estudiantes | Media |
| 6 | Interior de color/ camiseta/ ropa particular estudiantes | Liviana |
| 7 | Overol blanco/ Jeans blanco cocina/ Jeans blanco lácteo | Pesada |
| 8 | Toalla amarilla | Media |
| 9 | Toalla blanca | Pesada |

Fuente: Planta Física de la EAP, (2016)

La Planta de Poscosecha de Zamorano almacena y distribuye verduras y frutas, además de productos con procesamiento mínimo (por ejemplo: las hojas de lechuga). Se lava lechuga, chile, brócoli y limón principalmente para su comercialización interna y externa. Esta planta posee dos máquinas para el lavado con agua a una temperatura ambiente de 25 °C. La más grande es para el lavado de lechuga y cítricos y la más pequeña es para el lavado de chile, brócoli, tomate y frutas. Luego del lavado, los productos son secados en cestas a temperatura ambiente y finalmente almacenados a 4 °C. La toma de muestras de agua residual se realizó a la salida de cada máquina. Se lavan diariamente entre 300 y 500 lb de lechuga, sin embargo, las demás frutas y verduras se lavan según pedido.

En ambos sitios se recolectaron siete muestras compuestas del efluente. Para ello se hizo una mezcla proporcional por cada muestra recolectada de 1 L en un beakers. En lavandería las muestras se colectaron en tres etapas: lavado, enjuague y centrifugado. En la Planta de Poscosecha se colectaron las muestras en tres etapas: al inicio, medio y al finalizar la descarga de la máquina. En cada visita se recolectaron dos muestras compuestas en envases de 3.7 L y dos muestras de 100 ml en bolsas estériles Whirl-pack®. Las muestras adquiridas en cada visita fueron rotuladas con un código, lugar y fecha, estas fueron transportadas al Laboratorio Académico de Agua de Zamorano. Estas muestras fueron analizadas a través de 24 parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos (Cuadro 2). Primero se analizaron coliformes totales y *Escherichia coli*. Este análisis se realizó mediante el método Colilert®

Los dos envases con muestras de 3.7 L de cada lugar fueron homogenizadas mediante agitación en el mismo envase. Posteriormente, las muestras fueron separadas en dos beakers de 5 L y 1 L para ser agitadas a 400 Revoluciones Por Minuto (RPM) durante cinco minutos. En ese instante se evaluaron parámetros generales con un multi-parámetro PCSTestr-35: potencial de hidrógeno (pH), temperatura (°C), conductividad eléctrica (Micro Siemens por centímetro $\mu\text{S}/\text{cm}$) y sólidos totales disueltos (mg/L). Posteriormente, las muestras homogenizadas contenidas en el beaker de 5 L fueron separadas en alícuotas de 2 L de muestra sin ninguna alteración y otra de un litro preservado con 1 ml de H_2SO_4 . Todas las

muestras finalmente fueron almacenadas a 4 °C siendo analizadas por diferentes parámetros en un periodo no mayor a 30 días posterior a su recolección (Cuadro 2).

El análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se realizó por el método 5210 D (Asociación Americana de Salud Pública [APHA], 2012). Para las muestras de la lavandería se realizó con tres diluciones: 10/300, 20/300 y 50/300. Por otro lado, para la Planta de Poscosecha las diluciones fueron 10/300, 150/300 y 300/300.

Se aplicó un análisis estadístico descriptivo para los datos reportados en cada parámetro de los efluentes de la lavandería y la Planta de Poscosecha. Luego, estos resultados fueron comparados con la normativa nacional vigente de aguas residuales en Honduras (Secretaría de Salud Honduras [SSH], 1997). Además, se evaluó el potencial de reúso de estas aguas para incorporarlas en el riego de áreas verdes como una alternativa de uso eficiente de recursos. Para ello se comparó con la Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola y pecuario en la Categoría B en Honduras (Secretaría de la Salud Honduras [SSH], 2001). Sin embargo esta normativa no posee límites aceptables para todos los parámetros, es por ello que se emplearon también normativas internacionales como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Después de la comparación se recomendaron tanto a la lavandería como a la Planta de Poscosecha la aplicación de medidas correctivas que ayuden a reducir la contaminación de sus efluentes.

Cuadro 2. Métodos para la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las muestras de la lavandería y la Planta de Poscosecha.

| Parámetros | Método | Referencia |
|---|---|-------------------|
| pH ^y | 4500-H ⁺ valor de pH | APHA, 2012 |
| Temperatura ^y | 2550 B Temperatura | APHA, 2012 |
| Conductividad ^y | 2510 B Conductividad | APHA, 2012 |
| Coliformes totales ^y | 215 D Método de filtración de membrana | APHA, 2012 |
| Cloro residual ^y | HACH 8021 Método de cloro libre | HACH, 2004 |
| DBO ^y | 5210 D - Día 5 y test DBO | APHA, 2012 |
| Sólidos sedimentables (SS) ^y | 2540 F | HACH, 2004 |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | 2540 D - sólidos suspendidos secos | APHA, 2012 |
| Turbiedad | 2130 Turbiedad. Método nefelométrico | APHA, 2012 |
| Nitratos | 4500-NO ₃ -B Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method | APHA, 2012 |
| Alcalinidad | HACH 8051 Método SulfaVer 4 | HACH, 2004 |

| Parámetros | Método | Referencia |
|-------------------------------|--|-------------------|
| DQO ^{xy} | 8000 Demanda química de oxígeno | HACH, 2004 |
| Fósforo total ^{xy} | HACH 8190 Digestión ácida de persulfato | HACH, 2004 |
| Sulfatos | HACH 8051 Método SulfaVer 4 | HACH, 2004 |
| Orto fosfatos | HACH 8048 Método PhosVer 3 (Ácido Ascórbico) | HACH, 2004 |
| Nitrógeno Total ^{xy} | 4500 NH ₃ B y C | APHA, 2012 |
| Sólidos Suspendidos Volátiles | 2540 D (103-105°C, 2540 E) | APHA, 2012 |
| Sólidos Totales | 2540 B (103-105 °C) | APHA, 2012 |
| Sólidos Disueltos Totales | 2540-C (180 °C) | APHA, 2012 |
| Sólidos Volátiles Totales | 2540 E (550°C) | APHA, 2012 |
| Cloruros | 4500-Cl- Método eargentométrico | APHA, 2012 |

^y Parámetros evaluados antes de cumplir 24 horas de ser colectada las muestras de los efluentes de la lavandería y la Planta de Poscosecha.

^{xy} Parámetros evaluados con muestra preservada con un 1 mL de H₂SO₄.

Tomado de: Estándar Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012) y del Manual de procedimiento HACH (2004).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la lavandería. El promedio de consumo total diario de agua de la lavandería evaluados en los meses de julio y agosto del 2016 es de 11.60 m³. En la figura 1 se puede ver el comportamiento del efluente, los mayores consumos de agua son los días lunes y martes donde son lavados los uniformes de los estudiantes de la EAP. Por otro lado, entre los años 2013 al 2015 el promedio de consumo mensual de agua fue de 26.38 m³ y en el 2016 se reportó un promedio mensual de 8.80 m³. Esta variación de consumo se debe al cambio de lavadoras de la lavandería en enero del 2016. El consumo de agua promedio es de 31.06 L/kg de ropa y según la normativa reportado por EPA (1998) el promedio aceptable es de 33.3 L/kg de ropa.

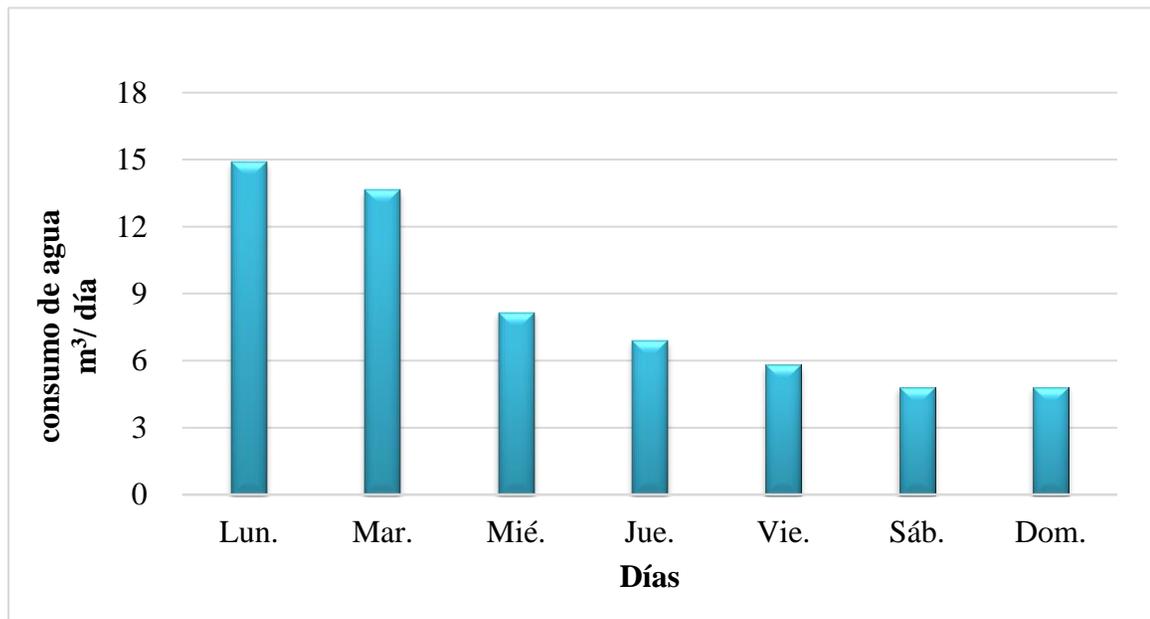


Figura 1. Volumen promedio del consumo diario de la lavandería en septiembre de 2016. Fuente: Dirección de Planta Física y Servicios, Zamorano.

Los parámetros que incumplen con la normativa técnica de descarga de aguas residuales de la lavandería son pH, temperatura, DBO, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y sulfatos. Mientras que la conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos sedimentables, nitrógeno total, cloruros, fósforo total, sulfatos y las coliformes totales, pese a que no han recibido ningún tratamiento, en su mayoría cumplen los valores de la normativa vigente de Honduras (Cuadro 3). Durante la toma de muestras y la

caracterización de las aguas residuales de la lavandería se observaron pelusas en suspensión y partículas de tierra, esto se dio particularmente los días lunes y martes en las cuales la coloración del agua era azul y contenía grandes cantidades de espuma. Por esta razón, al evaluar los rangos máximo, mínimo y promedio en algunos parámetros hubo gran heterogeneidad.

