

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/340930051>

Evaluación preliminar del recurso hídrico en la municipalidad de Yoro, Yoro, Honduras

Technical Report · April 2020

DOI: 10.13140/RG.2.2.30574.97605

CITATIONS

0

READS

76

2 authors:



Kelly Díaz

2 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Martin Alfredo Murillo

Instituto Tecnológico Superior de Tela UNAH

6 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Distribución y Diversidad de Insectos Acuáticos en Relación al Microhábitat en la quebrada La Conga Alubarén, Francisco Morazán. Distribution and Diversity of Aquatic Insects in Relation to the Microhabitat in the Conga Stream, Francisco Morazán. [View project](#)



Macroinvertebrados acuáticos como herramientas para la evaluación del recurso hídrico en Honduras. [View project](#)

Co-managers of Pico Pijol National Park
Co-manejadores del Parque Nacional Pico
Pijol, Yoro, Honduras



Mesoamerican Development
Institute (978) 934-2296;
(978)934-2297
info@mesoamerican.org
www.mesoamerican.org
www.cafesolar.com
1 University Avenue
Lowell, MA 01854
U.S.A.

Marzo, 2020

Evaluación preliminar del recurso hídrico en la municipalidad de Yoro, Yoro, Honduras.



Elaborado por: Equipo de Investigación MDI:
Kelly A. Díaz
Martin A. Murillo

Contenido

1. Introducción	3
2. Objetivos	4
3. Metodología	4
3.1 Evaluación de ríos y quebradas.	4
3.2 Sistema de captación, filtrado y distribución del agua.	6
3.3 Lagunas de Oxidación	7
4. Resultados y Discusión	7
4.1 Evaluación de ríos y quebradas	7
4.2 Sistema de captación, filtrado y distribución del agua.	13
4.3 Lagunas de Oxidación	15
5. Agradecimientos	18
6. Bibliografía	18

1. Introducción

El municipio de Yoro cuenta con una extensión territorial de 2,277.2 Km² y una población de 85,091 habitantes, de los cuales solo un 85 % tiene acceso a agua mejorada. Este municipio cuenta con cuatro microcuencas declaradas (34.5 Km²) y con 50.43 Km² de áreas protegidas pertenecientes al Parque Nacional Montaña de Yoro (Instituto de Conservación Forestal [ICF], 2015; Bustillo, 2006). Esta área protegida produce 5000.69 litros de agua por segundo, de los cuales actualmente los pobladores de la Ciudad de Yoro consumen más de 473,16 litros de agua por familia, esto sin tomar en cuenta la población sin acceso a agua entubada que es de más de 14,500 habitantes, a pesar que todas las poblaciones alrededor del parque efectúan un pago por servicios ambientales a fin de garantizar suministro de agua (Bustillo, 2006).

Por lo anterior, en estudios previos se ha recomendado realizar medidas de mitigación y rehabilitación para mejorar la oferta de bienes y servicios, con el propósito de encontrar un punto de equilibrio entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente. Por lo cual es necesario realizar más estudios y análisis del costo/beneficio que incluyan la valoración económica de los bienes y servicios ambientales que proporciona la reserva natural Montaña de Yoro (PNMY) (Bustillo, 2006).

Al analizar el efecto de los asentamientos humanos sobre la calidad del agua en las microcuencas del municipio de Yoro, Bustillo (2006) encontró que hay una problemática ambiental relacionada con alta presencia de coliformes y con productos agroquímicos derivados tanto de las viviendas de comunidades cercanas, como de la producción de cultivos de café y frijol.

El MDI como una institución que busca el desarrollo de las comunidades de la mano con la conservación del medio ambiente, además de su compromiso de manejo con las áreas protegidas, ha iniciado vínculos de cooperación con la alcaldía de Yoro. Como una manifestación de este vínculo se realizó una gira exploratoria a esta municipalidad con el fin de evaluar dos aspectos principales, que son; a) Disponibilidad y calidad del recurso hídrico, b) Manejo de desechos sólidos. En el presente documento se detallan los resultados de estos estudios preliminares respecto al recurso hídrico, y se sugieren algunas alternativas a los problemas en cuestión.

2. Objetivos

Para evaluar Estado actual del recurso hídrico se trazaron los siguientes objetivos:

- Definir el estado de conservación y la calidad del agua de los ríos y quebradas que abastecen a la ciudad de Yoro.
- Determinar la calidad del agua captada, almacenada y distribuida con destino a la ciudad de Yoro.
- Determinar la calidad del agua que la ciudad de Yoro retorna a los ríos y quebradas.

3. Metodología

La toma de datos en campo para la evaluación de la condición actual del recurso hídrico se realizó entre las fechas del 16 al 19 de julio del año 2019. A continuación, se detalla las actividades realizadas durante la gira, desde los muestreos en la cuenca alta del río Machigua hasta el casco urbano.

3.1 Evaluación de ríos y quebradas.

Para la evaluación de calidad del agua en los ríos y quebradas, se empleó parámetros físico-químicos e indicadores bióticos (macroinvertebrados acuáticos). Se seleccionó 5 estaciones de muestreo a lo largo del río Machigua (Tabla 1), desde la cuenca alta en el Parque Nacional Montaña de Yoro (PNM Yoro), (Naciente 1 y Naciente 2), la cuenca media (Toma y Bajo Toma) y dos estaciones en la zona baja del río Machigua (R. Machigua y Descarga) (Figura 1, Tabla 1).

