

**Evaluación de la calidad del agua en el ciclo  
de consumo del casco urbano del municipio de  
Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras**

**Ariana Muñoz Ventura**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO  
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Evaluación de la calidad del agua en el ciclo de consumo del casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, 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

**Ariana Muñoz Ventura**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2017

## **Evaluación de la calidad del agua en el ciclo de consumo del casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras**

**Ariana Muñoz Ventura**

**Resumen.** El monitoreo de calidad del agua potable y agua residual es importante para la salud de las comunidades y medio ambiente. El casco urbano del municipio de Tatumbla cuenta con cuatro fuentes de agua para consumo y un sistema de tratamiento de aguas residuales. El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de los procesos de desinfección y saneamiento en el ciclo de consumo de agua en el casco urbano de Tatumbla. El sistema de agua potable fue evaluado por medio de muestreos en las obras de captación, tanques y llaves al final de la distribución. Se analizaron parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos, metales y cloro residual. En el sistema de tratamiento de aguas residuales se analizaron parámetros fisicoquímicos, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos totales y oxígeno disuelto. La mayoría de los resultados de los análisis de cloro residual en los tanques y llaves al final de la distribución presentaron valores cercanos a cero (0 - 0.08) y presencia de coliformes totales y fecales que demuestra una deficiencia en la cloración. Con base en los resultados obtenidos en los análisis de agua potable, se llevó a cabo una capacitación a la Junta de Agua para realizar los ajustes respectivos en el proceso de desinfección y se calcularon nuevas dosis de cloro en cada subsistema. El sistema de tratamiento de aguas residuales mediante humedales de flujo subsuperficial es eficiente en la remoción de materia orgánica y por ende no hay cambios significativos en el oxígeno disuelto del río debido al efluente.

**Palabras clave:** Agua potable, agua residual, desinfección, humedal artificial, monitoreo.

**Abstract.** The monitoring of the quality of potable water and waste water is important for the health of communities and the environment. The town of Tatumbla has four water sources that supply the whole community and a waste water treatment system. The objective of this study was to evaluate the efficiency of the disinfection and sanitation processes in the consumption cycle of the town of Tatumbla. The potable water system was evaluated through a series of samplings in the water sources, tanks, and faucets at the end of the distribution. Within the analyzed parameters are the physical-chemical properties, bacteriological, metals and residual chlorine. In the wastewater treatment physical-chemical properties, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total solids and dissolved oxygen parameters were analyzed. The majority of residual chlorine results in the tanks and faucets at the end of the distribution were very close to zero (0-0.08) and the presence of total and fecal coliforms showcases a deficiency in the chlorination process. Based on the obtained results in the potable water quality analysis, the people in charge of the Water Committee of the town were trained to adjust their disinfection processes and new chlorine doses were calculated in each subsystem. The wastewater treatment by means of sub-superficial flow constructed wetlands are efficient in the removal of organic matter, reason why there are no significant changes in the dissolved oxygen in the river due to the effluent.

**Key words:** Artificial wetland, disinfection, monitoring, potable water, wastewater.

## 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. METODOLOGÍA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>18</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>19</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>20</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>23</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Valores de cloro libre encontrados en los tanques de abastecimiento y llaves al final de la distribución en el casco urbano del municipio de Tatumbla.....	13
2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) expresada en mg/L en el humedal artificial para la depuración de aguas residuales en el casco urbano del municipio de Tatumbla. ....	16
3. Demanda química de oxígeno (DQO) expresada en mg/L en el humedal artificial para la depuración de aguas residuales en el casco urbano del municipio de Tatumbla .....	16
4. Sólidos totales expresados en mg/L en humedal artificial para la depuración de aguas residuales en el casco urbano del municipio de Tatumbla. ....	17
5. Oxígeno disuelto en el río Tatumbla en el casco urbano del municipio de Tatumbla. ....	17
Figuras	Página
1. Localización de las obras de captación de agua y los tanques de almacenamiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras. ....	3
2. Esquema del sistema de distribución de agua potable del casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras. ....	4
3. Valores de pH de las fuentes de agua en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras. ....	8
4. Valores de pH de los tanques de abastecimiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras. ....	9
5. Valores de turbiedad de las fuentes de agua en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.....	9
6. Valores de turbiedad de los tanques de abastecimiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.....	10
7. Valores de hierro de las fuentes de agua en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.....	11
8. Valores de hierro de los tanques de abastecimiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras. ....	11

9. Valores de aluminio de las fuentes de agua en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.....	12
10. Valores de aluminio de los tanques de abastecimiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.....	13
11. Valores de coliformes totales en los tanques de abastecimiento y llaves al final de la distribución en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras. ....	14
12. Valores de coliformes fecales en los tanques de abastecimiento y llaves al final de la distribución en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras. ....	15

Anexos	Página
1. Tanque Pedernal .....	23
2. Fuente La Olomina .....	23
3. Fuente Las Golondrinas.....	24
4. Tanque Sabana Licona .....	24
5. Fuente Palmira.....	25
6. Tanque Murciélago.....	25
7. Fuente Murciélago.....	26
8. Humedal de flujo subsuperficial del casco urbano del municipio de Tatumbla .....	26
9. Ajuste de dosis de cloración en el tanque Pedernal.....	26

## 1. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) en conjunto con el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (CDESC) estableció que todos los seres humanos tenemos derecho a agua potable y al saneamiento para tener un estándar de vida adecuado (CDESC, 2002). Una persona necesita 20 litros de agua para satisfacer sus necesidades básicas y la fuente de agua debe estar ubicada a menos de un kilómetro de su hogar (Howard y Bartram, 2003). Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) planteados en el 2000 incluían asegurar la sostenibilidad ambiental, lo que requería trabajar en el acceso a agua y saneamiento. Para el año 2015 se logró que el 91% de la población mundial mejorara su acceso y calidad de agua, en comparación con apenas el 76% del año 1990. También, se logró que 2.1 millones de personas mejoraran en saneamiento a nivel mundial (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2015). Aún así, todavía hay 663 millones de personas con problemas de potabilización y de distribución a nivel mundial (ONU, 2015). Este déficit se debe a que el progreso no ha sido en igual magnitud por las desigualdades que existen en varios países en vías de desarrollo.

En Honduras, el 45% de la población vive en el área rural, el cual representa un aproximado de 3,859,440 personas (Banco Mundial, 2015). En esta área se encuentran los mayores problemas de agua y saneamiento, por su difícil acceso y escasos recursos económicos. Actualmente existen aproximadamente un millón de personas que no tienen acceso al servicio de agua y más de dos millones a un saneamiento adecuado (Red de Agua y Saneamiento de Honduras [RAS-HON], 2011). Se han llevado a cabo varias campañas de apoyo para mejorar estos servicios por parte del Gobierno de Honduras y Organizaciones No Gubernamentales (ONG). En el año 2011 se alcanzó una cobertura del 86% en el acceso al servicio de agua y 71% en el área de saneamiento (RAS-HON, 2011).

Tatumbula es un municipio ubicado en el departamento de Francisco Morazán que cuenta con 7,799 habitantes distribuidos en 6 aldeas y 65 caseríos (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2016). En el casco urbano se ubican 11 barrios y aproximadamente 436 usuarios del sistema de agua. La fuente de agua es la Reserva Biológica Cerro Uyuca (RBU), en el cual se han ubicado cuatro obras de captación de agua: La Olomina, Las Golondrinas, Palmira y Murciélago. El 75% de la población recibe el agua por medio de la red de distribución. Las enfermedades que más se presentan en la zona son las infecciones respiratorias (36%) y la diarrea (9%) (Díaz, 2012).

El agua potable es aquella apta para consumo al no contener patógenos u otros entes que afecten la salud y que cumpla con las condiciones requeridas. Según las autoridades sanitarias, el consumo de agua que contienen patógenos puede ocasionar mayor incidencia de enfermedades en los grupos más vulnerables. Los niños menores de cinco años son los

más propensos a contraer enfermedades diarreicas por sus bajas defensas y vulnerabilidad, en el peor de los casos al no contar con asistencia médica adecuada pueden morir (Organización Mundial de Salud [WHO, por sus siglas en inglés], 2013). El consumidor espera que el agua sea incolora, inodora y sin sabor a lo largo del sistema. También debe cumplir con normas establecidas por el país para prevenir cualquier enfermedad que pueda ser causada por bacterias y/o metales (Lampoglia, Agüero, y Barrios, 2008). Un monitoreo constante es esencial para el cumplimiento de las normas, sin embargo, con frecuencia las comunidades no lo llevan a cabo por falta de conocimiento o recursos económicos.