Para estos efluentes se reportó un pH promedio de 11, un valor muy superior al rango establecido por la normativa vigente. Además, durante los días lunes y martes se reportaron valores máximos de 11.60 como resultado de la adición de químicos empleados en el proceso de lavado. El desengrasante alcalino LC Break®, tiene un pH entre 13.0 y 14.0. El pH afecta el crecimiento de microorganismos, convirtiéndose en una limitante para emplear un sistema de tratamiento biológico.

En cuanto a la temperatura, el 96% de valores reportados no cumplen la normativa técnica vigente. Oliveira y Machado reportaron en su estudio temperatura de 47 °C y 21 °C; estas variaciones se deben a la composición de químicos empleados en el lavado como la temperatura del agua (Figura 2).

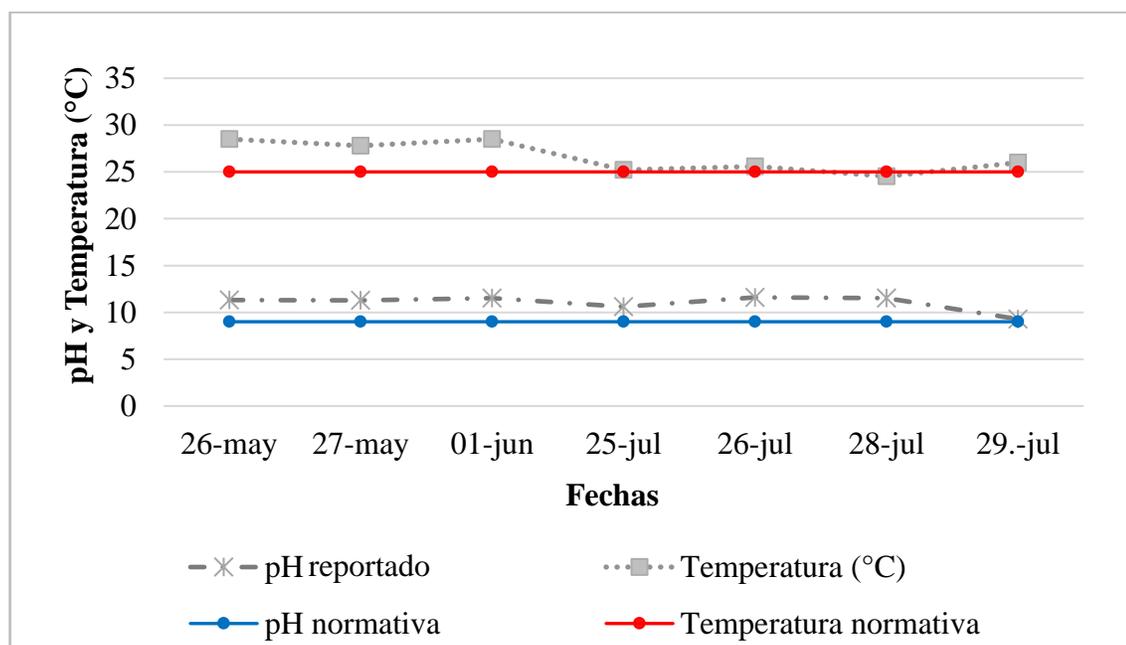


Figura 2. Comparación de valores reportados y la normativa de pH y temperatura del efluente de la lavandería de la EAP.

Los parámetros de DBO₅ y DQO, no cumplen con la normativa técnica. Los valores superiores a 50 mg/L de DBO son considerados aguas contaminadas (SSH, 1997). El valor promedio reportado en DBO₅ es 750 mg/L, encontrándose valores máximos de 906 mg/L y un DQO de 493 mg/L. Un estudio reportó una DBO₅ de 460 mg/L y una DQO de 1,180 mg/L debido a la alta presencia de tinturas (Kist et al., 2006; Zagonel, 2016). En el caso de la lavandería de la EAP, los días lunes y martes se lavan uniformes y la coloración del agua

es azul, esto conlleva a valores elevados de DBO₅ y DQO, limitando la degradación del efluente y haciendo necesario un tratamiento correctivo (Figura 3). Por otro lado, un estudio reportó una DQO de 2,885 mg/L porque los efluentes analizados contenían alta coloración azul de Jeans (Oliveira, 2006). Galeano y Osorio (2008) menciona que la DQO puede llegar a triplicar o cuadruplicar el valor de la DBO, indicando que el efluente es poco biodegradable.

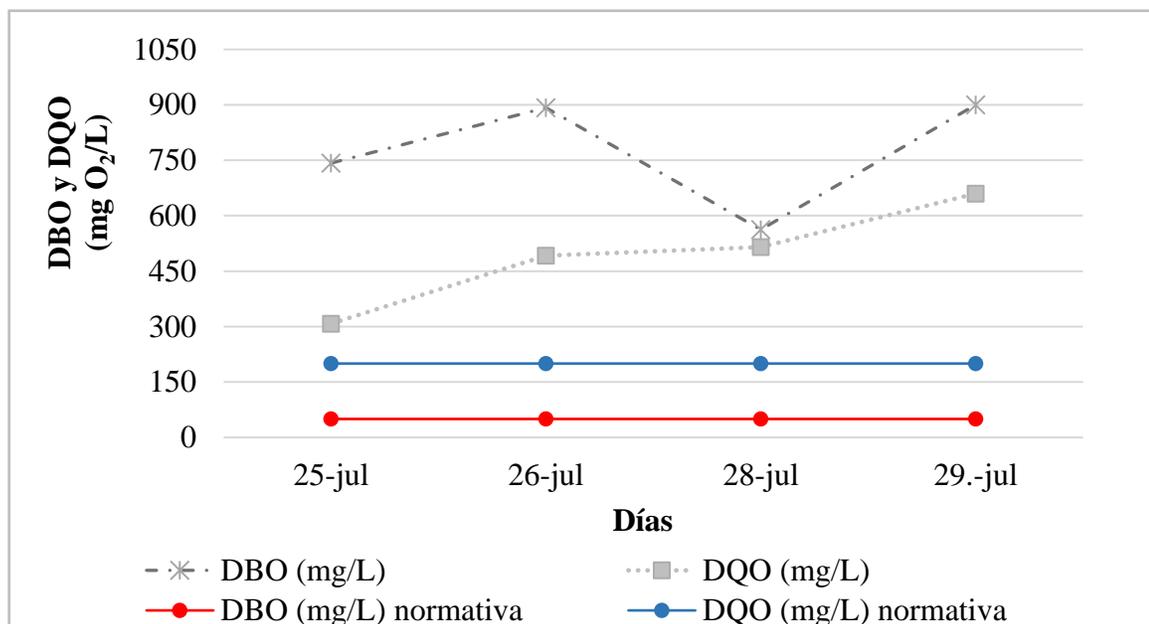


Figura 3. Resultados de DBO₅ y DQO de la lavandería de la EAP. Zamorano.

En cuanto a los Sólidos Totales (ST) se reportó un promedio de 1,283 mg/L, este valor cumple la normativa, misma que establece un máximo de 1,600 mg/L. Sin embargo, se reportaron picos de 1,996 mg/L, esto debido a la suciedad de los uniformes. En el caso de Sólidos Totales Volátiles (STV), se reportó un promedio de 864 mg/L, sin embargo, este parámetro no está considerado en la norma técnica de descarga de aguas. Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) fueron en promedio de 144 mg/L. En cambio, los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) se encontraron en valores promedio de 55 mg/L, cumpliendo con la normativa que establece un límite de 100 mg/L (Figura 4). Altas concentraciones de Sólidos Volátiles en aguas residuales son empleadas como fertilizante en la agricultura por su aporte de nutrientes (Rojas et al., 1994).

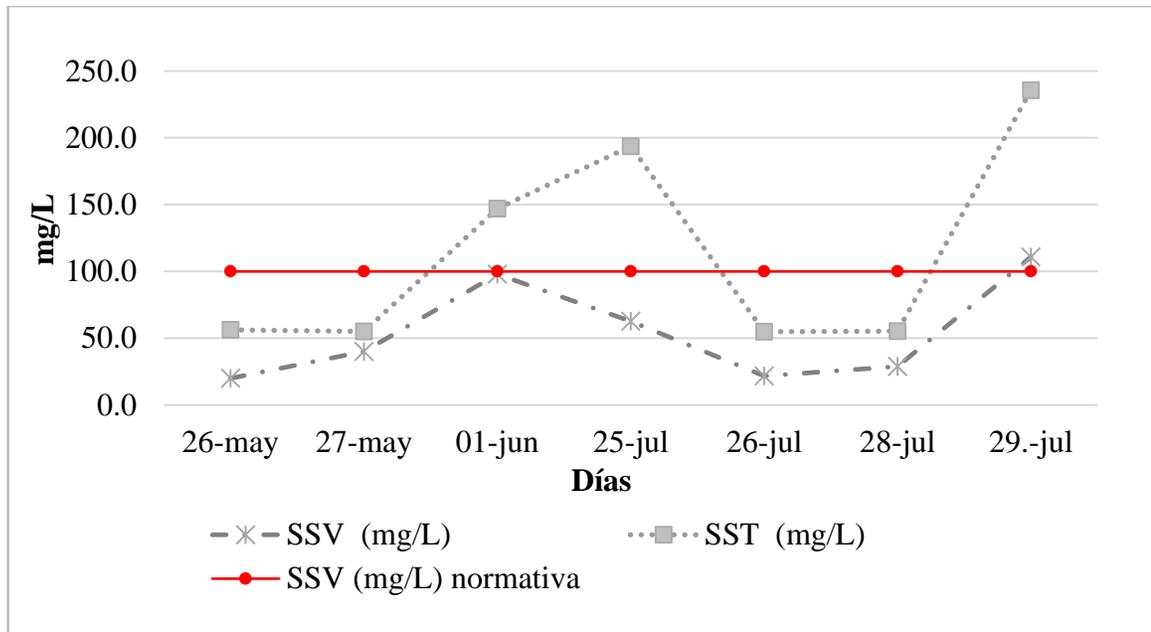


Figura 4. Comparación de sólidos del agua residual de la lavandería de la EAP y los valores de la normativa hondureña

El promedio reportado de fósforo total es de 4.26 mg/L, por tanto, cumplir la normativa técnica de aguas residuales. En otro estudio, valores superiores a 2.00 mg/L son considerados fuera de la legislación (Kist et al., 2011). Si se logra la aplicación directa de este efluente se incrementará concentraciones de nutrientes como fósforo y nitrógeno (Gómez, 2011), además, es muy importante como bionutriente (Pütz, 2009). Concentraciones superiores a 0.02 mg/L ayudan para un mejor crecimiento de las plantas (Sharpley et al., 2013) y uso excesivo sin regulaciones previa puede acelerar el proceso de eutrofización (Zhen, 2009; Dodds y Smith, 2016). Por otro lado, todos los valores reportados de nitrógeno total cumplen con la normativa técnica de descarga de aguas residuales que establece un límite de 30 mg/L (Figura 5). Los valores reportados de nitrógeno se encuentran similares con un promedio de 14.15 mg/L (Fetiosa et al., 2015). Es importante el nitrógeno para el desarrollo de microorganismos pero en exceso causa eutrofización (Dodds y Smith, 2016). Aplicar estos nutrientes al suelo es una práctica efectiva y oportuna (Gómez, 2011; Rojas et al., 1994).