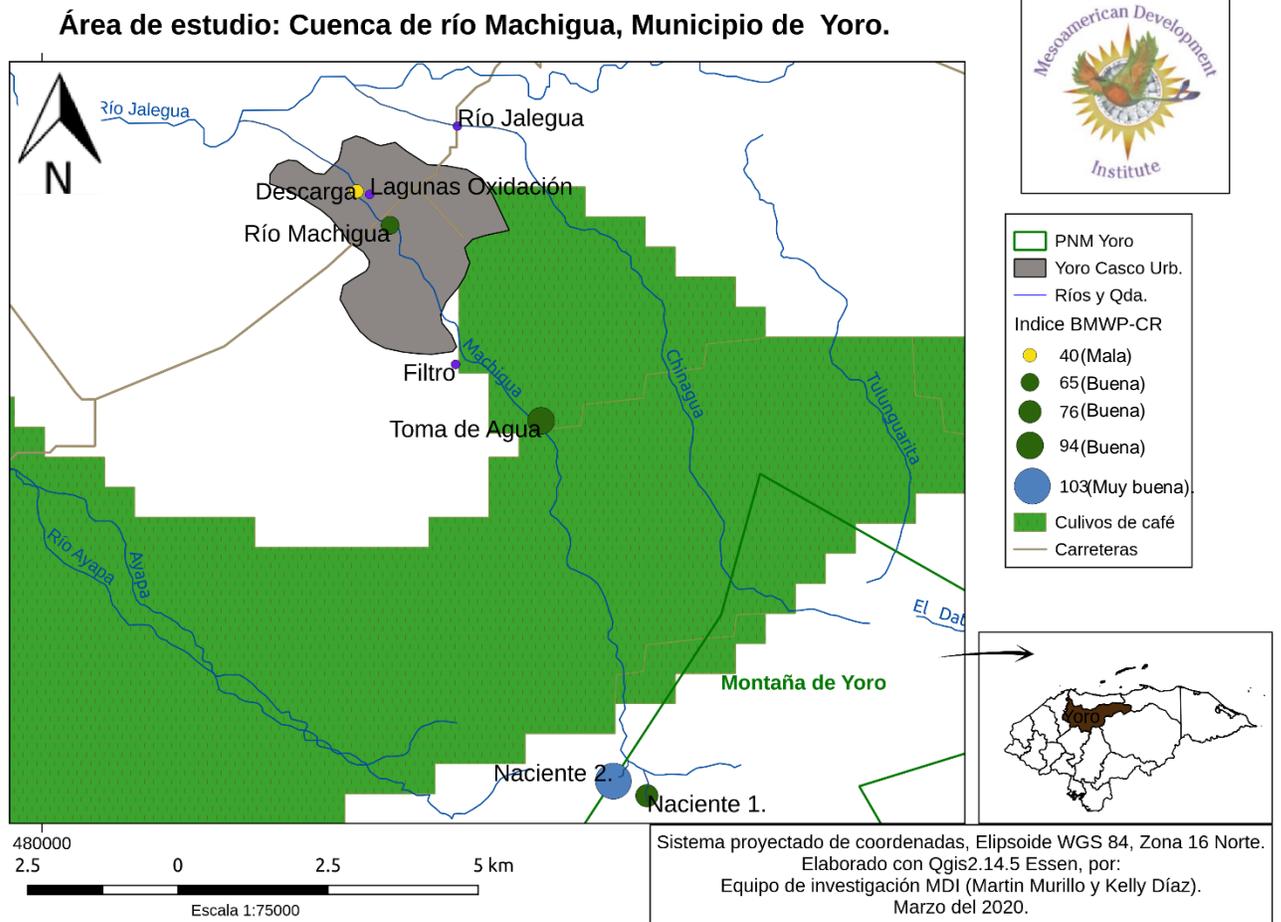


Figura 1. Detalle de la ubicación de los sitios muestreados y su calidad del agua en el Municipio de Yoro y Parque Nacional Montaña de Yoro.

Con el fin de comparar la calidad y la cantidad del agua del río Machigua versus otro río cercano, se realizó una evaluación rápida del río Jalegua (Río Jalegua), empleando parámetros fisicoquímicos y morfométricos.

En cada estación de muestreo, se delimitó un tramo de 15 metros de longitud, en el cual se procedió a medir parámetros morfométricos (profundidad de la columna de agua, velocidad de la corriente y ancho del cauce) y físico-químicos (la temperatura del agua (°C), conductividad (ms/cm), pH, oxígeno disuelto (mg/L) y sólidos disueltos totales (STD; mg/L). Agregado a esto se tomaron las variables ambientales de temperatura y humedad relativa por medio de un higrómetro.

Tabla 1. Localización de las estaciones de muestreo a lo largo de la microcuenca Machigua.

Sitio	Ubicación	Cuenca
Naciente 1	Quebrada tributaria del río Machigua, dentro del PNM Yoro	Alta (Naciente)
Naciente 2	Quebrada tributaria del río Machigua, dentro del PNM Yoro	Alta (Naciente)
Río Toma	Río previo al embalse donde captan agua para el abastecimiento del municipio de Yoro, Yoro.	Media
Río Machigua	Zona del río Machigua cercana al casco urbano.	Baja
Descarga	Tramo del río Machigua posterior a la descarga de las lagunas de oxidación.	Baja
Río Jalegua	Zona del río Jalegua cercana al casco urbano.	Baja

Para la colecta de macroinvertebrados acuáticos se realizó un muestreo cuantitativo, por lo que se tomaron 4 muestras (área de 30 cm²) en cada sitio de muestreo. Lo anterior se realizó por medio de una red surber, considerando los microhábitats de; roca, macrófitas, arena-grava y hojarasca. Las muestras fueron colocadas y preservadas en frascos con alcohol al 95% y rotulados indicando el código (punto y muestra), microhábitat, lugar y fecha de colecta.

