

**Caracterización de calidad de agua en el ciclo
de consumo del municipio de Guaimaca,
Francisco Morazán, Honduras**

Ana Elizabeth Leiva Castillo

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2010

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Caracterización de calidad de agua en el ciclo de consumo del municipio de Guaimaca, Francisco Morazán, Honduras

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

Presentado por:

Ana Elizabeth Leiva Castillo

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2010

Caracterización de calidad de agua en el ciclo de consumo del municipio de Guaimaca, Francisco Morazán, Honduras

Presentado por:

Ana Elizabeth Leiva Castillo

Aprobado:

Erika Alejandra Tenorio, M.Sc.
Asesora Principal

Arie Sanders, M.Sc.
Director Carrera de Desarrollo
Socioeconómico y Ambiente

Mily Cortés, Ph.D.
Asesora

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Leiva, A. 2010. Caracterización de calidad de agua en el ciclo de consumo del municipio de Guaimaca, Francisco Morazán, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 29p.

El objetivo de este estudio fue la evaluación de la calidad de agua a lo largo del ciclo de consumo del municipio de Guaimaca, Honduras, mediante el monitoreo del agua en las obras de captación, la evaluación de la eficiencia del sistema actual de cloración y el impacto de la disposición de aguas residuales en cuerpos receptores. Se realizaron tres muestreos en las tres fuentes de abastecimiento de agua potable y dos cuerpos receptores de aguas residuales entre los meses de Junio y Agosto del 2010. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos *in situ* mediante un sensor multiparámetro marca HACH®. Se aforó el caudal de agua potable usando el método volumétrico y se utilizó un correntómetro para el aforo de aguas residuales. Se evaluó cloro residual libre mediante dietil-p-fenildiamina y se realizó conteos de bacterias coliformes fecales y totales por el método de filtración de membrana para agua potable y por el método de placas Petrifilm™. Para aguas residuales se realizaron análisis de DBO₅. En agua potable como en aguas residuales se evaluaron fosfatos y nitratos mediante métodos colorimétricos. Recuentos de bacterias coliformes indicaron contaminación fecal en las tres fuentes de abastecimiento y en las llaves del sistema de distribución. El afluente la Marmajosa presentó el valor más alto de contaminación fecal y turbidez, mientras que la fuente del destino presentó los valores más altos de fosfatos. Se determinó que los niveles de contaminación de los efluentes de aguas residuales causan un impacto en la biodiversidad acuática y se propusieron alternativas de prevención de contaminación y de tratamiento del agua en el municipio.

Palabras Clave: Agua potable, aguas residuales, análisis bacteriológico, coliformes, Demanda Bioquímica de Oxígeno.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros y Figuras.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
4. RESULTADOS.....	16
5. DISCUSIÓN.....	24
6. CONCLUSIONES.....	26
7. RECOMENDACIONES.....	27
8. BIBLIOGRAFÍA.....	28

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro	Página
1. Caudal L/s obtenido durante el muestreo en agua potable.....	16
2. Temperatura en °C obtenida en los análisis realizados en el período de muestreo.....	17
3. Turbidez en UNT obtenida en los análisis realizados en el período de muestreo.....	i
4. Datos de conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtenidos en análisis realizado en el período de muestreo.....	i
5. Datos de pH obtenidos en análisis realizados en el período de muestreo.....	i
6. Datos de cantidad de nitratos en mg/L obtenidos en el período de muestreo.....	ii
7. Datos fosfatos en mg/L obtenidos en el período de muestreo.....	ii
8. Datos de caudal en m^3/s del cuerpo receptor de aguas residuales en el periodo de muestreo.....	ii
9. Resultados obtenidos de coliformes totales y coliformes fecales en el período de muestreo.....	ii
10. Datos de temperatura en aguas residuales en °C obtenidos en el período de muestreo.....	ii
11. Datos de turbidez de aguas residuales expresados en UNT, obtenidos en el período de muestreo.....	ii
12. Datos de pH en aguas residuales en el período de muestreo.....	ii
13. Datos de nitratos expresados en mg/L obtenidos en el período de muestreo.....	19
14. Datos de fosfatos expresados en mg/L obtenidos en el período de muestreo.....	19
15. Demanda Bioquímica de Oxígeno expresada en mg/L obtenida en los sitios de muestreo.....	19

Figura	Página
1. Esquema del sistema de distribución de agua potable de Guaimaca.....	4
2. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo de calidad de agua potable en el municipio de Guaimaca.....	10
3. Mapa de ubicación de sitios de muestreo de calidad de aguas residuales en el municipio de Guaimaca.....	12
4. Resultados de coliformes totales y coliformes fecales obtenidos durante el muestreo de agua potable.....	17

1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es considerado el segundo más importante para la humanidad, y como tal se hace necesario conocer sus propiedades y entender los ciclos, tanto naturales, como de aprovechamiento de este recurso con el fin de utilizarlo de manera sostenible y favorecer su acceso equitativo. El agua es un recurso que se encuentra bajo presión constante por el aumento de la contaminación de las fuentes de agua y el cambio climático y es la falta de planificación para el aprovechamiento y la carencia de medidas que mitiguen los impactos que las poblaciones puedan tener sobre el mismo lo que ha conducido a su acelerado deterioro.

En Honduras se han realizado esfuerzos de mantenimiento y mejoramiento en las redes de distribución de agua potable a nivel nacional, sin embargo se siguen presentando debilidades en la prestación del servicio de agua y saneamiento. Solamente el 82.9% de la población urbana tiene acceso al servicio de agua potable, con notorios problemas en calidad de agua, mientras que solo el 63.2% de la población tiene acceso en zonas rurales del país (OPS-OMS 2003).

El municipio de Guaimaca, está ubicado al norte del departamento de Francisco Morazán. Guaimaca tiene una extensión territorial de 7,461 km² y una población aproximada de 29,004 habitantes. Uno de los mayores problemas de la ciudad de Guaimaca por mucho tiempo ha sido el agua potable. Solamente el 65% de la población tiene acceso al agua potable del sistema de distribución municipal y la red de alcantarillado sanitario solo abarca el 18% de la población en el casco urbano. La gran mayoría de las aguas residuales generadas en el municipio caen directamente en un cuerpo de agua que atraviesa la ciudad (SERMUG 2008).

La contaminación de cuerpos de agua en el municipio ha ido aumentando con el tiempo y esto genera tanto riesgos a la salud de los pobladores como el deterioro de los cuerpos de agua del municipio. En Guaimaca, las aguas residuales recolectadas en el sistema municipal de alcantarillado sanitario son arrojadas al río Abajo sin tratamiento alguno. El agua de este río en el cual son depositados los efluentes es utilizado aguas abajo para la agricultura, ganadería y en algunos casos para uso doméstico (EPYPSA 2008).

Con miras a la solución de algunos de los problemas de calidad de agua y saneamiento del municipio se hace necesario realizar entonces un diagnóstico que permita conocer el estado en el que se encuentran las fuentes que abastecen de agua a la ciudad. Por otro lado, previo a la recomendación de algún tratamiento de agua potable o aguas residuales se deben realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos tanto en el sistema de agua

potable como en los cuerpos receptores de las aguas residuales del municipio para la identificación de riesgos a la salud de las poblaciones y los impactos generados en el entorno.

El presente estudio será una herramienta para que las autoridades locales puedan identificar los problemas que afectan la calidad del agua en Guaimaca y buscar alternativas de mejora. La presente caracterización evalúa el ciclo de consumo de agua desde las fuentes y obras de captación, la red de distribución, las aguas residuales y los cuerpos receptores de las mismas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento, las redes de distribución y la disposición de las aguas residuales en el casco urbano de Guaimaca, así como los impactos de éstas últimas en cuerpos receptores, con el fin de sugerir acciones correctivas de manejo del sistema.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Determinar las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua de las fuentes de abastecimiento del área urbana del municipio de Guaimaca.
2. Evaluar la eficiencia del sistema actual de cloración del agua mediante la medición de las concentraciones y la cantidad de cloro residual y cloro total en la red de distribución.
3. Caracterizar las aguas residuales del municipio de Guaimaca e identificar los impactos en los cuerpos receptores.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El agua en condiciones naturales puede ser sujeta modificaciones a lo largo de su ciclo. Estas modificaciones pueden ser causadas por procesos naturales derivados de la interacción agua-suelo en cuencas hidrográficas como por alteraciones derivadas de intervenciones humanas. El agua presenta diferentes requerimientos dependiendo del uso al cual será destinado, por lo que es importante monitorear constantemente sus propiedades (Poch 1999).

