

# **Caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera Tres Valles, en Honduras**

**Kirverlin Francisca Valera Bello**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO  
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera Tres Valles, en Honduras**

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

**Kirverlin Francisca Valera Bello**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2016

# Caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera Tres Valles, en Honduras

Kirverlin Francisca Valera Bello

**Resumen.** La industria azucarera es uno de los rubros más demandantes de recursos hídricos, puesto que la caña (*Saccharum officinarum*), materia prima en la elaboración de azúcar, lo requiere en su ciclo de cultivo y su procesamiento; esto genera grandes cantidades de aguas residuales. Con el objetivo de proponer alternativas eficientes para su uso, se realizó una caracterización fisicoquímica de siete efluentes del ingenio Tres Valles. Se evaluó la temperatura, pH, turbidez, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV). Al finalizar la caracterización los promedios de cada parámetro fueron comparados con la normativa de Honduras. Temperatura y DQO exceden el valor máximo permisible; con valores mínimos encontrados de 30°C y 433 mg/L respectivamente, siendo 25°C y 200 mg/L lo máximo permisible. Una correlación de Pearson se utilizó para identificar relaciones entre parámetros regulados por ley (Temperatura, pH y DQO). Se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales el cual mostró una separación clara de parámetros, siendo ST, SV y DQO los que generaron la mayor variación en los muestreos. Seguidamente se aplicó el test de Mann Whitney para comparar los procesos de Precipitador y Scrouber obteniendo diferencias significativas solamente en temperatura y pH. Se concluyó que el tratamiento de lodos activados es una de las alternativas más eficientes para depurar estas aguas residuales y que los efluentes comparados presentan pocas diferencias entre sí a pesar de ser aguas residuales provenientes de tecnologías diferentes para descontaminación atmosférica por combustión.

**Palabras clave:** Conductividad eléctrica, DQO, ST, STD, zafra.

**Abstract.** The sugar industry is one of the most demanding areas of water resources, since the cane (*Saccharum officinarum*), a raw material in sugar processing, and required water in their growing cycle and thus generates large quantities of wastewater. A physico-chemical characterization was done in seven effluents from the sugar agroindustry, Tres Valles, to propose alternatives for use of these wastewater. The parameters temperature, pH, turbidity, total dissolved solids, electrical conductivity, Chemical Oxygen Demand (COD), total solids (TS) and volatile solids (VS) were evaluated. After the characterization of each parameter, averages were compared with the rules of Honduras. Temperature and COD exceed the maximum allowable value; with minimum values found of 30 °C and 433 mg/L respectively, 25 °C and 200 mg/L the maximum allowable. A Pearson correlation was used to identify relationships between regulated by law parameters (temperature, pH and COD). Conducted a Principal Component Analysis which showed a clear separation of parameters, being ST, SV and COD which generated the greatest variation in the samples. Then Mann Whitney test was applied to compare processes Precipitator and Scrouber, obtaining significant differences only in temperature and pH. It was concluded that the activated sludge treatment is one of the most efficient ways to treat wastewater and that enterprise alternatives and effluents have few differences compared with each other despite being wastewater from different decontamination technologies for combustion air.

**Key words:** COD, electrical conductivity, TDS, TS, zafra.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>21</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>22</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>23</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>27</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Resumen de métodos utilizados para la medición de parámetros .....	4
2. Comparación de parámetro temperatura con la normativa vigente en honduras .	6
3. Comparación de parámetro pH con la normativa vigente en Honduras.....	7
4. Comparación de parámetro DQO con la normativa vigente en Honduras.....	9
5. Correlaciones bivariantes entre parámetros evaluados.....	10
6. PCA, Correlación de los parámetros de todos los efluentes evaluados.....	11

Figuras	Página
1. Diagrama del flujo de proceso para la elaboración de azúcar .....	5
2. PCA, correlaciones entre parámetros evaluados .....	6

Anexos	Página
1. Diagrama de caja para el parámetro turbidez. Normalidad de los parámetros.....	27
2. Diagrama de caja para el parámetro sólidos totales disueltos. ....	28
3. Diagrama de caja para el parámetro conductividad eléctrica .....	28
4. Diagrama de caja para el parámetro ST. Normalidad de los datos.....	29
5. Diagrama de caja para el parámetro SV. Normalidad de los datos .....	29
6. Cuadro resumen del parámetro turbidez.....	30
7. Cuadro resumen del parámetro STD .....	30
8. Cuadro resumen del parámetro conductividad eléctrica .....	31
9. Cuadro resumen de valores para el parámetro sólidos totales .....	31
10. Cuadro resumen de los valores encontrados para el parámetro sólidos volátiles.	32

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso consuntivo del agua ha aumentado en los últimos años debido a la demanda creciente de alimentos por parte de una población que crece exponencialmente. Con el aumento de la demanda, también crece la explotación del recurso hídrico (Pérez, 2011). Dicha explotación supone un deterioro ambiental y agotamiento de fuentes, a lo que se suma la contaminación hídrica causada por las aguas residuales descargadas a cuerpos receptores sin tratamientos previos.

Los efluentes o aguas residuales son aquellas cuyas características normales han sido modificadas por algún proceso que incluyó su uso, de modo que su calidad se ha degradado en alguna medida. Dichas modificaciones suponen la presencia de contaminantes de distintos estados fisicoquímicos y que representan daños ambientales potenciales. Estos contaminantes pueden ser biológicos, orgánicos o químicos. Por ende previo a su descarga en los ríos deben recibir algún tipo de tratamiento (Pérez y Aguilera, 2004).

La agroindustria es uno de los sectores que más demanda recursos hídricos porque tiene trazabilidad en su producción, lo que quiere decir que el consumo del recurso va desde la producción de los cultivos en campo, su modificación en la industria y su comercialización. El sector cañicultor es uno de esos usuarios intensivos del agua. Este recurso abastece todos los procesos productivos y también como cuerpo receptor de las aguas residuales al final de los procesos de modificación de la caña (Pérez, 2011).

Los procesos agroindustriales se caracterizan por producir grandes cantidades de aguas residuales (CNP+LH, 2009). Por cada kilogramo de azúcar comercial producida se utilizan 500 L de agua y para la etapa de condensación 50 L de agua para producir 1 kg de condensado. Esto indica que para una planta mediana se consume normalmente alrededor de 756 m<sup>3</sup> de agua por hora (Viracucha, 2012). Considerando los altos volúmenes de aguas residuales que se producen, la caracterización de las mismas permite cuantificar y evaluar su impacto ambiental y facilita el proceso de proponer alternativas para tratarlas según su naturaleza (Pérez y Aguilera, 2004).

Estudios indican que el 85% de los residuos provenientes de las agroindustrias son líquidos y que estos generalmente son producto de las actividades de limpieza y lavado de equipos. Así como el consumo de agua durante el proceso productivo, dicha situación supone un impacto elevado ocasionado por las descargas directas a las fuentes naturales de agua. El 38% de las empresas que conformaron el estudio controlan sus efluentes líquidos por medio de plantas de tratamiento, mayormente aplicando procesos biológicos. La tecnología de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales ha sido la más utilizada, sin embargo la eficiencia de este tratamiento es dependiente de las características de las aguas residuales a tratar, esto sugiere una caracterización previa (Sánchez, Najul, Ortega y Ferrara, 2009).

Según un estudio sobre la sustentabilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera, las aguas resultantes del procesado de la caña tienen densidades entre 5 y 15 °Brix. Estas aguas contienen del 20 al 40% de compuestos inorgánicos, y que además contienen compuestos orgánicos como proteínas, sustancias nitrogenadas, ácidos orgánicos y azúcares no fermentados. También se encontraron otros contaminantes como sulfatos de fósforo, potasio y calcio en grandes cantidades. Las cantidades de descarga de estas aguas son tan elevadas que la descarga de un año de zafra equivale al de un alcantarillado sanitario que sirve a una población aproximada a 230,000 habitantes (Basanta et al., 2007).

Honduras es un país que a nivel de Latinoamérica tiene gran auge en el sector agroindustrial y los ingenios azucareros contribuyen con más de 120 millones de lempiras anuales en impuestos (CNP+LH, 2009). En ese sentido, es básico desarrollar alternativas que a largo plazo garanticen la sostenibilidad de este rubro y que a la vez mejoren su competitividad en los mercados internacionales (CNP+LH, 2009). Uno de los principales ingenios del país es “Tres Valles”, que se encarga tanto de producir como de procesar la caña de azúcar. Este ingenio busca alternativas de manejo para sus aguas residuales. Sin embargo, en Honduras no existe una normativa de descarga de aguas residuales específica para este tipo de industrias; las normas de descarga son generales y no contempla todos los parámetros de caracterización que existen. El aprovechamiento ideal es el uso de las aguas para riego, sin embargo es necesario conocer las características fisicoquímicas del agua previo a su uso.

El estudio se desarrolló con el fin de: 1) Realizar una caracterización fisicoquímica de los diferentes efluentes del ingenio azucarero Tres Valles durante la zafra para compararlos con la normativa vigente de descargas de aguas residuales, 2) comparar los efluentes de dos tratamientos para el control de cenizas de la generación de energía de la empresa y 3) sugerir alternativas potenciales de tratamiento para los efluentes evaluados en la empresa.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Ubicación.** El estudio se realizó en el Ingenio Tres Valles, el cual se encuentra ubicado en el municipio de San Juan de Flores, Departamento Francisco Morazán, Honduras. Cuenta con un área 10,000 manzanas de producción de caña. Su capacidad de procesamiento es de 4,800 toneladas de caña por día (Flores, 2016).

La planta cuenta con siete efluentes de aguas que provienen de distintas partes del procesado de la caña; tales como molinos, evaporadores de efecto, condensado de tachos, limpieza química de equipos, precipitador electrostático, agua del *scroubber* y la mezcla de todos estos efluentes (Parshall). El mecanismo utilizado por el ingenio para el manejo de esas aguas es dirigir las a una laguna sin importar las diferencias o similitudes entre ellas (Figura 1; Flores, 2016).

El estudio se realizó durante cinco semanas del período de zafra (mayo y junio) es decir de cosecha y procesamiento de la caña de azúcar. En total, la zafra tiene una duración de aproximadamente 6 meses, generalmente se realiza desde el mes de Enero a Junio. La zafra es la fase de producción con mayor demanda de recursos hídricos y con mayor producción de aguas residuales. Esto se debe a que en esta etapa se procesa la caña mientras se cosecha.