La evaluación de la calidad del agua fue determinada a partir del índice BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party score), el cual considera el grado de sensibilidad de los macroinvertebrados acuáticos a la contaminación orgánica (Gaceta, 2007; MINAE 2007).

3.2 Sistema de captación, filtrado y distribución del agua.

La calidad del agua en la red de distribución desde la toma hasta las tuberías del casco urbano de la Ciudad de Yoro, consistió en la medición *in situ* de los parámetros fisicoquímicos de conductividad (*ms/cm*), temperatura del agua (°C), temperatura ambiente (°C), pH, STD y oxígeno disuelto (mg/L) a partir de medidores digitales. Los sitios muestreados se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Localización de los sitios muestreados a lo largo del sistema de captación y distribución del agua al casco urbano.

Sitio	Ubicación
F. entrada	Entrada al filtro del agua proveniente de la toma.
F. pilas	Primer filtrado del agua.
F. salida	Salida del agua hacia los tanques de almacenamiento.
Tanques	Recipiente de almacenamiento del agua.
S. Distribución	Agua proveniente de las tuberías en domicilios.

Los valores de los parámetros de calidad de agua obtenidos en las diferentes etapas del sistema de distribución y almacenamientos fueron comparados con los valores máximos admisibles, establecidos por la Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable (Gaceta, 1995).

3.3 Lagunas de Oxidación

Con el fin de realizar una evaluación preliminar, se tomaron parámetros físico-químicos en el sistema de lagunas de oxidación donde son descargadas las aguas servidas provenientes del casco urbano de la Ciudad de Yoro. Debido a que estas lagunas descargan a la parte baja del río Machigua, los valores obtenidos de estos parámetros fueron evaluados con La Norma Técnica de las descargas de agua residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario de Honduras (Gaceta, 1995). Agregado, se realizó una evaluación de alternativas para mejorar las eficiencias de estas lagunas utilizando plantas acuáticas como método alternativo.

4. Resultados y Discusión

4.1 Evaluación de ríos y quebradas

El río Machigua, se caracteriza por ser de tamaño medio (orden tres), la calidad de su agua se ve afectada principalmente por la deforestación causada por la siembra de café, maíz y frijoles a lo largo de su microcuenca. Estos cultivos y la manera en que se efectúan (deforestando el bosque), contribuyen a la sedimentación de los cuerpos de agua procedente de la erosión por escorrentía, hecho que se ve reflejado en la turbiedad del agua del río Machigua.

De las dos quebradas muestreadas dentro del PNM Yoro, una se ubica cerca al caserío de Las Brisas, y estaba deforestada en su margen izquierdo (Naciente 1) y la otra se encuentra en medio de un parche boscoso (Naciente 2). A lo largo de las microcuencas que rodean estas quebradas se observó cultivos de café, maíz y frijol. Parte de la deforestación y deslave en el borde del PNM de Yoro se debe a la construcción de una carretera para el ingreso a motocicleta a las fincas cercanas a las comunidades del área protegida (Figura 2).



Figura 2. Izquierda; Muestreo de calidad del agua en Naciente 1 del río Machigua, Medio; Bosque dentro de PNM de Yoro, Derecha; Beneficio de café ubicado dentro del PNM de Yoro.

Las nacientes del río presentaron agua con temperaturas, conductividades y STD bajos, características de agua de buena calidad para su uso de acuerdo con la “Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable” y posee características de categoría 1 de acuerdo con la de norma costarricense (BMWP) del agua (Figura 3, 5 y 6, Tabla 3). El oxígeno disuelto y el pH fueron relativamente altos y adecuados para su aprovechamiento de acuerdo con la norma antes mencionada (Figura 3 y 5) (MINAE, 2007).

La calidad del agua es de buena (Naciente 1) a muy buena (Naciente 2) de acuerdo con el BMWP-CR (Tabla 5, Figura 1), la quebrada de la Naciente 1 puede presentar leve contaminación, debido a la deforestación que se observó en el área, mientras que la quebrada de la Naciente 2 presenta aguas no contaminadas de manera sensible debido quizás a la franja de bosque que la rodea.

Tabla 3. Resumen de parámetros físico-químicos del agua en los ríos y quebradas muestreados.

Sitio	T° Amb. (°C)	T° Agua. (°C)	Conduc. (ms/cm)	O2 (ppm)	pH	STD	H° (%)
Naciente 1	14	15	220	8	8.86	97	90.1
Naciente 2	15.5	17.2	200	7.6	8.45	89	90.8
Toma	25	19	371	7.2	8.72	107	81
Bajo Toma	26	22	260	6.8	7.97	171	73.1
R. Jalegua	33	26	260	10.9	8.52	141	48
R. Machigua	30	22.8	300	7.4	8.37	165	50.5
Descarga	28.7	25	390	3.8	7.59	51	54.6

Las características de estas quebradas de nacientes son similares a las encontradas en otros estudios dentro de bosques nublados fragmentados por la caficultura y otros cultivos. Sin embargo, una quebrada ubicada en el área de amortiguamiento del Parque Nacional Pico Pijol, presentó aguas de excelente calidad debido a un cuidado más adecuado del bosque de ribera (Díaz y Murillo, 2019), similar a lo reportado en quebradas de La Reserva Biológica Misoco, donde se ha dejado una mayor cobertura boscosa, lo que disminuye el impacto de los cultivos sobre la calidad del agua de las quebradas (Murillo, 2020).