En Honduras se estableció La Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable en 1995 en la cual se establecen los rangos para proteger la salud de la población. Los parámetros básicos, denominados Primera Etapa, son: coliformes fecales, olor, sabor, color, turbiedad, temperatura, pH, conductividad y cloro residual. Estos son los principales parámetros que se deben monitorear de manera constante ya que pueden llevarse a cabo contaminaciones en diferentes puntos y se deben identificar para abordar las causas del problema. También, el conocimiento de estos valores permite ajustar los procesos de desinfección o tomar decisiones sobre otros parámetros a monitorear.

El agua residual es toda aquella a la cual se la ha cambiado su composición química y/o física a causa de procesos antropogénicos. Las aguas residuales domésticas son las que son generadas por el metabolismo humano y las actividades domésticas (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua [CENTA], s.f). El tratamiento de las mismas es importante para evitar enfermedades o afectar de manera negativa ecosistemas acuáticos de los cuerpos de agua a los cuales se descargan los efluentes. Existen varios mecanismos para el tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden ser tan complejos como plantas de tratamiento con varias etapas hasta sistema de fitodepuración por medio de humedales. Los humedales de flujo subsuperficial consisten en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeable a través de la cual se hace pasar el agua residual. El humedal reduce la carga de contaminantes mediante la actividad bioquímica de microorganismos y la sedimentación en el suelo (Delgadillo, Camacho, Pérez, y Andrade, 2010).

La Norma Técnica de la Descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario de Honduras establece las concentraciones máximas permisibles de ciertos parámetros clasificados desde grupo A al F. Los primeros tres grupos contienen los parámetros monitoreados constantemente como: temperatura, color, pH, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), y grasas y aceites. Es importante monitorear estos parámetros para asegurar la protección del ecosistema acuático.

Los objetivos del presente estudio fueron:

- Caracterizar la calidad del agua de las fuentes del casco urbano del municipio de Tatumbla.
- Evaluar la eficiencia de los procesos de desinfección comunitarios que se encuentran en implementación.
- Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante el humedal de flujo subsuperficial horizontal en el casco urbano del municipio de Tatumbla.

## 2. METODOLOGÍA

### Descripción del área de estudio.

El estudio se realizó en el casco urbano del municipio de Tatumbla en el departamento de Francisco Morazán. El municipio limita al norte con los municipios de San Antonio de Oriente y el Distrito Central, al sur con el municipio de Maraita, al este con el municipio de San Antonio de Oriente y al oeste con el municipio de Distrito Central. En el casco urbano se encuentran aproximadamente 2,000 habitantes que se ubican 11 barrios. El agua se obtiene de cuatro microcuencas: La Olomina, Las Golondrinas, Palmira y Murciélago. En cada una de ellas se han ubicado obras de captación de agua para abastecer tres tanques: Pedernal, Sabana Licona y Murciélago (Figura 1).

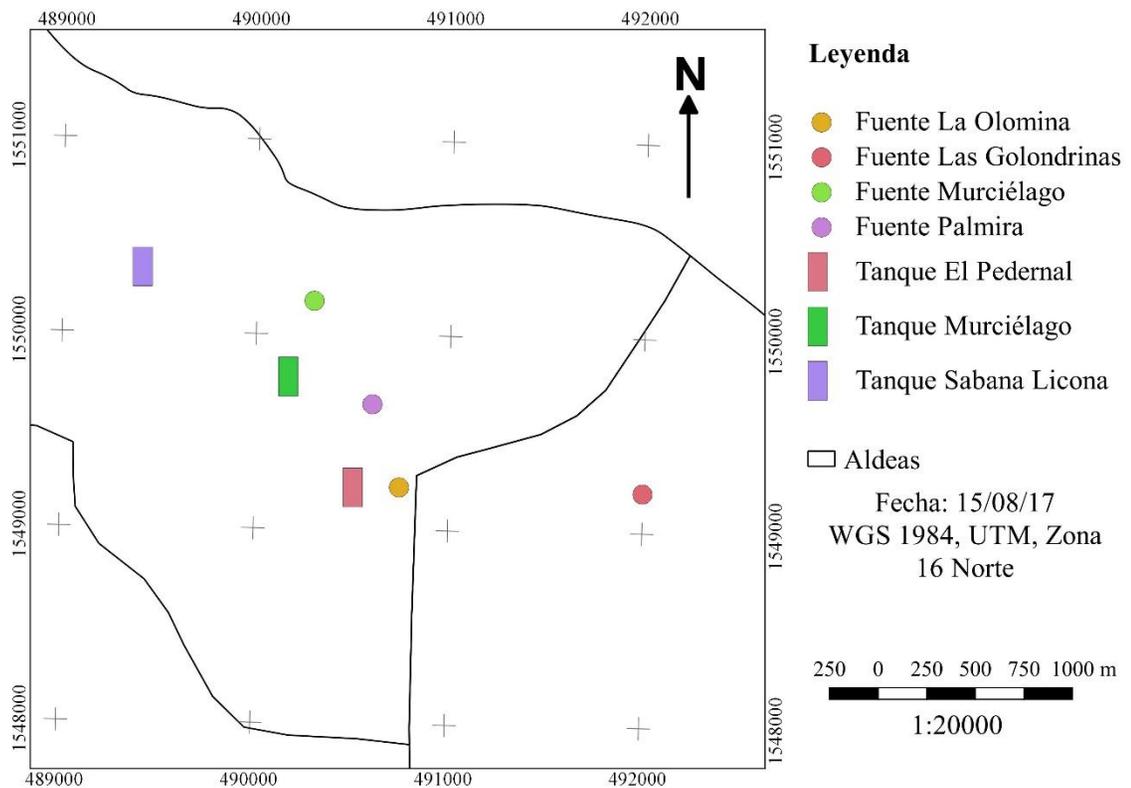


Figura 1. Localización de las obras de captación de agua y los tanques de almacenamiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

La obra de captación La Olomina tiene dos fuentes, una de ellas va directamente al pueblo sin ningún tratamiento y la otra solo es usada para abastecer el tanque Pedernal en época seca. El tanque Pedernal abastece a seis barrios y los otros dos tanques (Palmira y Murciélago) se conectan para abastecer a cinco barrios más. Cada uno de los tanques cuenta con un hipoclorador para aplicar las dosis de cloro respectivas y llevar a cabo el proceso de desinfección (Figura 2).

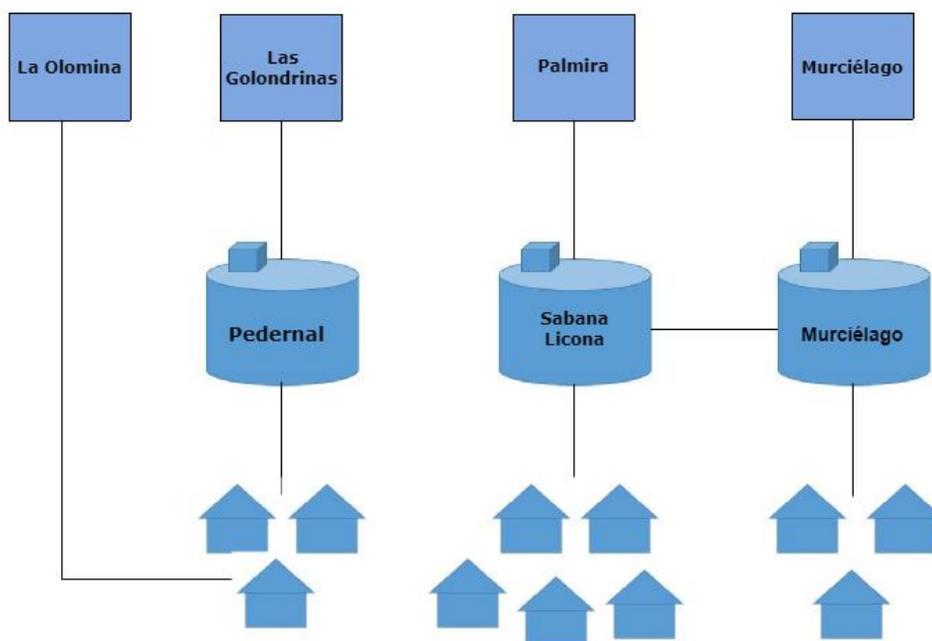


Figura 2. Esquema del sistema de distribución de agua potable del casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

El casco urbano tiene un sistema de depuración por medio de un humedal de flujo subsuperficial. El agua residual primero ingresa a un canal Parshall para remover los desechos inorgánicos y realizar el monitoreo del caudal de entrada. Luego pasa al área de sedimentación de sólidos, los cuales durante la época seca son depositados en el patio de secado de lodo. El agua separada de los sólidos es trasladada al humedal artificial de *Hedychium coronarium*, conocida comúnmente como Ginger blanco, para llevar a cabo el proceso de depuración y posteriormente se descarga al río Tatumbla. El sistema fue construido en el año 2012 y comenzó a operar en el 2013. Actualmente solo recibe aproximadamente el 15% de las aguas residuales del casco urbano (División Municipal de Agua Potable y Saneamiento [DIMASTA], comunicación personal, 8 de mayo de 2017).

