

Evaluación de la eficiencia de los procesos de potabilización en dos plantas AguaClara en Morocelí y San Matías, Honduras

Mynor Roberto Estrada Mendez

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Octubre 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de la eficiencia de los procesos de potabilización en dos plantas AguaClara en Morocelí y San Matías, Honduras

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

Presentado por

Mynor Roberto Estrada Mendez

Zamorano, Honduras
Octubre 2016

Evaluación de la eficiencia de los procesos de potabilización en dos plantas AguaClara en Morocelí y San Matías, Honduras

Mynor Roberto Estrada Mendez

Resumen: Las plantas AguaClara potabilizan agua a bajo costo y usan gravedad como única fuente de energía. Los municipios de San Matías y Morocelí del Paraíso, Honduras, cuentan cada uno con una planta AguaClara como principal fuente de agua potable. El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de las plantas en la remoción de *Escherichia coli* (*E. coli*); y en la mejora de la turbiedad, pH y conductividad eléctrica (CE). En cada municipio se muestrearon tres puntos en la planta potabilizadora, uno en el tanque de distribución y uno en la última casa en recibir agua tratada. El agua tratada por las dos plantas resultó en valores de *E. coli*, turbiedad, pH, cloro residual y CE dentro de lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para agua potable. La remoción de *E. coli* fue del 100% en ambas plantas. Sin embargo, se identificó *E. coli* en la última llave de San Matías y una media de cloro libre de 0.07 mg/L, valores por debajo de los recomendados por la OMS en agua potable. El promedio de reducción de turbiedad fue del 95% en San Matías y del 94% en Morocelí. En el agua tratada de ambas plantas el pH disminuyó y la CE aumentó. Solamente, se encontró correlaciones estadísticamente significativas en Morocelí, donde la correlación con la presencia de *E. coli*, fue positiva para el pH y la turbiedad; y negativa para el cloro residual y la CE. La falta de correlaciones en San Matías indica alta variabilidad en los procesos de la planta.

Palabras clave: CBT, cloro libre, colorímetro, *Escherichia coli*, turbiedad.

Abstract. AguaClara plants potabilize water at low cost and use gravity as its only energy source. The towns of San Matías and Morocelí of El Paraíso, Honduras use an AguaClara plant as source of drinking water. The objective of the study was to evaluate the efficiency of the plants in the removal of *Escherichia coli* (*E. coli*) and in the improvement of turbidity, pH and electrical conductivity (EC). Water was sampled at three stages in the processes of the water treatment plant, in the storage tank, and in a farthest household connection of the distribution system. The water treated by both plants, showed values of *E. coli*, turbidity, pH, free chlorine and conductivity within World Health Organization (WHO) guidelines of drinkable water. In both plants, the removal of *E. coli* was 100%. In San Matías, *E. coli* was found at the faucet, where the average of concentration of free chlorine was 0.07 mg/L. This concentration was below the recommendations of the WHO in treated drinking water at the household level. The turbidity of the water at the household levels was reduced by an average of 95% of the raw water in San Matías and 94% in Morocelí. In both plants pH decreased and EC increased. Only in Morocelí statistical significant correlations were found. The correlations with *E. coli* where positive in pH and turbidity; and negative in free chlorine and EC. The lack of correlations in San Matías showed high variability in the processes of the plant.

Key words: CBT, colorimeter, *Escherichia coli*, free chlorine, turbidity.

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 | 5 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 8 |
| 4. CONCLUSIONES..... | 15 |
| 5. RECOMENDACIONES | 16 |
| 6. LITERATURA CITADA | 17 |
| 7. ANEXOS..... | 24 |

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

| Cuadros | Página |
|--|--------|
| 1. Promedio y comparación de medias de pH, conductividad eléctrica, cloro residual, turbiedad y <i>E. coli</i> | 13 |
| 2. Correlación entre pH, conductividad eléctrica, cloro residual, y turbiedad con <i>E. coli</i> | 14 |

| Figuras | Página |
|---|--------|
| 1. Localización de los sitios de muestreo. | 5 |
| 2. pH promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías. | 8 |
| 3. Conductividad Eléctrica promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías. | 9 |
| 4. Turbiedad promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías. | 10 |
| 5. Cloro residual promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías. | 11 |
| 6. <i>E. Coli</i> promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías..... | 12 |

| Anexos | Página |
|--|--------|
| 1. Resultados de los muestreos de Morocelí | 24 |
| 2. Resultados de los muestreos de San Matías | 27 |

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial para la Salud [OMS] (2013) define al agua potable como “el agua utilizada para los fines domésticos y la higiene personal, así como para beber y cocinar”. Estadísticas del 2010 del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF] (2010), afirman que “5,900 millones de personas, 87% de la población del mundo, y el 84% de la población que vive en el mundo en vías de desarrollo consumen agua potable”. El Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento [JMP] (2015), creado por UNICEF y la OMS, mencionó en el 2015 que “El 91% de la población mundial utiliza una fuente de agua potable mejorada, un aumento frente al 76% de 1990”. Sin embargo, la falta de acceso a agua potable aún es un problema global, que afecta principalmente a las áreas rurales. De las 663 millones de personas que carecen de acceso a agua potable, 8 de cada 10 viven en zonas rurales (JMP, 2015). El consumo de agua no potable provoca millones de muertes anualmente, al ser una de las causas de enfermedades como diarrea, cólera, anemia, escabiosis, dengue, fiebre tifoidea y malaria (OMS, 2016).

Internacionalmente se han implementado medidas para proveer acceso universal a agua potable. En marzo de 1977 se realizó una de las primeras conferencias internacionales sobre el tema, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, Mar del Plata (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2011). Años después, en 1992, el principio 4 de la Declaración de Dublín estableció que “...es esencial reconocer ante todo el derecho fundamental de todo ser humano a tener acceso a un agua pura y al saneamiento por un precio asequible” (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 1992). En el 2000 los estados miembros de la ONU declararon los Objetivos de Desarrollo del Milenio que establecen “Reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento” (ONU, 2015). En el 2015, se superó la propuesta, al alcanzar un incremento del 58%. Otra medida fue la declaración de la ONU del Decenio Internacional para la Acción: El Agua, Fuente de Vida, al período 2005-2015 (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2016). El 28 de julio de 2010 la ONU publicó la Resolución 64/292, la cual establece el acceso a agua potable como parte fundamental de los derechos humanos (ONU, 2014). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, sucesores de los Objetivos del Milenio, fijan acceso universal a agua potable para el año 2030 (ONU, 2015).

En Honduras, la oferta de 1,980 hm³/año de agua no satisface la demanda nacional de 2,300 hm³/año, por lo que la cobertura es de solamente el 86% de la población (Programa de Apoyo a la Administración Pública y a la Integración Regional [PAAPIR], 2013). El problema es mayor en el área rural donde no se abastece al 17% de los pobladores, comparado con el 7% en el área urbana. Sin embargo, estudios de la Red de Agua y Saneamiento de Honduras (RAS-HON, 2011) indican un incremento en la cobertura de este

servicio al compararla con el 72% del año 1990. La base legal hondureña para el manejo del recurso es la Ley General de Aguas (Gobierno de Honduras, 2009). Otro documento importante es la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento utilizada para incrementar la red de abastecimiento del servicio y mejorar su calidad (Gobierno de Honduras, 2003). En el Plan Nacional del 2010-2022, el gobierno instituye metas y lineamientos estratégicos relacionados con este recurso (Gobierno de Honduras, 2010). Sus principales unidades gubernamentales son el Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS, 2016), y el Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento [CONASA] (2016). A pesar del marco legal, la institucionalidad vigente y las metas alcanzadas en cuanto a abastecimiento, el tema de calidad del agua abastecida aún requiere gran atención por parte de las autoridades, así como el desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas de aplicación a contextos rurales hondureños (PAAPIR, 2013).

Al conjunto de métodos utilizados para obtener agua potable se le conoce como potabilización. Uno de sus objetivos de estos procesos es la mejora de los parámetros físico-químicos del agua, como turbiedad, conductividad eléctrica (CE) y pH (Barrenechea, 2005). La CE es la propiedad del agua para conducir electricidad, determinada por la presencia de compuestos inorgánicos, como sales disueltas (US Environmental Protection Agency [EPA], 2015). La OMS no establece rangos recomendados de CE para agua potable, sin embargo la norma técnica para la calidad del agua potable de Honduras recomienda un máximo de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ministerio de Salud de Honduras, 1995). La turbiedad, medida en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT), representa la cantidad de sólidos en suspensión en el agua (Barrenechea, 2005). Esta se relaciona directamente con la presencia de microorganismos, contribuye en su proliferación; y disminuye la efectividad de desinfección. La OMS establece un valor máximo de 5 UNT para el agua potable (OMS, 2006). Finalmente, el pH representa, en una escala de 1 a 14, la cantidad de iones de hidrógeno e hidroxilos presentes en el agua. Los valores menores a 7 se consideran ácidos, iguales a 7 neutros y mayores a 7 básicos (U.S. Geological Survey [USGS], 2016). Para el agua potable la OMS (2003) establece valores de pH entre 6.5 y 8.5, ya que valores bajos pueden corroer tuberías de distribución y contribuyen a la proliferación microbiana.