Las características de las quebradas, se mantienen hasta la toma de agua ubicada en la cuenca media a 700 msnm, donde la temperatura del agua aumentó a 26 °C, la conductividad a 371 Ms/cm, (disminuyendo a 260 *ms/cm* debajo de la toma de agua) y los STD a 171 ppm (Figura 5, 6, Tabla 3). El oxígeno disuelto y el pH del agua siguen el patrón opuesto disminuyendo hasta 6.8 y 7.97 respectivamente, en la toma (Figura 5, Tabla 3). La quebrada que abastece a la municipalidad de Yoro, presenta agua de buena calidad de acuerdo con el BMWP-CR (Tabla 5, Figura 1).

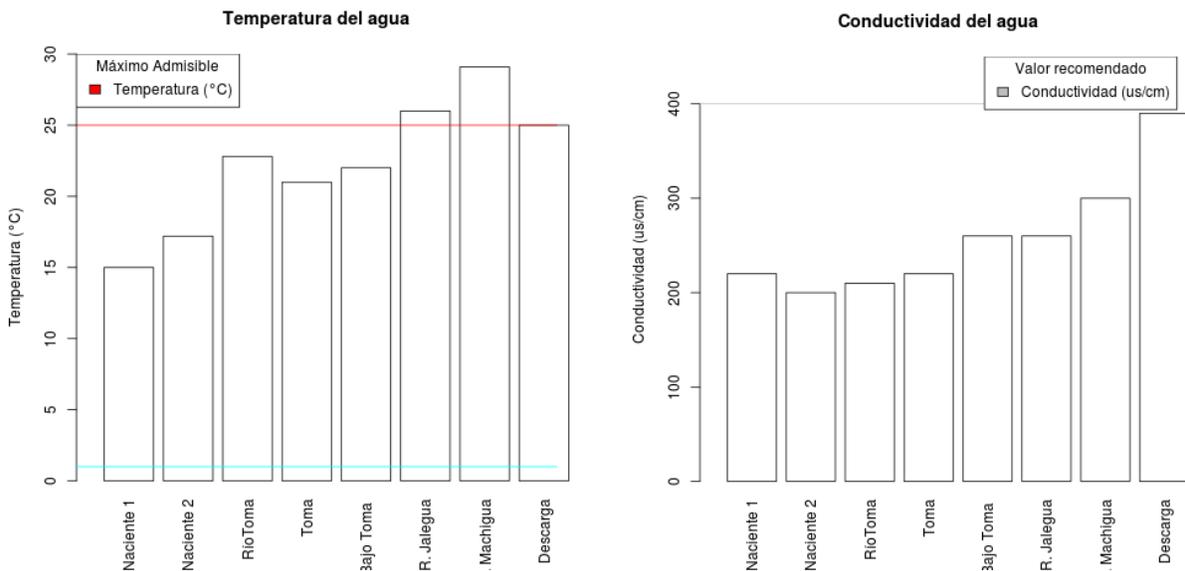


Figura 3. Comportamiento de parámetros físicos del agua en los ríos y quebradas muestreados.

A pesar del agua de buena calidad que aporta dicha quebrada, el embalse donde se ubica la toma de agua del río Machigua posee una alta cantidad de sedimentos en su parte central, debido a la deforestación de su margen izquierdo (Figura 4), por lo que la

conductividad y STD son más altos es este sitio, lo que contribuye a una mayor carga por sedimento al sistema de filtrado del agua (es de mencionar que previamente existía un sistema de prefiltrado, el cual se encuentra dañado) previo a su almacenamiento en los tanques de agua de la ciudad.

En la cuenca baja los parámetros del agua disminuyen en calidad, específicamente la temperatura del agua alcanza condiciones no admisibles en el río Jalegua y después de las descargas de aguas servidas en el río Machigua, alcanzando más de 25 °C (Tabla 3, Figura 8).



Figura 4. Izquierda; Laguna para la toma de agua con acumulación de sedimentos en su parte central, Derecha; Zona baja del embalse mostrando el prefiltro averiado.

En estos puntos la conductividad disminuye (300 ms/cm) comparada con las condiciones en la toma de agua. La conductividad se mantiene relativamente igual en la parte baja del río Machigua. Como punto de comparación el río Jalegua mostró mayores concentraciones de oxígeno disuelto y menores concentraciones de STD, características más aceptables para el aprovechamiento del agua comparada con la parte baja del río Machigua (Figura 3 - 7, Tabla 3).

Tabla 4. Comportamiento de parámetros morfométricos del agua en los ríos y quebradas muestreados.

Sitio	Ancho (m)	Prof. (cm)	Vel. (m/Seg)	Caudal (m^3/Seg)
Naciente 1	1.62	1.06	0.109	0.19
Naciente 2	2.8	4.1	0.080	0.93
Toma	4.03	13.1	0.113	5.84
Bajo Toma	3	13.0	0.017	0.73
R. Jalegua	8.1	13.0	0.054	5.70
R. Machigua	3.5	5.0	0.071	1.23
Descarga	4.03	6.8	0.118	3.21

De acuerdo al BMWP-CR, la calidad del agua en la parte baja del río Machigua sigue siendo buena (Tabla 5, Figura 1), pero con un puntaje de 65, por lo cual se encuentra cercana a aguas de mala calidad (puntaje de 60 en BMWP-CR).

Tabla 5. Parámetros biológicos indicadores de la calidad del agua a lo largo de los transectos muestreados.