### **Descripción del proceso de desinfección.**

Los tres tanques tienen un hipoclorador donde se aplica el cloro para llevar a cabo el proceso de desinfección. El cloro usado es hipoclorito de calcio, un tipo de cloro granulado que se descompone fácilmente en agua, a un 65%. Actualmente, la dosis de cloro aplicada no es

ajustada de acuerdo al volumen de agua que entra al tanque, el cual se refleja en el cloro residual. La presencia de cloro residual nos indica que la cantidad necesaria de cloro fue agregada para inactivar bacterias y que el agua no será contaminada de nuevo durante su almacenamiento (Centros para el Control y Prevención de Enfermedades [CDC], s.f). El goteo del cloro al tanque solamente es estimado y no se calcula cada vez que se aplica el cloro. El fontanero es el encargado de aplicar el cloro todos los lunes en cada uno de los tanques.

### **Muestreo de agua potable.**

Se llevaron a cabo tres muestreos en el mes de mayo. Los sitios incluyeron: las obras de captación de agua, los tanques de almacenamiento y en las casas al final de la red de distribución. Las primeras muestras (M1) se recolectaron el 8 y 15 de mayo, la segunda (M2) el 22 de mayo y la última (M3) el 29 de mayo. La muestra M1 del tanque Pedernal se descartó por que se recolectó del rebose y los resultados no iban a ser representativos. En cada uno de los sitios se evaluaron parámetros fisicoquímicos como: temperatura, concentración de iones de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (SDT) y turbiedad. En las obras de captación de agua y tanques se evaluaron metales, específicamente hierro y aluminio. También, se hicieron pruebas de cloro residual y coliformes totales y fecales (*Escherichia coli*) en los tanques y llaves al final de la distribución para evaluar la eficiencia de la cloración.

La temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos se evaluaron *in situ* con un multiparámetro serie 35 marca Oakton®. Las muestras se recolectaron en frascos de polietileno para analizar turbiedad, cloro y metales. En los tanques se tomaron las muestras directamente dentro del tanque con un muestreador de polietileno retráctil para evitar la presencia de sedimentos. Las muestras para análisis de coliformes totales y fecales se recolectaron en bolsas estériles Whirl-Pak con tiosulfato para inhibir la acción del cloro. Todas las muestras se rotularon y se colocaron en hieleras para conservarlas y transportarlas al laboratorio de Calidad de Agua del Departamento de Ambiente y Desarrollo.

### **Análisis agua potable.**

Se analizó la turbiedad por medio del método nefelométrico con el turbidímetro marca Orion™ AQ4500. El cloro libre, aluminio y hierro se analizaron con el colorímetro Hach® DR por su rapidez y facilidad. El cloro libre se midió por el método DPD (N, N-dietil-p-fenilendiamina) (Hach 8021), el hierro por medio del método FerroVer (Hach 8008) y el aluminio por medio del método Aluminon (Hach 8012) según el manual Hach® (2013). Al momento de analizar los metales, debido a la alta carga de sedimentos se procedió a filtrar las muestras necesarias y las que presentaron valores muy altos sobre el límite de detección se diluyeron con agua destilada y desionizada.

Los coliformes totales y fecales (*E. coli*) se analizaron por medio del método Colilert-18 con el sistema de la marca Quanti-Tray (Idexx, 2011). El mismo día en que se recolectaron las muestras se aplicó el reactivo Colilert y las muestras preparadas se incubaron a 44 °C por 24 horas. Luego, las celdas con coloración amarilla se contaron como coliformes totales y las celdas con coloración fluorescente debajo de una luz ultravioleta se contaron como

coliformes fecales. Los resultados obtenidos se cuantificaron como Número Más Probable (NMP/100 mL) de coliformes totales y fecales mediante la tabla de NMP de Quanti-Tray.

### **Muestreo de agua residual.**

En mayo y junio se llevaron a cabo los muestreos y análisis de las aguas residuales. Las primeras muestras (M1) se recolectaron el 17 de mayo, la segunda (M2) el 31 de mayo y la última (M3) el 5 de junio. En la planta de tratamiento se muestrearon dos sitios: entrada al canal Parshall y salida del humedal. En agosto, para evaluar el efecto de la descarga al río Tatumbla, se midió el oxígeno disuelto y porcentaje de saturación en tres puntos del río separado por 100 metros: aguas arriba, en el punto de descarga del humedal y aguas abajo. En todos los sitios se analizaron parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos (STD) *in situ* con un multiparámetro serie 35 de Oakton®. Se recolectaron muestras de un litro en botes de polietileno para los análisis de sólidos totales y DQO. Las muestras destinadas para medir DBO fueron recolectadas en botellas Winkler para evitar la entrada de aire que pueda interferir en los resultados. Cada una de las muestras fue debidamente rotulada y se transportaron en hieleras a 4 °C al laboratorio de Calidad de Agua del Departamento de Ambiente y Desarrollo.

### **Análisis de agua residual.**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las muestras fue analizada por medio del método de DBO<sub>5</sub> a 20 °C (Asociación Americana de Salud Pública [APHA], 1992). En el análisis de DBO se llevaron a cabo diluciones con agua de dilución para cada una de las muestras. El análisis de la DQO se realizó por medio del método colorimétrico de flujo cerrado con un espectrofotómetro de la marca Hach®. Se usaron tubos preparados para DQO, dependiendo de la carga contaminante de la muestra fueron de rango bajo o de rango alto, la mayoría de las muestras fueron de rango bajo. El oxígeno disuelto se midió en campo con el multiparámetro de la marca Thermo Scientific™ A329. El análisis de los sólidos totales de las muestras se hizo por el método de sólidos totales secados a 103 – 105 °C (APHA, 1992). Con los datos obtenidos se calculó la cantidad de sólidos totales por mg/L con la ecuación 1.

$$\text{Sólidos totales } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{(B-A)}{C} \times 10^6 \quad [1]$$

Donde:

A= Peso del crisol (g)

B= Peso del crisol + muestra seca (g)

C= Volumen de la muestra (mL)

### **Evaluación de la eficiencia de procesos.**

La eficiencia de los procesos de desinfección se verificó con la presencia o ausencia de indicadores de contaminación bacteriana (bacterias coliformes). Para evaluar la eficiencia en depuración de la planta de tratamiento de aguas residuales se aplicó una ecuación que expresa en porcentaje la remoción de los parámetros de interés por medio del proceso. La ecuación 2 muestra el cálculo que fue aplicado para estimar la eficiencia en remoción de la DBO, DQO y sólidos totales.

$$Eficiencia\ humedal\ (\%) = \frac{(valor\ inicial - valor\ final)}{valor\ inicial} \times 100 \quad [2]$$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Evaluación de agua potable.

**Parámetros fisicoquímicos.** En las fuentes se encontraron un pH entre 6 y 7.5, los cuales son valores esperados para que exista vida acuática y pueda ser usada para consumo humano (Figura 3). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (1986) concluyó que el rango óptimo para la vida acuática es 6.5 - 9. El rango establecido para agua destinada para consumo puede estar entre 5 - 9 ya que el pH se puede ajustar por medio de diferentes métodos al momento de su tratamiento.

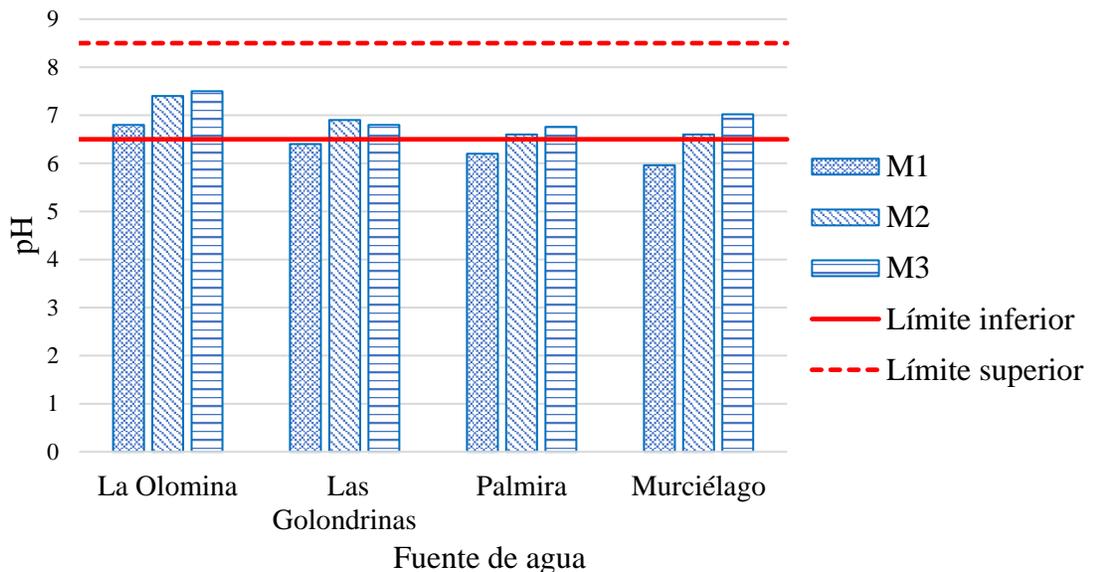


Figura 3. Valores de pH de las fuentes de agua en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

Los tanques de abastecimiento presentaron un pH entre 6.2 y 8 (Figura 4). Se debe tomar en cuenta que cuando el pH es alcalino (7 - 14) la rapidez y efectividad de cloración es menor por que predomina el ion hipoclorito, el cual es menos fuerte que el ácido hipocloroso (ACC, 2016). En comunidades rurales que solo cuentan con un hipoclorador en el tanque y no hay un tratamiento previo de agua es mucho más complejo regular el pH.

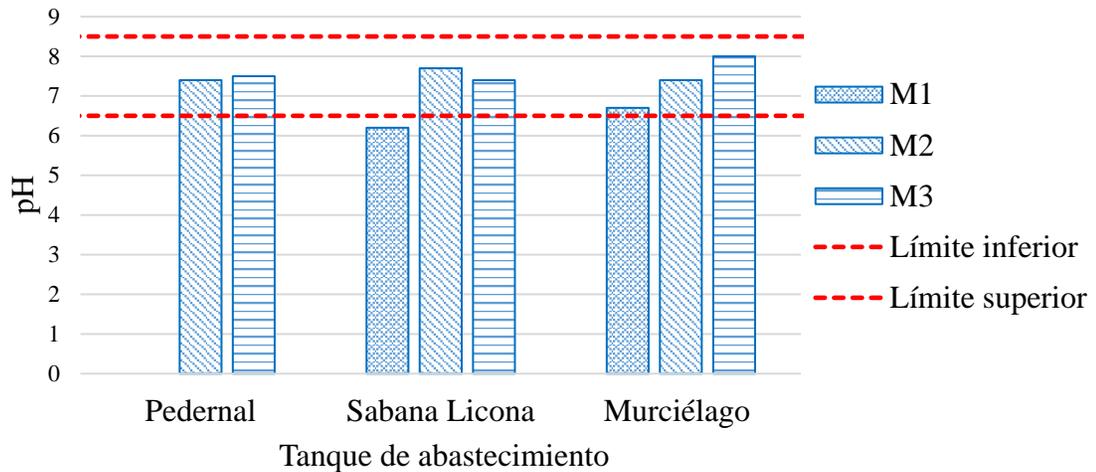


Figura 4. Valores de pH de los tanques de abastecimiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

En las fuentes se encontraron turbiedades entre 0 - 51 UNT, en el primer muestreo la turbiedad se encontró entre 0 - 7 UNT, el cual fue aumentando a medida que la precipitación incrementó debido a la escorrentía y el arrastre de sedimentos (Figura 5). Los rangos bajos se pueden deber a que se recolectaron las muestras al principio de la época lluviosa y no había alta presencia de partículas suspendidas. La fuente La Olomina fue la única que mantuvo valores bajos en toda la época de muestreo (2 - 6.3 UNT). La obra de captación de agua en la fuente Las Golondrinas está ubicada en un sitio afectado por la deforestación reciente a causa del gorgojo (*Dendroctonus frontalis*), razón por la cual existe una mayor erosión en la parte superior a la obra de captación que ocasiona una mayor turbiedad (Tchakerian y Coulson, 2011).

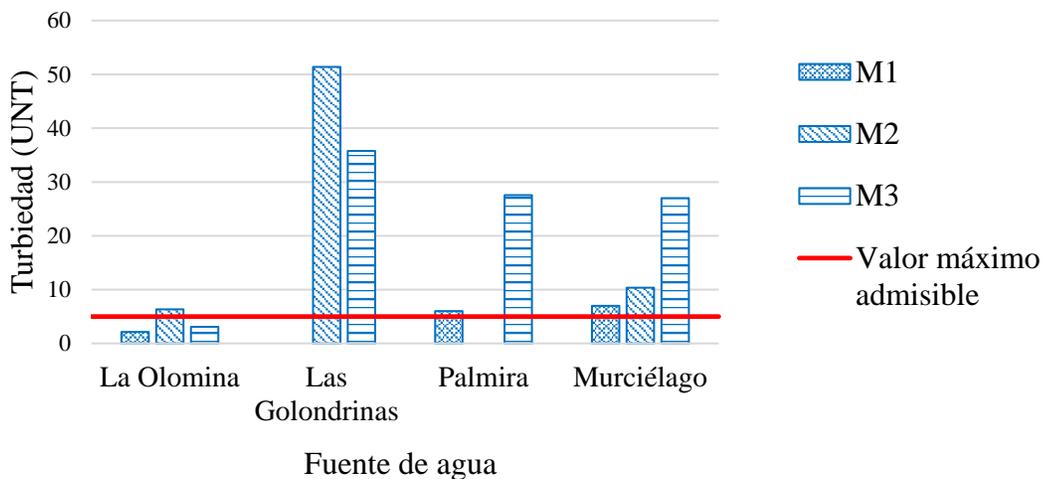


Figura 5. Valores de turbiedad de las fuentes de agua en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

En los tanques se encontraron turbiedades entre 6 - 38 UNT. En los muestreos 2 y 3 se pudo observar un aumento en la turbiedad debido al incremento de la precipitación (Figura 6). La Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable (1995) establece que el valor máximo admisible es 5 UNT debido a que después de este rango, al ser combinada con cloro, se pueden formar subproductos de la desinfección por la presencia de ácidos húmicos. Se han realizado varios estudios en el cual se ha encontrado que principalmente los trihalometanos pueden causar daños reproductivos y está asociado con incidencias de cáncer (OMS, 2005). También las partículas suspendidas se pueden encontrar microorganismos apegados que al momento de la desinfección representan un inconveniente (WHO, 2011).

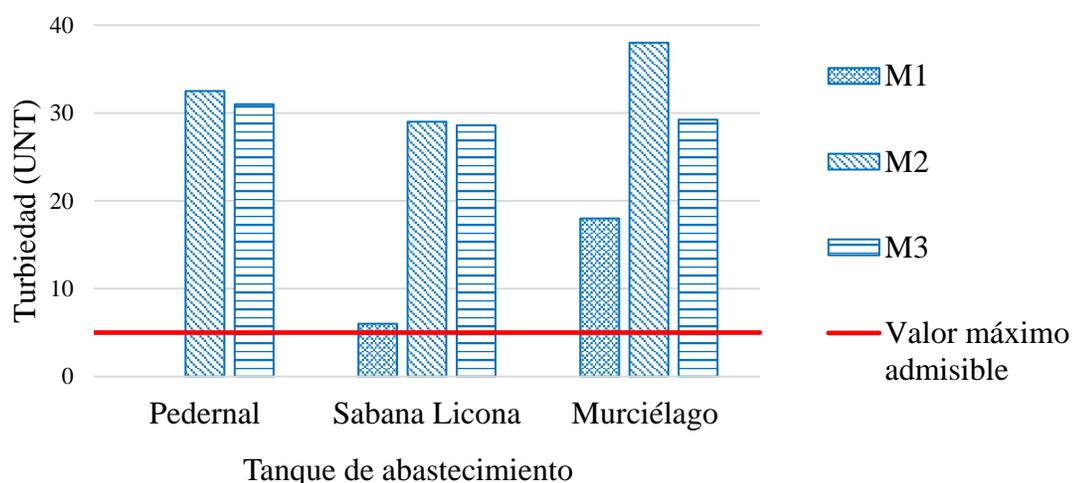


Figura 6. Valores de turbiedad de los tanques de abastecimiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

**Metales.** La presencia de hierro en el agua afecta la aceptabilidad de los consumidores por su sabor metálico y su capacidad de crear manchas en aparatos domésticos. Nueve de las doce muestras de las fuentes presentaron valores mayores a 0.3 mg/L, excediendo el máximo admisible establecido por la Norma Técnica para la Calidad de Agua Potable (1995) (Figura 7). Nuevamente, la fuente La Olomina presenta los valores más bajos de una manera constante.