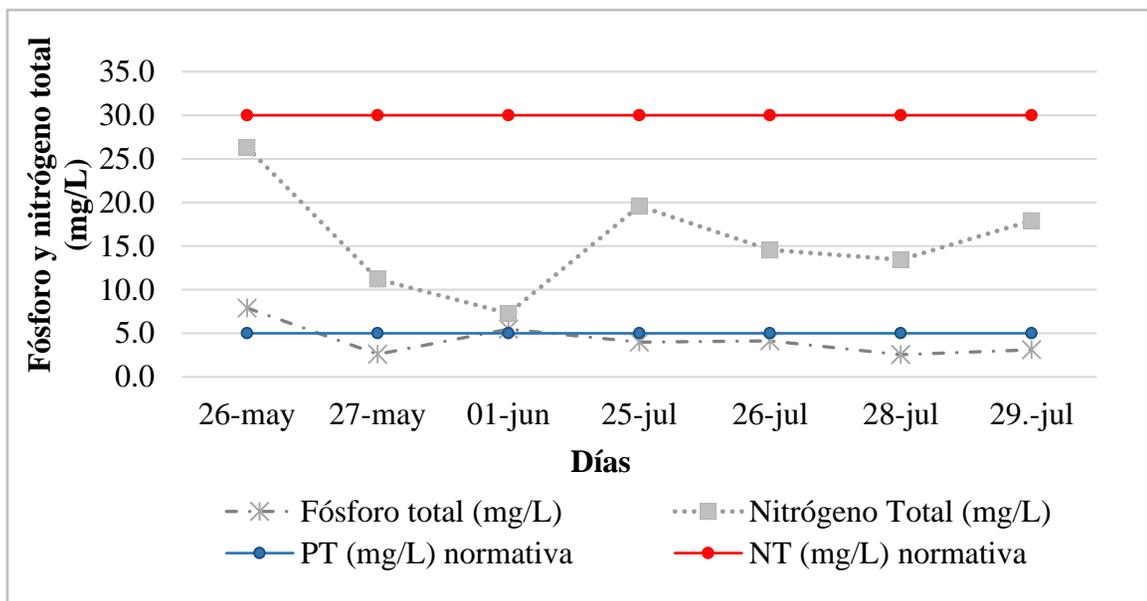


Figura 5. Comparación de fósforo y nitrógeno total de aguas residuales de la lavandería, Zamorano.

En cuanto al parámetro de Conductividad Eléctrica (CE), se reportó un valor promedio de 1,219 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un máximo de 1,985 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que este efluente se encuentra en el rango permisible por la norma técnica de descarga de aguas residuales. Es importante evaluar este parámetro ya que valores que superan la normativa y que no son tratados pueden causar daños a cultivos como el impedimento de la absorción de agua y marchitez. Existen parámetros que no están considerados por la normativa técnica de aguas residuales como es el caso de nitratos (SSH, 1997). Sin embargo, el valor promedio reportado en este estudio para nitratos es de 0.07 mg/L (Cuadro 3).

Respecto al parámetro de cloruros se reportó un promedio de 69 mg/L y valores pico de 137 mg/L, a pesar de ello se da cumplimiento de la norma técnica de descarga de aguas residuales que establece un promedio de 147 mg/L (SSH, 1997). Este parámetro es importante evaluarlo ya que las concentraciones elevadas ocasionan corrosión en tuberías (Kronholm, Metsälä, Hartonen y Riekkola, 2001). Rojas et al. (1994) mencionan que concentraciones de cloruro arriba de 50 mg/L pueden causar daños en el desarrollo de las plantas y ocasiona malos olores.

Los valores de turbiedad fueron de 141.18 UNT (Cuadro 3), similar al estudio de Sánchez (2014) que reportó un valor de 174 UNT y aplicando policloruro de aluminio ($\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) 2.8 mL al 25% logró reducir la turbiedad a 3.3 UNT. Sin embargo, otros estudios reportan 49.5 UNT (Fetiosa et al., 2015). La norma técnica de descarga de aguas residuales no establece un rango máximo en este parámetro (SSH, 2011).

En el caso de los sulfatos se reportó un valor promedio de 35 mg/L, cumpliendo la normativa técnica que establece un máximo de 400 mg/L. Los siguientes parámetro no están regulados por la normativa técnica; sin embargo, reportan los siguientes promedios:

Ortofosfato con 2.27 mg/L, fósforo ácido hidrolizable 1.98 mg/L, alcalinidad 214 mg/L y cloro residual de 0.01.,g/L (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas residuales de la lavandería de la EAP, Zamorano.

| Parámetros | Unidad | Rango | Promedio | Límite de descarga |
|----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| pH ^z | - | 9.28 - 11.60 | 11.02 ± 0.84 | 6.0 - 9.0 |
| Temperatura ^z | °C | 24.53 - 28.50 | 26.59 ± 1.65 | < 25.00 |
| Conductividad | µS/ cm | 547.00 - 1,985.00 | 1,219.00 ± 581.2 | 3,000 |
| STD | mg/L | 140.00 - 1,371.00 | 684.00 ± 412.41 | ND |
| Sólido Total | mg/L | 872.00 - 1,996.00 | 1,283.00 ± 430.15 | 1,600 |
| STV | mg/L | 439.00 - 1,410.00 | 864.00 ± 406.63 | ND |
| SST | mg/L | 55.00 - 236.00 | 114.00 ± 77.6 | ND |
| SSV | mg/L | 20.00 - 111.00 | 55.00 ± 37.10 | 100 |
| SS | ml/L/h | 0.90 - 4.00 | 1.77 ± 1.08 | 1 |
| DBO ^z | mg/L | 504.00 - 960.00 | 750.00 ± 158.79 | 50 |
| DQO ^z | mg/L | 308.00 - 4,672.00 | 493.75 ± 144.46 | 200 |
| Nitrógeno Total | mg/L | 13.44 - 26.00 | 15.76 ± 2.87 | 30 |
| Nitratos | mg/L NO ₃ | 0.01 - 0.13 | 0.07 ± 0.05 | ND |
| Cloruros | mg/L Cl ⁻ | 22.00 - 137.00 | 69.00 ± 50.63 | 147.5 |
| Fósforo total | mg/L | 2.55 - 7.90 | 4.26 ± 1.91 | 5 |
| Orto fosfatos | mg/L PO ₄ | 1.12 - 4.70 | 2.27 ± 1.21 | ND |
| Fósforo ácido hidrolizable | mg/L | 0.10 - 3.20 | 1.98 ± 1.04 | ND |
| Sulfatos ^z | mg/L SO ₄ | 14.00 - 50.00 | 35.00 ± 13.80 | 400 |
| Alcalinidad | mg/L CaCO ₃ | 68.00 - 391.00 | 214.00 ± 118 | ND |
| Coliformes totales | UFC/100 mL | 10.00- 2420.00 | 700.00 ± 1,156 | 10,000 |
| Coliformes fecales | UFC/100 mL | 0.00 - 299.70 | 75.73 ± 104.06 | ND |
| Turbiedad | UNT | 103.00 - 172.00 | 141.18 ± 28.64 | ND |
| Cloro residual | mg/L | 0.00 - 0.03 | 0.01 ± 0.03 | ND |

^z Parámetros que exceden la Norma Técnica Nacional para aguas residuales (SSH, 1997). DBO₅=Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO=Demanda Química de Oxígeno, STD= Sólidos totales disueltos, STV= Sólidos Totales Volátiles, SST= Sólidos sedimentables totales, SSV= Sólidos Sedimentables Volátiles, SS= Sólidos Sedimentables y ND= No determinado

Los parámetros que incumplen la norma técnica de descarga deben ser regulados, implementando cambios en el sistema previo su reutilización. Además, es necesario comparar con la Normativa Técnica Nacional para agua de uso agrícola y pecuario en la Categoría B en caso de reutilizar el efluente. Según la caracterización fisicoquímica y bacteriológica, los parámetros que incumplen la normativa son: pH, sólidos totales y turbiedad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de los parámetros de calidad de agua para uso en riego provenientes de aguas residuales de la lavandería de la EAP, Zamorano.

| Parámetros | Unidad | Promedio | Normativa para riego | | |
|------------------------|----------------------|----------|-----------------------|-----------|----------|
| | | | SSH Categoría B | EPA | FAO |
| pH ^a | - | 11.02 | 6.0 – 9.0 | 6 | 6.5 -8.4 |
| Conductividad | µS/ cm | 1,219.00 | 3 000 | ND | ND |
| STD | mg/L | 684.00 | 2 000 | 500 -2000 | 450-2000 |
| ST ^a | mg/L | 1,283.00 | ND | ND | < 600 |
| SST | mg/L | 114.00 | >100 | ND | 50-100 |
| DBO | mg/L | 750.00 | ND | 1200 | ND |
| DQO | mg/L | 493.00 | ND | ND | 30-1120 |
| NT | mg/L | 15.76 | ND | ND | 5-30 |
| Nitratos | mg/L NO ₃ | 0.07 | 50 [#] | 100 | ND |
| Cloruros | mg/L Cl ⁻ | 69.00 | 147.5 | ND | ND |
| Fósforo total | mg/L | 4.26 | ND | ND | ND |
| Sulfatos | mg/L SO ₄ | 35.00 | 400 [#] | ND | ND |
| Coliformes totales | UFC/100 ml | 700.00 | 10 000 | ND | ND |
| Turbiedad ^a | UNT | 141.18 | ND | ND | ND |

Fuente: SSH (2001), US. EPA (2004) y FAO (1984).

^a Parámetros por encima de la Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola y pecuario en la Categoría B.

[#] Norma Técnica Nacional para agua de uso en abastecimiento de poblaciones.

ND= No determinado.

La lavandería utiliza un desengrasante alcalino LC Break® con un pH de 13, las concentraciones empleadas no son las óptimas ya que el efluente reporta un pH muy alcalino de 11 en el efluente. Por esta razón se sugiere cambiar este desengrasante, reformular mediante pruebas las nueve fórmulas reduciendo la cantidad de este elemento,

separar los uniformes de sucio a muy sucio (contiene materia orgánica) con el fin de utilizar menor cantidad de desengrasante. Además, se puede proponer a Zamorano que los estudiantes tengan dos uniformes siendo uno para clase y otro para módulo ambas de diferente color. Esto ayudará en la selección de prendas para emplear la dosificación de químicos adecuados.