Sitio	Riqueza	Abundancia	Calidad del agua	
			Puntaje	Categoría
Naciente 1	14	126	76	Buena
Naciente 2	20	154	103	Muy buena
Toma	19	104	94	Buena
R. Machigua	19	135	65	Buena
Descarga	12	459	40	Regular

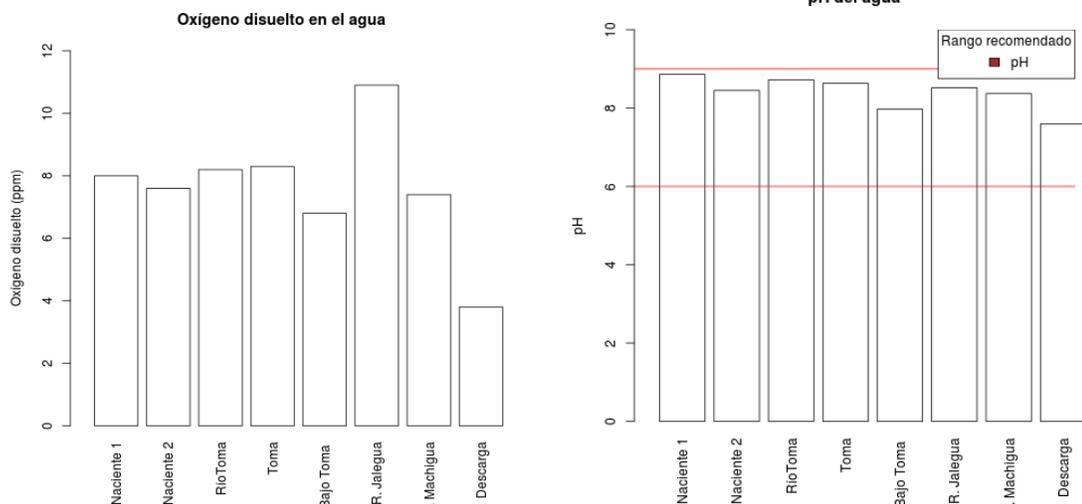


Figura 5. Comportamiento de parámetros físico-químicos del agua en los ríos y quebradas muestreados.

En cuanto a la cantidad de agua, en las nacientes se registró hasta 0.93 m³/seg en un solo cuerpo de agua, aumentando hasta 1.38 m³/seg previo a su captación en el embalse donde se aprovechan aproximadamente 5.84 m³/seg, disminuyendo el cauce a 0.73 m³/seg, siendo el agua captada un total de 4.61 m³/seg. En la parte baja el río Machigua mantiene 1.23 m³/seg, aumentando hasta 3.21 m³/seg luego de la descarga de las aguas servidas de las lagunas de oxidación (Figura 7, Tabla 8).

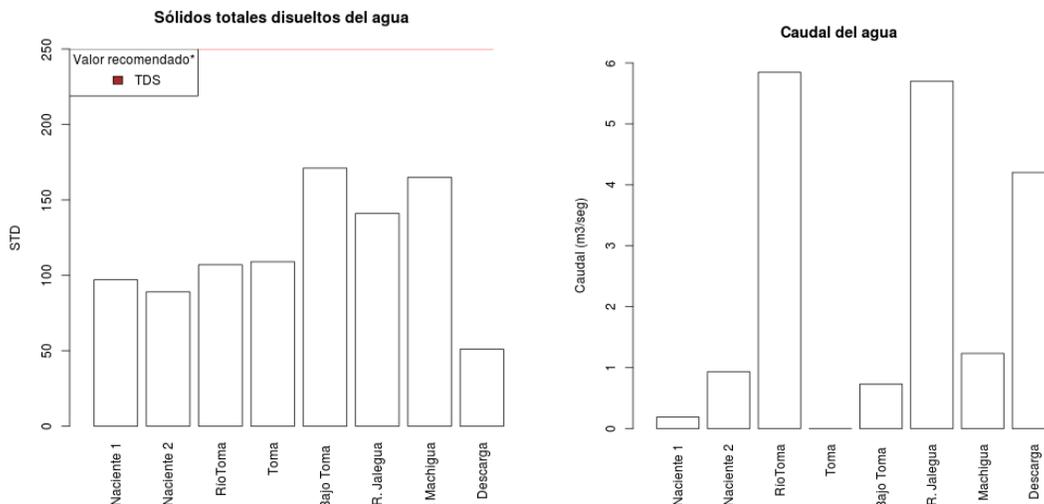


Figura 6. Comportamiento de los STD y caudal del agua en los ríos y quebradas muestreados.

Agregado a lo anterior, el río Jalegua presenta un caudal de 5.70 m³/seg de agua, diferenciándose del río Machigua por 0.143 m³/seg (Figura 6-7, Tabla 4), por lo que ambos presentan similar volumen de agua. Sin embargo, río Jalegua muestra ser una opción viable como fuente de agua para el casco urbano, siempre y cuando se realicen las evaluaciones de calidad y cantidad de agua necesarias.



Figura 7. Izquierda; Río Jalegua Machigua previo a paso por la carretera, Derecha; Río Machigua previo al aporte de descargas de aguas residuales.

4.2 Sistema de captación, filtrado y distribución del agua.

La Planta potabilizadora de agua se ubica a 700 msnm, su función principal es la de retener los sedimentos provenientes de la toma del río Machigua. Actualmente la planta filtra 300,000 galones de agua durante el día, a través de 12 pilas.

Los parámetros medidos del agua procedente de la toma del río Machigua previo a su distribución cumplieron con los requerimientos de “la “Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable” (Ver Tabla 6, Figuras 8-10).