El uso del agua en el mundo está determinada por factores como: el nivel de desarrollo socioeconómico que posee cada país, la población y los factores fisiográficos de cada uno, incluyendo el clima. La interacción entre estos factores determina la calidad y cantidad de agua disponible en mundo (Simonovic 2002). El agua para uso doméstico y para satisfacer las necesidades básicas constituye un factor importante para la salud pública, por lo que las políticas gubernamentales deberían estar enfocadas en asegurar el abastecimiento de agua potable para las poblaciones (WHO 2003). La calidad del agua potable, puede verse afectada en ambientes rurales por la presencia de microorganismos patógenos causados por la falta de saneamiento. En zonas agrícolas los mayores contaminantes son los nitratos, los componentes orgánicos y pesticidas derivados del petróleo (Leschik 2009).

En Honduras, uno de los principales problemas del sub-sector agua y saneamiento es la centralización en el manejo del sector, además de la falta de apoyo financiero por parte del gobierno a través de programas estatales, la difícil gestión de préstamos e inversiones de la cooperación externa. Otro aspecto a considerar es la falta de continuidad que se le dan a las obras financiadas por organismos internacionales en el sector, descuidando la infraestructura y el mantenimiento así como los controles de calidad en los servicios que se ofrecen (SERMUG 2008).

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN GUAIMACA

El municipio de Guaimaca cuenta con tres fuentes de abastecimiento de agua para consumo, i) La Marmajosa que abastece el 40% del municipio, ii) El Destino en el 30% y iii) San Quin el 30% restante. Estas tres microcuencas están ubicadas en la reserva biológica de Misoco. La infraestructura de captación consta de represas del tipo derivadoras o bocatomas cuyo principio es poder desviar el agua necesaria hacia los tanques a través de vertederos que poseen cortinas metálicas colocadas para evitar el paso de material grueso hacia las tuberías, y a su vez permite que fluya el agua que no entra al sistema

Las tuberías utilizadas para conducir el agua hacia los tanques son de Cloruro de Polivinilo (PVC) y Hierro Galvanizado (HG) en las fuentes la Marmajosa y San Quin y de Hierro Galvanizado en El Destino. La tubería de la Marmajosa y el Destino es de 6 pulgadas de diámetro y la de San Quin es de 4 pulgadas (Montes de Oca 2007).

El municipio actualmente cuenta con dos tanques de almacenamiento: uno con capacidad de 150,000 galones y el otro de 250,000 galones. Uno de los tanques almacena agua proveniente de la represa El Destino y la Marmajosa y abastece 70 % de agua a la red, mientras que el segundo recibe agua de la represa de San Quin y abastece el 25% de la población. Dos barrios del municipio (aproximadamente 5%) son abastecidos de ambos tanques (Figura 1). Actualmente existen 2,777 conexiones en el sistema de agua potable del municipio de Guaimaca (Montes de Oca 2007).

La cloración del agua para consumo en Guaimaca se realiza mediante dosificadores de hipoclorito de calcio al 65%. La dosis que actualmente se utiliza es de 50 libras para cada tanque con intervalos de aplicación de cinco días. La dosificación de cloro es constante y se hace sin considerar el caudal de entrada a los tanques. Hasta la fecha no se realizan monitoreos de la cantidad de cloro residual a lo largo del sistema de distribución.

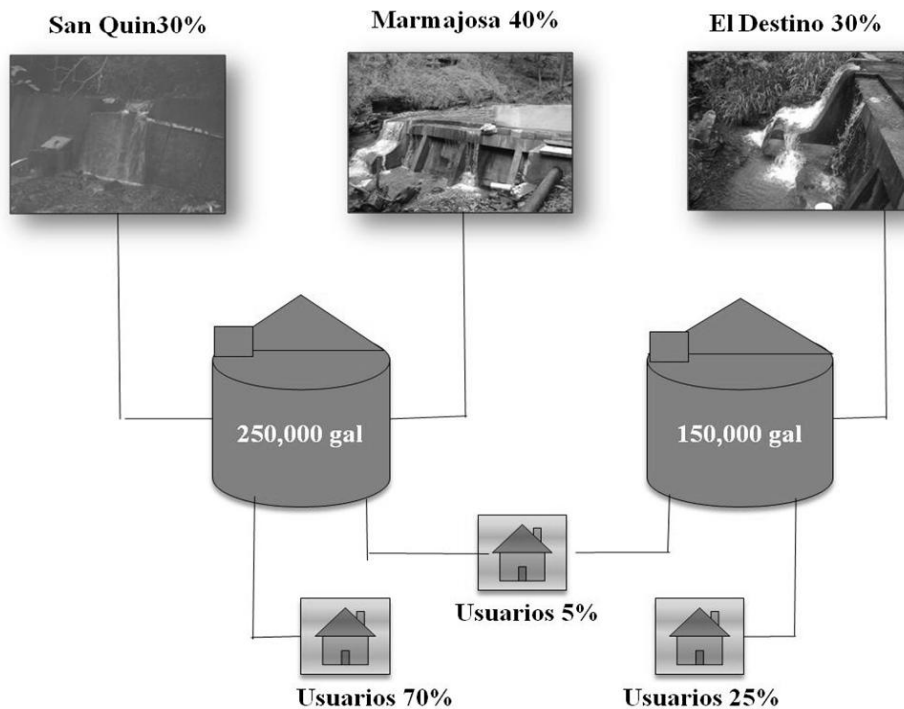


Figura 1. Esquema del sistema de distribución de agua potable de Guaimaca

2.2 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas y biológicas del agua en todos sus estados que la hacen ser apta para un uso deseado en particular y que puede verse afectada por diferentes contaminantes. La evaluación de la calidad del agua es por

tanto indispensable para determinar cuál es el uso que se le puede dar al agua. Las características del agua pueden variar dependiendo el estado en el que se encuentre, por lo que para evaluar su calidad se deben considerar las condiciones del entorno para saber cuáles son los factores que pueden alterar su calidad y poder tomar las medidas necesarias para mejorarla (EPA 2002).

El caudal de una fuente o naciente de agua se mide para conocer el volumen de agua que esta puede proveer. El caudal mínimo de una fuente de agua puede proporcionar cierto nivel de protección a la vida acuática. La medición de un caudal mínimo depende del uso que se le de al agua, cuando se trata de agua para consumo humano requiere un monitoreo constante porque los cambios en el caudal del río pueden alterar las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del agua (Liu 2005).

Para determinar la calidad de agua para consumo es necesario considerar parámetros bacteriológicos para identificar la presencia de microorganismos patógenos los que podrían causar enfermedades e la población servida. Para este fin se utilizan organismos indicadores que habitan en los intestinos de animales de sangre caliente, también pueden estar presentes en el agua de manera natural, en los suelos o en la vegetación (EPA 2002).

2.3 PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

En el agua para consumo humano no es permitido la presencia de microorganismos patógenos por lo que se debe estar en monitoreo constante y se sugiere la cloración del agua para eliminarlos (EPA 2002).

2.3.1 Coliformes totales:

La Norma Técnica Nacional para la Calidad de Agua Potable de Honduras (NTNCA) los define como bacilos gram negativo no esporulados, que puede desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con similares propiedades de inhibición de crecimiento. No tienen citocromo oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído 35 ó 37°C en un período de 24 a 48 horas.

2.3.2 Coliformes fecales:

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana ya que los coliformes son bacterias comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, y están presentes en grandes cantidades. Permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección (CYTED 2001).