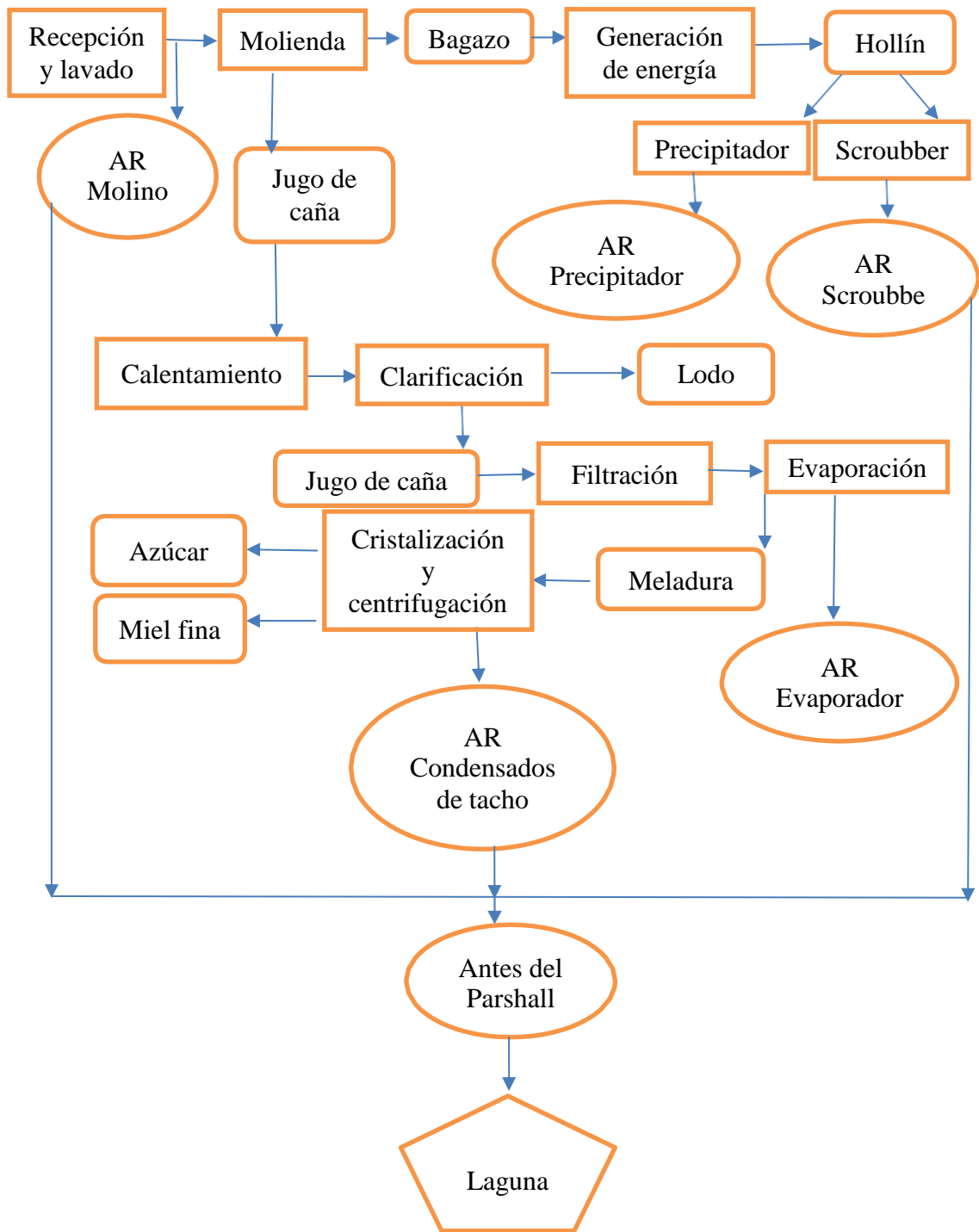


Figura 1: Diagrama de los procesos del ingenio Tres Valles. Los incisos circulares indican los puntos de toma de muestra. AR: Agua residual

**Efluentes caracterizados.** Se seleccionaron siete efluentes representativos a todas las etapas del procesamiento de la caña y de la cogeneración de energía de la planta. El efluente Molinos es el más relacionado al producto final. Los efluentes evaporador de efecto y condensado de tachos son producto de la generación de vapores utilizados en el proceso. El Precipitador electrostático y el Scroubber son efluentes del proceso de producción de energía por combustión de biomasa y la limpieza química es un efluente intermitente, adicional al proceso. A continuación la descripción detallada de cada efluente caracterizado.

**Molinos:** agua resultante del proceso de preparación de la caña. En esta etapa se pica la caña y se añade agua para prepararla para entrar en los molinos e iniciar el procesamiento. Este efluente suele tener pequeñas partículas sólidas como bagazo, piedras y residuos leñosos.

**Evaporador de efecto:** agua proveniente del proceso de evaporación. Este efluente se genera por condensación de los vapores utilizados por los tanques de efectos para reducir el jugo que se encuentra diluido y obtener la meladura.

**Condensado de tachos:** agua procedente de la condensación de los vapores usados por los tachos para convertir la meladura en una sustancia más sólida, llamada magma. Este efluente es resultado de la etapa de cristalización y centrifugación.

**Brasileña:** agua procedente del lavado de gases emitidos a la atmósfera por efecto de la combustión deficiente en la producción de energía con bagazo de caña. Este efluente es particular de la etapa de producción energética de la planta.

**Precipitador electrostático:** es un equipo utilizado para la descontaminación atmosférica por efecto de gases. El efluente es la mezcla de agua con partículas sólidas separadas de estos gases que resultan de una combustión incompleta.

**Limpieza química:** agua resultante del proceso de limpieza de equipos utilizando detergentes o sustancias químicas para depurar. El efluente es el resultado de la solución ácida o básica, utilizada para la limpieza de equipos más las partículas contenidas tratadas a una velocidad y temperatura constante.

**Parshall:** es la sumatoria de todos los efluentes de la industria. Este efluente es la mezcla de todos los efluentes de la industria. Se ubica justo antes de que el agua vaya a la laguna de tratamiento utilizada por la industria para tratar las aguas residuales.

**Recolección de muestras.** Se utilizaron recipientes de polietileno de alta densidad de un litro para la recolección de muestras, los cuales fueron previamente lavados con jabón y se enjuagaron con abundante agua, se almacenaron en un lugar fresco y seco para su uso posterior.

En promedio se realizaron cinco repeticiones por cada muestra para los análisis de pH, temperatura, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y demanda química de oxígeno (DQO). Para los análisis de sólidos totales y sólidos volátiles se realizaron 10 repeticiones (Cuadro 1). Para la recolección de muestras se introdujo la botella completamente en el efluente y se enjuagó tres veces con la muestra, luego se llenó

completamente el envase y se tapó. Este procedimiento de recolección se realizó de la misma forma para todos los efluentes durante las cinco semanas de muestreo.

Después de haber hecho la recolección el proceso se dividió en dos, las mediciones de parámetros en campo y las mediciones en el laboratorio. En campo se midieron los parámetros temperatura y pH con un termómetro y un papel tornasol, respectivamente. En laboratorio se midieron los parámetros turbidez, STD, conductividad eléctrica, DQO, ST y SV, la mayoría utilizando los métodos descritos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Cuadro 1).

### **Parámetros medidos en campo**

**Medición de pH.** El pH es una forma logarítmica de expresar la concentración molar de iones de hidrógeno. Este parámetro indica el grado de acidez o de alcalinidad de una sustancia y lo hace mediante la determinación o identificación de protones que están libres (Velázquez, Ángel y Vargas, 2009). La importancia de este parámetro radica en que el pH es una variable fundamental para la mayoría de las reacciones químicas. Además los contaminantes tienen rangos óptimos de pH que cambian sus estados y sus toxicidades.

Para medir el pH se utilizó un papel tornasol. Un beaker completamente limpio se enjuagó tres veces y se tomaron aproximadamente 100 ml de la muestra y se introdujo la cinta de papel tornasol para medir pH mediante el cambio de coloración del papel y su posterior comparación con la tabla de colores. Se anotó el número de la tabla que coincidía con los colores del papel después de haber sido introducido en el agua de la muestra.

**Medición de la temperatura.** La temperatura es un parámetro del cual dependen muchas reacciones químicas y biológicas y por lo tanto la concentración de otros parámetros. La temperatura asimismo, puede tener efecto en la solubilidad de un gas y en otros elementos tanto bióticos como abióticos (Toro, 2009). Este parámetro es de importancia en la industria azucarera debido a la naturaleza de sus procesos y el uso de temperaturas muy altas para la producción de azúcar. Para medir la temperatura se utilizó un termómetro de mercurio, que se introdujo en una porción de la muestra contenida en un beaker. Se esperó la estabilización de la columna de mercurio para tomar la lectura.

### **Parámetros medidos en el laboratorio**

**Conductividad eléctrica.** Mediante la caracterización de este parámetro se puede conocer la capacidad de una sustancia para conducir corriente (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2016). Se utilizó un multiparámetro marca PCSestr 35, para medir la conductividad eléctrica. Para eso se agitó la muestra, se colocó la mitad de la muestra en un beaker con un imán y se puso en el agitador durante dos minutos. Una vez homogenizada la muestra se introdujo el multiparámetro tomando lectura cuando la muestra se estabilizó.

**Sólidos Totales Disueltos.** Los sólidos totales disueltos (STD) son las partículas orgánicas y sales que no pueden ser retenidos por un filtro del 0.45 micras y por lo tanto se consideran disueltas (Romo, 2010). Se utilizó el multiparámetro para medir STD, siguiendo el mismo procedimiento de medición de la conductividad, pero presionando el botón “*mode*” hasta que el aparato indicara que estaba midiendo STD.

**Turbidez.** La turbidez se refiere a la dispersión y absorción de la luz de modo que esta no se proyecte en línea recta. Esto puede ser causado por la presencia de sedimentos en el agua y de otras partículas suspendidas (Romo, 2010). Para la medición de la turbidez se utilizó el método nefelométrico (APHA/AWWA/WEF, 2012).

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Se refiere a la cantidad de oxígeno que puede ser utilizado o consumido por la materia contenido en el agua que es capaz de oxidarse bajo condiciones específicas de temperatura y durante un tiempo determinado (Aguinaga, 1996) (Fernández y Curt, 2011). Para medir este parámetro se utilizó el método espectrofotométrico (APHA/AWWA/WEF, 2012).

Los sólidos totales son todo el material contenido en el agua, ya sea suspendido o disuelto. Este parámetro puede tener efectos negativos para los cuerpos receptores por su intervención en la vida acuática. Además, a nivel de industria pueden obstruir tuberías por la porción de aquellos sólidos no solubles (IDEAM, 2007). Para su medición se utilizó el método volumétrico 2540 B (APHA/AWWA/WEF, 2012).