Tabla 6. Comportamiento de parámetros físico-químicos a lo largo del sistema de filtrado y distribución del agua.

Sitio	T° Amb (°C)	T° Agua (°C)	Conduc (Ms/cm)	O2 disuel (ppm)	pH	STD
F. entrada	35.1	22.5	220	8.3	8.65	107
F. pilas	30	21	210	8.8	8.56	109
F. salida	32.3	24.5	210	8.8	8.68	109
Tanques	24	19.5	220	8.4	8.62	107
S. Distribución	23.5	23.25	225	8.35	8.44	117.5

Las pilas de este sistema realizan dos tipos de filtrado: filtrado rápido (Geomalla y arena) y el filtrado lento (Figura 9), luego de estos tratamientos el agua disminuyó en conductividad y aumentó en oxígeno disuelto.

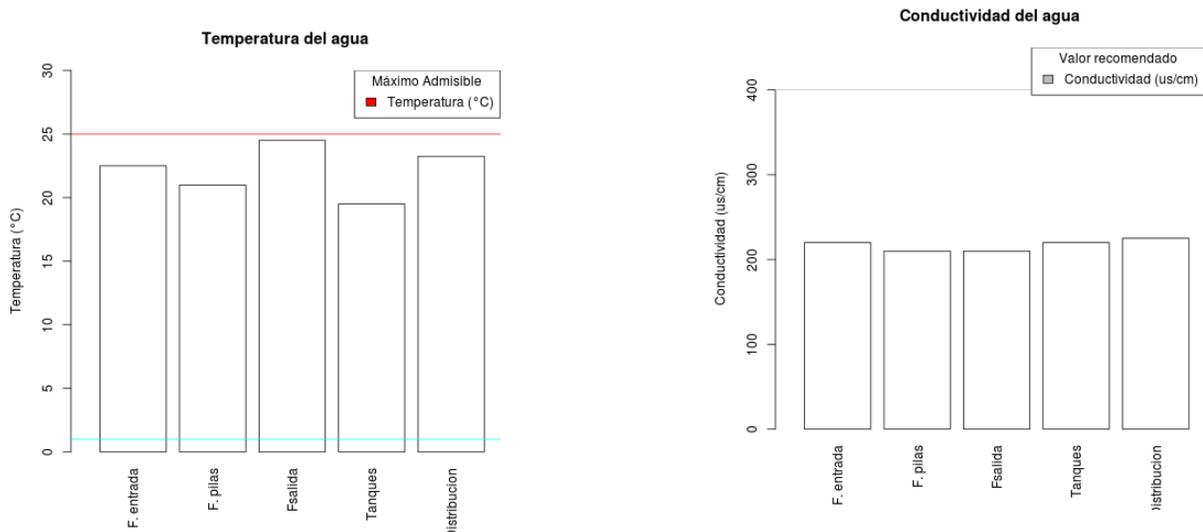


Figura 8. Comportamiento de parámetros físicos a lo largo del sistema de filtrado y distribución del agua

Para eficientar el filtrado lento, la Municipalidad de Yoro está en proceso de adquisición de un filtro de carbón activado. Cabe mencionar que, como planta abastecedora, no se le otorga ningún otro tratamiento de agua, previo a su almacenaje.

El agua proveniente de la planta potabilizadora es almacenada en dos tanques, el primero con capacidad de albergar 50,000 galones. Actualmente los tanques requieren de 8 días para ser llenados completamente.

Los parámetros fisicoquímicos medidos en ambos tanques mostraron resultados similares, con condiciones aceptables para su uso de acuerdo con los parámetros medidos. En comparación con la etapa de filtrado, la conductividad del agua aumentó en los tanques y la temperatura disminuyó (Ver Tabla 6, Figuras 8 y 9).

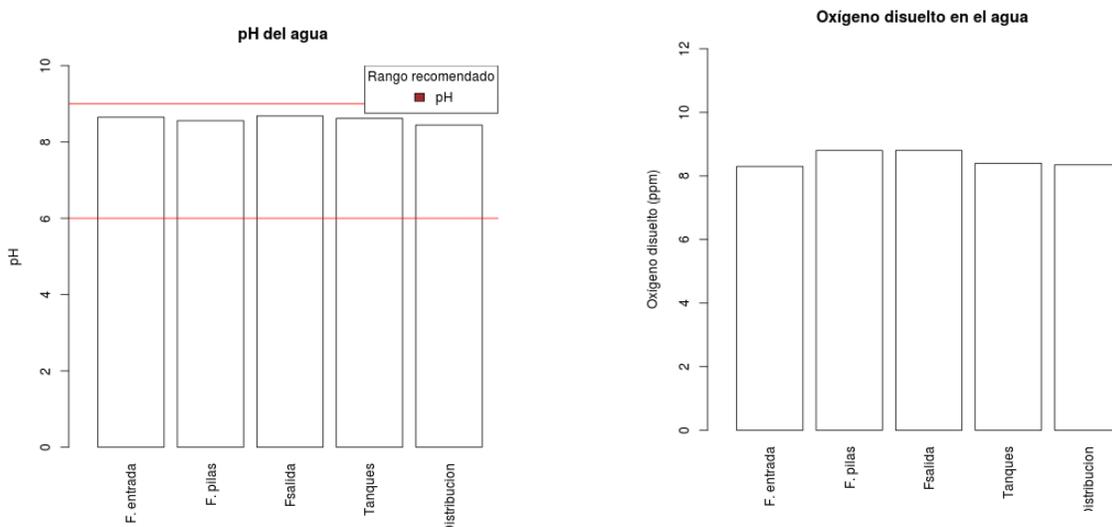


Figura 9. Comportamiento de parámetros físico-químicos a lo largo del sistema de filtrado y distribución del agua.