Los coliformes totales y fecales se reportan como Unidades Formadoras de Colonia (UFC) en 100 ml. La Norma Técnica de Calidad de Agua Potable de Honduras establece

un valor máximo permisible de 3 UFC en 100 ml para bacterias coliformes totales en agua no tratada que entra al sistema de distribución.

2.4 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

La realización de diagnósticos de calidad de agua hace necesario considerar las características fisicoquímicas del agua, ya que estas están relacionadas con las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua, y pueden a su vez alertar sobre posibles riesgos a la salud humana. El monitoreo de estos parámetros debe realizarse para verificar que estén dentro de los límites de concentración establecidos por las normas internacionales de calidad de agua.

La turbidez en el agua es un indicador de la presencia de partículas, especialmente sólidos en suspensión. Cuantificar la turbidez se refiere a la medición de la prolongación con la que un rayo de luz es reflejada cuando pasa por el agua (Poch 1999). Según la Agencia de Protección Ambiental (USEPA 1997) el agua de consumo no debe tener más de 1 UNT. Cuando hay un alto nivel de turbidez se pueden ocasionar problemas en la cloración del agua ya que cuando algún químico entra en contacto con las partículas en suspensión puede causar toxicidad o inhibir su efecto en el agua.

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. Es indicativo de la presencia de sales disueltas que permiten al agua conducir electricidad. El agua en su estado puro contribuye mínimamente a la conductividad. El aparato utilizado para medir la conductividad es el conductivímetro cuyo fundamento es la medida eléctrica de la resistencia al paso de la electricidad entre las dos caras opuestas de un prisma rectangular comparadas con la de una solución de cloruro de potasio (KCl) a la misma temperatura y referida a 20°C. La conductividad se expresa como microsiemens por cm (PNUMA 2006).

El Potencial de Hidrógeno o pH, es el logaritmo negativo de base 10 de la concentración de hidrogeniones la medición del grado de alcalinidad o de acidez del agua. La concentración de hidrogeniones en el agua puede cambiar el comportamiento de algunas sustancias químicas, por esa razón es importante mantener un monitoreo constante. Un pH de 0 es muy ácido y un pH de 14 es muy alcalino o básico (Poch 1999). Según la Organización Mundial de la Salud, el rango óptimo de pH en agua para consumo es de 6.5 a 8.5. Valores por debajo de este rango pueden estar relacionados con la presencia de metales disueltos en el agua. Se mide en unidades logarítmicas de concentración.

El oxígeno es un elemento fundamental para el desarrollo de los microorganismos acuáticos. El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno presente en el agua. Es un indicador importante de la calidad del agua, puesto que a mayor oxígeno hay en el agua se considera que el agua es de mejor calidad porque tiene menor cantidad de microorganismos que consumen oxígeno (CIESE 2006).

Los cambios en la temperatura son de mucha influencia para la vida acuática. La temperatura afecta la mayoría de procesos biológicos y otros parámetros de la calidad del agua como el oxígeno disuelto descrito anteriormente (CEPIS-OPS 1992). Según la

Secretaría de Salud Pública de Honduras el valor deseado para este parámetro debe estar en un rango de 18°C a 30°C. Para agua residual que es depositada o vertida en un cuerpo receptor la temperatura debe ser < 25 °C.

Los nitratos, se encuentran de manera natural en pequeñas cantidades en el agua pero en grandes cantidades es un indicador de contaminación en el agua, que puede resultar de la aplicación de fertilizantes en la zona. El exceso de nitratos en el agua de consumo es perjudicial ya que convierte la hemoglobina en la sangre en metahemoglobina que reduce la habilidad de la sangre para transportar oxígeno en los bebés (DSSC 2006). Según la (OMS 2004) el valor máximo permitido en el agua de consumo humano es 50 ppm y 25 ppm la cantidad deseada.

Los fosfatos existen de manera natural en las plantas, y están presentes en ambientes agrícolas e industriales. Su presencia en el agua puede propiciar químicamente el crecimiento de microorganismos y virus. Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente el valor máximo permitido es 1 mg/L de fósforo en el agua.

En redes de distribución de agua potable se debe considerar la medición de la concentración de cloro. El cloro es el método más común de desinfectar el agua. Es un químico que destruye los organismos patógenos presentes, principalmente bacterias virus y protozoos. Puede reaccionar aun en presencia de altas cantidades de materia orgánica pero es muy corrosivo y puede ser inflamable si entra en contacto con algunos ácidos. Comercialmente está disponible en diferentes presentaciones, es barato y fácil de manejar. A medida que el cloro va desinfectando el agua, se va consumiendo, por lo que es necesario medir la cantidad de cloro en el agua después de cierto tiempo y luego de que haya recorrido una distancia considerable en tuberías. La cantidad de cloro que se detecta en el agua al final de la red de distribución se le denomina cloro libre, y se mide en mg/l (ITC 2007). De acuerdo a la Norma Técnica de Calidad de Agua en Honduras, el rango óptimo de cloro es de 0.5 a 0.1. Estudios comprueban que concentraciones de hasta 5mg/l no representan riesgos para la salud humana.

2.5 AGUAS RESIDUALES

Según la Norma Técnica Nacional para la Descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario (1995), las aguas residuales son líquidos de composición variada, provenientes de usos domésticos, comerciales, industriales, agrícolas, pecuarios, minería o de otra índole. Se pueden clasificar en aguas residuales crudas que son aquellas que no reciben ningún tratamiento, y las aguas residuales tratadas que provienen de una planta de tratamiento. Al igual que en el agua potable, en aguas residuales también deben medirse los parámetros de calidad de agua. Previo a depositar aguas residuales en un cuerpo receptor es necesario verificar que estos parámetros estén de acuerdo a la norma (Poch 1999).

Uno de los parámetros más importantes que se deben considerar al evaluar la calidad de aguas residuales es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que es la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias y microorganismos para descomponer la materia

orgánica a temperaturas específicas. El DBO es un indicador de la cantidad de materia orgánica presente en aguas contaminadas con efluentes domésticos e industriales y de plantas municipales de tratamiento (APHA 1998). Según Cárdenas (2005), las pruebas de DBO permiten conocer la capacidad de un cuerpo receptor para asimilar una carga de materia orgánica. Según la norma técnica de descarga de aguas residuales a cuerpos de agua y alcantarillado sanitario de la Secretaría de Salud Pública de Honduras, la concentración máxima permisible para DBO es de 50 mg/L.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el municipio de Guaimaca en el departamento de Francisco Morazán. Guaimaca colinda al norte con los municipios de Orica, San Ignacio y Guayape, al Sur con los municipios de Teupasenti y San Juan de Flores, al este con los municipios de campamento y concordia y al Oeste con los municipios de Talanga y Cedros. Tiene una extensión territorial de 7,461 Km² y una población de 29,004 habitantes según el Sistema Nacional de Información Municipal (SINIMUN).

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA

3.1.1 Muestreo de agua potable

Para los análisis de agua potable se realizaron tres muestreos en tres microcuencas, El Destino, La Marmajosa y San Quin ubicadas en la reserva biológica de Misoco (Figura 2). En el período comprendido entre los meses de Junio hasta Agosto se evaluaron los parámetros correspondientes a la primera etapa de control de calidad de agua establecidos por la Norma Técnica de Calidad de Agua de Honduras. Incluye coliformes totales, coliformes fecales, turbidez, temperatura, concentración de iones de hidrógeno, conductividad eléctrica y cloro residual. Adicionalmente se midieron concentraciones de nitratos y fosfatos incluidos en la segunda etapa de control de calidad de calidad de agua.