Según lo evaluado con la norma técnica de descarga de aguas residuales y la norma nacional para agua de uso agrícola y pecuario – categoría B, el efluente es aceptable para reusar en riego de pastizales. Se recomienda que el riego sean los días miércoles, jueves, viernes ya que durante los días lunes y martes los valores reportados incumplen la normativa. Además se recomienda utilizar un sistema de tratamiento primario con el objetivo de eliminar contaminantes que flotan o que se puedan sedimentar. Esto podría reducir un 60% la cantidad de sólidos en suspensión y más del 35% de la DBO₅. Se puede incluir una rejilla como filtrador de pelusas y un sedimentar en la trampa donde confluyen los efluentes de las lavadoras. En la Figura 6 se muestra el área posible para regar, con el fin de aprovechar este recurso. Los días lunes y martes se pueden aprovechar los efluentes para el lavado de carros con el fin de obtener un máximo aprovechamiento de estos efluentes. El promedio del efluente disponible para estos días es de 17 m³ para lavar ambulancias, mientras que los días de miércoles a sábado el promedio es de 8 m³ que pueden ser empleados para riego sin causar daño a los suelos.

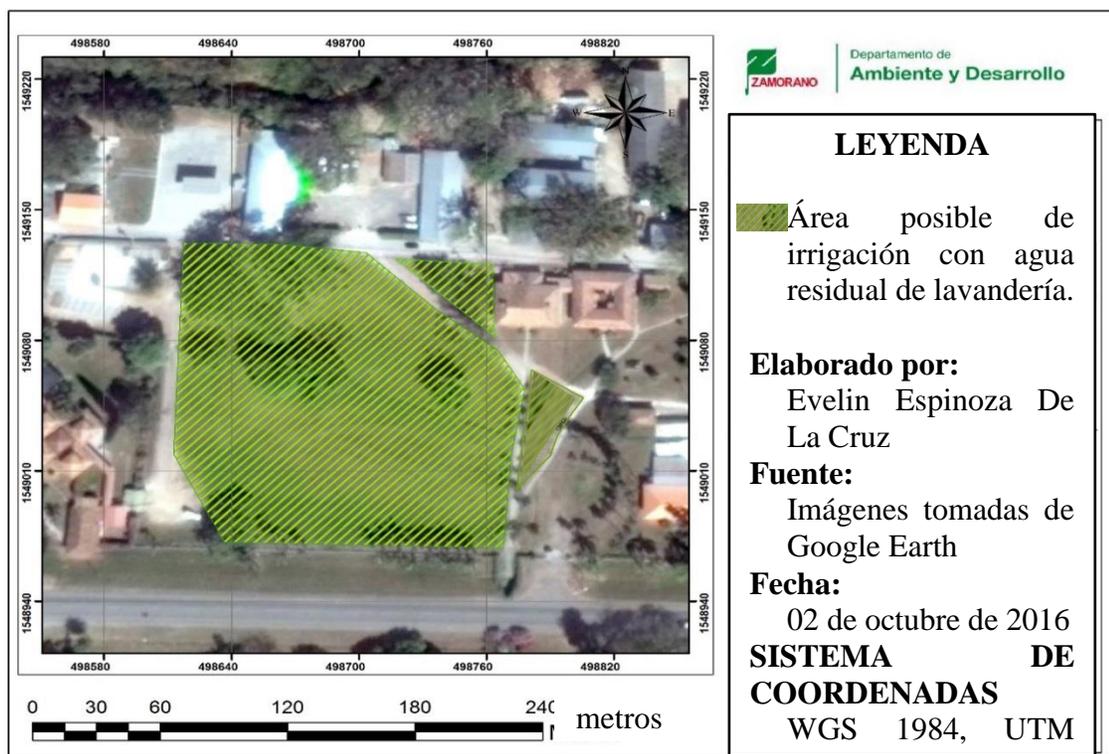


Figura 6. Mapa de áreas verdes potenciales a ser regados con agua residual proveniente de la lavandería de la EAP.

Resultados de la Planta de Poscosecha de la EAP. El promedio de consumo diario de agua en la Planta de Poscosecha es 13.80 m³ de agua para el proceso de lavado de frutas y verduras. En la figura 7 podemos ver el comportamiento del consumo de agua a lo largo de un semana, donde los días miércoles y viernes. Entre los años 2013 al 2015 el promedio de consumo mensual fue 22.77 m³. Entre los meses de enero a junio del 2016 se reportó un promedio mensual de 11.40 m³.

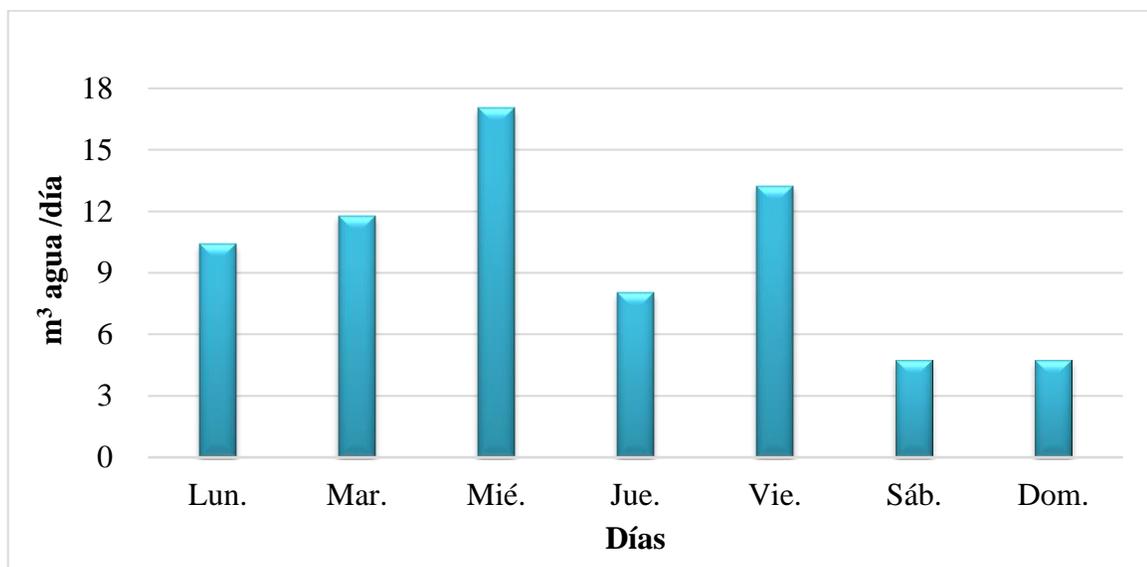


Figura 7. Volumen promedio de consumo diario de la Planta de Poscosecha en septiembre de 2016. Fuente: Planta Física, Zamorano.

Los parámetros que no cumplen con la norma técnica de descarga de aguas residuales de la Planta de Poscosecha son pH, temperatura, DQO y cloruros, mientras que la conductividad eléctrica, sólidos totales, STD, SSV, SST, nitrógeno total, fósforo total, sulfatos, coliformes totales y DBO si cumplen la normativa vigente. En el cuadro 4 se presenta los valores obtenidos de este efluente.

El pH en los primeros tres muestreos no cumplen con la normativa, sin embargo, los demás días el valor reportado se encuentra en el rango establecido por la norma hondureña (SSH, 1997). A pesar de ello se demostró que el pH en promedio es inferior al límite siendo 5 el valor que se reportó. Por otro lado, la temperatura reportó un valor promedio de 26.37 °C incumpliendo el límite de descarga de la normativa vigente pero este no afecta en el riego de pastos (Figura 8).

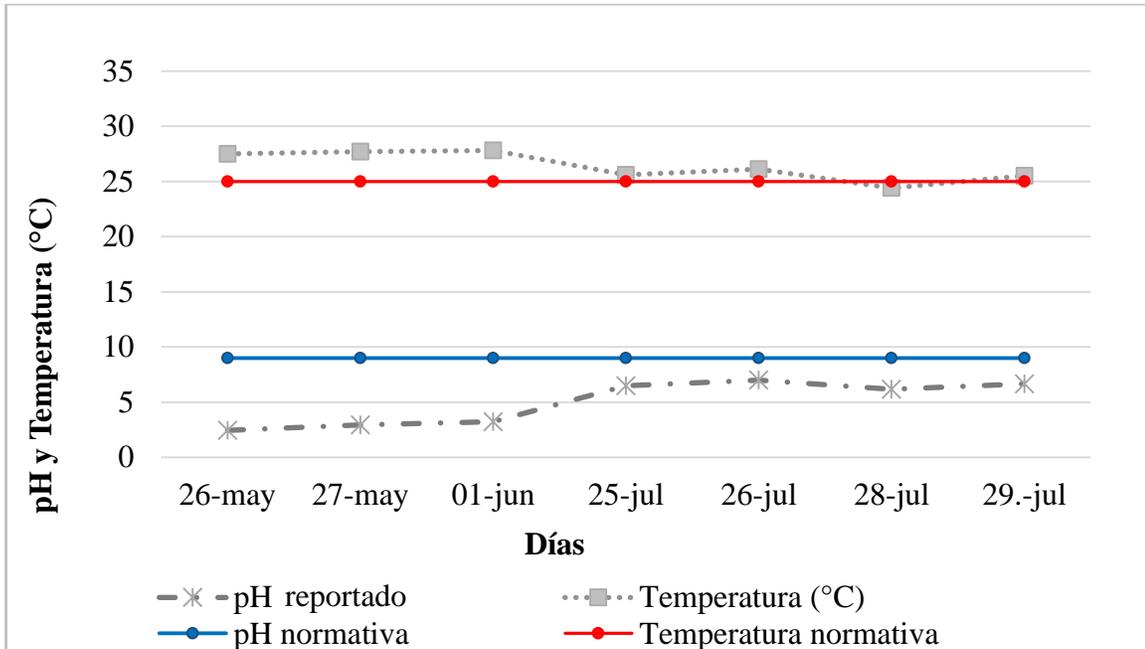


Figura 8. Comparación de pH y temperatura del agua residual de la Planta de Poscosecha, Zamorano.

En el parámetro de DBO se reportó un promedio de 16 mg/L, cumpliendo la normativa vigente (SSH, 1997) mientras que el promedio de DQO fue de 424 mg/L y, no cumple con la normativa de 200 mg/L (Figura 9).