En la etapa de distribución del agua aumentaron los parámetros de conductividad, STD y disminuyó la temperatura del agua. Sin embargo, la calidad del agua cumplió con los parámetros requeridos por la “Norma para la calidad del agua potable” (Tabla 6, Figuras 8 y 9).

De acuerdo a los resultados obtenidos del sistema de captación y almacenamiento del agua, se debería empezar a realizar acciones para disminuir los procesos de erosión a lo largo de la microcuenca del río Machigua, ya que estos sobrecargan de sedimentos el agua del embalse donde se capta el agua. Agregado, la ausencia del prefiltrado, el agua llega con bastante sedimento al filtro (especialmente durante el invierno), lo que causa un mayor gasto en la limpieza de los filtros de manera manual (Figura 10).

Es necesario que se incorpore el filtro de carbón activado previo al almacenamiento del agua en los tanques, sumado a esto debe realizarse un proceso de clorado del agua para la eliminación de patógenos. Todo lo anterior siguiendo los métodos y etapas adecuados del tratamiento y potabilización del agua sugeridos en la “Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable” (Gaceta, 1995).



Figura 10. Izquierda; Sistema de filtrado de agua, Derecha; Entrada del agua al filtro y primer sistema de filtrado.

4.3 Lagunas de Oxidación

Dentro de las alternativas de tratamiento de las aguas servidas del casco urbano de la Ciudad de Yoro, se ha implementado el uso de cuatro lagunas de oxidación (Tabla 7), las cuales reciben el agua servida de 15,200 personas del casco urbano.

Tabla 7. Tamaño de las lagunas de oxidación que reciben las aguas servidas del casco urbano.

Lagunas de Oxidación	Área m
Laguna 1	50 x 50
Laguna 2	55 x 43
Laguna 3	52 x 80
Laguna 4	90 x 45

Estas lagunas no funcionan actualmente de forma eficiente, ya que, de acuerdo con los resultados obtenidos, el oxígeno en el río previo a la descarga es de 7.4 ppm, al recibir la descarga de aguas residuales disminuye a 1.3 ppm, y sale del sistema con 2.2 ppm (Figura 11), lo que representa el 30% del oxígeno inicial, cuando estos sistemas deberían de recuperar en un 99% las condiciones iniciales del agua del río (Figura 12).



Figura 11. Izquierda, lagunas de oxidación, Derecha, Descarga de agua residuales procedentes de la lagunas al río Machigua.

Los parámetros de pH, STD, temperatura y conductividad (Tabla 8) se recuperan a condiciones aceptables para su uso de acuerdo con la “Norma Técnica de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario” (Gaceta, 1995). Sin embargo, de acuerdo con el BMWP-CR, las aguas procedentes de la laguna reducen la calidad del agua del río Machigua (puntaje de 40), el cual a este nivel presenta aguas de mala calidad (Tabla 5, Figura 1).

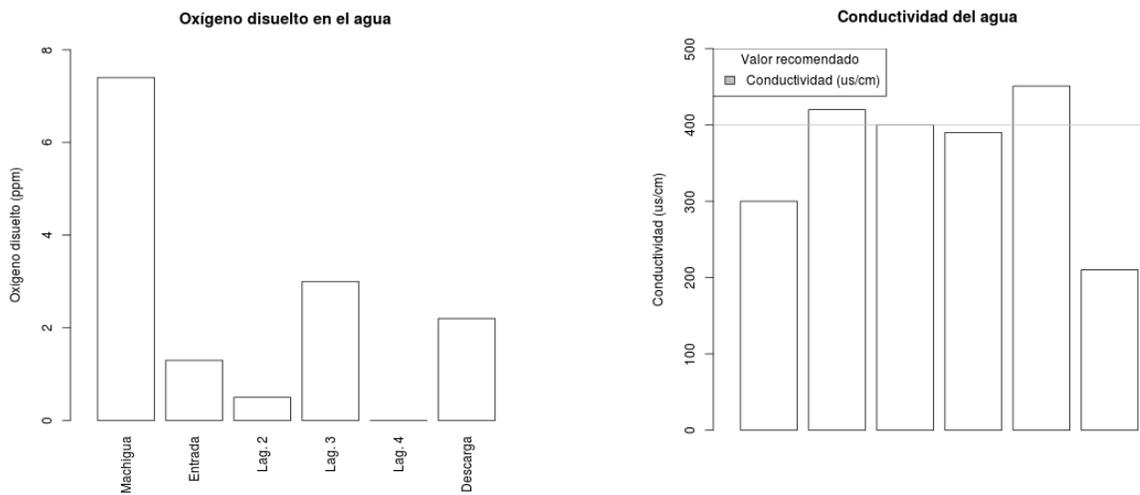


Figura 12. Comportamiento del oxígeno disuelto y la conductividad del agua a lo largo del tratamiento con lagunas de oxidación.

En resumen, el agua sale de las lagunas de oxidación con una carga orgánica y de contaminantes alta, lo cual afecta grandemente la calidad del agua del río Machigua y a su vez del río Jalegua y otros ríos con los cuales confluye posteriormente. Agregado a lo anterior, la falta de eficiencia de las lagunas de oxidación en el tratamiento de las

descargas ha acarreado problemas de producción de gases, afectando a los habitantes de barrios cercanos al sistema de lagunas.