Para realizar esta prueba se prepararon los crisoles dejándolos secar en la mufla a 600 °C. Luego de esto se dejaron llegar a temperatura ambiente en los desecadores, se pesaron y se añadió a cada crisol una alícuota de 30 ml de muestra bien mezclada. Estos se llevaron al horno a una temperatura de 105 °C, por 10 horas. Al cabo de este tiempo se sacaron las muestras del horno y se llevaron a los desecadores. Al llegar a temperatura ambiente, los crisoles fueron pesados y se anotó el peso de los crisoles más la masa seca en gramos. Para el cálculo final de los sólidos totales se utilizó la Ecuación 1.

$$SV \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(A-B)}{\text{ml(muestra)}} \times 1000 \quad [1]$$

Donde:

ST: sólidos totales (mg/L)

A: Peso de la muestra después de secarse (mg)

B: peso del crisol (mg)

**Sólidos Volátiles.** Son la porción de los sólidos capaces de entrar a una combustión, es decir la materia orgánica contenida en el agua en forma sólida. Estos pueden volatilizarse a 550 °C y generar agua y dióxido de carbono (Obregón y García, 2016). Para medir el parámetro de sólidos volátiles se utilizó el método 2540 (APHA/AWWA/WEF, 2012).

Después de haber realizado el paso de secado de las muestras para sólidos totales, los crisoles se pasaron a la mufla y esta se programó para alcanzar una temperatura de 600 °C, al llegar a esta temperatura de dejó transcurrir un tiempo de 2 a 3 horas para garantizar la volatilización de la materia orgánica. Para el cálculo final de los sólidos volátiles se utilizó la Ecuación 2.

$$SV \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(A-C)}{\text{ml(muestra)}} \times 1000 \quad [2]$$

Donde:

SV: sólidos volátiles (mg/L)

A: peso de la muestra después de secarse (mg/L)

C: peso de la muestra después de la ignición (mg)

Cuadro 1. Resumen de métodos utilizados para la medición de parámetros del estudio.

<b>Parámetro de caracterización</b>	<b>Método utilizado para evaluar</b>	<b>Aparato o equipo</b>	<b>Número de repeticiones</b>
Temperatura	Termómetro	Termómetro	5
pH	Papel tornasol	Papel tornasol	5
Turbidez	Nefelométrico	Colorímetro	5
STD	Multiparámetro	Multiparámetro (PCSTestr 35)	5
Conductividad eléctrica	Multiparámetro	Multiparámetro (PCSTestr 35)	5
DQO	Espectofotométrico	Espectofotómetro (HACH DRB 200)	5
ST	Volumétrico	Horno y mufla	10
SV	Volumétrico	Horno y mufla	10

**Análisis estadístico.** Se realizó un análisis estadístico descriptivo y diagramas de caja para conocer la variabilidad y los valores medios de los parámetros estudiados a fin de compararlos con la normativa de descarga de aguas residuales en Honduras. Se realizó una correlación bivariada de Pearson para identificar parámetros que más se relacionan entre sí y optimizar futuros monitoreos. De manera exploratoria se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) para asegurar que hubiera una separación efectiva entre los parámetros evaluados. Seguidamente se procedió a determinar la normalidad de los datos, por lo que se aplicó el test de Shapiro Wilk. Se realizó una prueba de Mann Whitney para determinar las diferencias estadísticas entre los parámetros resultantes de procesos similares en la planta. Estas diferencias significativas fueron reportadas cuando  $p < 0.05$ . Se aplicó una regresión entre las variables del estudio con mayor interdependencia. Se utilizó el programa SPSS versión 19.0 para el procesamiento de los datos.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Caracterización de efluentes.** Los resultados obtenidos al finalizar la caracterización fueron comparados con la normativa de descarga de aguas residuales en Honduras, sin embargo de los parámetros evaluados solamente existe normativa para tres de ellos, (temperatura, pH y DQO). De la etapa de caracterización en el estudio, se derivó la correlación para estimar aquellos valores que no existen en la normativa.

**Análisis de temperatura y comparación con la normativa.** La temperatura máxima aceptable es de 25 °C y la menor temperatura registrada es de 30 °C. La menor temperatura corresponde al efluente Molinos. El efluente que reportó la temperatura más alta fue el evaporador de efecto, con una temperatura de 72 °C (Cuadro 1). Esto quiere decir que todos los efluentes muestreados exceden el valor máximo permisible para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores.

Cuadro 2. Resultados de temperatura en los efluentes evaluados.

<b>Efluentes</b>	<b>Promedio</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Brasileña	57.00	55.00	61.00	2.45
Condensados de Tacho	36.00	31.90	40.00	1.79
Evaporador Efecto	63.40	45.00	72.00	10.83
Parshall	38.80	35.00	45.00	3.77
Molinos	33.80	30.00	35.00	2.04
Precipitador	39.75	36.00	42.00	2.63
Limpieza Química	52.50	50.00	55.00	30.41

El valor de la normativa de descarga de aguas residuales en Honduras para temperatura es <25°C.

La industrialización de la caña conlleva procesos que demandan altas temperaturas, puesto que el producto principal, azúcar, resulta de una condensación. Siendo así, las temperaturas promedio, mínimas y máximas registradas son normales para este tipo de agroindustria. Todos los efluentes presentan una alta variabilidad en cuanto a este parámetro durante el tiempo de zafra, puesto que existen valores que se salen de las desviaciones estándar del diagrama de cajas en los efluentes: evaporador y parshall (Figura 1).

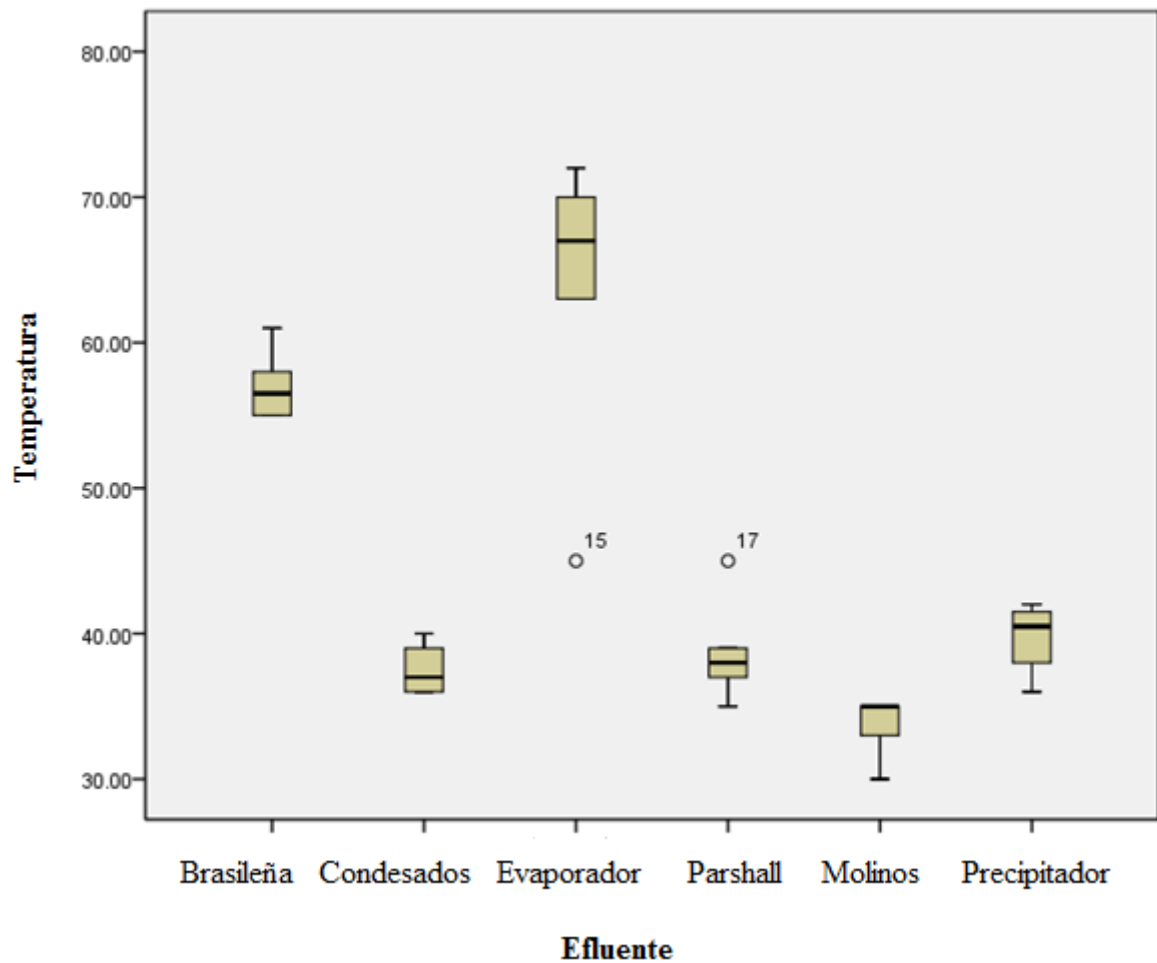


Figura 1. Diagrama de caja para el parámetro temperatura en °C en los efluentes estudiados.

Para el caso particular del efluente de Molinos se registró la menor temperatura debido a que esta muestra viene de la primera fase del procesado de la caña de azúcar, donde solamente la caña es lavada y picada en trozos. No se somete a temperaturas altas porque aún no empieza el proceso de extracción del jugo y otras fases que conllevan el uso de vapores. Generalmente este se encuentra a temperatura ambiente.



La mayor temperatura registrada corresponde a la muestra tomada del evaporador de efecto, esta parte del proceso conlleva altas temperaturas porque se utilizan vapores para el funcionamiento de los tanques que evaporan el jugo dejando como producto principal la meladura, de donde posteriormente se extrae la azúcar. Al salir estos vapores son condensados y se genera aguas muy calientes.

Según Pereira (2010), el parámetro de temperatura es de vital importancia, ya que influye en otros parámetros de calidad de agua cuyas características tienen alta influencia en la vida acuática y además en otros parámetros que interfieren en las condiciones naturales de los cuerpos receptores. A nivel biológico este parámetro tiene influencia en otras propiedades físicas y químicas como el de oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y el pH. Además influye en la microbiología, puesto que la mayoría de los microorganismos tienen temperaturas óptimas de reproducción y de actividad y pueden comenzar a degradar la materia orgánica contenida en el agua (Pereira, 2010).

**Análisis de pH y comparación con la normativa.** Los promedios de todos los efluentes para el parámetro de pH, se encuentran dentro del rango permisible para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores según la norma vigente en Honduras; sin embargo, el valor mínimo registrado fue de 4.72 y corresponde al efluente de limpieza química, este valor no se encuentra dentro del rango permisible (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de pH en los efluentes evaluados.

<b>Efluentes</b>	<b>Promedio</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Brasileña	6.87	6.52	7.00	0.19
Condensados de Tacho	7.30	6.17	8.00	0.54
Eaporador Efecto	7.99	7.00	8.50	0.60
Parshall	7.20	7.00	8.00	0.45
Molinos	7.00	7.00	7.00	0.00
Precipitador	8.00	8.00	8.00	0.00
Limpieza Química	6.86	4.72	9.00	4.50

El rango de pH establecido por el Ministerio de Ambiente de Honduras es (6 - 9).