Otro objetivo de la potabilización también es eliminar o inactivar microorganismos, como la *Escherichia coli* (*E. coli*), a través de procesos conocidos como desinfección. La *E. coli*, es una bacteria anaerobia facultativa y gramnegativa, con valores óptimos de pH entre 6 y 8, tolerando hasta 10 (Fundación Vasca para la Seguridad Alimentaria [ELIKA], 2013). Esta es una de las bacterias más comunes en las heces animales, por lo que es utilizada como indicador de contaminación fecal (Rivas, Mellor, Gobius, y Fegan, 2015). También, es ampliamente utilizado en el área de biotecnología, como la recombinación y clonación genética (Jianghong y Schroeder, 2007). A pesar de que la mayoría de sus cepas son inofensivas algunas son capaces de causar enfermedades gastrointestinales, entre ellas diarrea, infecciones del tracto urinario y meningitis (Heldman, 2008). Una sus cepas patogénicas es la enterohemorrágica O157:H7 la cual ha presentado brotes esporádicos como el de 1982 en Estados Unidos de América y el de 2011 en Europa (OMS, 2011). Tanto la OMS como la Organización Panamericana de la Salud (OPS) indican que no puede haber presencia del microorganismo en agua potable (OPS, 2008). Existen diferentes técnicas para su detección, entre ellas la prueba Method 1603 [EPA] (2006), y el kit de análisis Colilert (Idexx Laboratories Inc, 2015).

La OPS (2007) menciona que para definir el método de potabilización a utilizar se debe de considerar variables como “clima, precipitación pluvial, temperatura, humedad, topografía, comunicaciones, transporte y disponibilidad y fiabilidad de la energía eléctrica”. También se debe de tomar en cuenta el contexto donde son aplicados y factores como acceso a materiales y servicios de mantenimiento (Ray y Jain, 2011). Los primeros métodos de potabilización, entre ellos el uso de energía solar y la ebullición, empezaron a surgir alrededor del año 2000 A. C. (Pope, Weir, y Rose, 2012). Los filtros naturales, la aeración (Taricska, Wang, y Hung, 2006), la coagulación y la floculación (Cárdenas, 2000) son algunos de los tratamientos más utilizados en Latinoamérica para la mejora de los parámetros fisicoquímicos. Para la desinfección existen diversos métodos como la radiación ultravioleta (Bullinger, 2009), ozonización (Rodríguez et al., 2008), osmosis inversa (Ortega, 2002) y barreras permeables reactivas (Noubactep y Wofo, 2008). Debido a la accesibilidad y los costos, la cloración es el método más utilizado en Latinoamérica (OPS, 2007). Este consiste en añadirle cloro al agua, en cualquiera de sus composiciones, para eliminar a microorganismos al destruir su pared celular (Nature America Inc., 2016). Para que la cloración sea efectiva, la OMS (2011) recomienda aplicar dosis de cloro entre 0.2 mg/L y 1 mg/L con un máximo de 5 mg/L, dependiendo de los parámetros fisicoquímicos del agua a tratar como su temperatura, pH y turbiedad. Cuando el cloro reacciona con los distintos compuestos del agua produce cloro combinado, el cloro que no reacciona se denomina cloro libre. El último es un indicador de la potabilidad del agua desinfectada por cloración, la cual debe presentar una concentración mínima de 0.2 mg/L (Water Research Watershed Center, 2016).

Industrialmente, el agua se purifica en plantas potabilizadoras que combinan procesos específicos para el agua a tratar. Entre ellas están las plantas AguaClara que abastecen a más de 45,000 personas en Honduras utilizando gravedad como única fuente de energía (AguaClara LLC, 2016). Son plantas diseñadas por personal de la Universidad de Cornell de Estados Unidos, y han sido construidas diez en Honduras y una en construcción en India. A pesar que cada planta posee tratamientos únicos y específicos para la región donde se establecen, todas se basan en cuatro fases. La primera es la dosificación de policloruro de aluminio, conocido como PAC, para realizar la coagulación del agua a tratar. La siguiente etapa es la floculación, la cual consiste en una serie de canales que permiten la formación de flóculos. La tercera es la sedimentación, en donde se disminuye la turbiedad del agua y se eliminan sólidos utilizando canales que forman un manto de lodos. Después, se realiza la desinfección, en la cual se utiliza hipoclorito de calcio (Wang, 2006). Finalmente se realiza la filtración de arena rápida, que consiste en el paso del agua a través de partículas de arena que retienen los sólidos restantes (Agua Para el Pueblo [APP], 2015).

En las poblaciones de Morocelí y San Matías, la ONG APP instaló dos plantas AguaClara con el apoyo de las juntas de agua locales. APP apoya constantemente mediante asistencia técnica al equipo de cada planta, sin embargo desde su construcción, no se han realizados estudios detallados por entes externos que permitan evaluar su eficiencia y funcionamiento. Esta investigación permite conocer si las plantas cumplen la función de proveer agua potable y sirve como línea base para la realización de mejoras en las tecnologías utilizadas en las plantas AguaClara.

El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de dos plantas potabilizadoras AguaClara en la remoción de *Escherichia coli* y en la mejora de la turbiedad, pH y conductividad eléctrica del agua, a través de: i) Cuantificar la presencia de *Escherichia coli* en la entrada a la planta, durante el proceso de sedimentación, en el pre-filtrado, en el tanque de almacenamiento y en la última llave en recibir el agua tratada, ii) identificar la correlación entre el número más probable (NMP) de *Escherichia coli* y los valores de turbiedad, pH, cloro libre, y conductividad eléctrica y iii) comparar la remoción de *Escherichia coli* y disminución de turbiedad, de las dos plantas potabilizadoras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios y puntos de muestreo. El muestreo se realizó en las plantas potabilizadoras Agua Clara y sus sistemas de distribución de agua de los municipios de Morocelí y San Matías de El Paraíso, Honduras. La ubicación geográfica de Morocelí es 16 P 514062.93 m al este y 156138.230 m al norte, a una elevación de 633 msnm (Google Inc., 2015). Su extensión territorial es de 332.3 km², y su población de 17,153 habitantes (Instituto Nacional de Estadística de Honduras [INE], 2013). Su planta abastece a 1,100 personas con un caudal máximo de 16 L/s y uso promedio de 12 L/s. La ubicación geográfica de San Matías es 16 P 540654.36 m al este y 1545585.58 m al norte, a una elevación de 789 msnm (Google Inc., 2015). Su extensión territorial es de 87.80 km² y su población es de 10,760 habitantes (INE, 2013). Su planta abastece a 700 personas con un caudal máximo de 14 L/s y uso promedio de 3.5 L/s (Christensen, 2016).

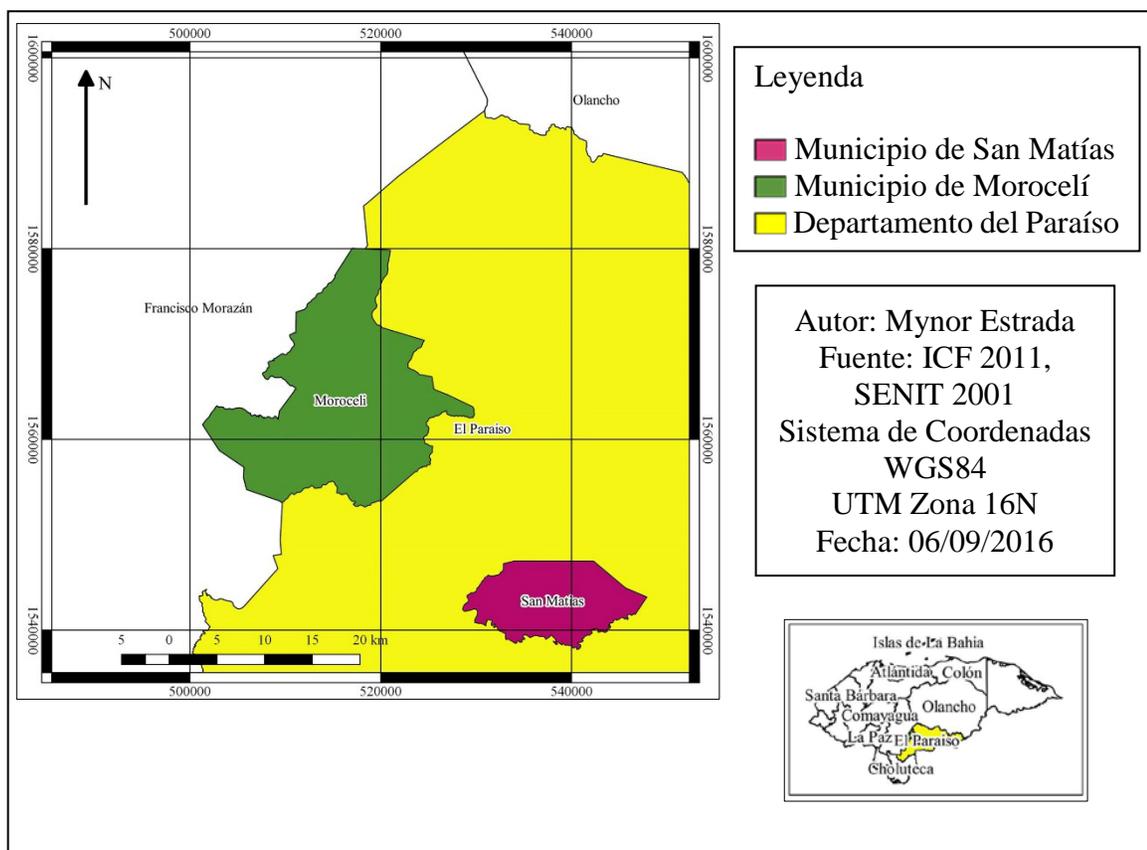


Figura 1. Localización de los municipios de San Matías y Morocelí.

En cada sitio se evaluó la calidad del agua a través del proceso de potabilización y distribución en los siguientes puntos: 1) Entrada de agua cruda a la planta potabilizadora, 2) sedimentador de la planta potabilizadora, 3) punto de aplicación de hipoclorito de calcio previamente a la entrada a los filtros de la planta potabilizadora, pre-filtrado, 4) primer tanque de distribución y 5) llave de agua de la casa más lejana en recibir el agua tratada.