Como alternativas a dicha problemática la municipalidad ha optado por el cultivo de la especie vegetal *Eichhornia crassipes*, conocida como Jacinto de agua. Sin embargo, la problemática continúa y se acentúa más en los meses de la estación seca.

Tabla 8. Comportamiento de parámetros físico-químicos a lo largo del tratamiento con lagunas de oxidación.

Sitio	T° Amb (°C)	T° Agua (°C)	Conduc (Ms/cm)	O2 (ppm)	pH	STD
R. Machigua	30	22.8	300	7.4	8.37	165
Entrada	31	27.8	420	1.3	7.25	55
Lag. 2	27.2	29.3	400	0.5	7.43	51
Lag. 3	44.8	30.6	390	3	7.61	54
Lag. 4	36	32	451	0	8.85	212
Descarga	28.7	25	210	2.2	8.72	109

En búsqueda de alternativas a esta problemática, el equipo de investigadores del MDI, determinó taxonómicamente las plantas presentes dentro y alrededor de las lagunas de oxidación, encontrando la presencia de 14 taxones, de los cuales cuatro crecen dentro de la laguna, y tres pueden ser utilizados para el tratamiento de las aguas residuales (Tabla 8). De acuerdo a la problemática observada, se recomienda realizar estudios estándares de la carga orgánica que aportan las aguas residuales a la laguna, para esto es necesario determinar los parámetros de DBO, Nitratos y DQO.

Los fitosistemas, se caracterizan por emplear organismos vegetales y sus capacidades de depuración de ecosistemas acuáticos para disminuir la carga de diferentes elementos contaminantes en el agua, desde metales pesados hasta bacterias patógenas. Dentro de las distintas especies vegetales empleadas en estos sistemas, *Eichhornia crassipes* es la que mayor eficiencia ha presentado (Martelo y Lara, 2012), empleándose en sistemas con especies flotantes, donde las lagunas de tratamiento de aguas residuales no requieren gran profundidad (0.4 - 1.5 m) y su construcción es similar a la presentada por las lagunas evaluadas en la ciudad de Yoro.

Para adecuar las lagunas de oxidación de Yoro y convertirlas en fotosistema eficiente, se debe de comenzar e seguir los procedimientos estándar como las mencionadas por Fox y Harvey (1973), implementando las etapas de determinación de la carga orgánica. Para ello es necesario partir del cálculo del área y profundidad que requieren las lagunas y adecuarlas, luego, calcular la producción de biomasa de *Eichhornia crassipes* y/o otra

especie vegetal nativa requerida. Una vez realizado esto se procede a calcular los periodos de cosecha (extraer la biomasa vegetal producida por *Eichornnia crassipes*). Debe resolverse el, donde y como se va a tratar la materia orgánica producida a partir de esta cosecha. Se ha recomendado tratar la biomasa extraída de *Eichornnia crasipes* y utilizarla como abono orgánico (Martelo y Lara, 2012).

5. Agradecimientos

Se agradece a las autoridades de la Municipalidad de Yoro por prestar el espacio para el desarrollo de esta investigación, y por buscar alternativas para la solución a la problemática del recurso hídrico, que no solo aqueja a la Ciudad de Yoro, sino también a Honduras como país. Agradecemos a el guía local de PN Montaña de Yoro, Don Roberto y al policía Municipal Don Marcelo por su compañía y resguardo durante algunas giras de campo. Por último, pero no menos importante, agradecemos a los compañeros del MDI, Darío Alvarado y Farlem España por su colaboración y apoyo durante los muestreos, al igual que a Jocelyn Castro pasante de la carrera de Biología en la UNAH.

6. Bibliografía

- Bustillo, G. (2006). Estudio Y Valoración Del Agua En Términos Económicos Y Ambientales En El Parque Nacional Montaña De Yoro. Tesis De Maestría. Instituto Centroamericano De Administración Pública. Yoro, Honduras. 149 pp.
- Díaz, G. K. Murillo, B. M. (2019). Insectos acuáticos indicadores de la calidad del agua en cafetales con el método del Dosel Abierto Integrado (DAI) del MDI. 1-15 pp.
- Fox J. Harvey R. Nutrient removal using lemna minor. Water Pollution Control Federation, 45(9):1928–1938, 1973. ArticleType: research-article / Issue Title: Annual Conference Issue / Full publication date: Sep., 1973 / Copyright 1973 Water Environment Federation. 235, 236
- Gaceta (1995). Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable. Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS. Tegucigalpa, M.D.C., Honduras.
- Instituto de Conservación Forestal. (2015). Atlas Municipal Forestal de Cobertura de La Tierra: Municipio de Yoro, Yoro. Recuperado de: <http://www.atlasmunicipal.org/sites/default/files/1801%20Yoro%20Atlas%20Forestal%20Municipal.pdf>

- Martelo, J. Lara, B. J. (2007). Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15):221 - 243.
- Merritt, W., Cummins, K. W., y Berg, M. V. (2009). *An introduction to the aquatic insects of North America*. 4th ed. Dubuque. Kendall/Hunt Publishing Company.
- Mesoamerican Development Institute (MDI). (2017). La Iniciativa del Corredor Biológico Yoro: Tecnología Utilizando Energía Renovable para el Procesamiento y Exportación de Café y Otros Productos con Producción Amigable con el Bosque Nublado en Yoro, Honduras: El "Modelo Yoro". MDI, Honduras. 105 pp.
- MINAE (2007). Reglamento para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. No 33903 MINAE-S. Gaceta #178, 17 de septiembre de 2007. San José.
- Murillo, M. A. (2019). Evaluación Ecológica Rápida de la Reserva Biológica Misoco. 12 pp.