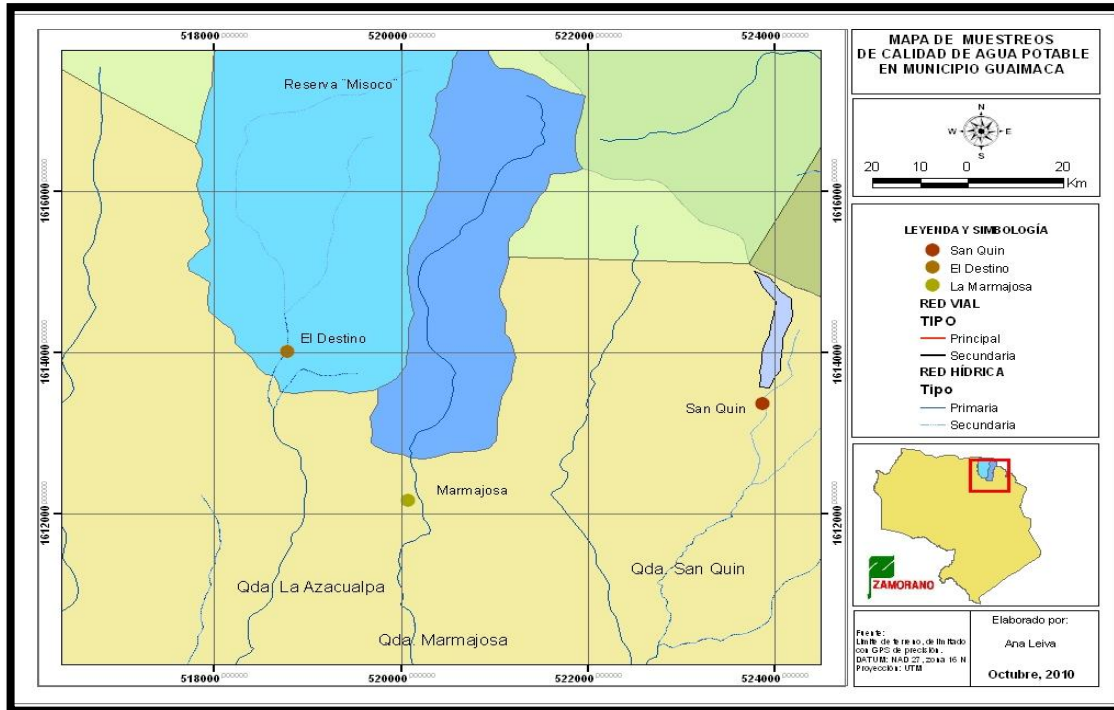


Figura 2. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo de calidad de agua potable en el municipio de Guaimaca.

Para los análisis de nitratos y fosfatos se utilizaron botes de 500 ml de polietileno (HDPE) para la recolección de la muestra. Para realizar los análisis bacteriológico de coliformes fecales y coliformes totales se utilizaron bolsas estériles Whirl Pack® debidamente rotuladas. Ambos tipos de muestras se colocaron en una hielera para conservarlas y transportarlas al laboratorio donde se hicieron los análisis. Con el objetivo de evaluar la eficiencia en el sistema de cloración que actualmente se usa en el municipio se realizaron mediciones de cloro residual y cloro total en la primer llave, en una llave de la mitad y en la última llave de cada sistema de distribución, utilizando el colorímetro marca HACH® DR8600 series.

Las mediciones de los parámetros *in situ*, se hicieron tanto para agua potable como para aguas residuales utilizando un medidor OAKTON® DO110 series para la medición de oxígeno disuelto. La conductividad eléctrica, temperatura y pH mediante el método potenciométrico utilizando un instrumento multiparámetro HACH®. Para la medición de la turbidez del agua se utilizó un turbidímetro marca LaMotte®, el cual tiene 2 celdas, una con agua de calibración y la otra para la muestra. Los resultados se reportan como unidades Nefelométricas de turbidez (UNT).

Para agua potable las mediciones *in situ* se realizaron en las tres fuentes de abastecimiento del municipio, mientras que para aguas residuales se hicieron mediciones en el Río Abajo y en la quebrada El Barniz que son los cuerpos receptores de aguas residuales que se han identificado en el casco urbano de Guaimaca.

La medición de caudal para agua potable se realizó en las obras de captación de las tres fuentes de abastecimiento de agua del municipio mediante el método volumétrico. Se utilizó un recipiente calibrado en litros y se midió el tiempo que tardó en llenarse hasta determinada cantidad. Se hicieron tres repeticiones para obtener un promedio y luego utilizar la ecuación para calcular el caudal que es la siguiente:

$$\text{Caudal (L/seg)} = \frac{\text{Litros}}{\text{Tiempo (seg)}} \quad [1]$$

Se midió el caudal de aguas residuales mediante un correntómetro. Adicionalmente se midió el caudal del río donde son depositadas las aguas servidas. Se midió el caudal antes, durante y después de que las aguas residuales entran al cuerpo receptor. También se midió el caudal del afluente el Barniz, ya que se ha identificado como cuerpo receptor de las aguas residuales de varias colonias del casco urbano del municipio de Guaimaca. Para medir el caudal de este afluente también se utilizó un correntómetro y se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal m}^3/\text{s} = \text{area (m}^2\text{)} \times \text{velocidad (m/s)} \quad [2]$$

Se determinó el área de la sección transversal del río dividiendo el ancho del río en 10 secciones y midiendo la profundidad de cada una. En cada sección se midió la velocidad del agua con el correntómetro y se reportó en m/s.

3.1.2 Muestreo de aguas residuales

Para los análisis de calidad de agua residual se realizaron muestreos puntuales directamente en el efluente del sistema de alcantarillado que desemboca en el río. Luego se muestreo el Río Abajo, antes del efluente, en el efluente y aguas abajo para evaluar cual es el impacto del efluente en la calidad del agua del río. También se realizaron muestreos aguas abajo de la quebrada el Barniz, ya que ésta es receptora de aguas residuales durante su paso por el municipio de Guaimaca (ver Figura 4).

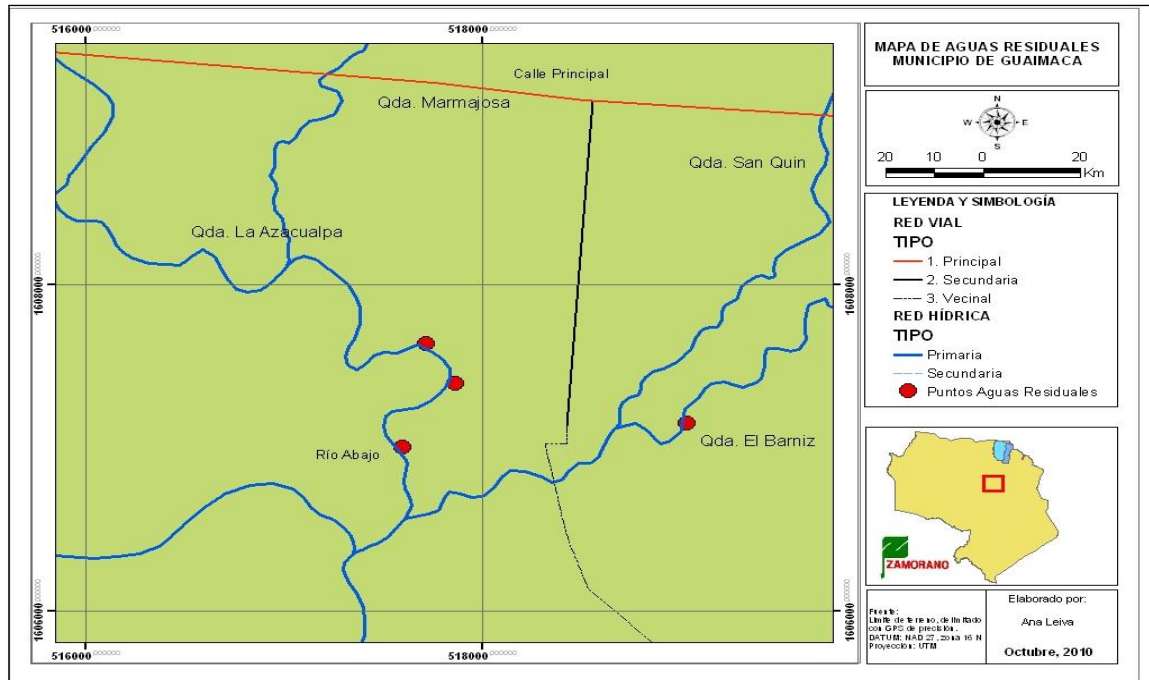


Figura 3. Mapa de ubicación de sitios de muestreo de calidad de aguas residuales en el municipio de Guaimaca.