Temporadas y número de muestreos. En cada sitio se realizaron siete muestreos, tres durante la época seca y cuatro en la lluviosa. Antes del estudio se realizó un muestreo de prueba y se socializó con la junta de agua municipal en cada sitio. Los muestreos en época lluviosa se realizaron solamente al obtener un registro de precipitación 24 horas previas al muestreo. En ambos sitios se realizaron los muestreos de la época seca en mayo, entre el 6 y 23 en Morocelí y el 5 y 23 en San Matías. Los muestreos de la época lluviosa se realizaron entre el 30 de mayo y el 20 de julio en Morocelí y entre el 30 de mayo y el 8 de julio en San Matías.

Recolección de muestra. Se realizó siguiendo los lineamientos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA] (2005). Se recolectaron tres muestras de 100 ml y una de 500 ml por cada punto de muestreo. Las de 100 ml se recolectaron con dos tipos de bolsas estériles, una marca Fisher sin químicos, y una Whirl-Pak con tiosulfato de sodio. Estas se usaron siguiendo las indicaciones de su manual de uso, para determinar la presencia de *E. coli* en las muestras (Nasco, 2016). Las bolsas Fisher se utilizaron en los puntos donde el agua no fue clorada y las Whirl-Pak en los puntos clorados. Estas muestras se almacenaron al momento de su colecta en bolsas marca Ziploc, dentro de una hielera con hielo artificial. Las muestras de 500ml se recolectaron en un recipiente de polietileno para medir parámetros físico-químicos. El grifo donde se recolectó el agua del último punto, se desinfectó mediante el uso de alcohol y llama. Al finalizar el muestreo, las muestras se transportaron al Laboratorio de Agua de Zamorano para ser analizadas de una a dos horas después de ser recolectadas.

Análisis de muestras. Los parámetros fisicoquímicos se midieron *in situ* al momento del muestreo. El pH y la conductividad eléctrica se registraron con un medidor multiparámetros Oakton PcsTestertm35 (Oakton Instruments, 2010) y la turbiedad y el cloro libre con un colorímetro Hach DR/890 (Hach, 2013). Finalmente se midió la temperatura ambiental del sitio de muestreo con un termómetro de mercurio.

El promedio de *E. coli* se determinó en el Laboratorio de Agua de Zamorano con la metodología de las bolsas CBT (Aquanex LLC., 2015). Como medio de cultivo se utilizó un sobre K092A-N0 (Himedia, 2012) que contiene el substrato cromogénico, 5-bromo-4-cloro-3-indolyl β -D-ácido glucurónico (X-GlcA) (Wang, 2015). Primero, se colocó los nutrientes de cultivo dentro de cada una de las tres bolsas Whirl-Pak de 100 ml por punto de muestreo durante 15 minutos para disolverlos completamente, tornándose color amarillo. Luego cada una se vertió en una bolsa Whirl-pak con 5 compartimentos de distinto volumen y se incubó a 35°C durante 25 horas. Las celdas con presencia de *E. coli* se tornaron azules verdosas debido a la presencia de CLBR-Índigo formado por la reacción entre X-GlcA y la enzima β -glucuronidasa producida por la *E. coli* (Sigma-Aldrich Inc., 2016). Después se utilizó la tabla incluida en la metodología para determinar el número más probable de *E. coli* de cada muestra. Finalmente se promediaron los resultados de las tres

muestras para obtener un valor promedio de *E. coli* por punto de muestreo. Por cada conjunto de muestras tomadas en el mismo lugar y fecha, se realizó un control negativo con agua purificada. Las muestras de la entrada a las plantas se diluyeron utilizando agua destilada y esterilizada. Los factores dilución de los muestreos realizados en época seca fueron de 1x, 10x y 10x; los de época lluviosa fueron de 1x, 10 y 100x.

Análisis estadístico. Se determinó la media, desviación típica, máximo y mínimo de todas las variables medidas. Luego se determinó la eficiencia de remoción de turbiedad y *E. coli* al comparar sus medias en las entradas con las de los tanques usando la Ecuación 1.

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Media de la entrada} - \text{Media del tanque}}{\text{Media de la entrada}} \quad [1]$$

Se realizó un test de comparación de medias con nivel de significancia del 95%, para establecer diferencias entre los parámetros fisicoquímicos y los conteos de *E. coli* de los sitios en los puntos de muestreo. Previamente se evaluó, la normalidad en la distribución de cada parámetro utilizando un test Shapiro–Wilk con nivel de significancia del 95%. Cuando los dos parámetros comparados provenían de poblaciones con una distribución normal se les aplicó un test t de Student. Si uno o ambos provenían de poblaciones sin una distribución normal se les aplicó un test U de Mann-Whitney. Mediante el coeficiente de correlación de Pearson, se determinó la correlación entre los parámetros fisicoquímicos evaluados y la presencia de *E. coli* en cada planta. Los análisis se realizaron con el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) de International Business Machines Corporation (IBM).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La media del pH de ambos sitios presentó disminución entre la entrada de la planta y el tanque de distribución, en San Matías del 0.4 % y en Morocelí del 2% (Figura 2). Estos se encontraron dentro de los rangos recomendados por la OMS (2003), entre 6.5 y 8.5, tanto en el agua de entrada a la planta como en la tratada. San Matías presentó una disminución entre la entrada y el pre-filtrado y luego un incremento entre tanque y la última llave. Esto se relaciona con estudios que establecen que el floculante aplicado en la entrada, PAC, disminuye el pH del agua (Cogollo, 2011), sin embargo, el desinfectante aplicado en el pre-filtrado, hipoclorito de calcio, sube el pH del agua (Wang, 2006). En Morocelí se encontró disminución en la sedimentación con un aumento en el pre-filtrado y disminución en el tanque y la última llave.

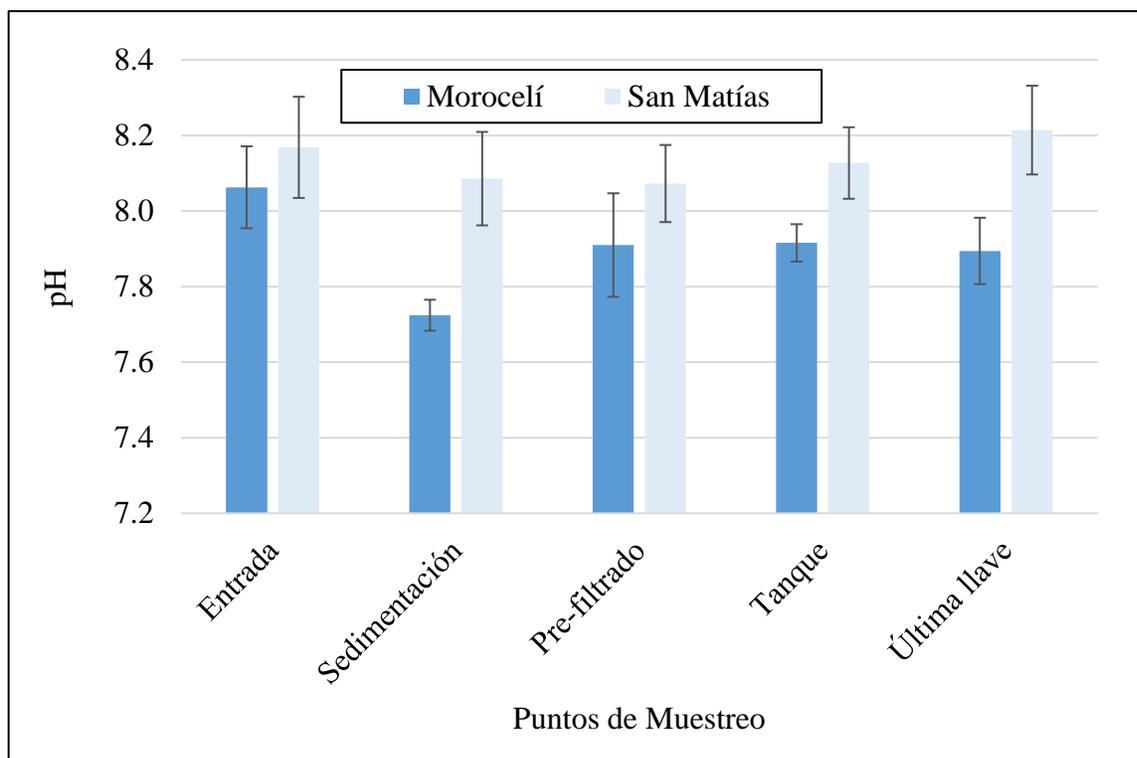


Figura 2. pH promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías.

La CE media de ambos sitios presentó aumento entre la entrada de la planta y el tanque de distribución, para San Matías del 5% y Morocelí del 10% (Figura 3). La OMS no regula

esta variable, sin embargo los valores encontrados en ambos sitios, en la entrada de la planta y en el tanque, son inferiores al valor recomendado por la legislación hondureña, 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (República de Honduras Ministerio de Salud, 1995). El hipoclorito de calcio utilizado para la desinfección tiene poco efecto en la CE debido a que actúa principalmente con la materia orgánica. Un estudio realizado en Zamorano establece que el uso de PAC aumenta la CE (Pineda, 2011), sin embargo otros estudios demuestran que la relación varía (Gómez, 2008). Esto se debe a que a pesar que el PAC es efectivo en la floculación de diversos compuestos orgánicos e inorgánicos, no actúa con todos los iones conductores que representa la CE. Esta variación explica la diferencia en la dinámica de la reacción del PAC en las dos plantas, en donde aumenta constantemente en San Matías y en Morocelí aumenta hasta el tanque y después disminuye.