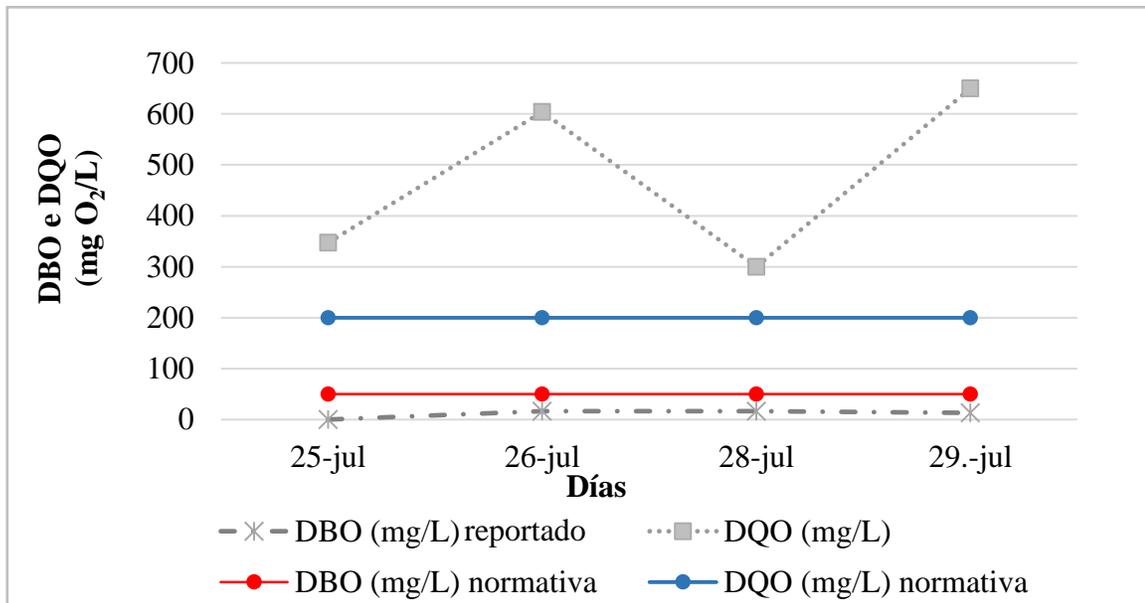


Figura 9. Comparación de DBO₅ y DQO del agua residual de la Planta de Poscosecha de la EAP.

Con respecto a los Sólidos Totales (ST) se encontró un promedio de 304 mg/L, cumpliendo la normativa técnica en todos los muestreos. En el caso de sólidos totales volátiles se reportó un promedio de 193 mg/L y de sólidos suspendidos totales 84 mg/L, ambos parámetros no están considerados en la norma técnica. Sin embargo, los sólidos suspendidos volátiles reportan un promedio de 16 mg/L, cumpliendo la normativa que tiene un límite de 100 mg/L. Los sólidos sedimentables reportaron un promedio de 0.78 mg/L cumpliendo la normativa en 96%, y se reportaron valores de 1.30 mg/L que deben ser regulados (Figura 10).

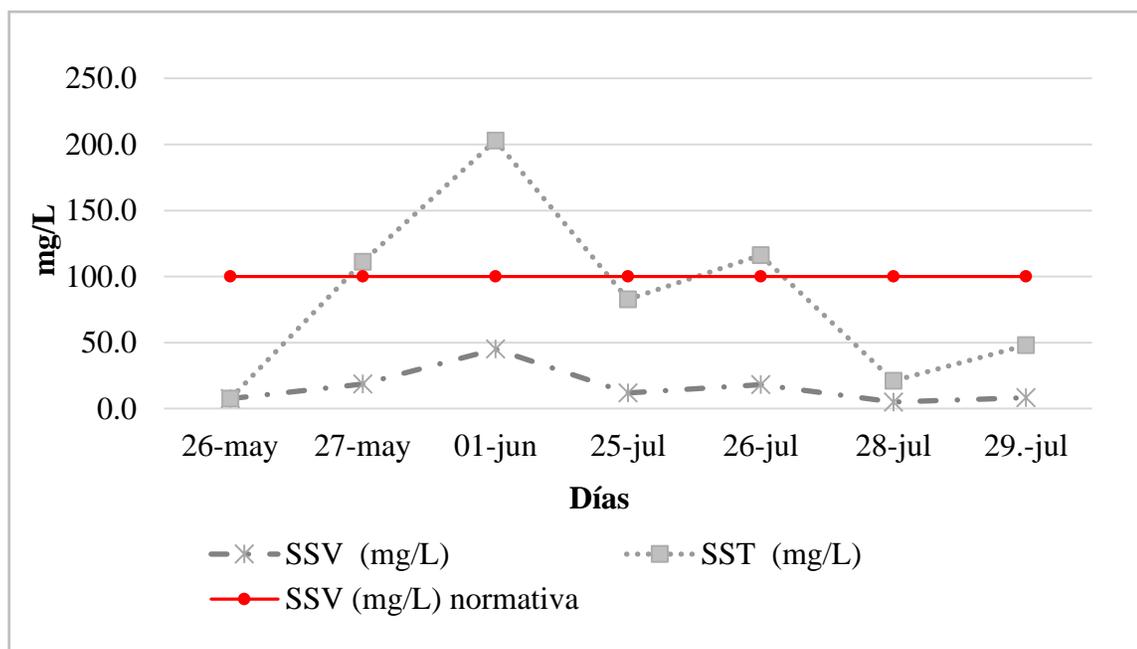


Figura 10. Resultados de Sólidos del agua residual Planta de Poscosecha, Zamorano.

Con respecto al parámetro de fósforo total se reportó un promedio de 1.04 mg/L y valores máximos de 3.02 mg/L, cumpliendo la normativa técnica que establece un límite de 5 mg/L (SSH, 1997). Para el parámetro de nitrógeno total la normativa establece un máximo de 30 mg/L, sin embargo, todos los valores reportados cumplen la legislación con un promedio de 1.04 mg/L (Figura 11).

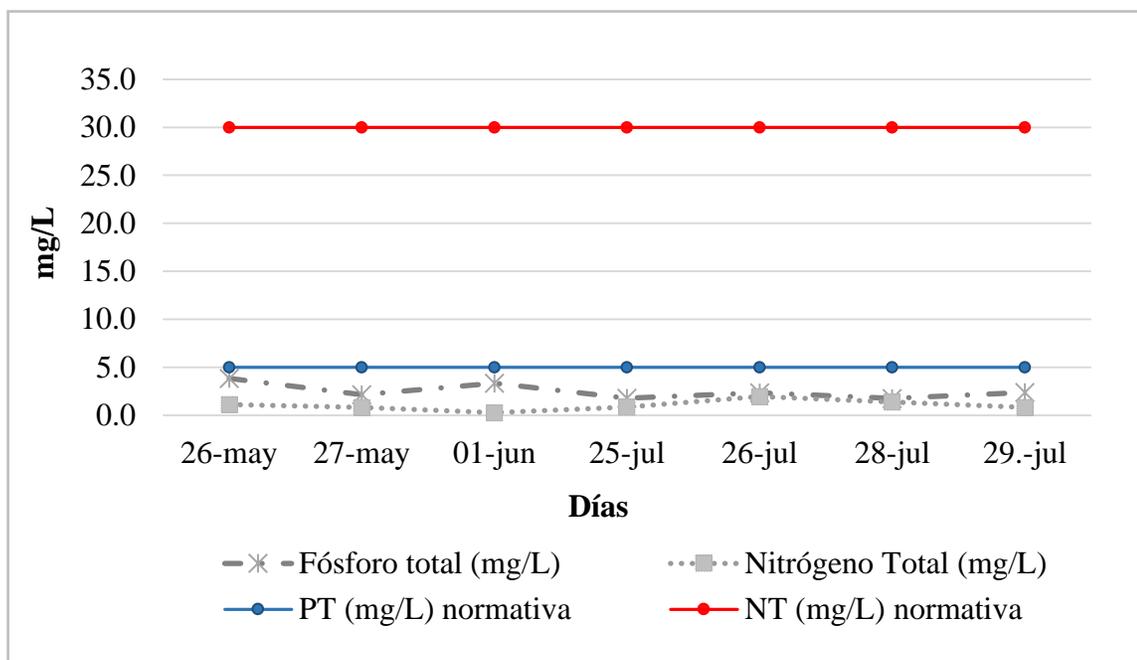


Figura 11. Resultados de fósforo y nitrógeno total de aguas residuales de la planta de poscosecha, Zamorano.

En el caso de la conductividad eléctrica se reportó un promedio de 257.59 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cumpliendo en 100% con la normativa que establece un máximo de 3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Respecto al parámetro de nitratos reportó un promedio de 0.63 mg/L y un máximo de 0.07 mg/L.

Cuadro 5. Resultados de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas residuales de la Planta de Poscosecha de la EAP.

| Parámetros | Unid. | Rango | Promedio | Límite de descarga |
|--------------------------|-------------------------|----------------|---------------------|--------------------|
| pH ^z | - | 2.45 - 7.00 | 4.99 \pm 2.00 | 6.0 - 9.0 |
| Temperatura ^z | °C | 24.40 - 27.80 | 26.37 \pm 1.32 | < 25.00 |
| Conductividad | $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 81.00 - 559.00 | 257.59 \pm 215.24 | 3 000 |
| STD | mg/L | 58.00 - 397.00 | 174.00 \pm 145.51 | ND |
| Sólido Total | mg/L | 84.00 - 802.00 | 304.00 \pm 294.04 | 1600 |
| STV | mg/L | 9.00 - 636.00 | 193.00 \pm 235.60 | ND |
| SST | mg/L | 8.00 - 203.00 | 84.00 \pm 67.13 | ND |
| SSV | mg/L | 5.00 - 45.00 | 16.00 \pm 13.67 | 100 |
| SS | ml/L/h | 0.40 - 1.30 | 0.78 \pm 0.41 | 1 |

| Parámetros | Unid. | Rango | | Promedio | | Límite de descarga |
|----------------------------|------------------------|----------|----------|------------|----------|--------------------|
| DBO | mg/L | 13.00 - | 16.00 | 16.00 ± | 1.68 | 50 |
| DQO ^z | mg/L | 265.00 - | 650.00 | 424.00 ± | 161.30 | 200 |
| Nitrógeno Total | mg/L | 0.28 - | 1.96 | 1.04 ± | 0.53 | 30 |
| Nitratos | mg/L NO ₃ | 0.01 - | 0.05 | 0.63 ± | 1.34 | ND |
| Cloruros ^z | mg/L Cl ⁻ | 3.00 - | 1,702.00 | 346.00 ± | 758.03 | 147.5 |
| Fósforo total | mg/L | 1.77 - | 3.85 | 2.52 ± | 0.79 | 5 |
| Orto fosfatos | mg/L | 0.05 - | 1.73 | 0.53 ± | 0.55 | ND |
| Fósforo ácido hidrolizable | mg/L | 1.35 - | 3.02 | 2.00 ± | 0.53 | ND |
| Sulfatos | mg/L SO ₄ | 3.00 - | 30.00 | 12.00 ± | 8.85 | 400 |
| Alcalinidad | mg/L CaCO ₃ | 8.00 - | 16.00 | 14.00 ± | 4.00 | ND |
| Coliformes totales | UFC/100 ml | 66.00 - | 4,374.00 | 1,158.00 ± | 2,143.88 | 10 000 |
| Coliformes fecales | UFC /100 ml | 3.00 - | 34.20 | 15.10 ± | 7.11 | ND |
| Turbiedad | UNT | 10.68 - | 72.00 | 41.30 ± | 25.97 | ND |
| Cloro residual | mg/L | 0.03 - | 0.30 | 0.12 ± | 0.12 | ND |

^z Parámetros por encima de la Norma Técnica Nacional para aguas residuales (SSH, 1997). DBO=Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO=Demanda Química de Oxígeno, STD= Sólidos Totales Disueltos, STV= Sólidos Totales Volátiles, SST= Sólidos Sedimentables Totales, SSV= Sólidos Sedimentables Volátiles, SS= Sólidos Sedimentables y ND= No Determinado.