Para los análisis bacteriológicos se utilizaron bolsas estériles Whirl Pack®, guantes desechables y mascarilla. Se lavó la bolsa tres veces con el agua de muestra y luego se selló y se almacenaron en hieleras para transportarlas al laboratorio. En la toma de muestras para nitratos y fosfatos se utilizaron botes de 500 ml de polietileno (HDPE), lavados previamente con agua destilada y luego tres veces con agua de la muestra y se colocaron en la hielera. La toma de muestras para los análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se realizó en el río Abajo. Para la recolección de muestras se utilizaron botellas desechables de 1L lavadas previamente con agua destilada y tres veces con el agua de muestra, se almacenaron en una hielera hasta llegar al laboratorio.

3.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS

Los análisis de calidad de agua se realizaron en el laboratorio de aguas de la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Para los análisis de nitratos y fosfatos se filtraron 100 ml de la muestra para realizar ambos análisis, tanto para aguas residuales como para agua potable, para eso se utilizó el equipo de filtración por membrana, también se usaron membranas de filtración de 0.45 μm de tamaño de poro de acetato de celulosa.

Para medir estos parámetros, se utilizó un colorímetro HACH® DR8600. Para la medición de fosfatos se utilizó el método de ácido ascórbico. Mediante este método los fosfatos reaccionan con el molibdato en un medio ácido y producen un complejo

fosfomolibdato. Para los nitratos se utilizó el método de reducción de cadmio. El cadmio reduce los nitratos presentes en la muestra a nitritos. Los nitritos en un medio ácido sulfanílico reaccionan formando una sal de diazonio intermedia. Al unirse ambos, terminan en un producto ámbar.

3.2.1 Análisis bacteriológico de agua potable

Se utilizó el método de membrana filtrante, para lo que se utilizaron membranas de filtración estériles (47 mm de diámetro, 0.45 μm tamaño de poro), platos petri (60 mm de diámetro), m-Coli Blue 24, mecheros, pinzas pequeñas y grandes, beaker, sistema de filtración e incubadora.

Previo a la realización de los análisis se desinfectó el laboratorio, para asegurar un área de trabajo limpia y en orden, luego se esterilizaron todos los instrumentos a utilizar, flameándolos o colocándolos en el horno. Se rotularon los platos petri (al reverso) con el nombre del sitio, la fecha y hora de incubación, se les colocó la ampolla de solución m-ColiBlue®24 como medio de cultivo para la formación de las colonias de bacterias.

Se hizo pasar el agua en el sistema de filtración utilizando una membrana estéril en un plato petri la membrana se colocó sobre el medio de cultivo y luego en la incubadora a 35 ± 0.5 °C por 24 horas. Después de 24 horas se procedió al conteo de colonias de bacterias, diferenciando entre bacterias coliformes fecales y no fecales. Se reportaron los resultados como UFC en 100 ml.

3.2.2 Análisis bacteriológico de aguas residuales

Para el análisis bacteriológico de aguas residuales se utilizaron Placas Petrifilm™ para Recuento de coliformes E. coli. Se diluyó 1ml de muestra en 20-30 ml de agua libre de bacterias para que favorezca el conteo de las colonias de bacterias. Luego se inoculó con 1ml de la dilución la placa Petrifilm™ utilizando un pipeta de 1ml y después se incubó la muestra en la incubadora a 35 ± 0.5 °C por 24 horas. 24 horas después de la inoculación se procedió a contar las colonias de bacterias. Los resultados del conteo de bacterias de los análisis bacteriológicos se reportan como cantidad de UFC (Unidad Formadora de Colonia) sobre el volumen filtrado.

3.3 CLORO RESIDUAL

Para la medición de cloro residual en las llaves de las casas que están conectas a la red municipal de agua potable se realizó un muestreo en varias llaves del sistema. Se muestreo la primer llave del sistema, una llave del centro y la última llave de la red. También se muestrearon llaves que reciben agua del tanque I y llaves que reciben agua del tanque II para verificar que se esté aplicando cloro en las cantidades adecuadas y en los intervalos correspondientes de tiempo. Para la medición de cloro residual se utilizó un

colorímetro marca HACH® modelo CN-70 y los reactivos Dietil- para-fenilendiamina (DPD).

3.3.1 Estimaciones para la dosificación de cloro

Se realizaron cálculos para estimar la cantidad de cloro que se debe aplicar en los tanques de almacenamiento de agua como función del caudal de entrada. Para realizar los cálculos se deben saber las dimensiones en cm del hipoclorador. Para obtener el volumen que se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen (L)} = \text{-----} \quad [3]$$

Se calculó el caudal de entrada a los tanques utilizando el caudal obtenido en las fuentes. Se utilizó el caudal de la Marmajosa y San Quin para el tanque II y para el tanque I se utilizó el caudal de El Destino. El caudal de entrada debe medirse con regularidad porque cambia constantemente y la dosificación de cloro depende del caudal de entrada a los tanques. Para obtener la cantidad de cloro en libras que se debe aplicar se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Cloro a aplicar (kg)} = \text{-----} \quad [4]$$

El goteo se debe ajustar para cada aplicación, para calcularlo se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Goteo (ml/min)} = \text{-----} \quad [5]$$

3.4 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)

El método DBO_5 consiste en llenar un recipiente con la muestra, saturar de aire el agua de muestra, medir el oxígeno inicial y luego incubarla durante 5 días para saber cuál fue el oxígeno utilizado para degradar la materia orgánica.

Para la realización de los análisis de la demanda bioquímica de oxígeno se utilizó el método de DBO_5 del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1998). Se prepararon cuatro soluciones utilizando diferentes reactivos para obtener el agua de dilución. Se utilizó una solución Buffer de Fosfatos preparada con 8.5 g KH_2PO_4 , 21.75 g K_2HPO_4 , 33.4 g Na_2HPO_4 y 1.7 g NH_4Cl en 500 ml de agua destilada y después diluido en 1 L. Luego se preparó una solución de Sulfato de Magnesio con 22.5g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en 1 L de agua destilada. Luego se preparo una solución de Cloruro de Calcio con 27.5 g CaCl_2 disuelta en 1 L de agua destilada. También se preparó una solución de Cloruro de Hierro disolviendo 0.25 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 1 L de agua destilada.

Para la preparación del agua de dilución se agregó por cada litro un ml de cada una de las soluciones preparadas descritas anteriormente. Se saturó con oxígeno el agua de dilución utilizando un aireador, luego se llevó a una temperatura de 20°C hasta su uso. Se inocularon tres diluciones por cada muestra utilizando diferentes concentraciones. Se inoculó 2 ml de muestra en 298 ml de agua de dilución, 15 ml de en 285 ml y 100 ml en 200 ml. También se incubó 300 ml de agua destilada como blanco para establecer la calidad del agua de dilución. Se saturaron las muestras de oxígeno, se taparon herméticamente, con sello de agua y después se incubaron a 20°C por 5 días.

Transcurridos los 5 días de incubación, se midió el oxígeno final a las muestras y se utilizó la siguiente ecuación para calcular el DBO₅:

$$\text{DBO}_5 \text{ mg/L} = \frac{\text{---} - \text{---}}{\text{---}} \quad [6]$$

4. RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN DEL AGUA POTABLE

4.1.1 Caudal

En los resultados obtenidos en la medición de caudal de las tres fuentes de agua potable, se observa que la microcuenca el Destino exportó el caudal más alto de agua 142.67 L/s. A continuación se presentan los resultados obtenidos en la medición de caudal.

Cuadro 1. Caudal L/s obtenido durante el muestreo en agua potable.

Fecha de Muestreo	Marmajosa	El Destino	San Quin
27/06/2010	3.29	3.15	2.45
21/07/2010	5.95	3.75	8.22
16/08/2010	16.40	142.67	83.22

4.2 PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

4.2.1 Coliformes fecales y totales

En los resultados obtenidos se observa que todos los valores están por encima del valor máximo permisible de 3 UFC/100 ml de agua que será sometida a procesos de tratamiento. El valor más alto encontrado fue en la fuente de agua de la microcuenca la Marmajosa 380 UFC Totales y 360 UFC fecales.