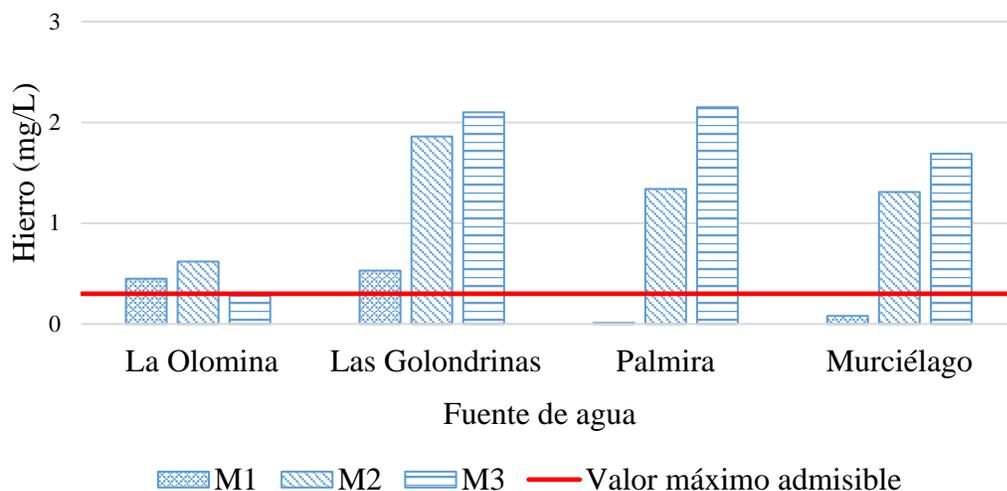


Figura 7. Valores de hierro de las fuentes de agua en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

Solamente dos de las ocho muestras de los tanques están por debajo del valor máximo admisible (Figura 8). La muestra M3 del tanque Murciélago es el único con un valor de 9 mg/L, el cual pudo ser causado por el aumento en la precipitación y por ende aumento en los minerales presentes en el agua. También, se pudo deber a que esta muestra fue recolectada del fondo del tanque, porque al momento del muestreo la válvula de entrada estaba cerrada y el tanque se encontró casi vacío y con acumulación de sedimento.

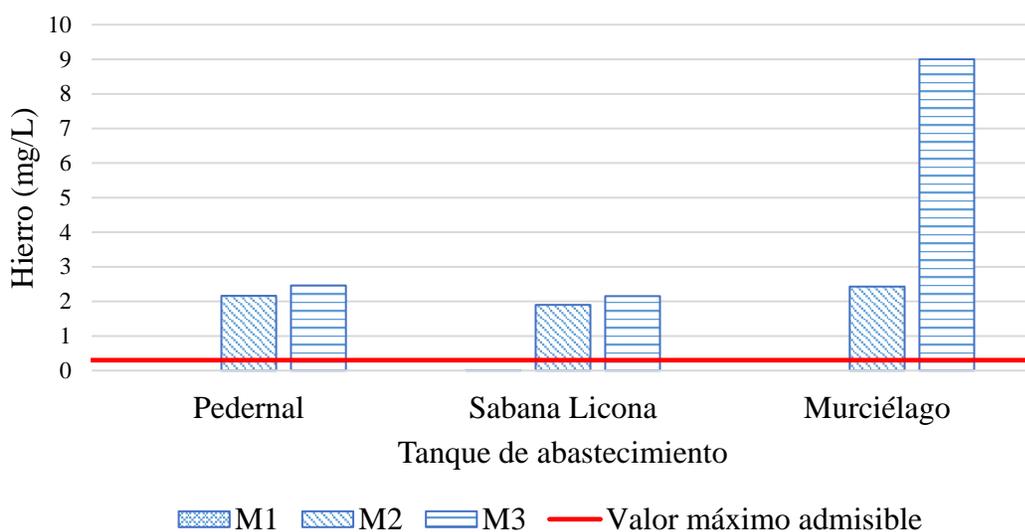


Figura 8. Valores de hierro de los tanques de abastecimiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

Las concentraciones de aluminio en todas las fuentes están sobre el valor máximo admisible establecido por La Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable, el cual es 0.2 mg/L. Se presentaron valores relativamente diferentes, donde el menor valor encontrado fue 0.47 mg/L y el mayor 3.06 mg/L. La fuente La Olomina, que va directamente al casco urbano, nuevamente fue la fuente con los valores menores (Figura 9).

En estudios realizados por Enríquez (2012) en las fuentes que abastecen Zamorano provenientes de la Reserva Biológica Uyuca (RBU), se encontraron resultados que excedieron el valor máximo admisible en 29 de las 30 muestras analizadas. Las fuentes que alimentan los tanques de abastecimiento del casco de urbano también provienen del cerro Uyuca. Algunos estudios han encontrado una relación entre el aluminio y enfermedades de los riñones y el Alzheimer, aun así la OMS no establece un valor máximo permisible considerando los efectos en la salud por falta de investigaciones (WHO, 2013).

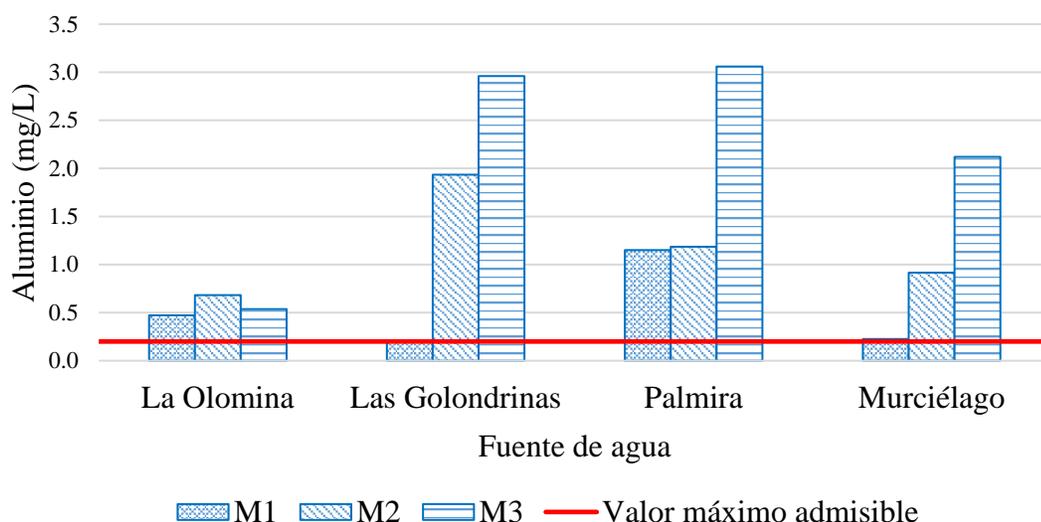


Figura 9. Valores de aluminio de las fuentes de agua en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

Las concentraciones de aluminio encontradas en todas las muestras de los tanques están sobre el valor máximo admisible. En siete de las ocho muestras se encontraron valores entre 0.3 - 1.7 mg/L, con excepción del tanque Murciélago en el que la concentración fue de 3.98 mg/L. Las altas concentraciones están asociadas al arrastre de sedimentos encontrados al fondo del tanque al momento de tomar la muestra (Figura 10).