Para determinar la viabilidad de reúso de los efluentes de lavandería se identifican los parámetros que superan los límites establecidos por la norma técnica de descarga de aguas residuales. Luego se evaluó la posibilidad de incorporarlo en riego de áreas verdes de acuerdo a la Normativa Técnica Nacional para agua de uso agrícola y pecuario en la Categoría B, incumpliendo los parámetros de pH y cloruros (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de calidad de las agua con la normativa para uso en riego provenientes de aguas residuales de la Planta de Poscosecha de la EAP.

| Parámetros | Unidad | Promedio | Normativa para riego | | |
|-----------------------|----------------------|----------|-----------------------|-----------|----------|
| | | | SSH Categoría B | EPA | FAO |
| pH ^a | - | 4 | 6.0 – 9.0 | 6 | 6.5 -8.4 |
| Conductividad | μS/ cm | 257 | 3 000 | ND | ND |
| STD | mg/L | 174 | 2 000 | 500 -2000 | 450-2000 |
| ST | mg/L | 304 | ND | ND | < 600 |
| SST | mg/L | 84 | >100 | ND | 50-100 |
| DBO | mg/L | 16 | ND | 1200 | ND |
| DQO | mg/L | 424 | ND | ND | 30-1120 |
| NT | mg/L | 1 | ND | ND | 5-30 |
| Nitratos | mg/L NO ₃ | 0 | 50 [#] | 100 | ND |
| Cloruros ^a | mg/L Cl ⁻ | 346 | 147.5 | ND | ND |
| Fósforo total | mg/L | 2 | ND | ND | ND |
| Sulfatos | mg/L SO ₄ | 12 | 400 [#] | ND | ND |
| Coliformes totales | UFC/100 ml | 1158 | 10 000 | ND | ND |
| Turbiedad | UNT | 41 | ND | ND | ND |

Fuente: SSH (2001), US. EPA (2004) y FAO (1984).

^a Parámetros por encima de la Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola y pecuario en la Categoría B

[#] Norma Técnica Nacional para agua de uso en abastecimiento de poblaciones.

ND= No determinado

Los efluentes de la Planta de Poscosecha de la EAP poseen un promedio de pH de 5, siendo este recurso aceptable para el riego de áreas verdes. Para reducir altas cantidades de materia orgánica se sugiere implementar un tratamiento primario que ayude a filtrar estos elementos. Este efluente si puede ser aprovechado para riego de áreas verdes y para el lavado de carros. Se dispondría martes y miércoles de un aproximado de 21 m³ de agua residual mientras que en los otros días, disponiendo un promedio de 10 m³.

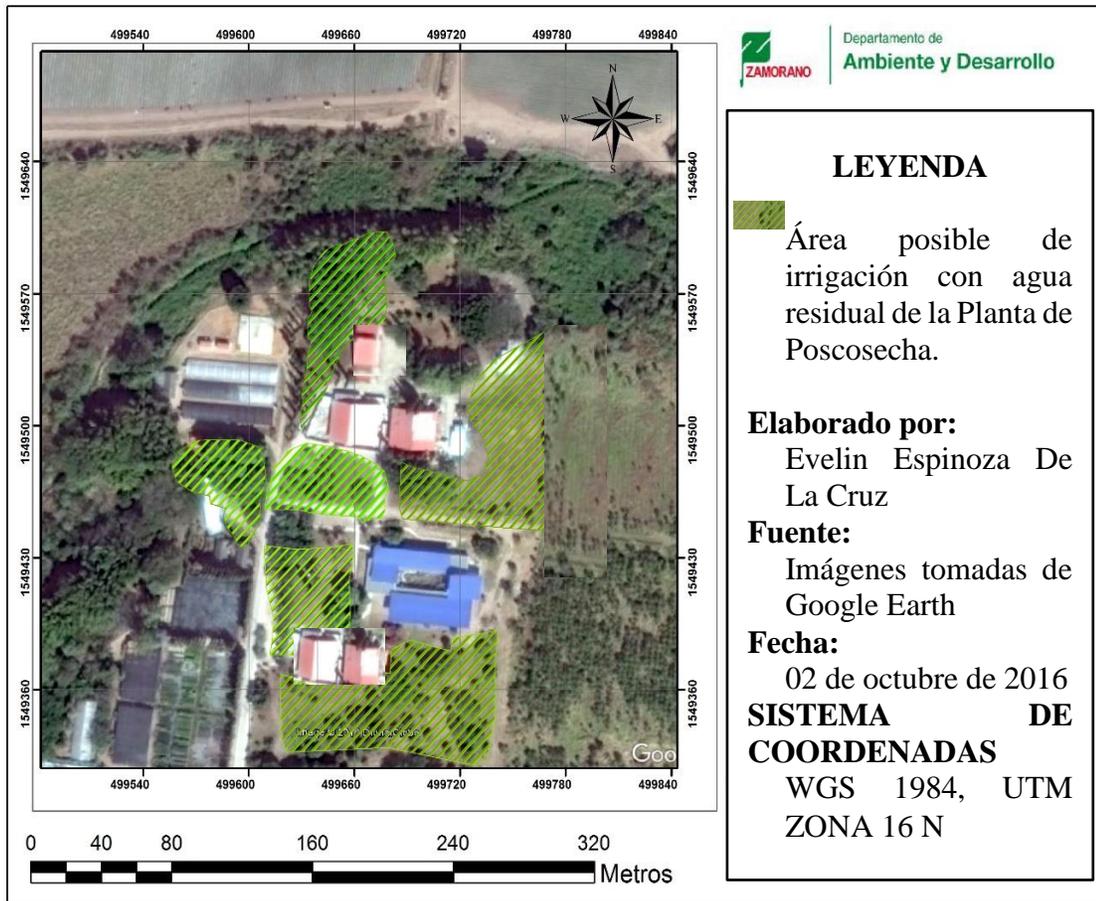


Figura 12. Mapa de áreas verdes potenciales a ser regados con agua residual de la Planta de Pos cosecha de Pos cosecha de la EAP, Zamorano.

4. CONCLUSIONES

- El efluente de la lavandería de la EAP, Zamorano es en parámetros altamente variable a lo largo de la semana y se identificaron diferencias marcadas en parámetros tales como DQO, coliformes fecales y pH dependiendo del tipo de ropa lavada. Esto identificó que la mayor alteración del agua ocurre por los detergentes y desengrasantes utilizados. En cambio, el efluente de la Planta de Poscosecha mostró un comportamiento constante generando aproximadamente 10 m³ de efluentes para ser tratados.
- Los parámetros que incumplen la normativa técnica de descarga de aguas residuales en la lavandería son: pH, temperatura, DBO, DQO y Sulfatos. En el caso de la Planta de Poscosecha fueron pH, temperatura, DQO y cloruros. Además, bajo la norma nacional para uso de agua agrícola y pecuario, los efluentes de la lavandería se incumplen los parámetros de pH y sólidos totales. En la Planta de Poscosecha se incumplen los parámetros de pH y cloruros.
- En ambos lugares estudiados es posible el aprovechamiento directo para riego de áreas verdes y para dar cumplimiento a la normativa se sugiere que en la lavandería cambio de químicos empleados o modificar las formulaciones, esto por ser la principal causa que altera la composición del efluente. En el caso de la Planta de Poscosecha es necesario una trampa de filtro y un separador de sólidos, esto debido a la abundancia de materia orgánica descartada.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio complementario evaluando parámetros y determinando presencia de metales pesados en las aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha. Esto ayudará en la toma de decisiones al momento de implementar nuevos tratamientos.
- Realizar un estudio que analice las características fisicoquímicas de los suelos que serán regados con estas aguas residuales. A si también evaluar la actividad microbiana y los metales disponibles en las potencias a regar.
- Proponer alternativas de tratamiento y evaluar la efectividad de regar con aguas residuales en diferentes cultivos: pastos, frutales, ornamentales y leguminosas, con el fin de reutilizar este recurso.
- La EAP, Zamorano puede implementar uniformes para módulos y clases, diferenciándose por color, con el fin de tener una mejor clasificación en la lavandería. Esto ayudará a que los uniformes de módulo tengan la formulación adecuada de químicos y reducirá la cantidad de pH de los efluentes.
- Se debe medir semanalmente se deben medir los parámetros de pH, temperatura, DBO, DQO, sólido total, nitrógeno y fósforo total, esto se puede en coordinación con Planta Física para un mejor control de los químicos empleados en el proceso lavado en lavandería.

6. LITERATURA CITADA

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (1997). Office of Compliance Sector Notebook, Project: profile of the Textile Industry.
- American Public Health Association (2012). Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Organization. Washington, EUA, p. 1360.
- Clemente, J. (2008). Aplicación de procesos de oxidación avanzada (Fotocatálisis solar) para el tratamiento y reutilización de efluentes textiles (Licenciatura). Universidad Politécnica de Valencia, p.198.
- Dassan, K., Montanhez, E., Ide, C., Barbosa, E., de Sousa Correa, J., Campos, M., y de Lima, (2015). Avaliação das condições ótimas para tratamento físico-químico de efluente de lavandería. *Seguridad Hídrica y Desarrollo Sustentable*, p.7.
- de Souza, F., Areas, S, y Pertel, M. (2014). Análise da viabilidade técnica de reutilização do efluente de uma lavanderia industrial. *Exatas y Engenharia*, 3(07).
- Dodds, W. y Smith, V. (2016). Nitrogen, phosphorus, and autrophication in streams. *Inland Waters*, 6(2), 155-164.
- Espinoza, V., Castillo, R., y Rovira, D. (2014). Parámetros físico-químicos y microbiológicos como indicadores de la calidad de las aguas de la subcuenca baja del Río David, Provincia de Chiriquí, Panamá.
- Feitosa, A., Berwanger, L. y Hilgemann, M. (2015). Análise de efluentes de uma lavanderia universitária. *Exatas y Engenharia*, 5(11).
- Galeano-Sánchez y Osorio-González (2008). Evaluación de la biodegradación como alternativa para el tratamiento de aguas residuales de una tintorería y lavandería. *Proyectos de grado. Artículos*, 96.
- Gamboa-López, E. (2015). Evaluación de la calidad de aguas residuales producidas por la lavadora y tinturadora de jeans “Tintex River” y su reutilización para el riego de cultivos en la parroquia La Matriz del cantón Pelileo de la provincia del Tungurahua
- Gómez, E. (2011). El reuso de aguas residuales para riego en un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) una alternativa ambiental y productiva. *La Calera*, 7(8), 22-26.