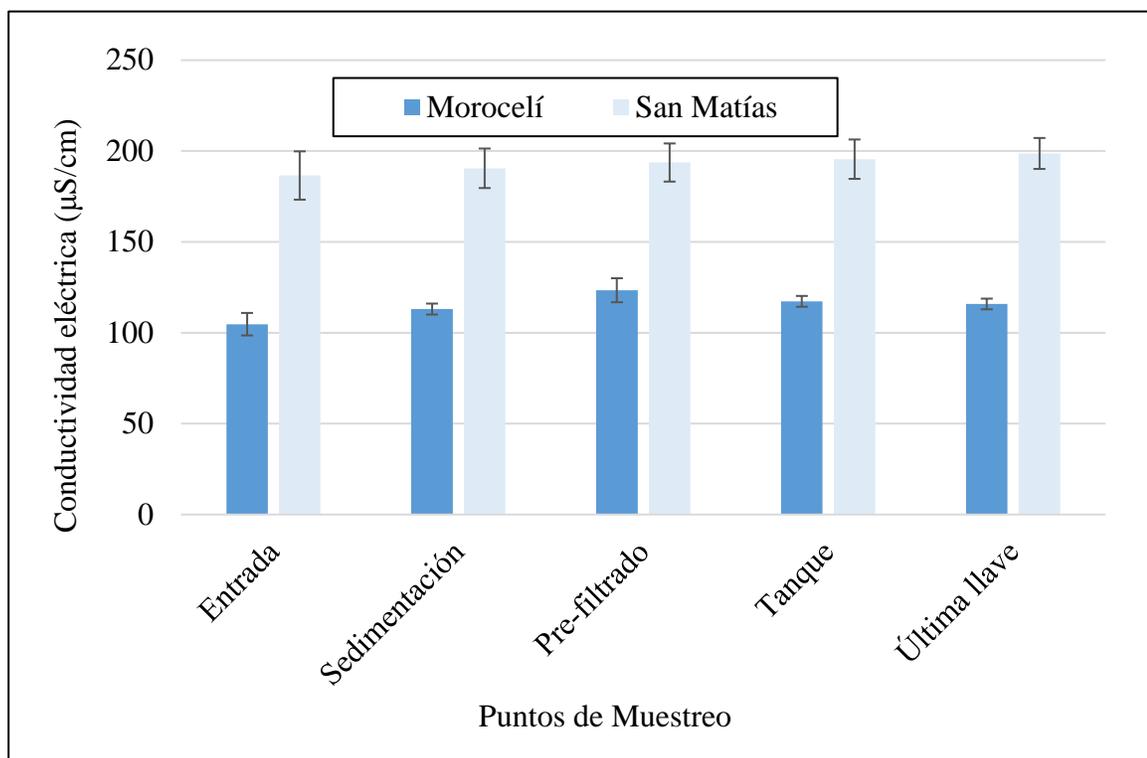


Figura 3. Conductividad eléctrica promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías.

La turbiedad promedio en la entrada de Morocelí fue de 34 UNT y en San Matías de 20 UNT (Figura 4). En la sedimentación se encontró que la media de ambos sitios disminuyó a 2 UNT, lo que indica una remoción del 94% en Morocelí y 90% en San Matías. En el pre-filtrado de Morocelí se disminuyó a un promedio de 1 UNT, que representa 50% de remoción y en San Matías a 0 UNT, que representa 100% de remoción; ambos valores menores al máximo de 5 UNT aceptado por la OMS (2011). El porcentaje de remoción de turbiedad por todos los procesos de las plantas potabilizadoras fue del 95% en San Matías y 94% en Morocelí. En ambos sitios aumentó la turbiedad en el tanque de distribución, con una media de 2 UNT en Morocelí y 1 UNT en San Matías. En el 14% de los muestreos al

tanque de Morocelí se encontraron valores superiores a los recomendados, mientras que todos los muestreos realizados al tanque de San Matías se encontraron dentro de la norma. Este incremento pudo ser causado por el estado de los tanques y tuberías de conexión, en los cuales se observó oxidación y daño en su estructura. Diversos estudios indican que la oxidación y daños del sistema de distribución de agua contribuyen al aumento en la turbiedad del agua tratada (Ellen y Schwab, 2005; Lehtola, Nissinen, Miettinen, Martikainen y Vartiainen, 2004). En los muestreos a las últimas llaves la turbiedad disminuyó, con promedios de 1 UNT en Morocelí y 0 UNT en San Matías. Esto pudo ser causado por sedimentación del agua que permanece estancada durante intervalos de tiempo en ambos tanques de distribución.

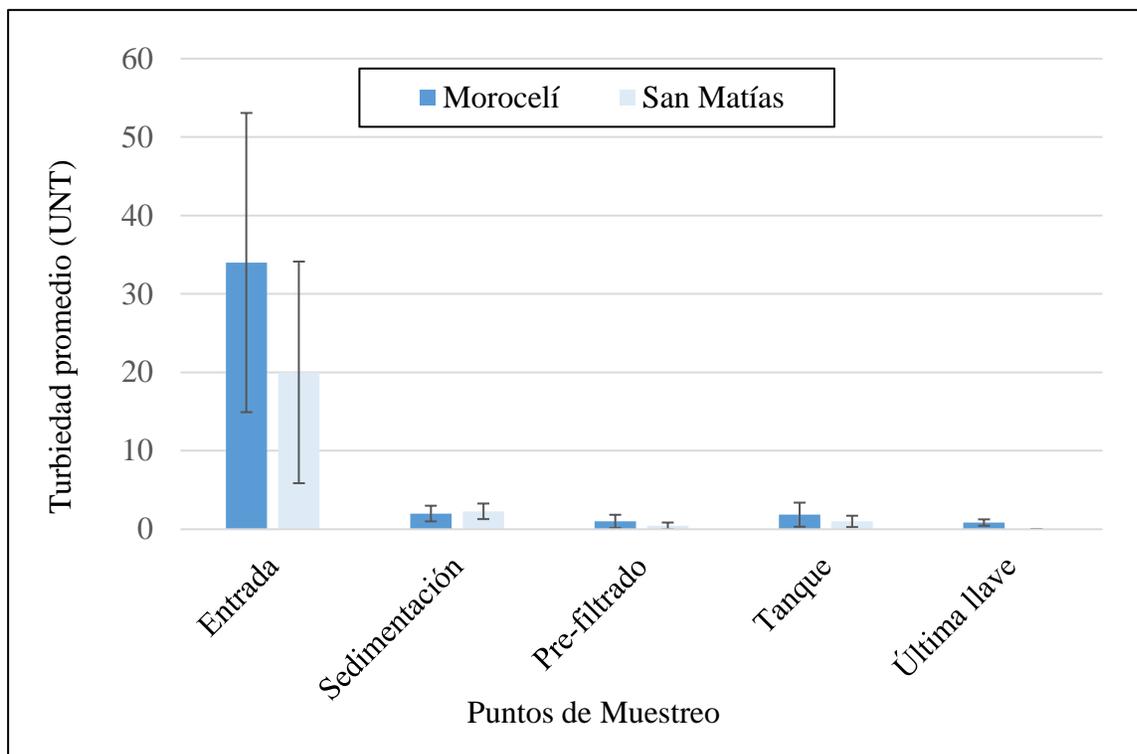


Figura 4. Turbiedad promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías.

En San Matías se encontró interferencia en la medición del cloro residual, motivo por el cual se utilizó como factor de corrección 0.10 mg/L. Este se determinó a través de pruebas con blancos en el Laboratorio de Agua de Zamorano. No se encontró presencia de cloro residual en la entrada de ambas plantas, debido a que el cloro se aplica en el pre-filtrado (Figura 5). Sin embargo, en la sedimentación de Morocelí se encontró cloro residual, con una media de 0.02 mg/L, ya que los operarios de la planta lavan en esta parte el equipo de aplicación de cloro. En el pre-filtrado de ambas plantas se encontraron valores promedio dentro del rango permitido por la OMS (0.2 mg/L a 1 mg/L) de 0.59 mg/L en Morocelí y 0.42 mg/L en San Matías. Sin embargo, en el 28.5% de los muestreos de San Matías se obtuvieron valores inferiores a los sugeridos por la OMS, entre ellos uno en el cual el cloro no fue detectado debido a que al realizar el muestreo la máquina de inyección de cloro no

se encontraba en funcionamiento. El promedio de cloro en el tanque de Morocelí fue de 0.46 mg/L, dentro de los valores sugeridos por la OMS. En el tanque de San Matías se obtuvo un promedio de 0.18 mg/L, menor a lo aceptado por la OMS. En la última llave de Morocelí se obtuvo un promedio de 0.33 mg/L, con dos muestras inferiores a lo recomendado. Todos los muestreos (media=0.07 mg/L) de la última llave en San Matías obtuvieron valores inferiores a los recomendados. Esta disminución en la cantidad de cloro residual, pudo ser causada por su degradación en el sistema de distribución de agua identificado en estudios previos (Fattoruso et al., 2014).