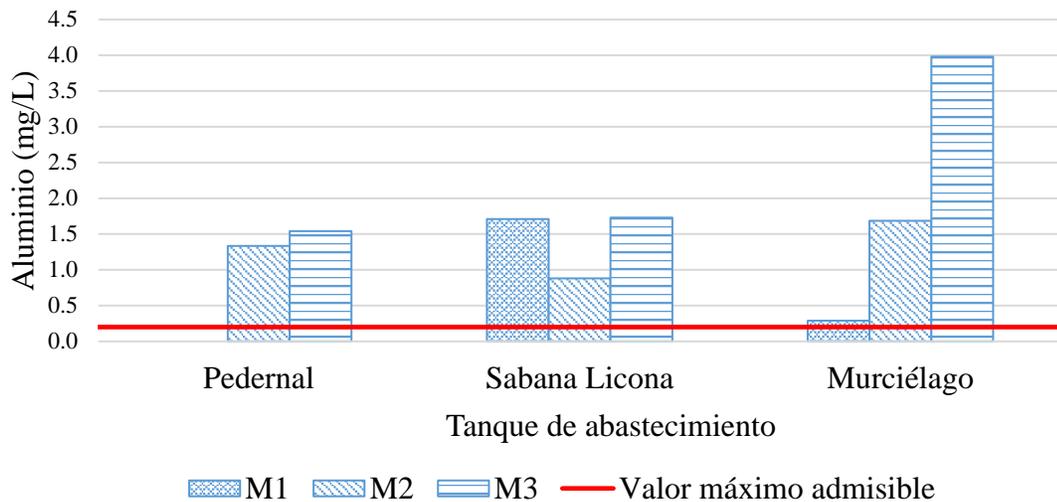


Figura 10. Valores de aluminio de los tanques de abastecimiento en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

**Cloro libre.** Los valores de cloro libre encontrados en todas las muestras de los tanques y llaves están por debajo de lo recomendado por La Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable (0.2 - 0.5 mg/L) (Cuadro 1). La mayoría de los valores están debajo del límite de detección del método (0.02 mg/L), el cual nos indica que prácticamente no hay cloro libre al final la semana y en el sistema de distribución (Hach, 2013). Las concentraciones de cloro libre encontradas son un indicador de que las dosis y tiempo de contacto no son las adecuadas. Este parámetro debe ser evaluado de manera constante, ya que puede variar dependiendo de la cantidad y la calidad del agua que ingresa desde las fuentes. La dosis debe calcularse con base en el caudal y la demanda de cloro en el agua varía dependiendo de la cantidad de material suspendido presente (Solsona y Méndez, 2002).

Cuadro 1. Valores de cloro libre encontrados en los tanques de abastecimiento y llaves al final de la distribución en el casco urbano del municipio de Tatumbla.

Muestreo	Pedernal		Sabana Licona		Murciélago	
	Tanque	Llave	Tanque	Llave	Tanque	Llave
1	MD	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00
2	0.06	0.08	0.00	0.02	0.00	0.02
3	0.05	0.03	0.02	0.05	0.06	0.03

MD: muestra descartada

**Parámetros bacteriológicos.** En la mayoría de las muestras se encontraron valores mayores a 2,420 NMP/100 mL de coliformes totales, el cual es el límite del método de Colilert-18 (Figura 11). Los coliformes totales incluyen una alta gama de bacterias que están presentes en el ambiente, principalmente en el suelo o vegetación, y en animales de sangre caliente. Si el conteo de coliformes totales es alto, el agua puede contener algún patógeno,

razón por la cual se procede a realizar pruebas de coliformes fecales para verificar si existe presencia de *Escherichia coli* (Howard y Bartram, 2003).

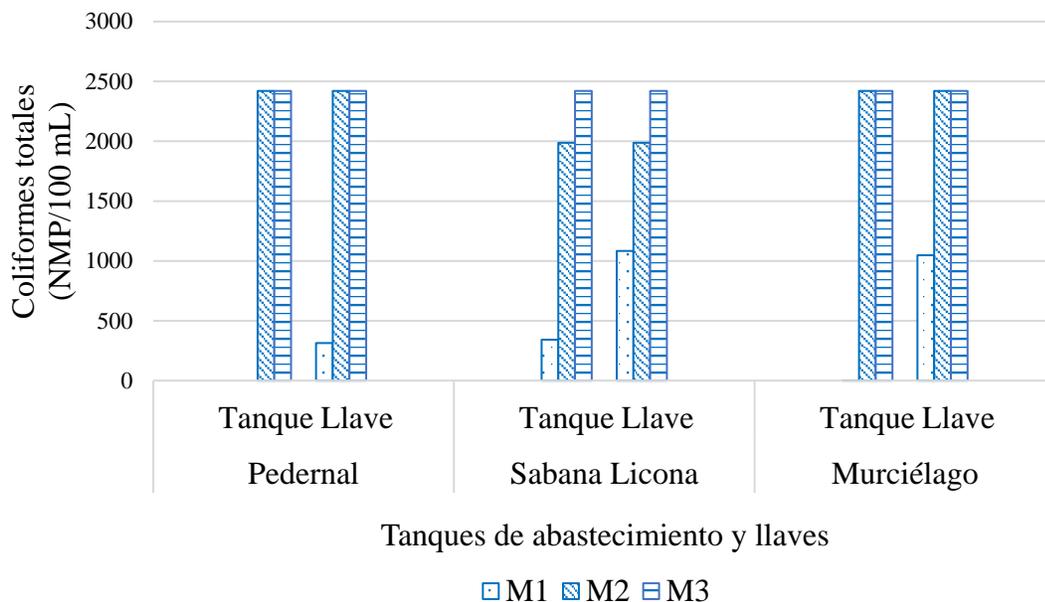


Figura 11. Valores de coliformes totales en los tanques de abastecimiento y llaves al final de la distribución en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

Las bacterias termotolerantes, comúnmente llamadas coliformes fecales, son unos de los indicadores más utilizados ya que provienen de heces de origen animales de sangre caliente. Estas bacterias están relacionados con enfermedades gastrointestinales, razón por la cual La Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable (1995) establece un valor máximo de 0 NMP/100ml para el agua tratada que entra al sistema de distribución.

La presencia de coliformes fecales en los tanques y las llaves de los sitios de muestreo fue predominante en todas las muestras (Figura 12). Las únicas ocasiones en que no se encontraron coliformes fecales fue en la muestra M1 del tanque Sabana Licona y en la muestra M2 del tanque Murciélago, el cual son unos de los sitios con los valores más bajos en cuanto a coliformes totales. Un estudio realizado por Hill, Owens y Tchounwou (2006) concluyó que no hay relación entre el aumento en precipitación y la presencia de bacterias coliformes, aunque siempre pueden ocurrir contaminaciones no puntuales. A medida que aumentó la precipitación se hizo más difícil que el cloro sea eficiente en la desinfección.

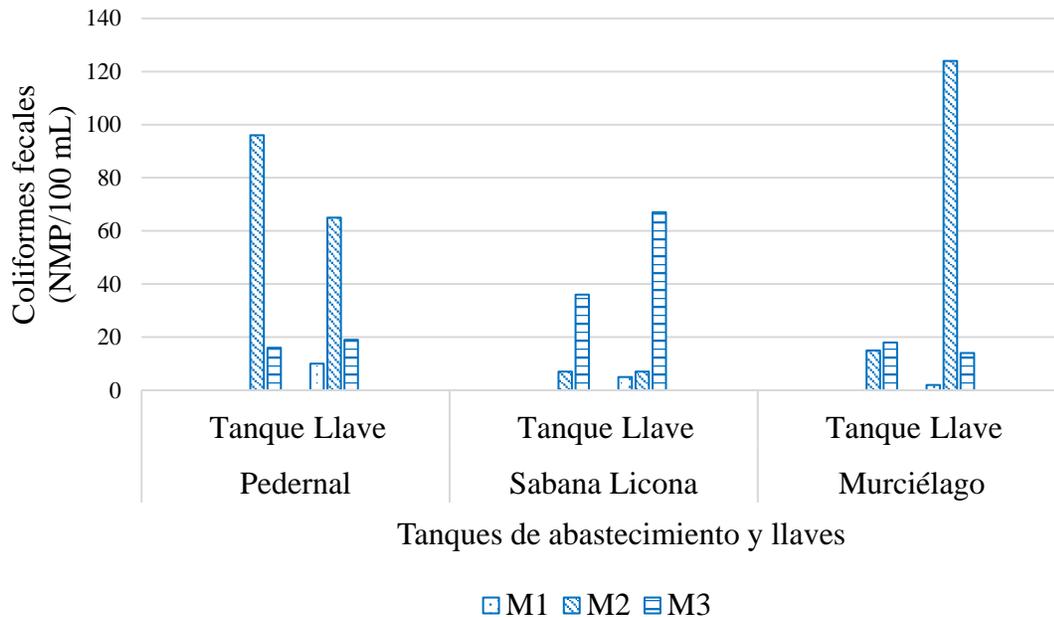


Figura 12. Valores de coliformes fecales en los tanques de abastecimiento y llaves al final de la distribución en el casco urbano del municipio de Tatumbla, Francisco Morazán, Honduras.