- Hoag, L. (2008). Reuso de agua em hospitais: o caso do hospital “Santa Casa de Misericórdia de Itajubá”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá.
- Kist, L., Machado, E., Albrecht, C. y Weide, M. (2006). Gerenciamento e aplicação do método fenton para tratamento de efluente de lavanderia hospitalar. AIDIS; Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sección Uruguay. Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio. Montevideo, AIDIS, p 1-7.
- López, C., Moreira, M., Feijoo, G. y Lema, J. (2007). Tecnologías para el tratamiento de efluentes de industrias textiles. *Afinidad*, 64(531), 561-573.
- Lorenzo, E., Ocaña, J., Fernández, L. y Venta, M. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 40(1).
- Machado, Ê., Lutterbeck, C., de Oliveira Schwaickhardt, R., Straatmann, A., Kern, D., Zerwes, F. y Lobo, E. (2012). Eletrooxidação no tratamento de efluentes de lavanderia hospitalar. *Caderno de Pesquisa*, 24(1), 35-46.
- Manual de Análisis de agua. (2004). Manual de Análisis de Agua. Colorimeter SR/890. HACH Company. Colorado, EUA.
- Mansilla, H., Lizama, C., Gutarra, A. y Rodríguez, J. (2001). Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil. *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*, 2(2), 286-294.
- Mateos, M., Fouz, B. y Serra, M. (2000). Medioambiente y poscosecha. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socio economía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (145), 48 – 54.
- Nelson, L. y Dasgupta, A. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. *Ingeniería Medioambiental*. (Vol. 3). Ediciones Díaz de Santos.
- O’Neil, C., Hawkes, Freda R., Hawkes, Dennis L., Lourenco, Nidia D., Pinheiro, Helena M. y Delée, Wouter. (1999). Colour in textile effluents-sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 74(11), 1009-1018.
- Olivera-Santos, E. (2006). Caracterización, biodegradabilidad y tratamiento de un efluente de lavandería industrial.
- Organización de las naciones Unidas para la Educación. (2006). El agua una responsabilidad compartida. 2do. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Resumen Ejecutivo

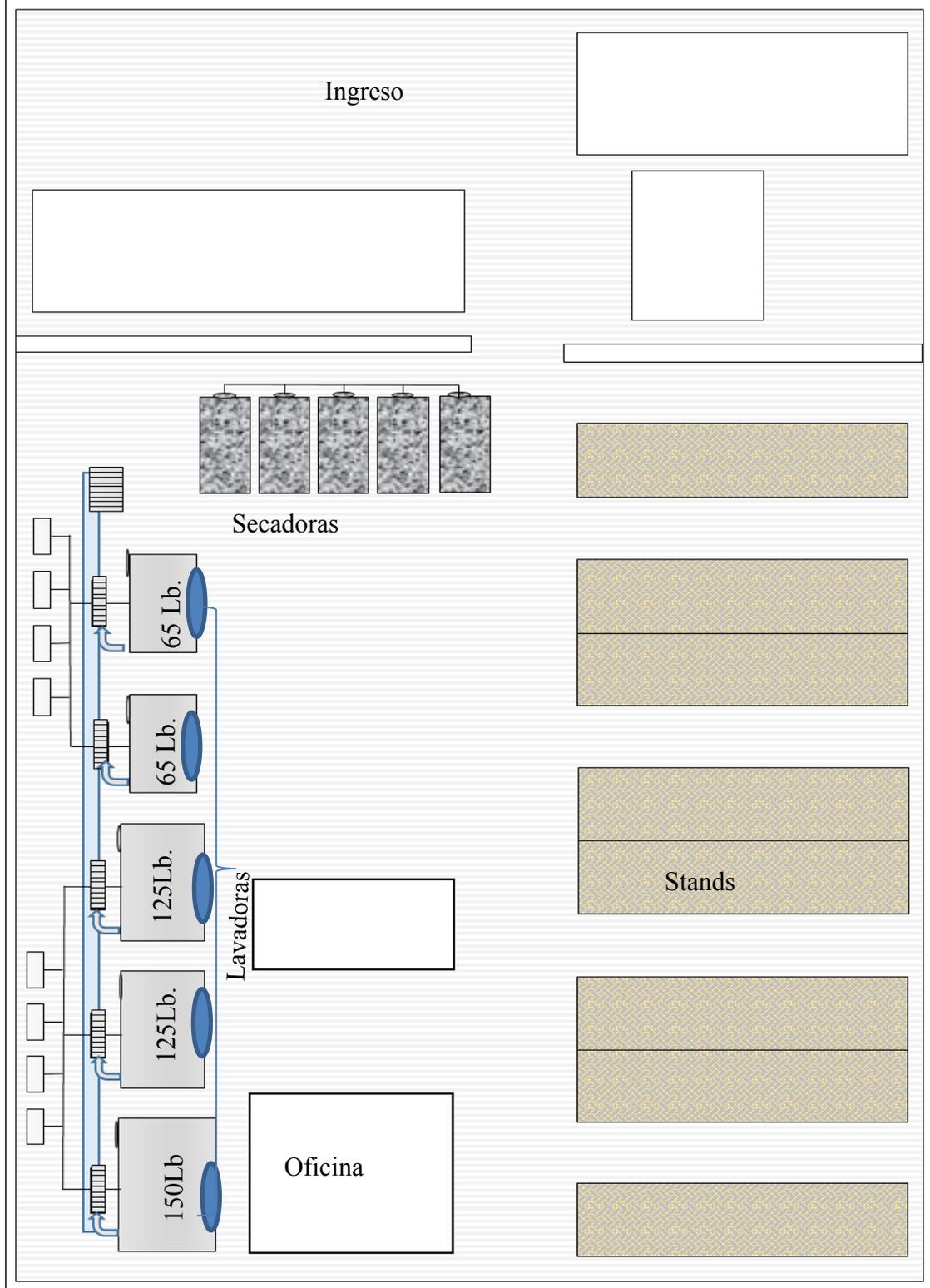
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Implementación de mejoras para la calidad del agua y la protección de servicios ecosistémicos. Recuperado de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/pdf/04%20risk_water_quality_esp_web.pdf
- Palomino J., Gabino J., Anselmo E., Torres L. y Paz J. (2015). La caracterización y disposición final del efluente en el diseño a nivel piloto de un proceso de tratamiento de vertimientos de lavanderías, distrito Huacho, Perú. *Big bang faustiniano*, 3(4).
- Paredes-Salán, M. (2013). Diseño de la planta de tratamiento para aguas residuales de la lavandería y tintorería Jav-TEX del Cantón Pelileo. (Tesis de grado). p. 165.
- Pavas, E. (2005). Oxidación fotocatalítica de aguas residuales de la industria de lavandería utilizando TiO₂ como catalizador y luz UV1. *Ingeniería y Ciencia. Ing. Cienc.*, 1(2), 25-40.
- Pescod, M. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. P. 165.
- Pütz, P. (2009). Eliminación y determinación de fosfato. Interempresas. *Industria química*, (31), 48-49.
- Romero J. (2004). Tratamiento de aguas residuales, editorial escuela colombiana de ingeniería. p. 223–283.
- Rojas, C., Wetter, C., Veloso, G., García, M., Bedregal C., Robayo C. y García C. (1994). Informe técnico sobre la minimización de residuos textiles. In *Informe técnico sobre la minimización de residuos textiles*. CEPIS. p. 69.
- Rutkowski, T., Raschid, S. y Buechler, S. (2007). Wastewater irrigation in the developing world—two case studies from the Kathmandu Valley in Nepal. *Agricultural Water Management*, 88(1), 83-91.
- Secretaría de Salud Honduras. 1997. Normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario. Tegucigalpa, Honduras. 8p.
- Secretaría de Salud de Honduras. 2001. Norma técnica nacional para agua. Tegucigalpa, Honduras. 15p.
- Silva, J., Torres, P. y Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359.
- Zagonel, J. (2016). Avaliação da eficiência da estação de tratamento de águas residuárias de uma lavanderia de jeans. *Revista de Engenharia Civil IMED*, 2(3), 5-14.

Zamora-Frank, Rodríguez-Nectali, Torres-Duilio, y Yendis-Héctor. (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón. *Bioagro*, 20(3), 193-199.

Zamora-Frank, Rodríguez-Nectali, Torres-Duilio, y Yendis-Héctor. (2009). Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. *Agricultura técnica en México*, 35(2), 211-218.

Zhen, Wu, (2009). Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consume humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guamacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008 (Doctoral dissertation, Tesis Mag. Sc. San José, Costa Rica, Universidad Nacional de Educación a Distancia [UNED]).

Anexo 2. Plano de la lavandería de la EAP.



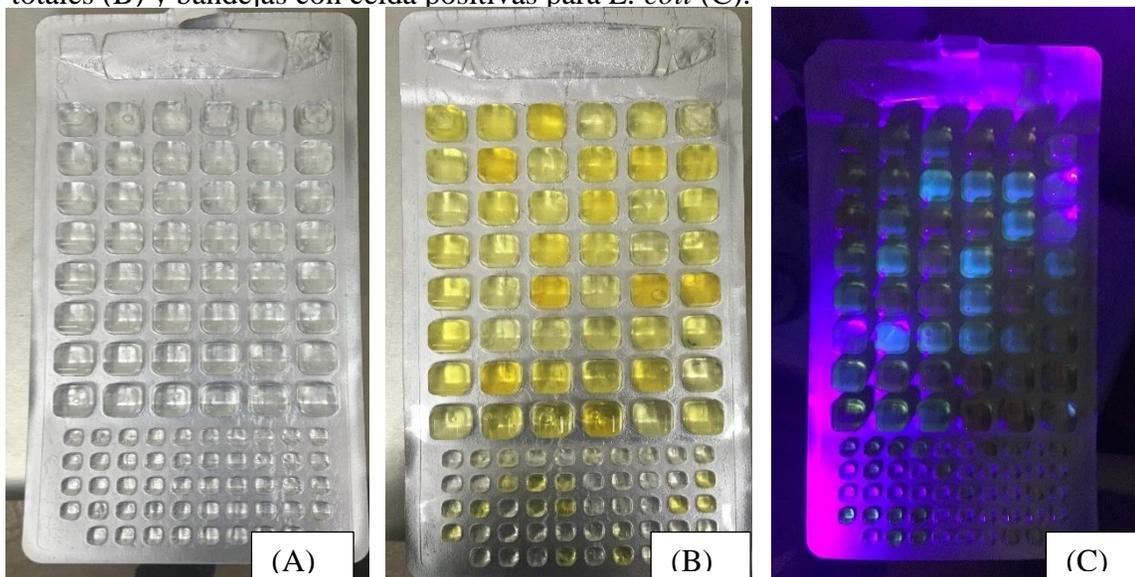
Anexo 3. Lugar de muestreo de aguas residuales de la lavandería de la EAP.