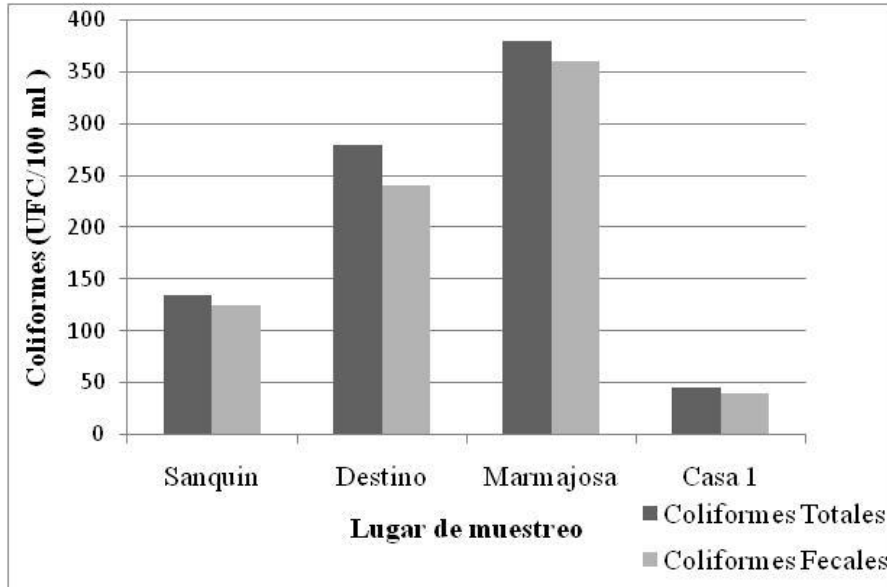


Figura 4. Resultados de coliformes totales y coliformes fecales en los sitios de captación de agua potable

4.2.2 Temperatura

En los resultados de las mediciones de temperatura se observaron temperaturas entre 20 y 22 °C. Se observan valores normales para las condiciones de temperatura ambiental de la zona y todos ellos dentro del rango permisible por la Secretaría de Salud de Honduras.

Cuadro 2. Temperatura en °C obtenida en los análisis realizados en el período de muestreo.

Fecha de muestreo	Marmajosa	El Destino	San Quin
27/06/2010	21.05	21.10	21.60
21/07/2010	22.00	20.40	20.60
16/08/2010	21.50	20.70	21.00

4.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

4.3.1 Turbidez

Los resultados de los análisis mostraron que 4 de las muestras analizadas estaban fuera de norma, el valor más alto encontrado fue de 250 UNT en la quebrada la Marmajosa debido al arrastre de sedimentos de las laderas ya que por los niveles altos de precipitación hay pérdida de suelos por escorrentía. El más bajo de 0.58 UNT en la quebrada el Destino. Se observa, como es de esperarse, valores de turbiedad relacionados con las condiciones hidroclimáticas durante el periodo de estudio y las condiciones de manejo de las microcuencas.

Cuadro 3. Turbidez en UNT obtenida en los análisis realizados en el período de muestreo.

Fecha de muestreo	Marmajosa	El Destino	San Quin
27/06/2010	0.99	0.58	0.68
21/07/2010	8.41	4.25	2.24
16/08/2010	250.00	146.00	6.55

Valor máximo permisible es de 5 UNT

4.3.2 Conductividad Eléctrica

Los resultados obtenidos estaban por debajo del máximo permisible siendo el valor más alto de 198.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la quebrada el Destino debido a las actividades agrícolas de la zona que demanda el uso de sales minerales en los fertilizantes sintéticos y al arrastre de sedimentos y otros materiales en suspensión. El nivel más bajo encontrado fue de 59.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Cuadro 4. Datos de conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtenidos en análisis realizado en el período de muestreo.

Fecha de muestreo	Marmajosa	El Destino	San Quin
27/06/2010	80.50	198.40	60.70
21/07/2010	77.40	157.20	59.70
16/08/2010	59.20	120.80	60.40

El valor recomendado es 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.3.3 Potencial de Hidrógeno

Todos los valores obtenidos reflejan datos de pH dentro del rango de neutralidad establecido por la Secretaría de Salud de Honduras por lo que no se realizaron muestreos adicionales para verificar presencia de metales disueltos en el agua.

Cuadro 5. Datos de pH obtenidos en análisis realizado en el período de muestreo.

Fecha de muestreo	Marmajosa	El Destino	San Quin
27/06/2010	8.21	8.27	8.49
21/07/2010	7.99	8.15	8.11
16/08/2010	7.84	8.08	8.21

El valor máximo permisible está establecido en un rango de 6 a 9

4.3.4 Nitratos

Se realizaron dos muestreos a las tres fuentes de agua potable. De los resultados obtenidos de los análisis ninguna de las muestras sobre pasa el valor máximo permisible según la Secretaría de Salud Pública de Honduras por lo que se deduce que no existe riesgo de contaminación por nitratos en el agua de consumo de Guaimaca.

Cuadro 6. Datos de cantidad de nitratos en mg/L obtenidos en el período de muestreo.

Fecha de muestreo	Marmajosa	El Destino	San Quin
27/06/2010	0.60	1.10	1.10
16/08/2010	1.30	1.40	1.40

El valor máximo permisible es 50 mg/L.

4.3.5 Fosfatos

De los resultados obtenidos de los análisis ninguna de las muestras sobrepasa el valor máximo permisible según el Programa Nacional de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA 2006).

Cuadro 7. Datos fosfatos en mg/L obtenidos en el período de muestreo.

Fecha de Muestreo	Marmajosa	El Destino	San Quin
27/06/2010	0.03	0.39	0.12
16/08/2010	0.31	0.39	0.24

Valor máximo permisible 1 mg/L.

4.3.6 Cloro Residual Libre

Los resultados de cloro residual libre obtenidos durante el muestreo en las llaves indican que hay una mala distribución del cloro a lo largo del sistema, ya que se observó que hay una mayor descarga de cloro en la primera llave y no se registraron los valores esperados. Los resultados observados en la segunda llave muestran valores que están por debajo de los valores recomendados para garantizar una desinfección continua en el sistema (valor mínimo permisible en un rango de 0.5 a 0.6 ppm).

Los datos de cloro residual libre en (ppm) obtenidos en el período de muestreo en las llaves de la red de distribución de agua potable fueron: para la primer llave fue 1 ppm, en la llave de la mitad se obtuvo una concentración de 0.2 ppm y en la última llave del sistema se obtuvo una concentración de 0.5 ppm.

4.3.7 Cálculos de dosificación de cloro

Según los valores de caudal obtenidos se estimó una dosis adecuada de aplicación de cloro para el tanque de almacenamiento I de 24.86 Lb cada 4 días. En el tanque de almacenamiento II se debe aplicar 10.44 Lb para el mismo intervalo de aplicación. Para ambos tanques el goteo debe ser de 182.2 ml/min según las dimensiones del hipoclorador que se utiliza en ambos tanques.

4.4 CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES

4.4.1 Caudal

En los resultados de las mediciones de caudal se obtuvieron los valores más altos en el último muestreo por los eventos de precipitación previos al muestreo. El valor más alto obtenido fue 105.8 m³/s después del efluente.

Cuadro 8. Datos de caudal en m³/s del cuerpo receptor de aguas residuales en el período de muestreo.

Fecha de muestreo	Antes del efluente	En el efluente	Después del efluente
27/06/2010	38.40	31.30	61.40
21/07/2010	49.60	39.60	78.90
16/08/2010	62.08	57.36	105.80

4.4.2 Coliformes totales y fecales

En los resultados del conteo de coliformes fecales y totales se observó, como era de esperarse, que en el efluente en los tres muestreos realizados los valores obtenidos fueron demasiado numerosos para contar, pese a la dilución de las muestras previo al análisis..