### Evaluación del agua residual.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno.** El tratamiento de aguas residuales por medio de humedales es una manera efectiva de remover la materia orgánica y reducir los nutrientes. Los resultados obtenidos en los análisis de DBO indican una alta remoción de la carga orgánica a través del humedal de flujo subsuperficial en dos de las tres muestras. Solamente un valor encontrado a la salida del humedal está por encima de la concentración máxima permisible de 50 mg/L según a Norma Técnica de la Descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario (Cuadro 2).

Se encontraron eficiencias de hasta 90% en las últimas dos muestras, lo que demuestra que el humedal es una buena alternativa para depurar las aguas residuales en Tatumbla. En un estudio realizado por Vymazal y Kröpfelova (2009) se llevó a cabo un estudio sobre la remoción del componente orgánico en este sistema y se encontraron valores de eficiencia de DBO de casi 81%. Esto nos indica que el sistema humedal artificial está dentro de los rangos esperados.

Cuadro 2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) expresada en mg/L en el humedal artificial para la depuración de aguas residuales en el casco urbano del municipio de Tatumbla.

Muestreo	Entrada al canal Parshall	Salida del humedal	Porcentaje de eficiencia
1	340	93	72.7
2	485	46.5	90.4
3	160	15	90.6

**Demanda Química de Oxígeno.** La DQO refleja la concentración de compuestos orgánicos presentes en el agua y mide la cantidad total de oxígeno requerido para oxidar estos compuestos. Un estudio realizado por Sarmiento, Borges y de Matos (2013) sobre el efecto de especies cultivadas en humedales artificiales, demostró una que la eficiencia de DQO fue de 59%. La eficiencia del humedal artificial en Tatumbla, en relación a la DQO, se puede considerar buena porque, aunque dos de las tres muestras están debajo de 90% (Cuadro 3), los valores a la salida del humedal están debajo de la concentración máxima establecida por la norma hondureña (200 mg/L).

En una de las muestras (M1) el resultado de DBO fue mayor en un 63% en comparación al DQO a la salida del humedal. Se puede atribuir a una sobrestimación de oxígeno disuelto inicial o a un mayor consumo de oxígeno debido a la limpieza inadecuada de las botellas de incubación, ya que la DQO se considera teóricamente mayor a DBO porque se degrada la materia orgánica no degradable biológicamente.

Cuadro 3. Demanda química de oxígeno (DQO) expresada en mg/L en el humedal artificial para la depuración de aguas residuales en el casco urbano del municipio de Tatumbla.

Muestreo	Entrada al canal Parshall	Salida del humedal	Porcentaje de eficiencia
1	208	48	76.9
2	169	57	66.3
3	660	40	93.9

**Sólidos totales.** Los humedales de flujo sub superficial cuentan con un lecho de grava que actúa como el primer agente depurador por que las partículas se sedimentan en los espacios disponibles (Londoño y Marín, 2009). Las raíces de los macrófitos también ayudan en la remoción de los sólidos, ya que, al ser combinado con el sustrato de grava, se reduce la velocidad del agua el cual favorece la sedimentación. Solamente en una de las muestras se encontró valores de eficiencia muy bajos en la remoción de sólidos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Sólidos totales expresados en mg/L en humedal artificial para la depuración de aguas residuales en el casco urbano del municipio de Tatumbla.

Muestreo	Entrada al canal Parshall	Salida del humedal	Porcentaje de eficiencia
1	414.44	260	37.26
2	590	196.67	66.67
3	1,357	202.22	85.11

**Oxígeno disuelto.** El oxígeno disuelto indica la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en una solución acuosa. No existe una diferencia entre los valores de oxígeno disuelto encontrados en los tres puntos de muestreo del río Tatumbla (Cuadro 5). Estos resultados nos demuestran que la descarga del agua residual depurada al río no contiene alto contenido de materia orgánica que necesita ser descompuesta por los microorganismos. Valores por debajo de 3 mg/L presentan un peligro para la vida acuática y debajo de 1 mg/L no hay suficiente oxígeno para soportar algún tipo de vida (EPA, s.f).

El porcentaje de saturación puede variar dependiendo de la temperatura del agua y de la presión atmosférica, es decir que al aumentar la temperatura el oxígeno disuelto disminuye. Los valores cercanos a 100% en ríos o lagos ocurren por el intercambio de oxígeno en el aire y por turbulencia, el cuál es considerado como excelentes condiciones (Mozley, 2002) Los porcentajes de saturación encontrados en el río Tatumbla nos demuestra que está en buenas condiciones y que no es afectado por la descarga del humedal artificial al no influir en la fotosíntesis de las plantas que aportan al oxígeno disuelto.

Cuadro 5. Oxígeno disuelto en el río Tatumbla en el casco urbano del municipio de Tatumbla.

Sitio de muestreo	Temperatura de la muestra (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Porcentaje de Saturación
Aguas Arriba	21.8	7.0	93.6
Punto de descarga	21.8	6.9	90.7
Aguas abajo	21.7	7.0	91.0

## 4. CONCLUSIONES

- La calidad del agua de las fuentes del casco urbano de Tatumbra durante la época de estudio se ve afectada por arrastre de sedimentos que influyen en la turbiedad, presencia de metales y de bacterias coliformes por encima de los valores aceptados por la normativa de calidad para consumo. Todas las fuentes evaluadas deben ser sometidas a procesos de tratamiento para cumplir con la normativa y garantizar salud de los consumidores.
- El sistema de agua potable del casco urbano del municipio de Tatumbra presenta deficiencias en la cloración debido a la alta turbiedad que interfiere en la eficacia de la desinfección y el periodo de aplicación es mayor a cuatro días. La desinfección realizada no se ajusta a los aforos de los caudales de ingreso a los tanques y no es efectiva en la eliminación de patógenos en la red de distribución de agua.
- El tratamiento de las aguas residuales por medio del humedal de flujo subsuperficial es eficiente en la remoción de la materia orgánica. No se encontró ninguna variación en los parámetros fisicoquímicos y en el oxígeno disuelto del río luego del vertido del agua depurada lo que demuestra la eficiencia del sistema.

## 5. RECOMENDACIONES

- Realizar por lo menos tres cloraciones a la semana en época seca dependiendo de los valores de turbiedad en cada uno de los tanques, y complementarlo con monitoreos del caudal de entrada al tanque y de las concentraciones de cloro libre en las llaves al final de la distribución para reducir los coliformes presentes en el agua.
- Durante la época lluviosa, cuando la turbiedad sea mayor a 5 UNT, no se debe clorar por causa de la potencial generación de subproductos de la cloración. Se deben buscar alternativas de clarificación de agua por medio de procesos físicos o químicos. Cuando la turbiedad no lo permita, la junta de agua (DIMASTA) deberá promover el tratamiento intradomiciliario con filtros caseros y mecanismos de desinfección alternos.
- Llevar a cabo actividades de reforestación en las zonas aguas arriba de los puntos de captación de agua para evitar erosión, especialmente la Las Golondrinas donde se observó mayor área deforestada. Se pueden sembrar especies que protegen los acuíferos y que se adapten a las condiciones de la zona. Se deben proteger todas las fuentes de posibles amenazas de deforestación.
- No se debe permitir que los tanques se vacíen por la acumulación de sedimentos en el fondo que interfieren en la efectividad de la cloración y se deben llevar a cabo la limpieza de los tanques por lo menos una vez cada dos meses en la época lluviosa.
- Realizar pruebas de coliformes totales y fecales en las fuentes de agua de manera periódica y ampliar la cantidad de metales evaluados en las fuentes de agua para descartar exposición de la población a compuestos metálicos
- Cubrir el patio de secado de lodos con una lámina delgada de policarbonato transparente para evitar el ingreso de aguas lluvias y permitir el paso de los rayos solares para que se lleve a cabo el secado.

## 6. LITERATURA CITADA

- American Chemistry Council (2016). *Drinking Water Chlorination A Review of Disinfection Practices and Issues*. ACC. Washington D.C.
- American Public Health Association (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (18th ed.). Washington D.C.
- Banco Mundial (2015). Población rural (% en área rural). Consultado 10 de mayo de 2017. Obtenido de: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?>
- Centers for Disease Control and Prevention (s.f). Chlorine residual testing fact sheet, CDC SWS Project. EEUU.
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (s.f). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas: Agua en Centroamérica*. España.
- Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (2002). *General Comment No. 15: The Right to Water (Arts. 11 and 12 of the Covenant)* (No. 15).
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., y Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia.
- Díaz, R. (2012). *Estudio socioeconómico e indicadores de línea de base del municipio de Tumbula, Francisco Morazán (en el marco de los ODM y la ERP)*. Honduras.
- Enríquez, L. G. (2012). *Evaluación de la presencia de Al, Fe y Mn en el Sistema de Agua Potable de Zamorano*. (Tesis) Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.
- Environmental Protection Agency (s.f). National Aquatic Resource Surveys: Indicators: Dissolved Oxygen. Consultado 20 de agosto de 2017. Obtenido de: <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-dissolved-oxygen>.
- Environmental Protection Agency (1986). *Quality criteria for water*. EPA Publication 440/5-86-001. U.S. Gov. Prin. Office, Washington D.C.
- Hach. (2013). *Manual de Procedimientos Colorímetro DR/890*. Hach, Loveland, CO.

- Hill, D. D., Owens, W. E., y Tchounwou, P. B. (2006). The Impact of Rainfall on Fecal Coliform Bacteria in Bayou Dorcheat (North Louisiana). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 3(1), pp. 114 – 117.
- Howard, G., Bartram, J., Water, S., and World Health Organization (2003). *Domestic water quantity, service level and health*. WHO, Geneva, Switzerland.
- Idexx. (2011). *Idexx Colilert\*-18 and Quanti-Tray\* Test Method for the Detection of Fecal Coliforms in Wastewater*. Idexx, EEUU.
- Instituto Nacional de Estadística (2016). Resultados del XVII Censo de Población y VI Vivienda a nivel de municipios. Consultado 6 de mayo de 2017. Recuperable en: <http://www.ine.gov.hk/index.php/component/content/article?id=103>
- Lampoglia, T., Agüero, R., y Barrios, C. (2008). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldes y alcaldesas de municipios rurales y pequeñas comunidades*. OPS/CEPIS.
- Londoño, L. A., y Marín, C. (2009). *Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética* (Tesis). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Ministerio de Salud de la República de Honduras. (1995). *Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable*. Honduras.
- Mozley, S. (2002). *Calculating Oxygen Percent Saturation and Comments on Controls of Oxygen Saturation*. Consultado 25 de agosto 2017. Obtenido de la página de North Carolina State University: <https://projects.ncsu.edu/cals/course/zo419/oxygen.html>
- Organización Mundial de la Salud (2005). *Trihalomethanes in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*.
- Organización Mundial de la Salud (2015). *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: Informe de actualización 2015 y evaluación de ODM*.
- Organización de las Naciones Unidas (2015). Sustainable Development Goals: seventeen goals to transform our world. Consultado 5 de mayo de 2017. Recuperable en <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.
- Red de Agua y Saneamiento de Honduras (2011). Estudio sobre la Exclusión en el sector agua y saneamiento en Honduras. *Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia*. Honduras.

- Sarmiento, A. P., Borges, A. C., y Matos, A. T. de. (2013). Effect of cultivated species and retention time on the performance of constructed wetlands. *Environmental technology*, 34(5-8), pp. 961 – 965.
- Solsona, F., y Méndez, J. P. (2002). Desinfección del agua. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*. Perú.
- Tchakerian, M. D., & Coulson, R. N. (2011). Ecological impacts of southern pine beetle. *In: Coulson, RN; Klepzig, KD 2011. Southern Pine Beetle II. Gen. Tech. Rep. SRS-140. Asheville, NC: US Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station. 223-234., 140, pp. 223 - 234.*
- Vymazal, J., y Kröpfelová, L. (2009). Removal of organics in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: a review of the field experience. *The Science of the total environment*, 407(13), pp. 3911 – 3922.

## 7. ANEXOS

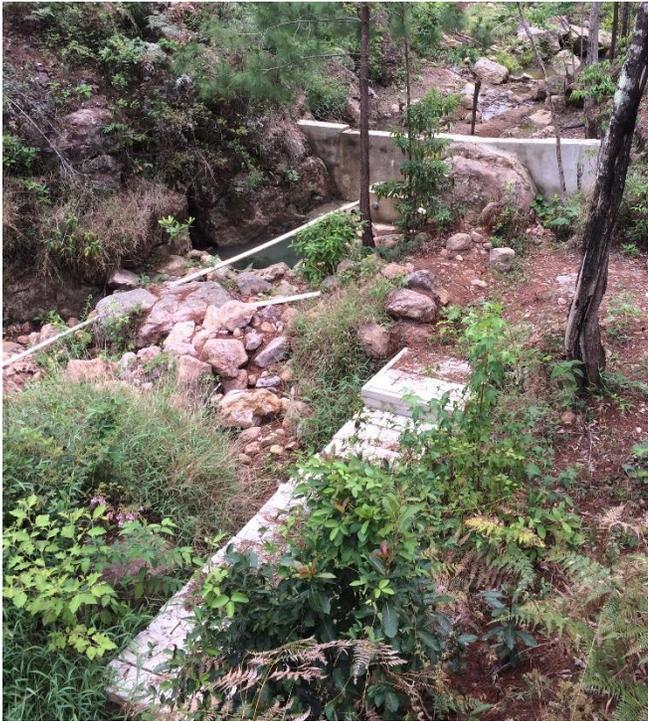
**Anexo 1.** Tanque Pedernal



**Anexo 2.** Fuente La Olomina



**Anexo 3. Fuente Las Golondrinas**



**Anexo 4. Tanque Sabana Licona**



**Anexo 5. Fuente Palmira**



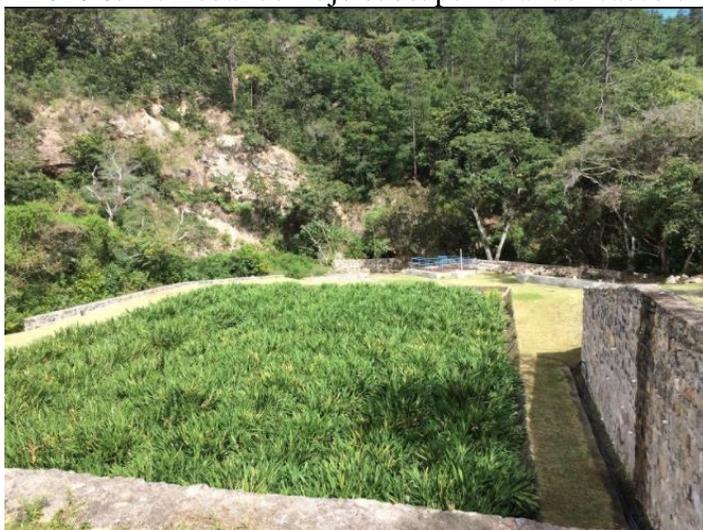
**Anexo 6. Tanque Murciélagó**



**Anexo 7. Fuente Murciélago**



**Anexo 8. Humedal de flujo subsuperficial del casco urbano del municipio de Tatumbla**



**Anexo 9. Ajuste de dosis de cloración en el tanque Pedernal**

$$\begin{aligned} \text{Volúmen del tanque (gal)} &= 206 \times \text{Ancho (m)} \times \text{Ancho (m)} \times \text{Altura (m)} \\ &= 206 \times 4.6 \times 4.6 \times 2.85 \\ &= 12,423 \text{ gal} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen del hipoclorador (L)} = \frac{\text{Ancho (cm)} \times \text{Largo (cm)} \times \text{Profundidad (cm)}}{1000}$$

$$= \frac{87.5 \times 90 \times 83}{1000}$$

$$= \mathbf{653.6 \text{ L}}$$

$$\text{Caudal } \left( \frac{\text{gal}}{\text{min}} \right) = \frac{\text{Volumen (gal)}}{\text{Tiempo (s)}} \times 60$$

$$= \frac{5}{4} \times 60$$

$$= \mathbf{75 \text{ gal/min}}$$

$$\frac{\text{Caudal } \left( \frac{\text{gal}}{\text{min}} \right) \times \text{Concentración deseada } \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{Período de Aplicación (días)} \times 0.012}{\text{Dosis de cloro (lb)}} \times 100$$

$$= \frac{76.8 \times 2.0 \times 4 \times 0.012}{0.65}$$

$$= \mathbf{11.34 \text{ lb}}$$

$$\text{Goteo } \left( \frac{\text{mL}}{\text{min}} \right) = \frac{\text{Volumen hipoclorador (L)} \times 0.694}{\text{Período de Aplicación (días)}}$$

$$= \frac{653.6 \times 0.694}{4}$$

$$= \mathbf{113.4 \text{ mL/min}}$$