Anexo 4. Lugar de muestreo de aguas residuales de la Planta de Poscosecha de la EAP.



Anexo 5. Bandeja Qtynty-Tray 2000 (A), bandejas con celdas positivas para coliformes totales (B) y bandejas con celda positivas para *E. coli* (C).



Anexo 6. Parámetro evaluado antes de 24 horas, de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP.

| ID | Fecha | pH | Temperatura (°C) | Conductividad (Us) | STD | pH modificado | Cl residual (ppm) |
|-----------|--------------|-----------|-----------------------------|-------------------------------|------------|--------------------------|----------------------------------|
| 16,090 | 25-jul | 10.59 | 25.20 | 930.0 | 660 | 7.34 | 0 |
| 16,093 | 26-jul | 11.60 | 25.60 | 1,985.0 | 140 | 7.03 | 0 |
| 16,097 | 28-jul | 11.53 | 24.53 | 1,238.0 | 877 | 7.84 | 0.03 |
| 16,099 | 29-jul | 9.28 | 26.00 | 547.0 | 388 | 7.74 | 0 |
| 16,089 | 25-jul | 6.48 | 25.60 | 94.6 | 66 | 7.03 | 0.07 |
| 16,092 | 26-jul | 7.00 | 26.10 | 89.7 | 63 | 7.00 | 0.03 |
| 16,096 | 28-jul | 6.16 | 24.40 | 81.7 | 58 | 7.34 | 0.07 |
| 16,098 | 29-jul | 6.65 | 25.50 | 81.1 | 57 | 7.56 | 0.03 |

Anexo 7. Parámetro de nitrógeno total de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP.

| Lugar | ID | Nitrógeno Total (mg/L) |
|--------------|-----------|-----------------------------------|
| Lavandería | 16,090 | 19.60 |
| | 16,093 | 14.56 |
| | 16,097 | 13.44 |
| | 16,099 | 17.92 |
| | 16,089 | 0.87 |
| Poscosecha | 16,092 | 1.96 |
| | 16,096 | 1.40 |
| | 16,098 | 0.84 |
| Blanco | - | 0 |

Anexo 8. Parámetro evaluado de DBO y DBO₅ de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP.

| ID | Fecha | Dilución | (mg/L) OD inicial | (mg/L) OD final | (mg/L) DBO ₅ |
|--------|--------|----------|-------------------------|--------------------|----------------------------|
| 16,090 | 25-jul | 10/300 | 11.50 | 5.60 | 885. 00 |
| | | 20/300 | 11.90 | 3.90 | 600. 00 |
| | | 50/300 | 12.20 | 0.20 | 360. 00 |
| 16,093 | 26-jul | 10/300 | 12.20 | 4.80 | 1,110. 00 |
| | | 20/300 | 12.70 | 3.70 | 675. 00 |
| | | 50/300 | 14.00 | 1.30 | 381. 00 |
| 16,097 | 28-jul | 10/300 | 11.60 | 7.10 | 675. 00 |
| | | 20/300 | 11.90 | 5.90 | 450. 00 |
| | | 50/300 | 12.00 | 6.10 | 177. 00 |
| 16,099 | 29-jul | 10/300 | 10.60 | 3.70 | 1,035. 00 |
| | | 20/300 | 11.00 | 0.80 | 765. 00 |
| | | 50/300 | 10.90 | 0.40 | 315. 00 |
| 16,089 | 25-jul | DIRECTA | 11.30 | 0.20 | 11. 10 |
| | | 150/300 | 11.60 | 0.70 | 21. 80 |
| | | 10/300 | 11.00 | 5.20 | 174. 00 |
| 16,092 | 26-jul | DIRECTA | 11.70 | 0.60 | 11. 10 |
| | | 150/300 | 11.10 | 0.20 | 21. 80 |
| | | 10/300 | 11.20 | 4.40 | 204. 00 |
| 16,096 | 28-jul | DIRECTA | 11.60 | 1.40 | 10. 20 |
| | | 150/300 | 11.00 | 3.00 | 16. 00 |
| | | 10/300 | 11.30 | 6.10 | 156. 00 |
| 16,098 | 29-jul | DIRECTA | 10.80 | 0.10 | 10. 70 |
| | | 150/300 | 11.20 | 0.10 | 22. 20 |
| | | 10/300 | 10.90 | 5.70 | 156. 00 |

Anexo 9. Parámetro de sólidos totales y sólidos totales volátiles de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP.

| ID | ST ppm (mg/L) | Promedio ST(ppm) | STV (ppm) | Promedio STV (ppm) | SV(%) ST |
|-----------|--------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|
| 16,090 | 1,400.00 | 1,174.44 | 943.33 | 762.22 | 67.38 |
| | 740.00 | | 433.33 | | 58.56 |
| | 1,383.33 | | 910.00 | | 65.78 |
| 16,093 | 1,166.67 | 974.44 | 593.33 | 438.89 | 50.86 |
| | 903.33 | | 363.33 | | 40.22 |
| | 853.33 | | 360.00 | | 42.19 |
| 16,097 | 940.00 | 900.00 | 513.33 | 452.22 | 54.61 |
| | 886.67 | | 440.00 | | 49.62 |
| | 873.33 | | 403.33 | | 46.18 |
| 16,099 | 1,696.67 | 1,698.33 | 1,400.00 | 1,391.67 | 82.51 |
| | 1,700.00 | | 1,383.33 | | 81.37 |
| 16,089 | 139.67 | 112.11 | 10.00 | 8.89 | 7.16 |
| | 76.67 | | 6.67 | | 8.70 |
| | 120.00 | | 10.00 | | 8.33 |
| 16,092 | 143.33 | 121.11 | 16.67 | 28.89 | 11.63 |
| | 163.33 | | 46.67 | | 28.57 |
| | 56.67 | | 23.33 | | 41.18 |
| 16,096 | 66.67 | 84.44 | 36.67 | 40.00 | 55.00 |
| | 83.33 | | 36.67 | | 44.00 |
| | 103.33 | | 46.67 | | 45.16 |
| 16,098 | 93.33 | 90.00 | 26.67 | 53.33 | 28.57 |
| | 130.00 | | 83.33 | | 64.10 |
| | 46.67 | | 50.00 | | 107.14 |

Anexo 10. Parámetro evaluado de Sólidos Sedimentados Totales y Sólidos Sedimentados Volátiles de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP.

| ID | STS (ppm) | Promedio STS (ppm) | SSF (ppm) | Promedio SSF (ppm) |
|-----------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| 16,090 | 194.12 | 193.73 | 58.82 | 62.75 |
| | 193.33 | | 66.67 | |
| 16,093 | 64.71 | 54.85 | 23.53 | 21.76 |
| | 45.00 | | 20.00 | |
| 16,097 | 52.63 | 55.26 | 26.32 | 28.95 |
| | 57.89 | | 31.58 | |
| 16,099 | 263.64 | 235.66 | 90.91 | 110.84 |
| | 207.69 | | 130.77 | |
| 16,089 | 80.56 | 82.78 | 13.89 | 11.94 |
| | 85.00 | | 10.00 | |
| 16,092 | 106.67 | 116.24 | 23.33 | 18.12 |
| | 125.81 | | 12.90 | |
| 16,096 | 14.00 | 21.00 | 4.00 | 5.00 |
| | 28.00 | | 6.00 | |
| 16,098 | 46.15 | 48.08 | 7.69 | 8.26 |
| | 50.00 | | 8.82 | |

Anexo 11. Parámetro evaluado de nitratos de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP.

| ID | NITRATOS (NO₃) | |
|-----------|----------------------------------|-------------|
| | pH | mg/L |
| 16,090 | 7.16 | 0.06 |
| 16,093 | 7.12 | 0.13 |
| 16,097 | 7.12 | 0.07 |
| 16,099 | 7.04 | 0.01 |
| 16,089 | 7.04 | 0.01 |
| 16,092 | 7.2 | 0.04 |
| 16,096 | 7.91 | 0.02 |
| 16,098 | 7.3 | 0.05 |

Anexo 12. Parámetro evaluado de coliformes totales de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP

| Lugar | ID | Dilución | Grande positivo | Pequeño positivo | MNP 95% Confiabilidad |
|--------------|--------|----------|-----------------|------------------|-----------------------|
| Lavandería | 16,090 | 1:10 | 1 | 32 | 339.70 |
| | 16,093 | directa | 49 | 48 | 2419.60 |
| | 16,097 | 1:10 | 0 | 0 | < 10.00 |
| | 16,099 | directa | 0 | 30 | 30.50 |
| Post cosecha | 16,089 | 1:100 | 0 | 1 | 99.00 |
| | 16,092 | directa | 9 | 48 | 65.80 |
| | 16,096 | 1:100 | 45 | 48 | 4373.70 |
| | 16,098 | 1:100 | 4 | 5 | 93.30 |

Anexo 13. Parámetro de turbidez de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP

| Lugar | ID | Turbidez (NTU) |
|--------------|--------|----------------|
| Lavandería | 16,090 | 151 |
| | 16,093 | 172 |
| | 16,097 | 103 |
| | 16,099 | 138 |
| | 16,089 | 72 |
| Post cosecha | 16,092 | 49 |
| | 16,096 | 10 |
| | 16,098 | 32 |

Anexo 14. Parámetro evaluado de fósforo total, fosfato, fósforo ácido hidrolizable y sulfatos de aguas residuales de la lavandería y la Planta de Poscosecha de la EAP.

| ID | Fósforo total (mg/L) | Fosfato PO ₄ (mg/L) | Fósforo ácido hidrolizable (mg/L) | Sulfatos SO ₄ (mg/L) |
|--------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 16,090 | 4.00 | 2.04 | 1.96 | 29 |
| 16,093 | 4.15 | 1.68 | 2.47 | 45 |
| 16,097 | 2.55 | 1.12 | 1.43 | 29 |
| 16,099 | 3.10 | 1.28 | 1.82 | 14 |
| 16,089 | 1.80 | 0.24 | 1.56 | 8 |
| 16,092 | 2.34 | 0.42 | 1.92 | 9 |
| 16,096 | 1.77 | 0.42 | 1.35 | 3 |
| 16,098 | 2.40 | 0.50 | 1.90 | 6 |