Los valores de pH son muy variables en el efluente de limpieza química debido a que el agua de este proviene de la limpieza de equipos usando sustancias químicas que pueden modificar el pH dependiendo de la cantidad utilizada del químico y su proporción. Además en la limpieza química se arrastran otros contaminantes que pueden modificar el pH, tales como lípidos, partículas sólidas, polvo y óxidos.

La limpieza química se basa en el uso de compuestos químicos para eliminar sucios o cualquier compuesto adherido al equipo que se desea limpiar y que afecte de manera directa o indirecta el producto que se procesa o el equipo usado durante el procesamiento. Esta limpieza se realiza dependiendo del tipo de depósito o compuesto contenido en el equipo que se desea limpiar y también del material del que está hecho. En ese sentido, las aguas provenientes de la limpieza química presentan variaciones que pueden tener efectos en otros parámetros (Espa y Torreciega, n.d.).

El efecto de pH ácido tiene importancia por el efecto corrosivo causado en las tuberías de conducción de las aguas (Romo, 2010). Esto a su vez incurre en la parte económica por el cambio frecuente de tuberías y a la vez influye en la solubilidad de ciertos contaminantes en el ambiente. Parámetros como temperatura y pH definen la actividad microbiana por efecto de la solubilidad de contaminantes como metales pesados, además por la cantidad de oxígeno disuelto, el pH puede dar paso a que se propicien reacciones redox y aumentar la contaminación, por eso generalmente se neutraliza previo a descargar (Aguilar, 2016).

Según un estudio de caracterización de efluentes de una azucarera, el pH promedio para la etapa de enfriamiento es de 4.64. Esto significa que el valor mínimo encontrado en la caracterización realizada para la industria azucarera Tres Valles, es un valor normal para este tipo de industrias (Pereira, 2010). En este tipo de industrias los niveles de pH generalmente son variables por eso al momento de realizar tratamientos de las aguas residuales es necesario neutralizar previo a iniciar los procesos; sobre todo en los tratamientos biológicos o con el uso de microorganismos. Por ejemplo los hongos requieren un pH bajo debido a que suelen ser estrictamente anaerobios (Viracucha, 2012). Adicionalmente se puede observar que existe variabilidad en todos los efluentes caracterizados durante el periodo de zafra evaluado (Figura 2).

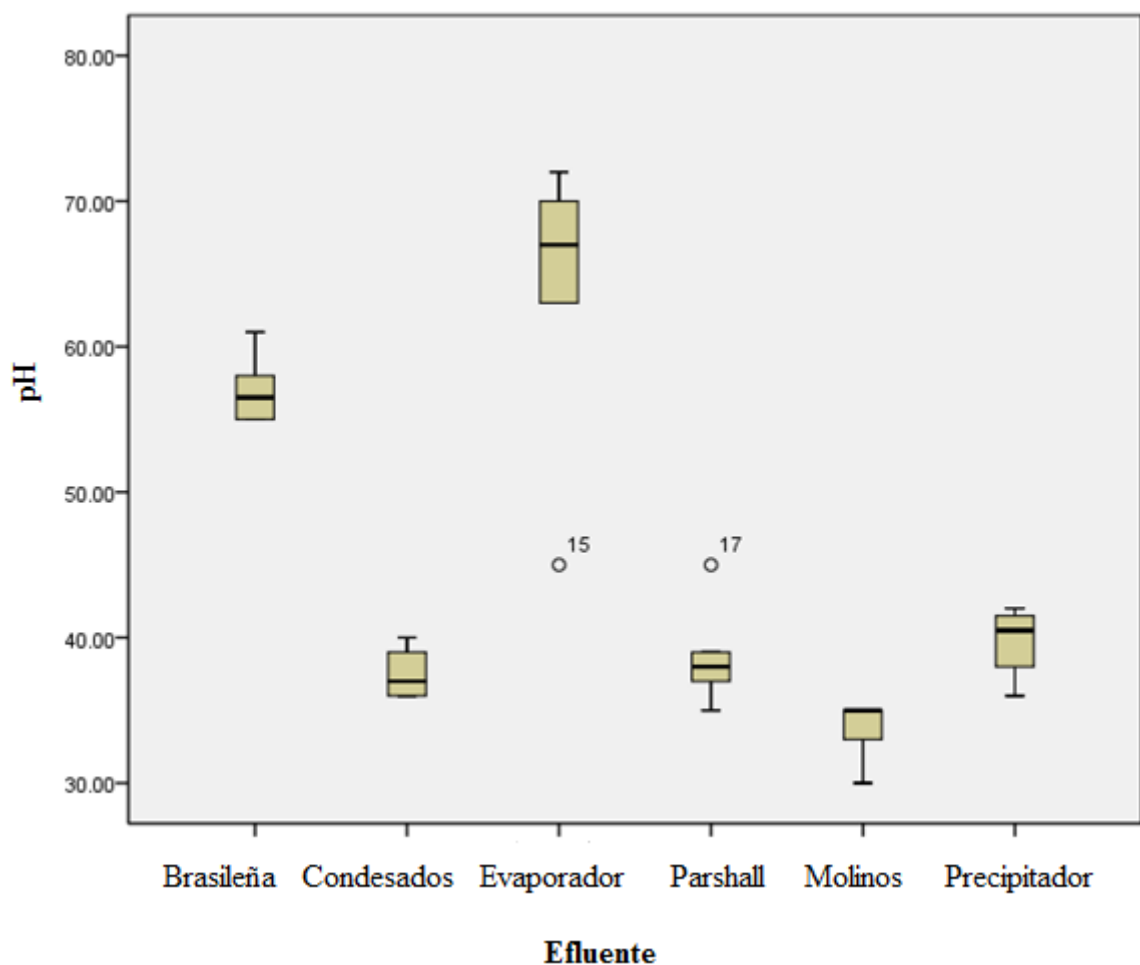


Figura 2. Diagrama de cajas para el parámetro pH en los efluentes monitoreados.

### **Análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) y comparación la normativa**

Todos los efluentes superan el valor permisible de Demanda Química de Oxígeno para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores de Honduras. La normativa vigente tiene un valor máximo de 200 mg/l, sin embargo el valor mínimo registrado corresponde al efluente “Condensados de tacho” y fue de 433 mg/L. El valor máximo encontrado fue de 89050 mg/L y corresponde al efluente de “Limpieza química” (Cuadro 3).

Para el caso del valor mínimo encontrado en el efluente de “Condensados de tacho, se debe a que esta agua no ha pasado por ningún proceso químico dentro de la industria, es decir esta agua no ha estado en contacto directo con el producto que se procesa, ya que estos condensados provienen de los tachos en donde se procesa la miel para convertirla en masa, sin embargo el agua de residual provienen directamente de los vapores utilizados para generar el calor suficiente para que las mieles dentro de los tachos puedan cristalizarse o condensarse. Para el caso particular del valor máximo encontrado en el efluente de la limpieza química, se debe a que este efluente contiene químicos adicionales puesto que dicha agua procede del lavado de equipos.

Cuadro 3. Resultados de DQO en los efluentes evaluados.

<b>Efluentes</b>	<b>Promedio</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Brasileña	1768.33	1035.00	3630.00	986.42
Condensados de Tacho	545.00	433.00	750.00	135.12
Eaporador Efecto	1059.60	626.00	1226.00	254.76
Parshall	4007.00	1275.00	5025.00	1539.61
Molinos	4438.33	1085.00	7220.00	2491.37
Precipitador	1791.25	1140.00	2140.00	446.96
Limpieza Química	60600.00	32150.00	89050.00	45094.60

El valor de DQO, máximo permisible para descarga de aguas residuales es de 200 mg/L.

Los valores encontrados no cumplen con la normativa vigente en Honduras, sin embargo son normales, es decir, característicos de las industrias azucareras. En la mayoría de los ingenios se registran valores son normales para la industria en la que van desde 2,300 a 8,000 mg/L (Basanta, 2009).

Viracucha (2012), afirmó que las aguas provenientes de procesos como limpieza y transporte, deben ser separadas del agua de condensados, lavado de gases, molienda etc. Esto se debe a que las primeras son consideradas muy contaminantes y las segundas se consideran bajas en contaminación. Esto se evidencia en los valores obtenidos de DQO, donde los valores de limpieza exceden tanto el valor máximo permisible como el valor normal de DQO encontrado en las industrias azucareras. Mientras que los valores de condensados exceden el valor permisible en Honduras, pero se encuentra dentro de los rangos normales de DQO de las industrias.

El efluente con mayores valores de DQO es el de molinos. Existen valores extremos en los efluentes brasileña, evaporador de efecto y Parshall. Los efluentes tienen un comportamiento similar en cuanto a sus datos alrededor de la media y no existe variabilidad en la zafra, sin embargo al comparar los efluentes entre sí existe una diferencia (Figura 1).

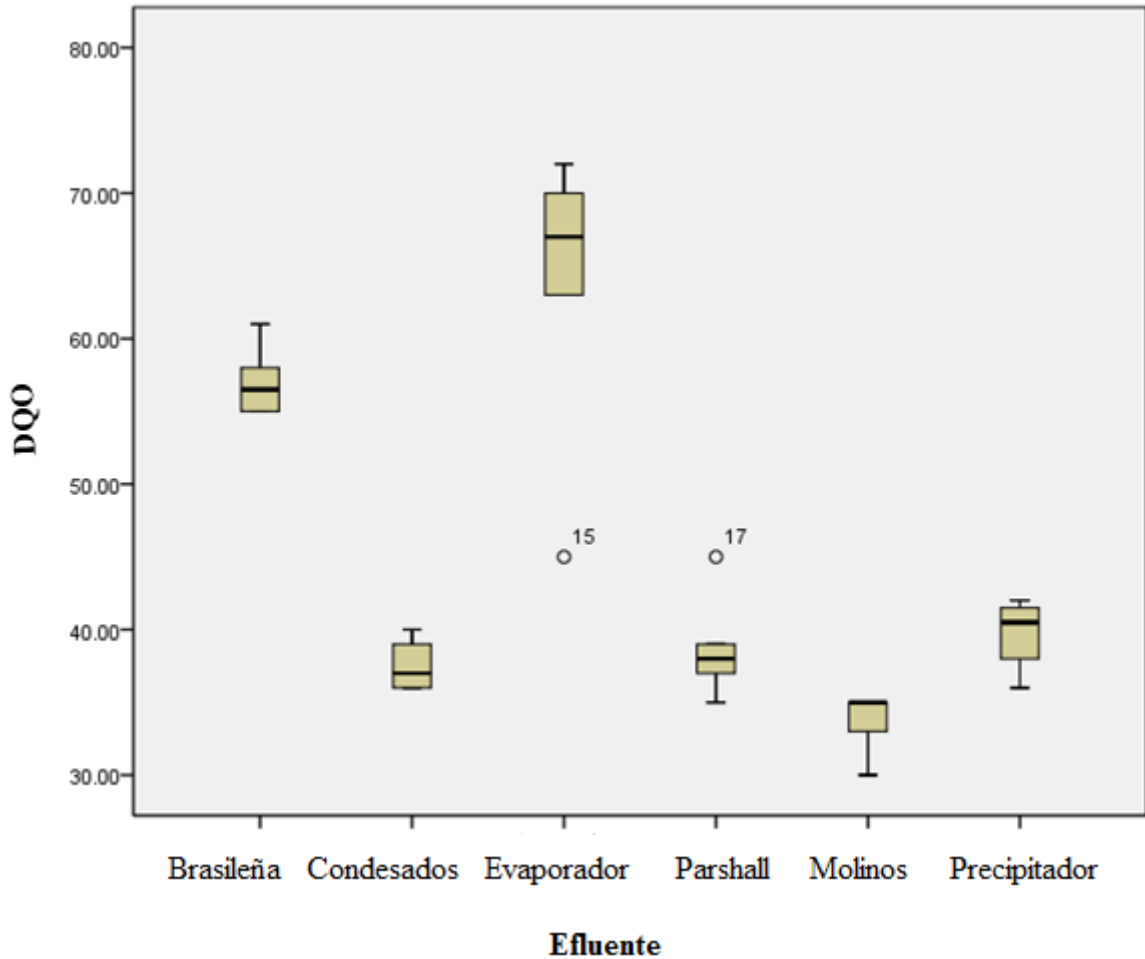


Figura 1. Diagrama de caja para el parámetro DQO en mg/L.

**Correlación de Pearson.** Se aplicó una correlación bivariada de Pearson a todos los parámetros evaluados de los diferentes efluentes de la cañera Tres Valles. Los datos indican que existe una relación positiva, es decir, directamente proporcional ( $R=0.862$ ) entre la variable sólidos totales (ST) y volátiles (SV). El parámetro sólidos totales es la variable que está más fuertemente relacionada con los parámetros: turbidez, sólidos totales disueltos, demanda química de oxígeno y sólidos volátiles (Cuadro 4).

Las variable sólidos totales, turbidez, pH y SV, son las que más presentan correlaciones significativas estadísticamente ( $p<0.05$ ) con respecto a la mayoría de los parámetros evaluados, indicando que estas variables muestran la mayor variación total de los datos. Sin embargo, las variables que menos presentan correlaciones significativas ( $p>0.05$ ) son la temperatura y la conductividad eléctrica. Siendo la temperatura y el pH las variables que muestran valores de correlaciones negativos.

Todos los parámetros que presentan una alta correlación, ya sea positiva o negativa pueden ser tomados como referencia. Tal es el caso de la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, turbidez, sólidos volátiles y sólidos totales, cuyos valores máximos permisibles no están plasmados en el documento reglamentario establecido por el Ministerio de ambiente de Honduras. Mediante esta correlación se puede disminuir el esfuerzo del estudio, puesto que aquellos parámetros con alta correlación entre sí, pueden ser resumidos. Esto indica que para futuros monitorios sería suficiente la medición de uno o dos de los parámetros que tienen correlación con otros.

Cuadro 4. Correlaciones bivariantes entre parámetros evaluados

Parámetros	pH	Temp.	Turb.	STD	CE	DQO	ST	SV
pH	1	.187	-.566*	-.350*	-.659*	-.407*	-.559*	-.565*
Temp.	.187	1	-.550*	.157	-.256	-.076	-.347	-.396*
Turb.	-.566*	-.550*	1	.538*	.475*	.420*	.833*	.693*
STD	-.350*	.157	.538*	1	.269	.472*	.740*	.506*
CE	-.659*	-.256	.475*	.269	1	-.06	.389*	.15
DQO	-.407*	-.076	.420*	.472*	-.06	1	.704*	.823*
ST	-.559*	-.347	.833*	.740*	.389*	.704*	1	.862*
SV	-.565*	-.396*	.693*	.506*	.15	.823*	.862*	1

\*Denota poca diferencia significativa. Sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica (CE), demanda química de oxígeno (DQO), turbidez (Turb), temperatura (Temp).

**Análisis de Componentes Principales.** La configuración espacial de dos dimensiones mediante el análisis de componentes principales (ACP) mostró que hubo una separación efectiva entre los parámetros correspondientes a los efluentes de la industria azucarera Tres Valles. Esto indica que ciertos parámetros tienen un comportamiento similar entre ellos. La ordenación por ACP consiguió explicar un 72.23% de la variación total de los datos, aportando el 48.13% el primer componente y 24.109% el segundo. Esto indica que los parámetros DQO, ST, SV y turbidez son los más relacionados. Las variables que más contribuyeron a la separación de la primera coordenada, es decir las más relacionadas entre sí, fueron ST, SV y turbidez, mientras que STD, conductividad y temperatura contribuyeron para la segunda coordenada. Estos resultados sugieren realizar un análisis de significancia para comprobar el nivel de relación de los efluentes (Figura 4 y Cuadro 5).

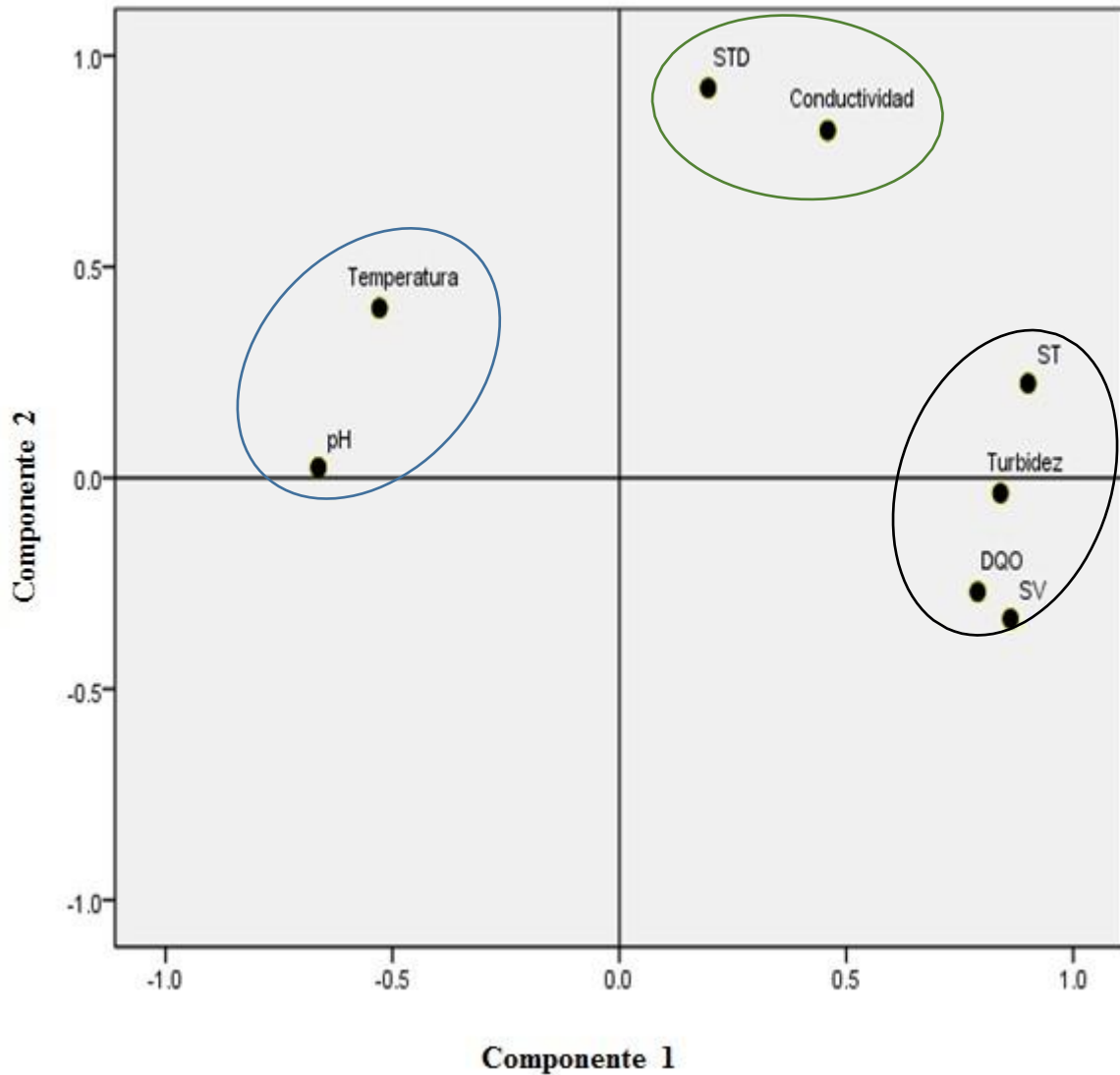


Figura 2. Análisis de componentes principales (PCA).

Los parámetros con mayor correlación son aquellos cuyos valores son más cercanos a uno. Es decir que para el componente uno los parámetros con mayor aporte correlacional positivo son sólidos volátiles, sólidos totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno y turbidez. Mientras que aquellos con una correlación negativa fueron temperatura y pH. Esto indica que a medida que uno aumenta el otro disminuye.

Cuadro 5. Resumen de variables y componentes del PCA.

Variables	Componente	
	1	2
Temperatura	-.529	.402
pH	-.663	.024
Turbidez	.840	-.036
STD	.196	.923
Conductividad	.459	.823
DQO	.789	-.270
ST	.901	.224
% Variación	48.13	24.10

#### **Prueba de Mann Whitney para Precipitador y Brasileña (Scroubber)**

Se aplicó una prueba de Mann Whitney, entre los efluentes brasileña (Scroubber) y Precipitador electrostático para conocer si existen diferencias significativas en los parámetros de Temperatura, pH, Turbidez, STD, Conductividad, DQO, ST y SV. No existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre los parámetros evaluados, exceptuando pH y temperatura (Cuadro 7).

El agua del precipitador electrostático, es el resultado del lavado de partículas capturadas mediante fuerzas eléctricas que atraen dichas partículas hacia el equipo, separándolas del gas emitido a la atmósfera durante el proceso de combustión del bagazo. El agua entra a este proceso al momento del lavado, donde las partículas adheridas a las placas del equipo son separadas del mismo mediante un lavado (Turner, Lawless y Yamamoto, 1999).

El agua del Scroubber o Brasileña proviene del lavado de gases emitidos a la atmósfera durante el proceso de combustión del bagazo, sin embargo, este funciona por efecto de la inercia. La temperatura y la presión juegan un papel importante porque el agua añadida al equipo se encarga de dar dirección para que las partículas en los gases giren en torno al agua y de este modo atraparlas (Melorose, Perroy y Careas, 2015).

Estadísticamente estos efluentes de procedencia sumamente similar coinciden en promedio en la mayoría de los parámetros, sin embargo para el parámetro de temperatura existe una diferencia significativa debido a que el Scroubber funciona a altas temperatura, mientras que en el precipitador, la captura de gases se da por efecto de la carga eléctrica de las partículas, esto a su vez conlleva a la diferencia significativa en cuanto al parámetro de pH, puesto que el precipitador tiene influencia por efecto del flujo de energía y los iones que interactúan en el equipo.



Cuadro 7. Prueba de Mann Whitney, comparación de efluentes del Scrouber y Precipitador electrostático

Parámetro	Unidad	Media Brasileña	Media. Precipitador	p
Temperatura	°C	57	40	0.009
pH	-	7	8	0.007
Turbidez	mg/L	539	225	0.142
STD	mg/L	8858	4246	0.522
Conductividad	mg/L	1608	1257	0.522
DQO	mg/L	1768	1791	0.522
ST	mg/L	4058	3950	0.831
SV	mg/L	813	436	0.394

**Alternativas para tratamiento de aguas residuales.** Para los efluentes provenientes de vapores se recomiendan tratamientos para mejorar la temperatura y el pH siempre y cuando el agua se quiera reutilizar en el proceso. Aquellos efluentes directamente relacionados al proceso productivo, como el efluente de molinos, requieren un tratamiento secundario por la cantidad de materia orgánica y sólidos contenidos. Los efluentes provenientes de lavado de gases requieren tratamientos de sedimentación para reutilizar el agua o bien usarla para riego (Cuadro 8).

Los tratamientos secundarios con el uso de microorganismos, aprovechando los procesos naturales pueden ayudar a disminuir la DQO y la DBO, puesto que estos transforman la materia orgánica en sólidos sedimentables y estos a su vez pueden ser tratados en sedimentadores. Estos procesos biológicos pueden ser llevados a cabo usando los microorganismos adecuados y pueden ser sumamente beneficiosos (Viracucha, 2012). Estudios en México, demuestran que el uso de aguas residuales descontaminadas con tratamientos secundarios para riego, resultaron en mejoras de las propiedades químicas del suelo, tales como contenido de materia orgánica, pH, nitrógeno y fósforo (Trinidad, 2003).

Por otro lado, están los tratamientos con procesos aerobios, en los cuales el elemento principal para que se den las reacciones de descontaminación es el oxígeno. Este es utilizado por los microorganismos para realizar sus procesos metabólicos y reproductivos y estos procesos son los que naturalmente disminuyen la carga de materia orgánica convirtiéndola en energía (Viracucha, 2012).

El tratamiento de encalado, es una medida correctiva de pH que consiste en agregar una dosis de cal a las aguas residuales cuyos valores de pH son bajos (<6). Esta medida se realiza con el objetivo de evitar que las tuberías o canales se vean afectados por corrosión (García, 2010). Además esto permite regular procesos realizados por los microorganismos que interactúan en los procesos de tratamiento secundario y de lodos activados.

Según Viracucha (2012), el agua de condensados y de evaporador de efecto puede ser utilizada en la etapa de enfriamiento siempre y cuando reciban tratamientos para mejorar la temperatura y el pH. Además este afirmó que el agua del lavado de cenizas (Scrubber y precipitador electrostático), puede tratarse con sedimentadores y un largo tiempo de retención y así utilizar las cenizas como abono y el agua añadirla al proceso de clarificación. Los del estudio indicaron ambos ciclos requieren la misma dosificación

Cuadro 8. Matriz de alternativas para tratar aguas residuales de los efluentes estudiados.

<b>Efluentes</b>	<b>Temp.</b>	<b>pH</b>	<b>DQO</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Destino</b>
Brasileña	-	+	-	Sedimentación y lagunas retenedoras	Riego
Condensado de tachos	-	+	-	Aireación	Reutilización
Evaporador Efecto	-	+	-	Aireación	Reutilización
Parshall	-	+	-	Encalado, aireación y lodos activados	Riego
Molinos	-	+	-	Encalado y lodos activados	Reutilización o riego
Precipitador	-	+	-	Sedimentación y lagunas retenedores	Reutilización o riego
Limpieza Química	-	+	-	Encalado y lodos activados	Descarga

El signo de negativo (-) significa que los valores para ese parámetro no son los adecuados para descargar en aguas residuales. El signo positivo (+) significa que los valores encontrados de ese parámetro se encuentran dentro de la normativa de descarga de Honduras.

### 3. CONCLUSIONES

- Ninguno de los efluentes evaluados cumple con los parámetros de descarga de aguas residuales establecidos por Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente previo a su mezcla y descarga. En todos los efluentes caracterizados durante la época de zafra, solamente el parámetro de pH se encuentra dentro del rango establecido sobre normas de descarga de aguas residuales.
- Los efluentes Scroubber y el Precipitador electrostático presentaron semejanza en todos los parámetros caracterizados, excepto en temperatura y pH, lo que supone que pueden ser mezclados al momento de realizar su tratamiento previo a la descarga o previo a su reutilización en el proceso productivo. Ambos efluentes pueden reutilizarse luego de haber sido sometidos a tratamientos secundarios y de sedimentación. Estas aguas pueden ser utilizadas para la etapa de lavado lo que resultaría en mejores eficiencias para el uso de agua en la empresa; además ambos generan aguas residuales con las mismas características a pesar de ser tecnologías diferentes para el mismo tratamiento de emisiones atmosféricas por combustión.
- Todos los efluentes caracterizados requieren de algún tipo de tratamiento previo a su reutilización o descarga en cuerpos receptores, ya sea de forma independiente o combinada, pero el efluente de limpieza química debe ser separado de los demás efluentes debido a la alta carga de DQO; ya que esto puede afectar tratamientos biológicos utilizados para la descontaminación de aguas residuales.
- No se observó variabilidad en los análisis realizados durante el periodo de zafra estudiado, por lo que los valores medios encontrados en el estudio pueden utilizarse de base para el diseño de futuras alternativas de tratamiento diferentes a las propuestas por el presente estudio.

## 4. RECOMENDACIONES

- Caracterizar de forma continua los efluentes de la laguna que actualmente se utiliza para tratar las aguas residuales de la empresa. Esto sería de utilidad para conocer la eficiencia del tratamiento actual y para conocer alternativas de rediseño y de tratamiento de los efluentes. Asimismo, se debe evaluar el impacto actual que el tratamiento tiene en cuerpos de agua adyacentes.
- El Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras debe actualizar la base de datos de sus normas de descarga de aguas residuales y adecuarlos a los requerimientos de cada industria. Parámetros como turbidez, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, sólidos totales y sólidos volátiles deberían ser incluidos en la normativa de descarga.
- Para futuras investigaciones se debe hacer un análisis económico de las alternativas de tratamientos, para conocer la rentabilidad de tratar aguas residuales y reutilizarlas en el proceso de la elaboración de la azúcar.
- El agua residual proveniente de las etapas de evaporación y de cristalización puede ser utilizada para el mismo fin, es decir, pueden mezclarse para tratarlas. Del mismo modo tanto el agua del Precipitador electrostático como del Scroubber pueden unirse siempre que se traten los parámetros de pH y temperatura. Sin embargo, se recomienda realizar una caracterización de los lodos o sedimentos resultantes de los procesos de tratamiento de estos efluentes.
- Aplicando un tratamiento de lodos activados para los efluentes Scroubber y Precipitador electrostático el agua podrá ser usada para el riego de los cultivos y el lodo como fertilizante orgánico. Sin embargo, antes de iniciar el tratamiento de lodos activados se debe corregir tanto la temperatura como el pH para favorecer la actividad microbiana.
- Los efluentes Evaporador de Efecto y Condensados de tachos pueden ser mezclados para tratarlos y reutilizarlos siempre y cuando se apliquen procesos que reduzcan la temperatura.

## 5. LITERATURA CITADA

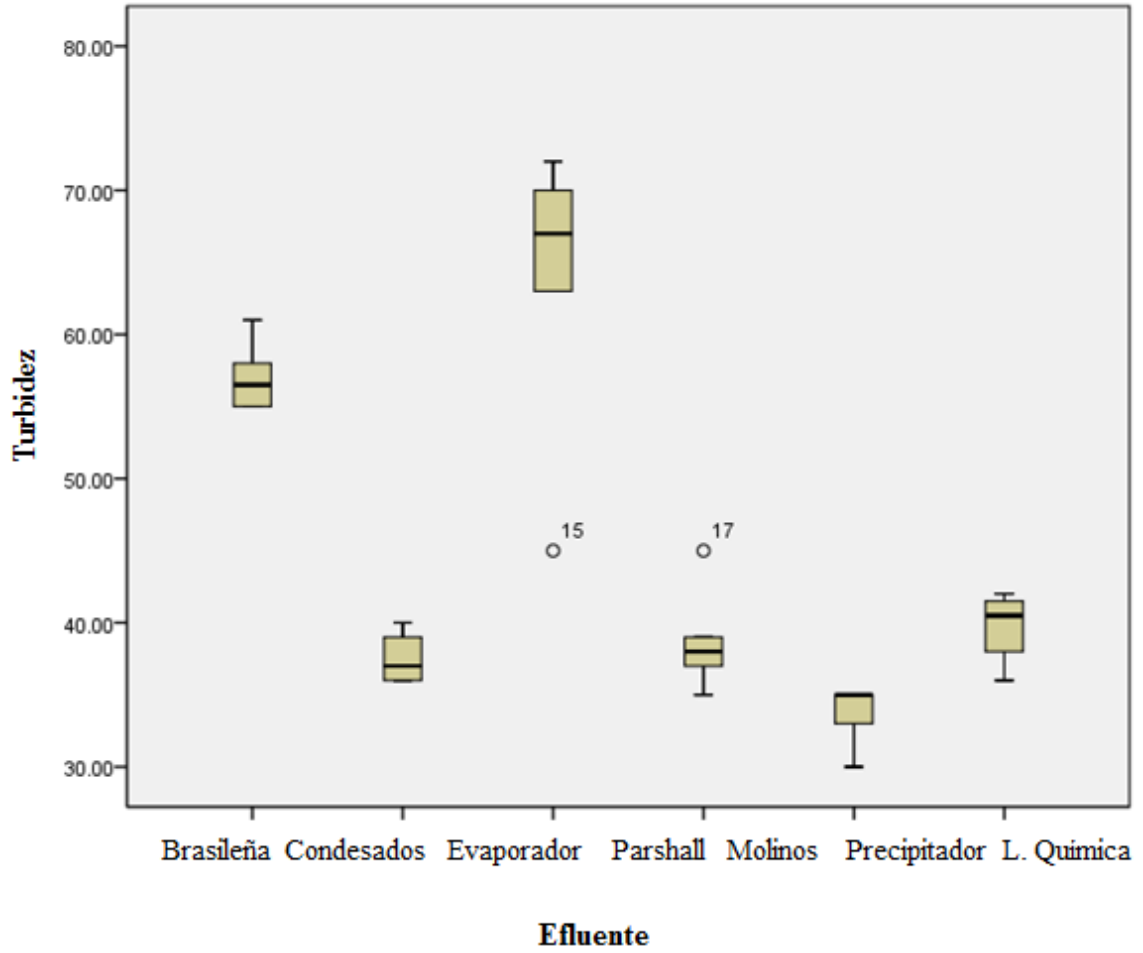
- Aguinaga, S. (1996). Manual De Procedimientos Analíticos para Aguas y Efluentes.
- Álvarez, J. S. M. (2011). Evaluation of a treatment system wastewater incumbent of coffee (*Coffea arabica*) implemented in the community Carmen Pampa province of Nor Yungas of La Paz Department. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 10.
- Banco Mundial. (26 de Marzo de 2005). El uso de aguas residuales para riego en Bolivia ¿a favor o en contra? *Banco Mundial*. Recuperado de <http://www.bancomundial.org/es/country/honduras>.
- Basanta, R. (2009). Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: A sustainable recycling review of waste from sugarcane agroindustry: 8122(Junio 2016). Recuperado de <http://doi.org/10.1080/11358120709487704>.
- CNP+LH. (marzo-abril de 2008-2009). *Guía de Producción más limpia para el Porcesamiento de Caña de Azúcar*. Honduras: AGA y Asociados. Recuperado de <http://www.mirahonduras.org/pml/docs/GUIA%20DE%20P+L%20CANA%20AZUCAR.pdf>.
- Con, V., Cambio en Uso de Suelos y Degradación Forestal, P. D. E., D. E. L., D. E. L., D. Y. y D. E. E. (2012). Análisis de la producción azucarera en el salvador: 0–50.
- Espa, C. A y Torreciega, B. (s.f.). Limpieza química de tuberías. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/152432468/Limpieza-química>.
- Flores, L. (05 de Abril de 2016). Conociendo el Ingenio Tres Valles. Francisco Morazán.
- Fernández, J y Curt, M. (2011). Métodos Analíticos para aguas residuales. *Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrofitas En Flotación*, 117–128. Recuperado de [http://es.scribd.com/document\\_collections/3001637/widget](http://es.scribd.com/document_collections/3001637/widget).
- González, C. A y Chavarro, L. M. (Noviembre-Diciembre de 2010). Evaluación de la Producción de Caña de Azúcar a partir de Herramientas de Agricultura Específica por Sitio. Cali, Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2007). Sólidos totales secados a 103 - 105 °C. Recuperado de <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2016). Conductividad del agua (pp. 1–7). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+Eléctrica.pdf/f25e227-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>.
- Jara, J. M. (2009). Administration and Management of Irrigation Water in 24 User Organizations in Chile . *Chilean Journal of Agricultural Research* 69, 234.
- Julca y Fava, B. B. (2011). Caracterización de Sistemas Agroindustriales: Un Estudio Comparativo de los Sectores Sucroenergéticos de Brasil y Colombia. V.
- La, M. De, Velázquez, L., Ángel, M., y Vargas, O. (2009). Ácidos , Bases , pH y Soluciones Reguladoras. *Ácidos, Bases, pH Y Soluciones Reguladoras*, 1–23. Recuperado de <http://www.bioquimica.dogsleep.net/Teoria/archivos/Unidad24.pdf>.
- Melorse, J., Perroy, R., y Careas, S. (2015). Wet Scrubbers. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015, 1*. Recuperado de <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Navarrete, P. M. (marzo-diciembre de 1986). *El Suelo y su Manejo en Caña de Azúcar*. 10 de noviembre de 2015, de FONAIIP Divulca No. 20: Recuperado [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/FonaiapDivulga/fd20/texto/suelo.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd20/texto/suelo.htm).
- Obregón, C y García, M. (2016). Documento inicial. Recuperado de <http://sigug.uniguajira.edu.co/sigug/pdf/Protocolo/GL-PL11.Protocolo%20S%C3%93L%C3%ADPOS%20Fijos%20Y%20Vol%C3%81TILES%20A%20%20550%C2%B0C.pdf>
- Pérez, M. P. (10 de Julio de 2011). Ambiente y sociedades. *Agroindustria Cañera y Uso del Agua: Análisis Crítico en el Contexto de la Política de Agrocombustibles en Colombia.*, 26. 8 de noviembre de 2015, de Agroindustria Cañera y Uso del Agua: Análisis Crítico en el Contexto de la Política de Agrocombustibles en Colombia.: Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v14n2/11.pdf>.
- Pérez, N. M y I. Aguilera., F. C. (2004). Caracterización de las aguas residuales de la refinería. XVI(0258-5995).
- R. Basanta , M. A. García Delgado , J. E. Cervantes Martínez , H. Mata Vázquez y G. Bustos Vázquez., (2007). Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera. (1135-8122).
- Reguladoras. *Ácidos, Bases, pH Y Soluciones Reguladoras*, 1–23. Recuperado de <http://www.bioquimica.dogsleep.net/Teoria/archivos/Unidad24.pdf>.
- Romo, P. G. (2010). *Caracterización del agua recirculada y optimización de la dosificación de lechada de cal en el agua residual del ingenio risaralda s.a.* 08 de Septiembre de 2016, de Universidad Tecnológica De Pereira: Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1826/628162G216.pdf?sequence=1>.

- Sánchez, R., Najul, M. V., Ortega, E. y Ferrara, G. (2009, Febrero). El manejo de los residuos en la industria de agroalimentos en Venezuela. *Interciencia*, II(03781844), 91-99. 03 de julio, 2016, Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/210116391?accountid=149393>.
- Toro, C. G., Agrícola, E. en y Extensión, A. S. de. (2009). La temperatura. Recuperado de Colegio de Ciencia y Agricultura.
- Trinidad, J. G. (2003, Mayo). 03 de julio, 2016, de Efecto de la adición de agua residual urbana sobre las características de un suelo agrícola: Recuperado de [http://digeset.uco.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Julian\\_Gonzalez\\_Trinidad.pdf](http://digeset.uco.mx/tesis_posgrado/Pdf/Julian_Gonzalez_Trinidad.pdf).
- Turbum, P. (2011). Agriculture, Ecosystems and Environment. *Environmental impacts of irrigated sugarcane production: Nitrogen lost through runoff and leaching*, 12.
- Turner, J., Lawless, P y Yamamoto, T. (1999). Precipitadores Electrostáticos. *Controles de Materia Particulada*, 3.1–3.67. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttnatc1/dir2/cs6ch3-s.pdf>.
- Viracucha, S. (2012). Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Generadas en un Ingenio Azucarero – Con la Tecnología de Lodos Activados, 169. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/864/1/T-UCE-0017-18.pdf>.

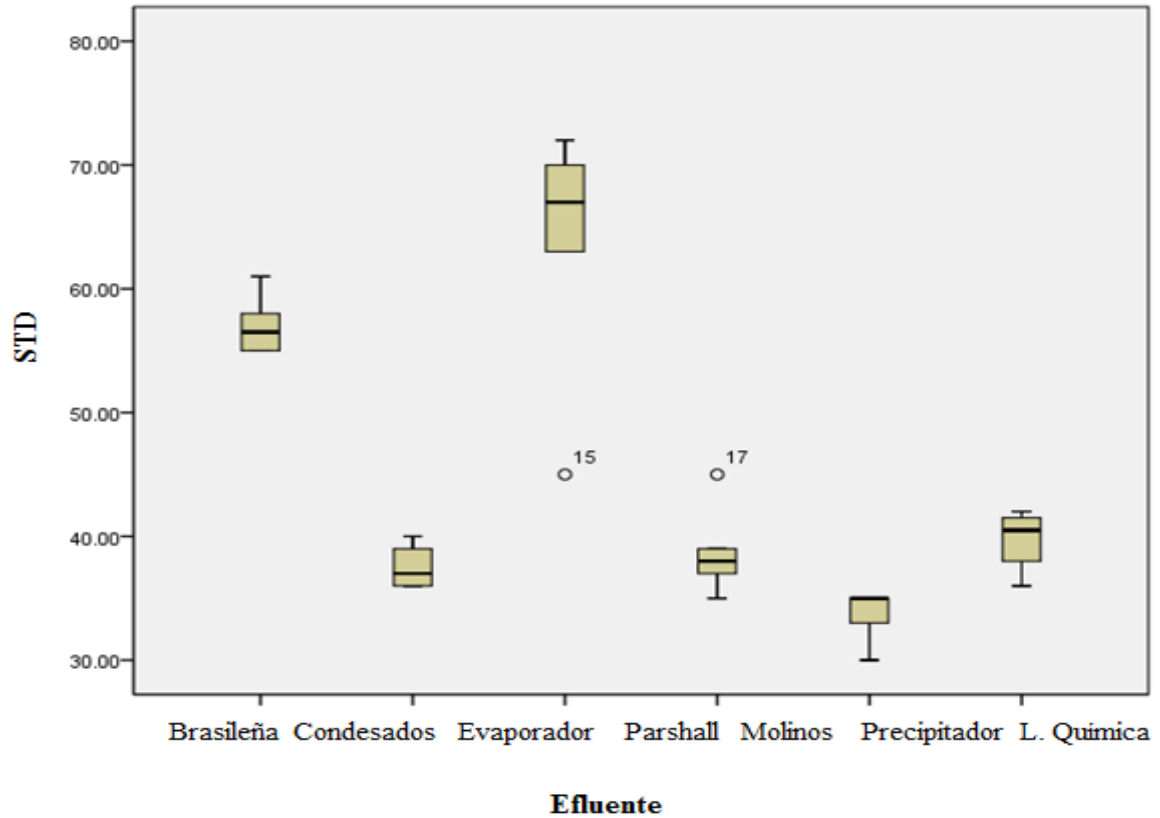
## 6. ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de caja para el parámetro turbidez.

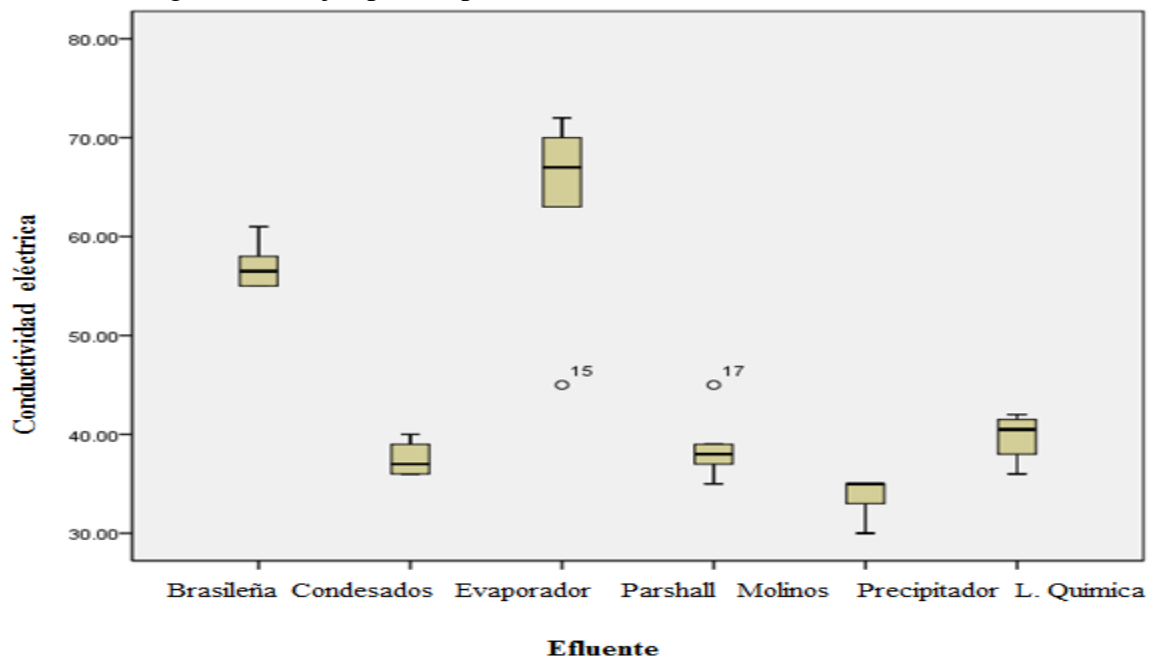




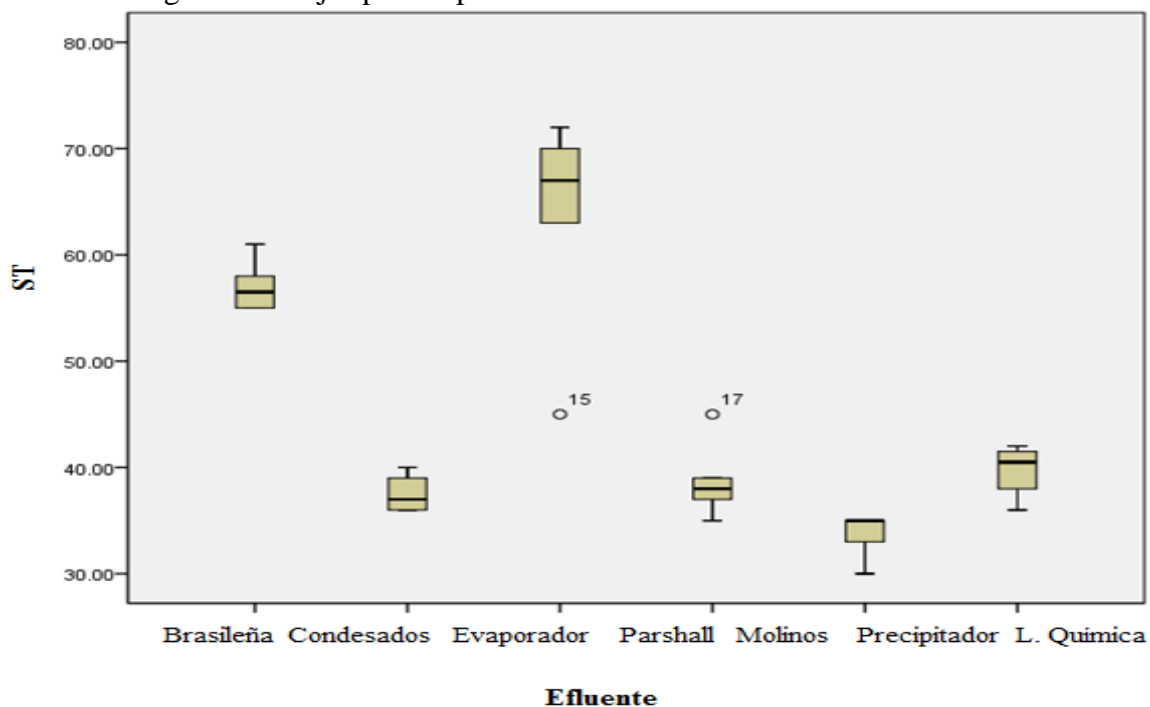
Anexo 2. Diagrama de caja para el parámetro sólidos totales disueltos.



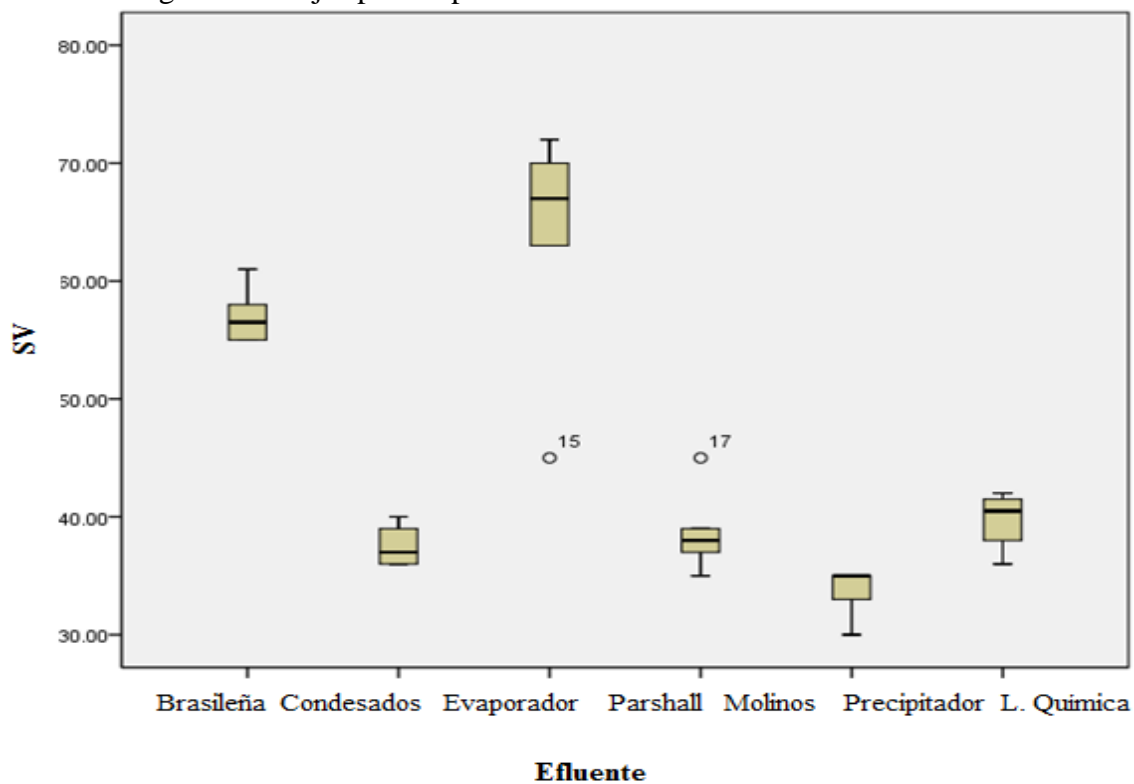
Anexo 3. Diagrama de cajas para el parámetro conductividad eléctrica



Anexo 4. Diagrama de cajas para el parámetro sólidos totales.



Anexo 5. Diagrama de cajas para el parámetro sólidos volátiles.



Anexo 6. Cuadro resumen del parámetro turbidez

<b>Promedio</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Normativa</b>
538.83	295.00	1200.00	334.96	<50
90.75	44.00	163.00	61.32	<50
7.60	2.00	13.00	4.72	<50
284.00	99.00	514.00	161.53	<50
2884.17	246.00	14000.00	5454.87	<50
225.25	78.00	503.00	190.09	<50
307.00	185.00	429.00	215.18	<50

Los valores de la normativa expresados en el cuadro, corresponden al criterio establecido por el Estado de Manitoba, Canadá para vida acuática.

Anexo 7. Cuadro resumen del parámetro STD

<b>Promedio</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Normativa</b>
8857.57	868.00	13500.00	5658.40	500
392.33	316.00	518.00	74.27	500
115.06	94.30	153.00	22.20	500
500.20	388.00	577.00	72.63	500
573.17	365.00	687.00	113.91	500
4245.50	841.00	14300.00	6703.21	500
22450.00	16800.00	28100.00	14139.42	500

Los valores de la normativa expresados en el cuadro, corresponden al criterio establecido por el Estado de Kentucky, EE UU para vida acuática.

Anexo 8. Cuadro resumen del parámetro conductividad eléctrica

<b>Promedio</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Normativa</b>
1608.00	1225.00	2202.00	224.89	<800
530.33	446.00	732.00	51.85	<800
162.58	133.40	216.00	31.26	<800
705.60	544.00	818.00	105.43	<800
808.67	512.00	972.00	162.82	<800
1257.00	1183.00	1344.00	631.99	<800
2.37	2.37	2.37	1.37	<800

Los valores de la normativa expresados en el cuadro, corresponden al criterio establecido por el Estado de Kentucky, EE UU para vida acuática.

Anexo 9. Cuadro resumen de valores para el parámetro sólidos totales

<b>Promedio</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Normativa</b>
4058.57	2120.00	6961.66	1911.22	NA
740.00	421.66	1460.00	440.66	NA
177.66	101.66	281.66	84.49	NA
3178.00	1310.00	4341.66	1254.77	NA
5420.44	1282.66	8030.00	2387.17	NA
3950.41	2131.66	5723.33	1863.59	NA
32494.16	11265.00	53723.33	28330.80	NA

NA: no aplica, es decir, no se encontraron valores en las normativas de descarga de aguas residuales.

Anexo 10. Cuadro resumen de los valores encontrados para el parámetro sólidos volátiles

<b>Promedio</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Normativa</b>
813.33	246.66	1443.33	508.73	NA
436.38	131.66	1078.33	404.79	NA
125.66	61.66	226.66	79.36	NA
2223.33	568.33	3241.66	1216.71	NA
4006.55	614.33	6828.33	2036.70	NA
436.25	276.66	743.33	215.83	NA
29769.16	9565.00	49973.33	26525.63	NA

NA: no aplica, es decir. No se encontraron valores en las normativas de descarga de aguas residuales.