Cuadro 9. Resultados obtenidos de coliformes totales y coliformes fecales en el período de muestreo.

Sitio	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100 ml)
Antes del efluente	2,200	4,000
En el efluente	dnpc	dnpc
Después del efluente	2,800	4,100

^(dnpc) Demasiado numeroso para contar.

El valor máximo permisible es 5,000/100 ml.

4.4.3 Temperatura

En los resultados obtenidos en todos los muestreos la temperatura se registra por encima del valor máximo permisible según la norma técnica de la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario.

Cuadro 10. Datos de temperatura en aguas residuales en °C obtenidos en el período de muestreo.

Fecha de muestreo	Antes del efluente	En el efluente	Después del efluente	El Barniz
21/07/2010	27.90	25.70	28.90	28.10
16/08/2010	27.60	27.80	27.30	26.10

El valor máximo permisible 25°C.

4.4.4 Turbidez

Los valores de turbidez más elevados en el periodo de muestreo se registraron en el último muestreo y fueron consistentes con los resultados en agua potable para este mismo parámetro. La Norma Técnica de Descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario de Honduras no establece un valor máximo permisible de Turbidez.

Cuadro 11. Datos de turbidez de aguas residuales expresados en UNT, obtenidos en el período de muestreo.

Fecha de Muestreo	Antes del efluente	En el efluente	Después del efluente	El Barniz
21/07/2010	113.10	117.00	98.90	21.70
16/08/2010	244.00	346.00	104.00	37.90

4.4.5 Potencial de Hidrógeno.

Los valores obtenidos indican pH neutro y dentro del rango máximo permisible según la norma técnica de descarga de aguas residuales. Está determinado en unidades logarítmicas de concentración.

Cuadro 12. Datos de pH en aguas residuales en el período de muestreo.

Fecha de muestreo	Antes del efluente	En el efluente	Después del efluente	El Barniz
21/07/2010	7.72	7.36	7.65	7.63
16/07/2010	7.81	7.32	7.93	7.60

El valor máximo permisible es de 6 – 9

4.4.6 Nitratos

En los resultados obtenidos se observó que ningún valor está por encima del máximo permisible que establece la norma técnica de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario.

Cuadro 13. Datos de Nitratos expresados en mg/L obtenidos en el período de muestreo.

Fecha de Muestreo	Antes del efluente	En el efluente	Después del efluente	El Barniz
21/07/2010	1.10	1.50	0.90	1.10
16/08/2010	0.90	1.50	1.10	1.40

El valor máximo permisible de Nitratos es de 30 mg/L

4.4.7 Fosfatos

En los resultados obtenidos se observaron tres valores que están por encima del valor máximo permisible para fosfatos lo que indica que los efluentes aportan condiciones favorables para que se desarrollen procesos de eutroficación en el cuerpo receptor.

Cuadro 14. Datos de Fosfatos expresados en mg/L obtenidos en el período de muestreo.

Fecha de Muestreo	Antes	En el efluente	Después	El Barniz
21/07/2010	0.40	57.00	24.00	0.28
16/08/2010	0.30	7.80	3.00	0.34

El valor máximo permisible de fosfatos es de 5 mg/L

4.4.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los resultados obtenidos de los análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno indican que la carga orgánica más alta encontrada fue en el sitio de descarga puntual del efluente con un valor de 469.62 mg/L como era de esperarse, sin embargo se registraron valores elevados en el sitio previo al efluente de aguas residuales (216.03 mg/L). Asimismo se observa mayor dilución de la carga orgánica a partir del incremento del caudal en el último muestreo..

Cuadro 15. Demanda Bioquímica de Oxígeno expresada en mg/L obtenida en los sitios de muestreo.

Fecha de Muestreo	Antes del efluente	En el efluente	Después del efluente
22/07/2010	32.80	279.42	19.37
22/08/2010	216.03	469.62	226.62
16/09/2010	74.47	195.07	191.91

Concentración máxima permisible 50 mg/L

5. DISCUSIÓN

La caracterización de la calidad de agua a lo largo del ciclo de consumo del municipio de Guaimaca revela niveles muy altos de indicadores de contaminación fecal en el agua destinada para consumo. En los resultados de análisis bacteriológicos realizados a las fuentes de agua potable se observó que el afluente de la Marmajosa presenta los niveles más altos de contaminación fecal. Este evento se debe a que en la zona predominan los cultivos de café en ausencia de prácticas de conservación de suelos y ganadería extensiva (FORCUENCAS 2010).

Durante el último muestreo realizado en las fuentes de agua potable se observaron niveles más altos de turbidez que en los dos primeros muestreos. Siendo el valor más alto 250 UNT en el afluente la Marmajosa, esto se debe al arrastre de sedimentos por la erosión y degradación de suelos por su uso. Esto también es originado por los eventos de precipitación ocurrida durante la estación lluviosa. Por las razones anteriores, la fuente requiere ampliar el proceso de potabilización con el fin de tratar las aguas antes de que las mismas sean entregadas al sistema de distribución (SWRCB 2010).

Los valores más altos de conductividad eléctrica fueron encontrados en la fuente de agua El Destino. Según SWRCB (2010), la conductividad eléctrica en fuentes de agua potable puede verse afectada por las características geológicas de la zona. De manera complementaria, la presencia de cultivos agrícolas como maíz y frijoles en la zona demandan fertilizantes sintéticos con altas concentraciones de sales y otros minerales que por el arrastre de sedimentos son depositados en la fuente de agua y causan un incremento en la cantidad de sales en el agua. Se considera que las situaciones antes mencionadas son las que originan los altos valores de conductividad eléctrica.

En los resultados de los análisis realizados en aguas residuales se encontraron niveles de fósforo por encima del valor máximo permisible, lo que según (Villaseñor 2001) causa eutroficación en los cuerpos de agua. La eutroficación consiste en la reducción de la cantidad de oxígeno en el agua y la proliferación de algas, situación que causa pérdida de la flora y fauna acuática, incrementan la sedimentación y la turbidez porque aumenta la carga orgánica en el ecosistema por tal crecimiento de algas. En agua potable no se encontraron valores por encima del valor máximo permisible. Sin embargo se encontraron valores altos de fosfatos en la microcuenca El Destino. Según UPRM (2002) la presencia de jabones y detergentes sintéticos. Durante los muestreos se observó a miembros de la comunidad lavando ropa aguas arriba de la obra de captación, por lo que se considera ésta la principal causa de los niveles altos de fosfatos encontrados.

Los resultados obtenidos en los análisis de DBO, incluyen valores altos en la fuente Río Abajo. La materia orgánica solo puede ser descompuesta por organismos aeróbicos o que requieren oxígeno para su metabolismo. Cuando no hay oxígeno en el agua, predominan los microorganismos anaeróbicos que son causantes de la putrefacción y el mal olor en el agua. Estos microorganismos no pueden descomponer la materia orgánica. Los ríos pierden la capacidad de procesar los desechos, lo que causa la sedimentación de los ríos y reducción de su caudal y por lo tanto el río pierde la capacidad de autopurificarse (CEPIS 2002).

6. CONCLUSIONES

- Se encontraron indicadores de contaminación fecal en las fuentes de agua potable del municipio de Guaimaca, en magnitudes significativas, Esto representa un riesgo a la salud humana ya que las fuentes analizadas abastecen a un estimado de 10,427 habitantes del casco urbano de Guaimaca.
- Los valores de pH encontrados en los sitios de muestreo tanto de agua residual como de agua potable presentan valores dentro de norma. El pH es un indicador de la presencia de metales pesados en el agua, por lo que se puede concluir que en ninguna de las fuentes de agua que abastece al casco urbano de Guaimaca hay contaminación con metales pesados.
- La concentración de fosfatos encontrada en la fuente de agua el Destino, a pesar de estar por debajo del valor máximo permisible establecido por la Norma Técnica de Honduras puede ocasionar eutroficación en el agua y si no se toman medidas para controlar las prácticas agrícolas inapropiadas en la microcuenca.
- El análisis de la dosis actual de cloro aplicada en el sistema de tratamiento que se utiliza en el municipio muestra que la misma no es eficaz, al encontrar contaminación con materias fecales en las llaves del sistema de distribución que fueron muestreadas.
- En la medición de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales se encontró que la temperatura está por encima del valor máximo permisible lo que puede causar un impacto en los ecosistemas acuáticos ya que muchos microorganismos no toleran niveles altos de temperatura.
- Los resultados de DBO en aguas superficiales demuestran que existe un impacto ocasionado por otras fuentes de contaminación en el Río Abajo porque en las cargas de DBO obtenidas en los análisis realizados son elevadas y superiores a los valores máximos permisibles para aguas residuales aun antes de que ocurra la descarga de aguas del sistema municipal de alcantarillado sanitario de Guaimaca.