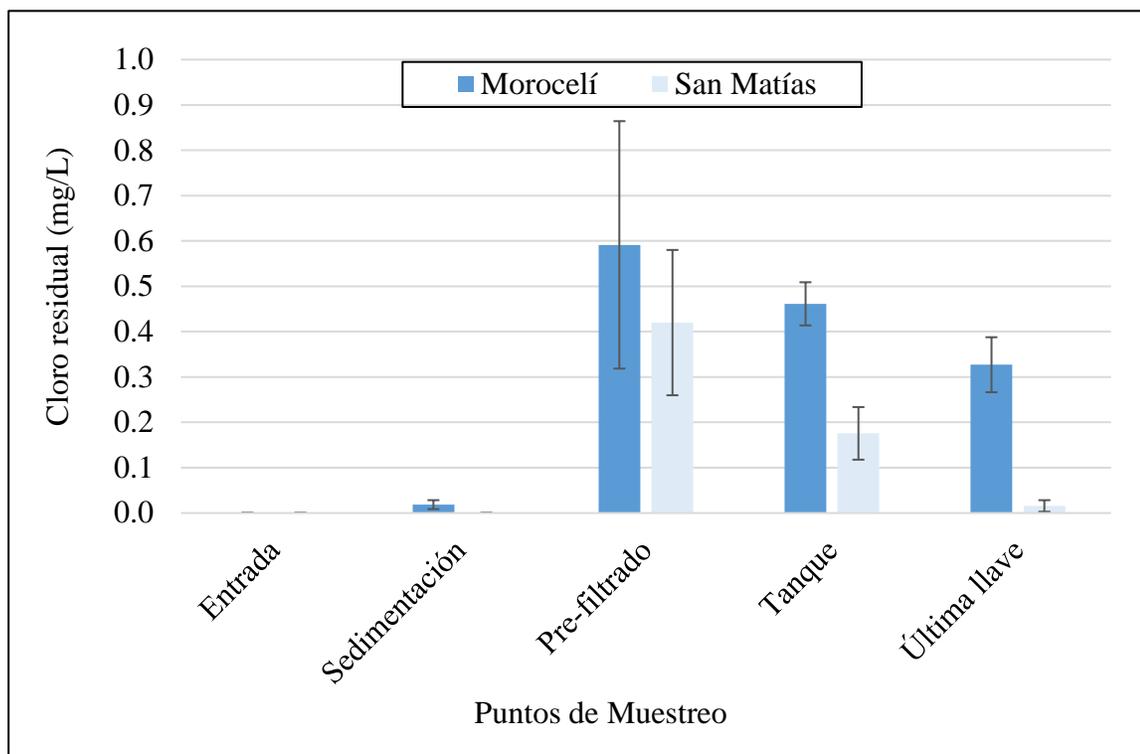


Figura 5. Cloro residual promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías.

En las entradas de ambas plantas se detectó presencia de *E. coli*, con un promedio de 251.15 NMP/100 ml en Morocelí y 597.76 NMP/100 ml en San Matías (Figura 6). En ambos sitios, el valor disminuyó durante los procesos de las plantas, sin ser detectado al llegar a los tanques, lo que indica que ambas plantas lograron eliminar el 100% de *E. coli*. La media de la llave de Morocelí fue de 0 NMP/100 ml y de San Matías de 0.76 NMP/100 ml con un máximo de 3.20 NMP/100 ml. La OMS establece que el agua potable no debe presentar *E. coli*, requerimiento incumplido por San Matías en su red de distribución en los siete muestreos. La presencia de *E. coli* en el agua pudo deberse a que los valores de cloro residual presentes no eran los suficientes para mantener la desinfección del agua en la red de distribución.

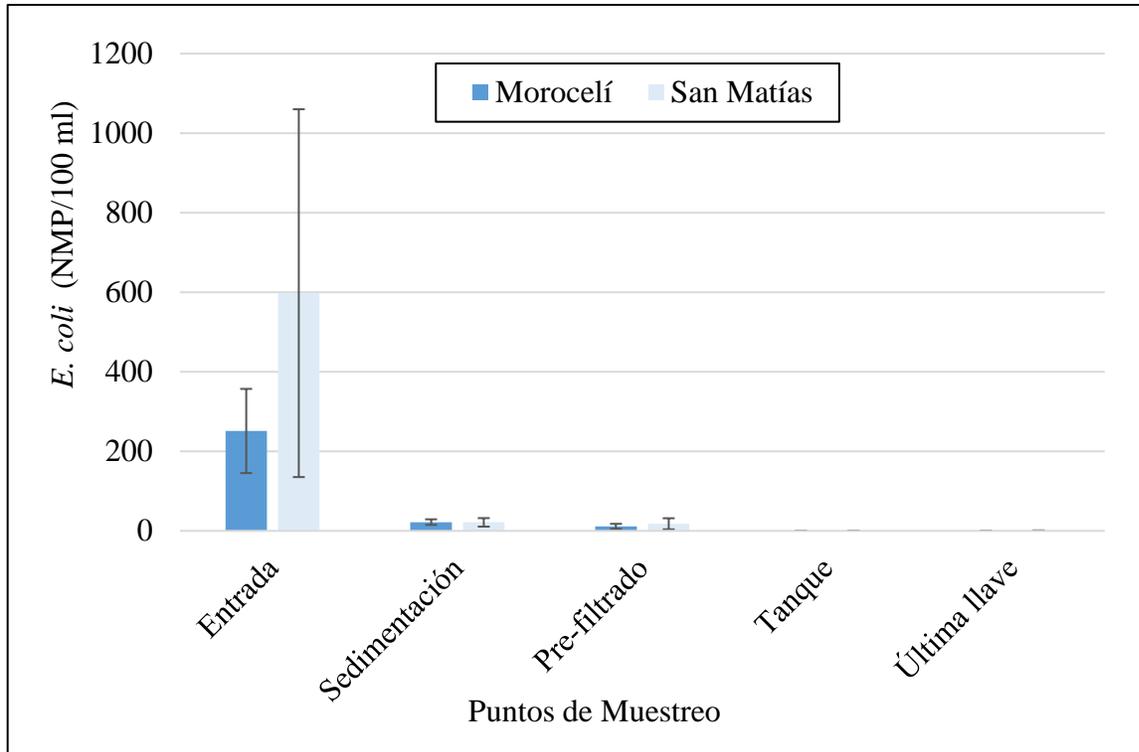


Figura 6. *E. coli* promedio del agua tratada y distribuida en Morocelí y San Matías.

Por cada variable, se realizó un test de medias entre los resultados de las entradas a las plantas, los tanques de distribución y las últimas llaves de cada sitio, sin aplicarse en los puntos donde se obtuvo un promedio de 0. Se realizó una prueba t de Student en la comparación del pH de la entrada y el tanque y de todos los puntos del cloro residual. Para las demás comparaciones se realizó un test U de Mann-Whitney. A continuación se describen los resultados de las variables:

pH. No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tres puntos comparados (Cuadro 1). Esto indica que ambas plantas tienen el mismo efecto sobre el pH del agua.

Conductividad eléctrica. Las medias encontradas en los tres puntos comparados fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Esto se explica debido a la diferencia en la CE de las entradas, mayor en San Matías, y al hecho de que los tratamientos de ambas plantas tienen efecto similar sobre este parámetro. El contraste en las entradas puede deberse a diferencias en las fuentes de agua y a contaminación antropogénica.

Cloro residual. No se compararon las entradas porque el agua entra a la planta sin cloro. En el tanque y la última llave se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias ($p < 0.05$), las cuales fueron mayores en Morocelí. Esto indica mayor aplicación de cloro de forma consistente en la planta de Morocelí.

Turbiedad. Pese a que el agua entra con mayor turbiedad en Morocelí que en San Matías, y que se encontró diferencia entre los porcentajes de remoción de ambas plantas, 95% en San Matías y 94% en Morocelí, no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tres puntos comparados.

E. coli. La media en la entrada de la planta de San Matías fue mayor que la de Morocelí, sin embargo, no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre ambas, por lo que el agua cruda es similar con relación a la carga de *E. coli*. Al ser nulos los valores encontrados en el tanque de distribución en ambos sitios, no fue necesario realizar un test de comparación de medias entre ellos. Estadísticamente no se encontró diferencia entre los promedios de las últimas llaves ($p < 0.05$).

Cuadro 1. Promedio y comparación de medias de pH, conductividad eléctrica, cloro residual, turbiedad y *E. coli*.

| Variable | Parámetro estadístico | Entrada | Tanque | Última llave |
|---|-----------------------|-----------|-----------|--------------|
| pH | Media Morocelí | 8.060 | 7.920 | 7.890 |
| | Media San Matías | 8.170 | 8.130 | 8.210 |
| | Valor U o t | -0.610(t) | -1.980(t) | 11.500(U) |
| | Significancia | 0.551 | 0.071 | 0.096 |
| Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Media Morocelí | 105.000 | 117.000 | 116.000 |
| | Media San Matías | 187.000 | 196.000 | 199.000 |
| | Valor U o t | 4.000(U) | 0.000(U) | 0.000(U) |
| | Significancia | 0.009 | 0.002 | 0.002 |
| Cloro residual (mg/L) | Media Morocelí | 0.000 | 0.460 | 0.330 |
| | Media San Matías | 0.000 | 0.180 | 0.020 |
| | Valor U o t | - | 3.800(t) | 0.000(U) |
| | Significancia | - | 0.002 | 0.001 |
| Turbiedad (UNT) | Media Morocelí | 34.000 | 2.000 | 1.000 |
| | Media San Matías | 20.000 | 1.000 | 0.000 |
| | Valor U o t | 18.000(U) | 17.500(U) | 14.000(U) |
| | Significancia | 0.387 | 0.142 | 0.060 |
| <i>E. coli</i> (NMP/100ml) | Media Morocelí | 251.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Media San Matías | 598.000 | 0.000 | 1.000 |
| | Valor U o t | 21.000(U) | - | 17.500(U) |
| | Significancia | 0.654 | - | 0.142 |

Las correlaciones entre las variables físicoquímicas y el NMP de *E. coli* del agua de San Matías no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 2). Esto se puede explicar por la

inconsistencia en los tratamientos de la planta, entre ellos la aplicación irregular de cloro. Sin embargo en las correlaciones de Morocelí se obtuvieron resultados estadísticamente significativos. A continuación se describen los resultados de Morocelí:

pH. Se determinó una correlación positiva alta entre el pH y la presencia de *E. coli*. Distintas fuentes establecen valores neutros de pH para el desarrollo óptimo de la bacteria (ELIKA, 2013; Maurer, Yohannes, Bondurant, Radmacher y Slonczewski, 2005); y estudios establecen una correlación negativa entre las variables (Galdino, Bemvindo y Vinícius, 2011). El resultado puede ser el efecto indirecto de la aplicación de PAC utilizado para la reducción de la turbiedad lo cual reduce los valores de *E. coli*. Sin embargo este provoca reacciones que disminuyen el pH.

Cloro residual. Se encontró una correlación negativa entre los valores de Morocelí. Estos resultados se asemejan a estudios anteriores (Karikari y Ampofo, 2013) y validan la efectividad del cloro como desinfectante.

Turbiedad. En Morocelí se encontró una correlación positiva alta lo cual concuerda con los estudios han demostrado correlación positiva entre turbiedad y *E. coli* (Smith, Paiba y Ellis-Iversen, 2008; USGS Georgia Water Science Center, 2012).

Conductividad eléctrica. Se identificó una correlación negativa alta entre la conductividad eléctrica del agua y la presencia de *E. coli* en los procesos. La correlación pudo ser causada indirectamente debido a que los tratamientos de la planta potabilizadora removieron todo el *E. coli*; y no tuvieron un efecto cuantificable en la CE.

Cuadro 2. Correlación entre pH, conductividad eléctrica, cloro residual, y turbiedad con *E. coli*.

| Variable | Parámetro estadístico | <i>E. coli</i> NMP/100ml | |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------|
| | | Morocelí | San Matías |
| pH | Coefficiente de Pearson | 0.548 | 0.004 |
| | Significancia | 0.001 | 0.980 |
| Conductividad eléctrica (uS/cm) | Coefficiente de Pearson | -0.628 | 0.000 |
| | Significancia | 0.000 | 0.999 |
| Cloro residual (mg/L) | Coefficiente de Pearson | -0.371 | -0.115 |
| | Significancia | 0.052 | 0.560 |
| Turbiedad (UNT) | Coefficiente de Pearson | 0.895 | 0.062 |
| | Significancia | 0.000 | 0.723 |

4. CONCLUSIONES

- Los procesos de las dos plantas potabilizadoras fueron eficientes en la remoción de *E. coli*, y en la disminución de turbiedad. El agua tratada por las dos plantas presentó valores de *E. coli* y turbiedad dentro de lo establecido por la OMS para agua potable. En ambas plantas los tratamientos redujeron su pH e incrementaron su conductividad eléctrica. Sin embargo, desde la entrada a la planta hasta la salida los valores del pH y conductividad eléctrica se mantuvieron dentro de los valores establecidos por la OMS para el agua potable.
- En San Matías y Morocelí se identificó presencia de *E. coli* en todos los puntos muestreados en las plantas potabilizadoras; sin embargo, no se encontró en los tanques de distribución de agua. De las últimas llaves en recibir agua tratada, solamente en la de San Matías se detectó presencia de *E. coli*. La ausencia de *E. coli* en el tanque de San Matías y la presencia en la última llave en recibir agua tratada indicó contaminación en el sistema de distribución y dosificación inadecuada de hipoclorito de calcio en la planta.
- Se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre *E. coli* y los parámetros fisicoquímicos medidos solamente en Morocelí. La correlación con la presencia de *E. coli*, fue positiva para el pH y la turbiedad; y negativa para el cloro residual y la conductividad eléctrica. La falta de correlaciones en San Matías indica alta variabilidad en los procesos de la planta potabilizadora y en las características del agua que ingresa a la planta.
- Los tratamientos de ambas plantas potabilizadoras fueron iguales; removieron completamente la *E. coli*; y disminuyeron igual turbiedad tanto en la época seca como en la época lluviosa. En promedio, se encontró la misma cantidad de turbiedad y *E. coli*. en la entrada de ambas plantas.

5. RECOMENDACIONES

- Mejorar la dosificación de hipoclorito de calcio en la planta potabilizadora de San Matías. Se debe establecer una dosis capaz de mantener concentraciones de cloro libre dentro del rango recomendado por la OMS, en todo el sistema de distribución de agua de forma permanente para lograr una desinfección adecuada.
- Capacitar a los operadores de la planta potabilizadora de San Matías en la operación y mantenimiento de la planta. Esto permitirá que realicen mejor sus labores y les brindará conocimiento para la toma de decisiones durante problemas en operacionales. Además contribuirá a mantener la estandarización de los procesos de potabilización.
- Determinar el elemento o compuesto que provoca interferencia en la lectura del cloro residual en San Matías. Al identificarlo se podrá determinar si tiene algún efecto sobre el agua tratada o los procesos de la planta, de ser necesario, también la manera de reducirlo o removerlo.
- Realizar mantenimiento a los tanques de distribución de agua de los dos sitios estudiados. Esto evitará el aumento en la turbiedad entre la salida de la planta y el tanque de distribución. Para conservarlos en estado óptimo y aumentar su vida útil, se les deberá de realizar mantenimientos con una frecuencia establecida.
- Establecer un plan de monitoreo en ambas plantas. El plan deberá incluir las variables a muestrear, frecuencia de muestreos y punto de muestreos. Este servirá para mantener óptimas las operaciones de las plantas y para identificar mejoras.
- Realizar investigaciones en ambos sitios que incluyan el efecto de las plantas potabilizadoras en parámetros distintos a los evaluados en este estudio. Esto respaldará la eficiencia de las plantas y contribuirá a determinar si requieren mejoras.
- Revisar las tuberías de distribución de agua de San Matías. Esto permitirá determinar si el aumento de *E. coli* entre el tanque y la última llave se debe a algún problema en las tuberías de distribución.

6. LITERATURA CITADA

- Agua Para el Pueblo. (27 de Marzo de 2015). AguaClara. Recuperado de Agua para el pueblo: http://www.apphonduras.org/wp-content/uploads/2015/01/AC-White-Pages-150326_ESP1.pdf
- AguaClara LLC. (2016). AguaClara. Recuperado de The AguaClara Difference: <http://www.aguaclarallc.com/the-aguaclara-difference/>
- Aquanex LLC. (Febrero de 2015). Aquagenx Compartment Bag Test. Recuperado de Aquanex: <https://www.aquagenx.com/wp-content/uploads/2015/02/v5-AquagenxCBTRochure.pdf>
- Barrenechea, A. (14 de Enero de 2005). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. Recuperado de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>
- Bullinger, H.-J. (2009). Water treatment. En H.-J. Bullinger, *Technology Guide* (394-397). Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Cárdenas, A. (2000). *Tratamiento de agua Coagulación y Floculación*. Lima: SEDAPAL.
- Christensen, J. (2016). Información sobre las plantas AguaClara de Morocelí y San Matías. Tegucigalpa: Agua Para el pueblo.
- Cogollo, J. M. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxiclورو de aluminio. *Dyna*, 18-27. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n165/a02v78n165.pdf>
- Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento. (2016). Bienvenidos al portal de CONASA. Recuperado de CONASA: <http://www.conasa.hn/index.php/inicio>.
- Ellen, L., y Schwab, K. (2005). Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries. *Journal of Water and Health*, 109-127. Recuperado de <http://jwh.iwaponline.com/content/ppiwajwh/3/2/109.full.pdf>
- Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento. (2016). Marco Estratégico. Recuperado de Ente regulador de los servicios de agua potable y saneamiento en Honduras: <http://www.ersaps.hn/institucional.php?o=2>

- Fattoruso, G., De Chiara, D., De Vito, S., La Ferrara, V., Di Francia, G., Leopardi, A. y Fontana, M. (2014). Simulation of Chlorine Decay in Drinking Water Distribution Systems: Case Study of Santa Sofia Network (Southern Italy). In G. Fattoruso, D. De Chiara, S. De Vito, V. La Ferrara, G. Di Francia, A. Leopardi y M. Fontana, *Sensors and Microsystems* (467-470). Cham: Springer International Publishing.
- Fundación Vasca para la Seguridad Alimentaria. (28 de Febrero de 2013). *Escherichia Coli*. Recuperado de Fundación Vasca para la Seguridad Alimentaria: http://www.elika.eus/datos/pdfs_agrupados/Documento84/3.Ecoli.pdf
- Galdino, V., Bemvindo, R. y Vinícius, M. (2011). Correlation between *Escherichia coli* and limnological variables in water samples of the Lagoa da Maraponga, Fortaleza, Ceará State, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, (145-151).
- Gobierno de Honduras. (2003). Decreto No. 118-2003. Tegucigalpa: La Gaceta.
- Gobierno de Honduras. (2010). República de Honduras Visión de País 2010-2038 Plan de Nación 2010-2022. Tegucigalpa: Gobierno de Honduras.
- Gobierno de Honduras. (2009). Decreto No. 181-2009. La Gazeta, (1- 39).
- Gómez, M. (2008). Propuesta de planta tratadora de aguas residuales. Sonora: Universidad de Sonora .División de Ingeniería. Recuperado de <http://www.bidi.uson.mx/tesis/De t.aspx?crit1=IDUT&texto1=19121&crit2=TITULO&texto2=>.
- Google Earth Pro V 7.1.5.1557. (4 de Septiembre de 2013). Honduras. 16 P 580429.39 mE 1602742.32 m N elevación 631 m alt. Ojo 575.71 km SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO.
- Google Earth Pro V 7.1.5.1557. (17 de Diciembre de 2014). Honduras. 16 P 515274.30 m E 1561334.95 m N elevación 696 m alt. Ojo 7.03 km CNES/ Astrium 2016.
- Google Earth Pro V 7.1.5.1557. (17 de Diciembre de 2014). Honduras. 16 P540682.12 m E 1545654.44 m N elevación 789 m alt. Ojo 1.56 km CNES/Astrium, U.S. Navy 2016.
- Hach. (2013). DR/890 Portable Colorimeter. Recuperado de HACH: <http://www.hach.com/dr-890-portable-colorimeter/product-downloads?id=7640439041>.
- Heldman. D. R. (2008). *Escherichia coli*. En D. R. Heldman., *Foodborne Microbial Pathogens* (183-200). New York: Springer New York. Recuperado de [http:// download.springer.com/static/pdf/208/chp%253A10.1007%252F978-0-387-74537-Url=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-0-387-745374_10.token2=exp=1464128117~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F208%2Fchp%25253A10.1007%25252F978-0-38](http://download.springer.com/static/pdf/208/chp%253A10.1007%252F978-0-387-74537-Url=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-0-387-745374_10.token2=exp=1464128117~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F208%2Fchp%25253A10.1007%25252F978-0-38)

- Himedia. (2012). Biological products. Recuperado de Himedia Labs: <http://www.himedialabs.com/intl/en/applications/Water/Water-Testing-kits-Biological/238>
- Idexx Laboratories Inc. (2015). Colilert. Recuperado de IDEXX: <https://www.idexx.com/resource-library/water/colilert-procedure-en.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística. (22 de Marzo de 2013). Instituto Nacional de Estadística de Honduras . Recuperado de El INE te cuenta: principales resultados del censo a nivel departamental y municipios:<http://www.ine.gob.hn/index.php/component/content/article?id=103>
- Jianghong, M. y Schroeder, C. M. (2007). *Escherichia coli*. En M. Jianghong, y C. M. Schroeder, *Foodborne Diseases* (1-25). New York City: Humana Press. Recuperado de Foodborne Diseases.
- Karikari, A., y Ampofo, J. (2013). Chlorine treatment effectiveness and physico-chemical and bacteriological characteristics of treated water supplies in distribution networks of Accra-Tema Metropolis. *Applied Water Science*, (535–543).
- Lehtola, M., Nissinen, T., Miettinen, I., Martikainen, P., y Vartiainen, T. (2004). Removal of soft deposits from the distribution system improves the drinking water quality. *Water Research*, (601–610).
- Maurer, L., Yohannes, E., Bondurant, S., Radmacher, M. y Slonczewski, J. (2005). pH Regulates Genes for Flagellar Motility, Catabolism, and Oxidative Stress in *Escherichia coli* K-12. *Applied and Environmental Microbiology*, (304-319). Recuperado de <http://jeb.asm.org/content/187/1/304.full>
- Nasco. (2016). Hoja de instrucciones para las bolsas de muestra Whirl-Pak. Recuperado de ENasco : https://www.enasco.com/pdfs/B01089_Spanish.pdf
- Nature America, INC. (2016). How does chlorine added to drinking water kill bacteria and other harmful organisms? Why doesn't it harm us? Recuperado de Scientific American: <http://www.scientificamerican.com/article/how-does-chlorine-added-t/>
- Noubactep, C. y Woaf, P. (2008). Elemental Iron (Fe⁰) for Better Drinking Water in Rural Areas of Developing Countries. En B. J. Merkel , y A. Hasche-Berger, Uranium, *Mining and Hydrogeology* (121-130). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Oakton Instruments. (1 de Marzo de 2010). Waterproof Multiparameter PCS Testr 35. Recuperado de Oakton Instruments: <http://www.4oakton.com/SellSheets/35425-00,-05,-10.pdf>
- Organización Meteorológica Mundial (Junio de 1992). Organización Meteorológica Mundial. Recuperado de Declaración de Dublín sobre el agua y el desarrollo sostenible: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/documents/espanol/icwedecs.html#p4>

- Organización Mundial de la Salud. (2003). Organización mundial de la salud . Recuperado de pH in Drinking-water: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/ph.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Hojas informativas sobre enfermedades relacionadas con el agua. Recuperado de OMS: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Las Guías: un marco para la seguridad del agua de consumo . En OMS, Guías para la calidad del agua potable (27-37). Ginebra : Ediciones de la OMS. Recuperado de Guías para la calidad del agua potable: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Guidelines for Drinking-Water Quality. Recuperado de Organización Mundial de la Salud: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (Diciembre de 2011). Organización Mundial de la Salud. Recuperado de Enterohaemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC): <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs125/en/>
- Organización Mundial de la Salud. (07 de Septiembre de 2013). Agua, saneamiento y salud (ASS). Recuperado de Organización mundial de la salud : http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/
- Organización de las Naciones Unidas. (9 de Junio de 2011). Organización de las Naciones Unidas . Recuperado de El derecho humano al agua y al saneamiento: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_milestones_spa.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (7 de Febrero de 2014). Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de El derecho humano al agua y al saneamiento: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Recuperado de Naciones Unidas : <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo del Milenio Informe de 2015. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas . Recuperado de http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). Antecedentes a Objetivos de Desarrollo del Milenio . Recuperado de Naciones Unidas: <http://www.un.org/es/millenniumgoals/bkgd.shtml>

- Organización Panamericana de la Salud. (2007). Guía para la selección de sistema de desinfección . Lima. Organización Panamericana de la Salud .
- Organización Panamericana de la Salud. (26 de Septiembre de 2008). Guía para la desinfección del Agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo. Recuperado de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/041894.pdf>
- Ortega, J. (3 de Septiembre de 2002). La ósmosis inversa como proceso de potabilización en España. Recuperado de Biblioteca virtual de desarrollo: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia31.pdf>
- Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento. (30 de Junio de 2015). Informe 2015 del PCM: datos esenciales . Recuperado de JMP: http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMP-2015-update-key-facts-Spanish.pdf
- Programa de Apoyo a la Administración Pública y a la Integración Regional. (2013). Diagnóstico institucional y estrategia de concertación y fortalecimiento del sector agua potable y saneamiento en Honduras. Tegucigalpa: PAAIR .
- Pineda, M. (2011). Determinación de los requerimientos para la potabilización del agua de la microcuenca Santa Ines, Francisco Morazan, Honduras (Tesis de pregrado).
- Pope, J., Weir, M. y Rose, J. (2012). History of water and health. En A. Angelakis, L. Mays, D. Koutsoyiannis, y N. Mamassis, *Evolution of water supply* (46-47). Nueva York: IWA.
- Red de Agua y Saneamiento de Honduras. (2011). Estudios sobre Exclusión en el sector agua y saneamiento de Honduras. Tegucigalpa: UNICEF.
- Ray, C. y Jain, R. (2011). Drinking Water Treatment Technology—Comparative Analysis. En C. Ray, y R. Jain, *Drinking water treatment focusing on appropriate technology and sustainability* (9-36). Berlin: pringer Science+Business Media .
- República de Honduras Ministerio de Salud. (4 de Octubre de 1995). Norma técnica para la calidad de agua potable. Recuperado de Secretaria de Salud Gobierno de Honduras: <http://www.salud.gob.hn/transparencia/transparencia/archivos/regulacion/leyes/NORMA%20TECNICA%20CALIDAD%20AGUA%20POTABLE%20Honduras.pdf>
- Rivas, L., Mellor, G. E., Gobius, K. y Fegan, N. (2015). Introduction to Pathogenic *Escherichia coli*. En L. Rivas, G. E. Mellor, K. Gobius, y N. Fegan, *Detection and typing strategies for pathogenic Escherichia coli* (1-38). New York: SpringerBriefs in Food, Health, and Nutrition.

- Rodríguez, A., Rosal, R., Perdígón-Melón, J., Mezcua, M., Agüera, A., Hernando y García-Calvo, E. (2008). Ozone-Based Technologies in Water and Wastewater Treatment. In O. Hutzinger, D. Barceló, y A. Kostianoy, *Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste* (127-175). Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sigma-Aldrich, Inc. (21 de Febrero de 2016). Product Information. Recuperado de Sigmaaldrich: <https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigma-aldrich/docs/Sigma/DataSheet/b8049dat.pdf>
- Smith, R., Paiba, G. y Ellis-Iversen, J. (2008). Short Communication: Turbidity as an Indicator of *Escherichia coli* Presence in Water Troughs on Cattle Farms. *American Dairy Science Association*, (2082–2085). Recuperado de [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(08\)71244-X/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(08)71244-X/pdf)
- Taricska, J., Wang, L., Hung, Y. y Hung, K. (2006). Potable Water Aeration. En L. Wang, Y. Hung, y N. Shammas, *Advanced Physicochemical Treatment Processes* (1-45). Nueva York: Humana Press.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura. (2016). 2005-2015: Decenio Internacional para la Acción " El agua, fuente de vida". Recuperado de UNESCO:<http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/water-for-life/>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (Mayo de 2010). Agua, saneamiento e higiene en números. Recuperado de UNICEF: http://www.unicef.org/spanish/media/media_4_5481.html
- US Environmental Protection Agency. (25 de Septiembre de 2015). EPA. Recuperado de Indicators: Conductivity: <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-conductivity>
- US Environmental Protection Agency. (abril de 2005). Quick guide to drinking water sample collection. Recuperado de Muestreo de contaminantes biológicos: Coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli*, enterococci, bacteria, heterotrófica o colífagos: <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/samplingprocedures.pdf>
- US Environmental Protection Agency. (Julio de 2006). Method 1603: *Escherichia coli* (*E. coli*) in Water by Membrane Filtration Using Modified membrane-Thermotolerant *Escherichia coli* Agar (Modified mTEC). Recuperado de National Service Center for Environmental Publications (NSCEP): <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1002DAB.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006+Thru+2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C06thru10%5CTxt%5C00000005%5CP1002DAB.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&Fuzzy>

Degree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL

United State Geological Survey. (2 de Mayo de 2016). pH- Water properties. Recuperado de U.S. Geological Survey: <http://water.usgs.gov/edu/ph.html>

United State Geological Survey Georgia Water Science Center. (14 de Febrero de 2012). *Escherichia coli* Bacteria Density in Relation to Turbidity, Streamflow Characteristics and Season in the Chattahoochee River near Atlanta, Georgia, October 2000 through September 2008—Description, Statistical Analysis, and Predictive Modeling. Recuperado de U.S. Geological Survey: <http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5037/pdf/sir2012-5037.pdf>

Wang, A. (2015). Performance evaluation of the compartment bag test. Chapel Hill: University of North Carolina .

Wang, L. K. (2006). Water Chlorination and Chloramination. En L. K. Wang, *Advanced Physicochemical Treatment Processes* (367-401). Totowa, New Jersey: Humana Press. Recuperado de http://download.springer.com/static/pdf/402/chp%253A10.1007%252F978-159745-029-4_11.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-1-59745-0294_11&token2=exp=1473893991~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F402%2Fchp%25253A10.1007%25252F978-1-59

Water Research Watershed Center. (20 de Mayo de 2016). Chlorination of Drinking Water. Recuperado de Water Research Center: <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/tools/chlorination-of-water>

7. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de los muestreos de Morocelí.

| Fecha de muestreo | Punto de Muestreo | pH | Cloro Residual | Turbiedad (UNT) | Conductividad eléctrica (uS) | Promedio NMP/100ml |
|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 6 de Mayo | Entrada | 7.71 | 0 | 0 | 120 | 3.67 |
| 6 de Mayo | Sedimentación | 7.56 | 0.02 | 7 | 121 | 0 |
| 6 de Mayo | Pre-filtrado | 8.06 | 0.39 | 0 | 123 | 0 |
| 6 de Mayo | Tanque | 7.99 | 0.38 | 11 | 123 | 0 |
| 6 de Mayo | Ultima llave | 8.12 | 0.14 | 0 | 123 | 0 |
| 6 de Mayo | Control | - | - | - | - | |
| 16 de Mayo | Entrada | 7.96 | 0 | 5 | 117 | 15.66 |
| 16 de Mayo | Sedimentación | 7.85 | 0 | 4 | 120 | 38.07 |
| 16 de Mayo | Pre-filtrado | 7.77 | 0.28 | 0 | 121 | 2.80 |
| 16 de Mayo | Tanque | 8.03 | 0.59 | 0 | 123 | 0 |
| 16 de Mayo | Ultima llave | 8.02 | 0.37 | 0 | 122 | 0 |
| 16 de Mayo | Control | - | - | - | - | 0 |
| 23 de Mayo | Entrada | 7.89 | 0 | 0 | 118 | 26.10 |
| 23 de Mayo | Sedimentación | 7.65 | 0.06 | 1 | 120 | 3.90 |
| 23 de Mayo | Pre-filtrado | 7.64 | 0.05 | 6 | 120 | 2.07 |
| 23 de Mayo | Tanque | 7.96 | 0.31 | 0 | 121 | 0 |

| Fecha de muestreo | Punto de Muestreo | pH | Cloro Residual | Turbiedad (UNT) | Conductividad eléctrica (uS) | Promedio NMP/100ml |
|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 23 de Mayo | Ultima llave | 7.97 | 0.57 | 0 | 112 | 0 |
| 23 de Mayo | Control | - | - | - | - | 0 |
| 30 de Mayo | Entrada | 7.99 | 0 | 1 | 113 | 118.67 |
| 30 de Mayo | Sedimentación | 7.69 | 0.05 | 0 | 112 | 42.40 |
| 30 de Mayo | Pre-filtrado | 7.89 | 2.20 | 0 | 130 | 6.17 |
| 30 de Mayo | Tanque | 8.05 | 0.43 | 0 | 125 | 0 |
| 30 de Mayo | Ultima llave | 7.95 | 0.40 | 2 | 125 | 0 |
| 30 de Mayo | Control | - | - | - | - | 0 |
| 06 de Junio | Entrada | 8.60 | 0 | 63 | 88 | 647.67 |
| 06 de Junio | Sedimentación | 7.80 | 0 | 0 | 113 | 43.07 |
| 06 de Junio | Pre-filtrado | 8.63 | 0.34 | 0 | 157 | 48.30 |
| 06 de Junio | Tanque | 7.85 | 0.58 | 0 | 115 | 0 |
| 06 de Junio | Ultima llave | 7.40 | 0.36 | 2 | 115 | 0 |
| 06 de Junio | Control | - | - | - | - | 0 |
| 19 de julio | Entrada | 8.04 | 0 | 34 | 98 | 351.00 |
| 19 de julio | Sedimentación | 7.84 | 0 | 0 | 105 | 13.60 |
| 19 de julio | Pre-filtrado | 7.86 | 0.45 | 0 | 112 | 6.46 |
| 19 de julio | Tanque | 7.85 | 0.60 | 1 | 107 | 0 |
| 19 de julio | Ultima llave | 7.95 | 0.35 | 0 | 105 | 0 |
| 19 de julio | Control | - | - | - | - | 0 |

| Fecha de muestreo | Punto de Muestreo | pH | Cloro Residual | Turbiedad (UNT) | Conductividad eléctrica (uS) | Promedio NMP/100ml |
|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 20 de julio | Entrada | 8.25 | 0 | 135 | 80 | 595.30 |
| 20 de julio | Sedimentación | 7.68 | 0 | 2 | 100 | 13.60 |
| 20 de julio | Pre-filtrado | 7.52 | 0.43 | 1 | 100 | 13.60 |
| 20 de julio | Tanque | 7.68 | 0.34 | 1 | 107 | 0 |
| 20 de julio | Ultima llave | 7.85 | 0.10 | 2 | 108 | 0 |
| 20 de julio | Control | - | - | - | - | 0 |

Anexo 2. Resultados de los muestreos de San Matías.

| Fecha de muestreo | Punto de Muestreo | pH | Cloro Residual FC=0.1 | Turbiedad (UNT) | Conductividad eléctrica (uS) | Promedio NMP/100ml |
|--------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 5 de Mayo | Entrada | 7.86 | 0 | 0 | 203 | 5.00 |
| 5 de Mayo | Sedimentación | 7.82 | 0 | 5 | 207 | 13.60 |
| 5 de Mayo | Pre-filtrado | 7.84 | 0 | 0 | 207 | 1.87 |
| 5 de Mayo | Tanque | 7.91 | 0 | 2 | 208 | 0 |
| 5 de Mayo | Ultima llave | 7.9 | 0 | 0 | 208 | 0 |
| 5 de Mayo | Control | - | - | - | - | 0 |
| 16 de Mayo | Entrada | 8.55 | 0 | 4 | 207 | 5.00 |
| 16 de Mayo | Sedimentación | 8.45 | 0 | 0 | 209 | 0.50 |
| 16 de Mayo | Pre-filtrado | 8.32 | 0 | 0 | 212 | 0 |
| 16 de Mayo | Tanque | 8.39 | 0.04 | 0 | 211 | 0 |
| 16 de Mayo | Ultima llave | 8.75 | 0 | 0 | 213 | 0 |
| 16 de Mayo | Control | - | - | * | * | 0 |
| 23 de Mayo | Entrada | 8.42 | 0 | 0 | 207 | 1.80 |
| 23 de Mayo | Sedimentación | 8.4 | 0 | 0 | 207 | 16.60 |
| 23 de Mayo | Pre-filtrado | 8.28 | 0.96 | 3 | 209 | 1.73 |
| 23 de Mayo | Tanque | 8.3 | 0.42 | 0 | 216 | 0 |
| 23 de Mayo | Ultima llave | 8.22 | 0 | 0 | 210 | 0 |
| 23 de Mayo | Control | - | - | - | - | 0 |
| 06 de Junio | Entrada | 8.2 | 0 | 0 | 200 | 3337.87 |
| 06 de Junio | Sedimentación | 8.11 | 0 | 0 | 201 | 25.17 |

| Fecha de muestreo | Punto de Muestreo | pH | Cloro Residual FC=0.1 | Turbiedad (UNT) | Conductividad eléctrica (uS) | Promedio NMP/100ml |
|--------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 6 de Junio | Pre-filtrado | 8.21 | 0.49 | 0 | 203 | 19.70 |
| 6 de Junio | Tanque | 8.25 | 0.29 | 0 | 204 | 0 |
| 6 de Junio | Ultima llave | 8.25 | 0 | 0 | 203 | 2.13 |
| 6 de Junio | Control | - | - | - | - | 0 |
| 17 de junio | Entrada | 7.8 | 0 | 37 | 181 | 532.00 |
| 17 de junio | Sedimentación | 7.98 | 0 | 6 | 192 | 5.53 |
| 17 de junio | Pre-filtrado | 7.96 | 0.25 | 0 | 191 | 1.30 |
| 17 de junio | Tanque | 8.11 | 0.2 | 5 | 194 | 0 |
| 17 de junio | Ultima llave | 8.1 | 0.02 | 0 | 196 | 3.20 |
| 17 de junio | Control | - | - | - | - | 0 |
| 8 de julio | Entrada | 7.78 | 0 | 99 | 109 | 223.33 |
| 8 de julio | Sedimentación | 7.55 | 0 | 1 | 127 | 5.80 |
| 8 de julio | Pre-filtrado | 7.62 | 0.22 | 0 | 133 | 0 |
| 8 de julio | Tanque | 7.68 | 0.23 | 0 | 132 | 0 |
| 8 de julio | Ultima llave | 7.85 | 0.09 | 0 | 149 | 0 |
| 8 de julio | Control | - | - | - | - | 0 |