7. RECOMENDACIONES

- Guaimaca debe evaluar la factibilidad de reubicar aguas arriba, las obras de captación de los sistemas de agua potable que se abastecen de las microcuencas El Destino, La Marmajosa y San Quin, con el fin de evitar la contaminación por las actividades agrícolas de las comunidades vecinas.
- Se deben realizar aforos sistemáticos del caudal de entrada a los tanques de almacenamiento para ajustar la dosificación de cloro aplicada según el volumen de agua que ingresa a los tanques y hacer monitoreo de cloro residual en las llaves del sistema de distribución después de cada aplicación.
- Declarar una ordenanza municipal para prohibir establecer cultivos agrícolas en las zonas aledañas a las obras de captación de agua y realizar actividades domésticas como lavar ropa en las fuentes de agua, con el fin de disminuir los valores de fosfatos y nitratos.
- La municipalidad de Guaimaca a través de la Unidad municipal Ambiental (UMA) y el Instituto de Conservación Forestal (ICF) debe evaluar las fuentes de abastecimiento de agua El Destino y San Quin, para ser declaradas zonas de recarga hídrica, logrando así un respaldo legal para la protección de las mismas.
- Ampliar la red de alcantarillado sanitario para reducir el uso de fosas sépticas y mejorar el saneamiento del área urbana del municipio. Guaimaca debe implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales para reducir los impactos causados en los cuerpos receptores y el ecosistema.
- El agua del cuerpo receptor de aguas residuales no debe estar destinada para ningún uso, ya que sus propiedades fisicoquímicas se ven alteradas por los efluentes de aguas residuales municipales sin tratamiento previo, lo que puede causar graves daños a la salud humana.
- Identificar los principales focos de contaminación a lo largo del cauce del Río Abajo para implementar medidas preventivas y de mitigación de impactos, educando a la población sobre el efecto que tiene la contaminación del agua sobre la salud humana, la belleza escénica y la degradación de la biodiversidad acuática del municipio.

8. LITERATURA CITADA

APHA (American Public Health Association US). 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. Washington DC, United States of America. 5010p.

Cárdenas, J. 2005. Fluoreciencia. Calidad de Aguas para Estudiantes de Ciencias Ambientales Facultad de Medio Ambiente y R. N. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 25-32p.

CEPIS/OPS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria/ Organización Panamericana de la Salud). 1992. Uso de cloro para la desinfección de agua para consumo: efectos en la salud humana (en línea) Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt049.html>

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria). 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras del mar. División de Recursos Naturales e infraestructura. (en línea) consultado el 18 de Agosto 2010. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/aidis-ar/lcl1799e.pdf>

CIESE (Center of Innovation in Engineering and Science Education). 2006. Pruebas de las muestras de agua. (en línea) consultado 7 de Octubre del 2010. Disponible en: <http://www.ciese.org/curriculum/dipproj2/es/fieldbook/oxigeno.shtml>

CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo). 2001. Agua Potable para Comunidades Rurales. Reuso y Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Domésticas. 227-229 p.

DSSC (Departamento de servicio de salud de California). 2006. Posibles efectos en la salud relacionados con nitratos y nitritos en agua de pozos privados. División Calidad del Agua, Programa de Evaluación de Monitoreo Ambiental en Aguas Subterráneas. (en línea) consultado el 18 de Agosto 2010. Disponible en: <http://www.ehib.org/cma/papers/NitrateFSSpanish.pdf>

EPA (Environmental Protection Agency). 2002. Method 1604: Total Coliforms and *Escherichia coli* in Water by Membrane Filtration Using a Simultaneous Detection Technique (MI Medium), Washington, DC. (en línea). Consultado el 7 de Octubre de 2010. Disponible en: <http://www.epa.gov/nerlcwww/1604sp02.pdf>

EPYPSA S.A. (Estudios, Planificación y Proyectos S.A.). 2008. PATMUNI (Planes de Asistencia Técnica Municipales); SGJ (Secretaría de Gobernación y Justicia). Diagnóstico Ambiental Municipal, Municipio de Guaimaca. Guaimaca HN. 53p.

FORCUENCAS (Proyecto de Fortalecimiento de la Gestión Local de los Recursos Naturales en las Cuencas del Rio Patuca, Choluteca y Negro). 2010. Plan de Desarrollo Municipal con Enfoque de Ordenamiento Territorial (PDM – OT). 135 p.

ITC (Injection technical control). 2007. Cloración de Agua Potable. Información Técnica. (en línea) consultado el 28 de Octubre de 2010. Disponible en: http://www.itc.es/pdf/Technical_documents/Agua-marca-Esp.pdf

Leschik, S; Musolff, A; Martienssen, M; Krieg R; Bayer-Raich, M; Reinstorf , F; Strauch, G; Schirmer, M. 2009. Investigation of sewer exfiltration using integral pumping tests and wastewater indicators. Journal of Contaminant Hydrology 110 118–129.

Liu, W-C; Liu, S-Y; Hsu, M-H; Kuo, A. 2005. Water quality modeling to determine minimum instream flow for fish survival in tidal rivers. Journal of Environmental Management 76. 293–308p.

Montes de Oca, J. 2007. Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento en la Ciudad de Guaimaca. Tesis Universidad Nacional Autónoma de Honduras. 60 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2004. Guidelines for drinking water quality. 3 ed. Ginebra. 1-4 p. (en línea). Consultado el 14 de Agosto de 2010. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/

OPS-OMS (Organización Panamericana de la Salud). 2003. Análisis Sectorial de Agua Potable en Honduras (en línea). Consultado el 15 de Agosto de 2010. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsasas/fulltext/honduras/parte1.pdf>

PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2006. Manual sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para Uso Doméstico y Consumo Humano. Capítulo 5. Calidad y normatividad del agua para consumo humano, parámetros físicos del agua. 100-111 P.

Poch, M. 1999. Las calidades del agua. Indicadores Físicos. Editorial Rubes. Primera Ed. Barcelona, España. 27-29p.

SERMUG (Servicios municipales de Guaimaca). 2008. Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables. Formulación y Evaluación de Proyectos. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. 138 p.

Secretaría de Estado en el Despacho de Salud, República de Honduras. 1997. Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario. 3-7p.

Secretaría de Estado en el Despacho de Salud, República de Honduras. 1995. Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable. 8p.

Simonovic, S. 2002. World water dynamics: global modeling of water resources. *Journal of Environmental Management* 66. 249-267p.

SWRCB (State Water Resources Control Board). Folleto Informativo. Vital Signs: The Five Basic Water Quality Parameters (en línea). Consultado el 10 de Octubre de 2010. Disponible en: http://www.swrcb.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3150sp.pdf

USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1997. Monitoring Water Quality: Volunteer stream monitoring; a method. (en línea) Office of Water. Consultado 5 de Octubre del 2010. Disponible en: http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/stream_index.cfm.

UPRM (Universidad de Puerto Rico Magayez). 2002. Departamento de Biología. Manual de Ecología Microbiana. Nutrientes y Gases: Fósforo (en línea). Consultado el 7 de Noviembre de 2010. Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-fosforo.pdf>

Villaseñor, J. 2001. Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas. Ediciones de la universidad de Castilla, la Mancha. 364 p.

WHO (World Health Organization). 2003. Domestic Water Quantity, Service Level and Health. (en línea) consultado el 8 de Octubre del 2010. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf