

**Línea base en cantidad y calidad de agua en
las microcuencas Cumes en Jesús de Otoro y
Sirima en San Isidro, departamento de
Intibucá, Honduras**

Rolando Jaime Morales Romero

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

**Línea base en cantidad y calidad de agua en
las microcuencas Cumes en Jesús de Otoro y
Sirima en San Isidro, departamento de
Intibucá, Honduras**

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

Presentado por

Rolando Jaime Morales Romero

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2017

Línea base en cantidad y calidad de agua en las microcuencas Cumes en Jesús de Otoro y Sirima en San Isidro, departamento de Intibucá, Honduras

Rolando Jaime Morales Romero

Resumen. En las microcuencas Cumes y Sirima se desarrollan actividades agrícolas que pueden alterar la calidad de agua de fuentes de abastecimiento a poblaciones. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de las actividades productivas en la calidad de agua en sitios localizados en el cauce del río en la parte alta, media y baja de las microcuencas. Se midieron los caudales a través del método por vadeo en las tres partes de la microcuenca durante el periodo de febrero a abril. Se midieron los parámetros en campo (Temperatura, pH, Salinidad, Conductividad, oxígeno disuelto) y en laboratorio (coliformes totales y fecales). En la microcuenca Cumes, la quebrada Santiago muestra la evidencia del impacto en la calidad del agua al ser comparada con la quebrada Ojo de Agua. Las partes altas de ambas microcuencas tienden a tener una contaminación fecal casi nula, sin embargo, la carga bacteriana aumenta aguas abajo por el incremento de fuentes no puntuales de contaminación en las zonas medias y su arrastre durante eventos de precipitación. Ambas microcuencas presentan las condiciones adecuadas de oxígeno disuelto para ecosistemas acuáticos, pero las extracciones de agua durante la época seca, representan la principal amenaza para el sostenimiento de vida acuática, particularmente en la microcuenca del Río Cumes se recomienda la cosecha de aguas lluvias en época lluviosa para usos agrícola en temporada seca.

Palabras clave: Coliformes, contaminación, oxígeno disuelto, recarga hídrica.

Abstract. In the micro watersheds of Cumes and Sirima there are agricultural activities that can alter the quality of the community's water sources. The objective of this study was to evaluate the influence of the productive activities on the catchment on the water quality and quantity along the micro watersheds Cumes and Sirima. Samples were collected and streamflow was measured at three points along the micro watersheds between the months of February and April. The parameters studied in the field were temperature, pH, salinity; conductivity and dissolved oxygen while in the lab total and fecal coliforms were tested. In the Cumes micro watershed, the Santiago stream presented poorer water quality when compared to the Ojo de Agua stream. The sites at higher elevation presented the least contamination by coliforms, however, bacterial counts increased in the lowest part due to the nonpoint pollution sources in the middle area and soil runoff during rainfall events. Both micro watersheds presented adequate dissolved oxygen for aquatic ecosystems, but the extraction of water during the dry season is the principal threat for the ecosystem. This occurs mainly in the Cumes river, where it is recommended to implement water harvest practices during rainy season to sustain agricultural activities during the dry season.

Key words: Coliforms, dissolved oxygen, pollution, water recharge.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4. CONCLUSIONES.....	26
5. RECOMENDACIONES.....	27
6. LITERATURA CITADA	28
7. ANEXOS.....	32

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Caseríos pertenecientes a la microcuenca Cumes, municipio de Jesús de Otoro, Departamento Intibucá.	6
2. Caseríos pertenecientes a la microcuenca Sirima, municipio de San Isidro, Departamento de Intibucá, Honduras.	9
3. Rangos de Concentración de oxígeno disuelto y consecuencias en ecosistemas acuáticos.....	16
4. Calidad de agua en función del porcentaje de saturación de oxígeno.....	16
5. Caracterización fisicoquímica de las aguas de la microcuenca Cumes.	18
6. Caracterización fisicoquímica de las aguas de la microcuenca Sirima.	23
Figuras	Página
1. Mapa de uso y cobertura de la microcuenca Cumes.	4
2. Ma de la microcuenca Cumes con los cuatro sitios de muestreo	5
3. Mapa de usos y cobertura de la microcuenca Sirima	7
4. Mapa de la microcuenca Sirima con los tres puntos de muestreo	16
5. Caracterización bacteriológica de las aguas de la microcuenca Cumes.	13
6. Conductividad eléctrica en las aguas de la microcuenca Cumes.....	23
7. Caracterización bacteriológica de las aguas de la microcuenca Sirima	20
8. Conductividad eléctrica en las aguas de la microcuenca Sirima	21
9. Resultados de caudales en las tres partes de la microcuenca.....	24
10. Resultados de caudales en las tres partes de la microcuenca Sirima.....	25
Anexos	Página
1. Ficha de campo	31
2. Coliformes totales en las tres partes de a microcuenca Cumes y la representación de valor máximo permitido.....	34
3. Coliformes totales en las tres partes de la microcuenca Sirima y la representación del valor máximo permitido	34
4. Perfil de elevacion de los sitios de muestreo en lamicrocuenca Cumes	35
5. Pefil de elevación de los sitios de muestreos en la microcuenca Sirima.	35

1. INTRODUCCIÓN

Una cuenca hidrográfica comprende un área geográfica que está delimitada por los parteaguas y el relieve topográfico y determina el subsistema hídrico para la producción de agua. Asimismo, este territorio tiene una relación con la ecología, y los aspectos económicos, sociales y políticos que se desarrollan dentro del mismo (Ordoñez, 2011). En el interior de la cuenca hidrográfica se desarrollan actividades económicas y sociales que tienen impactos favorables y no favorables para la población. El desarrollo de actividades en la cuenca aguas arriba puede causar problemas en la cantidad y calidad de agua perjudicando a la población aguas abajo (Prieto, 2002).

La gobernanza hídrica es uno de los procesos que contribuye a reducir los impactos negativos generados en las cuencas. Este proceso tiene como finalidad el bien común de todos los seres vivos de este territorio, y en el proceso se promueve la participación de las autoridades para la toma de decisiones (Instituto de Estudios Ambientales [IDEA], 2013). Una de las estrategias para garantizar la gobernanza hídrica es la implementación de planes de manejo de cuencas, los cuales buscan la sostenibilidad del recurso hídrico en los aspectos doméstico, agrícola, turístico, generación hidroeléctrico y demás actividades (Yepez, 2015).

En las últimas décadas se ha evidenciado un desarrollo insostenible y sus efectos negativos ponen en riesgo la adecuada funcionalidad de las cuencas hidrográficas. El crecimiento poblacional genera alta demanda de los recursos naturales. La deforestación es un problema común en nuestra sociedad y resulta en conversiones de terrenos hacia zonas agrícolas y ganaderas a pequeñas y grandes escalas, convirtiéndose en un problema para los procesos hidrológicos en las cuencas (Cisneros, 2016).

Honduras cuenta con 21 cuencas hidrográficas, las cuales descargan sus aguas al Océano Atlántico y al Océano Pacífico. En promedio se descargan 92,813 millones de metros cúbicos (Mm^3) de agua generadas por la precipitación. Honduras cuenta con el 75% de su territorio de vocación forestal. Con relación a la oferta hídrica, para el año 2003 el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), estimó una oferta total para el territorio hondureño de 87,653 (Mm^3). En cuanto a la demanda hídrica, en el año 2012 la Secretaría de Agricultura y Ganadería reportó 2200 millones de metros cúbicos al año (Guillen, 2017). Según el Departamento de Cuencas Hidrográficas y Ambiente del Instituto de Conservación Forestal Honduras (ICF), Honduras cuenta con 575 microcuencas (Cardona, 2010).

La calidad de agua en una cuenca depende de las condiciones del uso y cobertura del suelo. Los factores más comunes que influyen de manera negativa en la calidad del agua en una

cuenca rural son las malas prácticas agrícolas, la ganadería, la falta de obras de conservación de suelos y la falta de prácticas en infraestructura de saneamiento. La erosión es uno de los problemas más serios que afrontan los agricultores a nivel mundial y tiene un impacto mayor en las zonas tropicales por la magnitud e intensidad de la lluvia en estas regiones. La cobertura vegetal cumple una función importante en la protección del suelo contra la erosión y es por ello que el manejo de cultivos durante las temporadas de mayor incidencia de lluvia es indispensable para reducir la erosión en las cuencas y por consiguiente reducir los impactos en la calidad de agua de los cuerpos de agua (Leal et al., 2007).

El término calidad de agua hace referencia al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes fines como ser el uso doméstico, el riego, la recreación o usos industriales. La evaluación de la calidad de agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud (Mejía, 2005). Esta evaluación se realiza a partir de la selección de parámetros indicadores seleccionados con base en las potenciales fuentes de contaminación y sus impactos previstos en las poblaciones y los ecosistemas.

La *Escherichia coli* es uno de los principales indicadores de contaminación de cuerpos de agua. La presencia de esta bacteria está relacionada con las actividades del hombre y animales sobre los cuerpos de agua (Ávila y Estupiñán, 2013). La *Escherichia coli* es una bacteria que se encuentra en el tracto gastrointestinal de los seres humanos y animales de sangre caliente. Debido a la elevada presencia en el tracto gastrointestinal y en las heces, es utilizado como el principal indicador de contaminación fecal en la evaluación de la inocuidad de los alimentos y del agua (Poirson et al., 2013).

La importancia de caracterizar un cuerpo de agua radica en la necesidad de calificar el agua de acuerdo al uso que se espera. Por ejemplo, bajas concentraciones de oxígeno disuelto, y elevadas cargas de coliformes totales y fecales son indicadores de contaminación. La temperatura es un parámetro que influye directamente en las características del agua (físicas, químicas y biológicas) (Mitchell y Stapp, 1994a). El pH hace referencia a la concentración de iones H^+ y es de importancia en procesos de óxido-reducción y actividad bacteriana (Mitchell y Stapp, 1994b). Otros parámetros como sólidos disueltos totales, salinidad y conductividad son indicadores de presencia de sales y residuos orgánicos en el agua (Fuentes & Massol, 2002).

Se anticipa que una visión de enfoque de sistemas hídricos tales como: la cuenca como sistema, sub cuenca, microcuenca y finca, contribuye a la seguridad alimentaria de un territorio. La restauración ambiental, es el enfoque de muchos proyectos presentes en el corredor seco de Honduras, para ello es necesario la implementación de planes de ordenamiento a nivel microcuenca y planes de conservación de suelos. Estos planes sugieren empezar a nivel finca para la participación de los agricultores (Zee et al., 2012).

Las actividades humanas que se desarrollan en la microcuenca generan un efecto en la calidad y cantidad de agua. Las microcuencas presentan diferentes usos y coberturas del suelo de acuerdo a los pisos altitudinales. En el municipio de Jesús de Otoro, existen dos microcuencas prioritarias para el abastecimiento de agua a poblaciones: las microcuencas

del Río Cumes y del Río Sirima. El Río Cumes proporciona agua potable para el casco urbano del Municipio de Jesús de Otoro. Una actividad principal que se desarrolla en ambas microcuencas es el cultivo de café, el cual genera impacto en la calidad del agua por la descarga de las aguas mieles.

Un estudio realizado a través de mediciones de parámetros físico-químicos, afirma que el vertido de aguas mieles no tienen incidencia en la calidad de agua (Rugama y Monserrat, 2016), sin embargo, las comunidades de la zona identifican el vertido de aguas residuales de café como una de las principales amenazas a los cuerpos de agua en las partes medias de las microcuencas. La magnitud del impacto de esta actividad debe evaluarse de forma individual, debido a que éste es el resultado de la interacción entre las cargas de contaminación que reciba, las características del cuerpo receptor y la dinámica de los procesos de autodepuración del contexto.

Con base en la problemática anterior, el propósito de este estudio es conocer las características de la calidad y cantidad de agua en la parte alta, media y baja de las microcuencas Cumes y Sirima durante la finalización de la época de corta y procesamiento de café en la zona. Lo anterior con el fin de identificar alteraciones en la calidad del agua derivadas ya sea de las actividades productivas en la cuenca o debido a las condiciones hidrológicas del sitio, lo cual es un insumo para orientar futuras intervenciones de manejo de las mismas.

La presente investigación se realizó en el marco del Proyecto Gobernanza en Ecosistemas, Medios de Vida y Agua de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y apoya la línea de base para acciones posteriores de manejo de cuencas a realizar por dicho proyecto en las microcuencas en mención.

Los objetivos del estudio fueron:

- Comparar cualitativamente la calidad de agua en la quebrada Ojo de Agua y Santiago con base en los usos y coberturas de las áreas de recarga.
- Medir las variaciones de calidad y cantidad de agua en las zonas de elevación de la microcuenca y los potenciales riesgos para los ecosistemas acuáticos derivados de sus alteraciones.
- Proponer sitios de intervención y actividades de manejo con base en los resultados de diagnóstico.

2. METODOLOGÍA

Descripción general del estudio.

Para el estudio se seleccionaron las microcuencas de los Ríos Cumes y Sirima, las cuales forman parte de la cuenca del Río Grande de Otoro y esta a su vez, parte de la cuenca del Río Ulúa. Se seleccionaron siete parámetros de calidad de agua: Temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, salinidad, coliformes totales y coliformes fecales (*Escherichia coli*). Asimismo, se realizaron mediciones de caudales en sitios seleccionados.

Ubicación geográfica del área de estudio.

La microcuenca Cumes está ubicada en el Municipio de Jesús de Otoro, departamento de Intibucá en la zona Occidental de Honduras. La microcuenca cuenta con un área de 2573.48 hectáreas y 27.28 kilómetros de perímetro. El criterio para la selección de los puntos de muestreo fue el uso y cobertura de las microcuencas, para la microcuenca Cumes se seleccionaron 4 sitios (Figura 1).

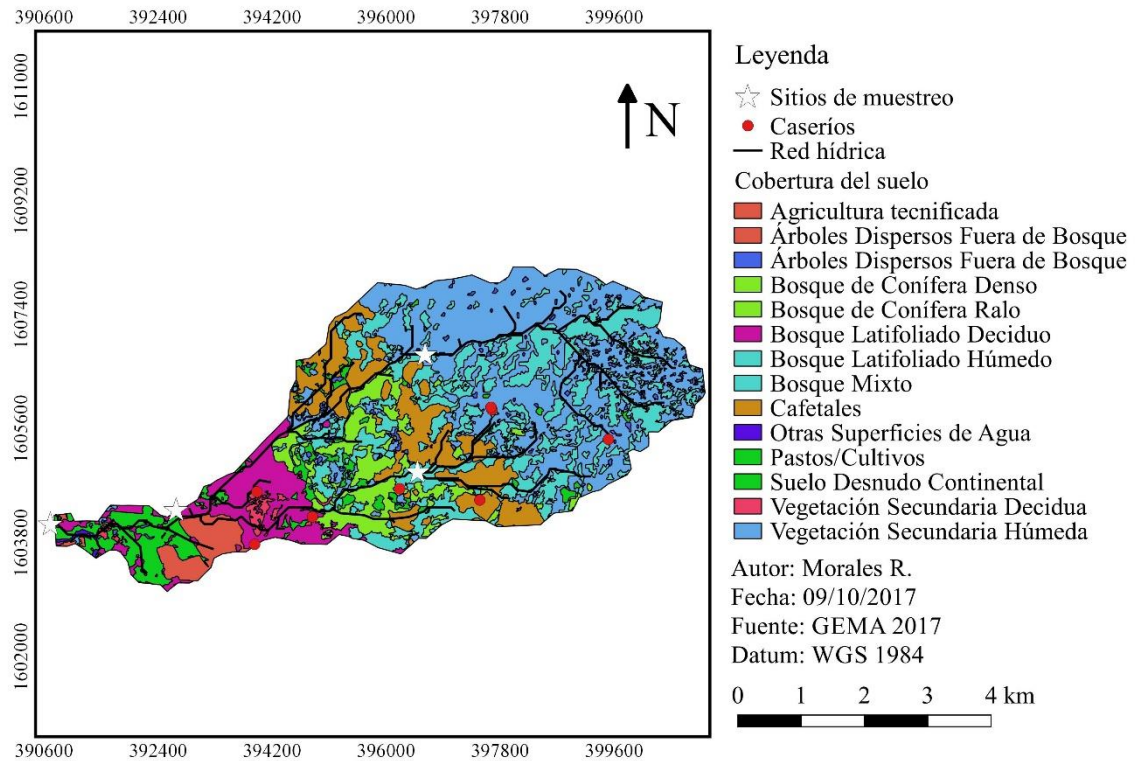


Figura 1. Mapa de uso y cobertura de la microcuenca Cumes.

La zona de recarga de la microcuenca Cumes forma parte de la Reserva Biológica Montecillos. Las mediciones de calidad y cantidad de agua se hicieron en el mismo punto de muestreo de forma simultánea. La frecuencia de muestreo fue cada catorce días entre el 7 de marzo hasta 18 de abril.

Los puntos de muestreo seleccionados permiten diferenciar la parte alta, media y baja de las microcuencas (Figura 2). Estos puntos de muestreo fueron seleccionados con la finalidad de determinar la diferencia en los valores numéricos de los parámetros medidos.

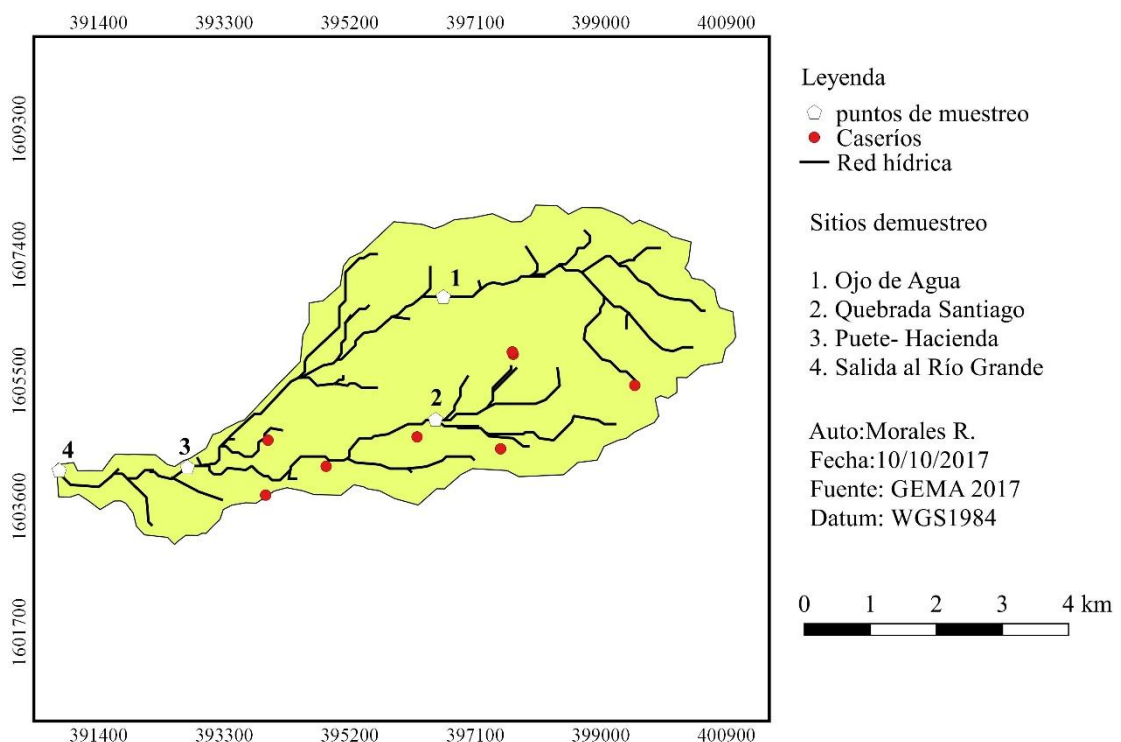


Figura 2. Mapa de la microcuenca Cumes con los cuatro sitios de muestreo.

La población que se encuentran en la microcuenca ejercen presión sobre los recursos y las fuentes de agua y a la vez dependen del recurso hídrico para el desarrollo económico de sus caseríos. Según la base de datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática del año 2001 la población total dentro de la microcuenca es de 632 habitantes (Cuadro 1). En la microcuenca se observa un mayor número de caseríos en el área de recarga de la Quebrada Santiago (Figura 2).

Cuadro 1. Caseríos pertenecientes a la microcuenca Cumes, municipio de Jesús de Otoro, Departamento Intibucá.

Caserío	Aldea	Población
La Lima	San Antonio	92
El Pericón	San Antonio	2
Loma de En medio	San Antonio	74
California	Jesús de Otoro	17
Santiago	Jesús de Otoro	51
Loma El Romero	Jesús de Otoro	10
Ojo de agua No. 1	Coclán	204
Ojo de agua No. 2	Coclán	182
Total		632

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2001

Límites de la microcuenca.

La microcuenca limita al norte con el caserío Los Mangos, aldea Coclán, al Oeste con el Río Grande de Otoro y el caserío las Canoas, aldea Jesús de Otoro. Al sur colinda con el caserío El Pericón, aldea San Antonio y al Este con el caserío La Lima, aldea San Antonio.

Descripción de los puntos de muestreos.

Los parámetros se midieron en 4 puntos de muestreo. Los puntos seleccionados fueron: El Río Cumes, la Quebrada Santiago a la par de la carretera, en el puente de concreto cerca a la hacienda y en el punto de confluencia con el Río Grande de Otoro (Figura 1). A continuación, se describen los puntos seleccionados:

Ojo de agua. Es el primer punto de muestreo, tiene como coordenadas $14^{\circ}31'54.60''N$ de latitud y $87^{\circ}57'34.54''O$ de longitud. Es el punto de muestreo de mayor altura ubicada a 1217 m.s.n.m. En este punto se realizan actividades de protección del bosque ribereño ya que la Junta Administradora de Agua Potable y Disposición de Excretas (JAPOE) compró áreas cercanas al río para su protección. El punto de muestreo está rodeado de árboles de hoja ancha, musgos en las rocas, sotobosque poco desarrollado por la baja tasa de infiltración de los rayos solares y plantas trepadoras de árboles. El sitio presenta condiciones poco favorables para mediciones de caudal debido a la irregularidad del cauce y la presencia de rocas. El río Cumes abastece de agua al casco urbano de Jesús de Otoro y las comunidades de Barrio Nuevo, Coclán, San Marcos, Santiago, Ojo de agua y una parte de la comunidad El Zapote.

Quebrada Santiago. Es el segundo punto de muestreo, tiene como coordenada $14^{\circ}30'54.25''N$ de latitud y $87^{\circ}57'38.26''O$ de longitud, ubicada a una altura de 954 m.s.n.m. En este punto la calidad y cantidad de agua es potencialmente influenciada por actividades humanas en las áreas de recarga hídrica. En la parte alta de las microcuencas se encuentran los caseríos de La Lima y Ojo de Agua. La red hídrica de la quebrada Santiago tiene sus orígenes en áreas con actividad agrícola de café.

Puente de concreto. Está ubicado cerca de la ciudad Jesús de Otoro, tiene como coordenada 14°30'34.09"N de latitud y 87°59'45.49"O de longitud, ubicada a 592 m.s.n.m. En áreas cercanas al punto de muestreo el suelo se utiliza para pastoreo de animales rumiantes como ovejas y ganado vacuno.

Salida al río Gran de Otoro. Es el cuarto punto de muestreo y se encuentra localizado a los 14°30'26.58"N de latitud y 88° 0'51.80"O de longitud, ubicada a 547 m.s.n.m. En esta zona los usos de suelo son predominantemente agrícolas. El cauce del río tiene fragmentos ribereños conservados con especies de árboles de hoja ancha y las áreas alrededor del punto de muestreo son de uso agrícola y pastoreo de animales rumiantes.

Microcuenca Sirima.

Ubicación geográfica del área de estudio. La microcuenca Sirima está ubicada en el Municipio de San Isidro, departamento de Intibucá, en la zona occidental de Honduras. La microcuenca cuenta con 4336.68 hectáreas y 33.26 kilómetros de perímetro. La población se concentra en la parte media y baja de la microcuenca. El cultivo de café tiene una mayor incidencia en la parte media de la microcuenca (Figura 3).

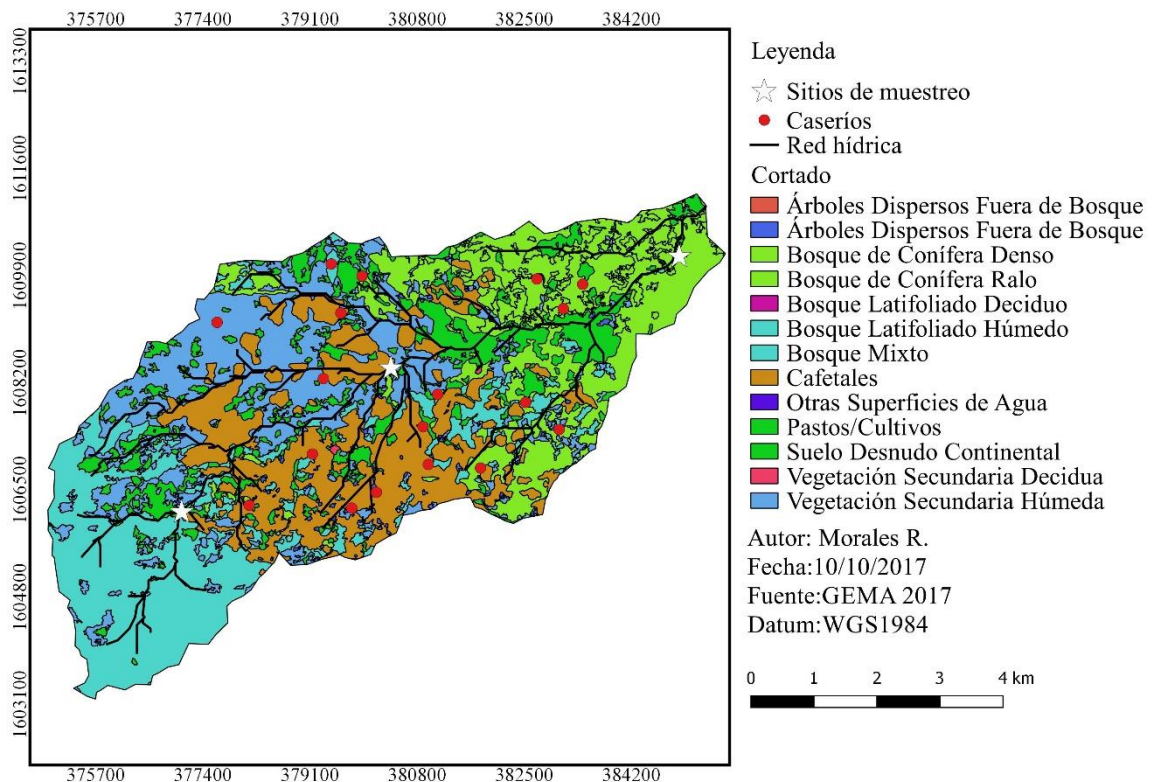


Figura 3. Mapa de usos y cobertura de la microcuenca Sirima.

El criterio de selección de los sitios de muestreo en la microcuenca Sirima es similar a microcuenca Cumes, para el cual se utilizó el mapa de uso y cobertura (Figura 3). Se seleccionó el primer sitio (Peña Blanca) con la finalidad de determinar la calidad de agua después que esta sale de un área protegida, en el cual predomina el bosque mixto y el bosque latifoliado húmedo. El segundo sitio (Macuelizo) con la finalidad de determinar la variación en los parámetros medidos por el efecto del cultivo de café (cultivo predominante) en la parte media de la microcuenca. Y el tercer sitio (Joya de Ocotál) con el objetivo de determinar la variación de los parámetros medidos por los efectos del cultivo de café, otros cultivos, suelos desnudos y áreas de pastoreo (Figura 4).

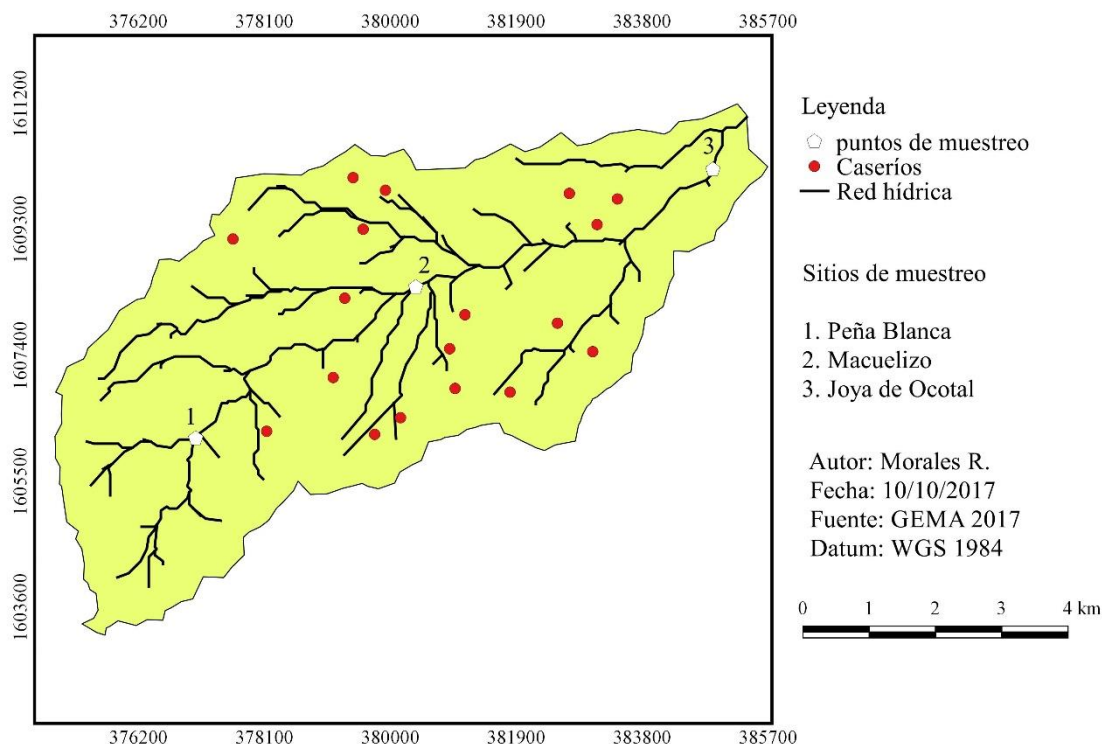


Figura 4. Mapa de la microcuenca Sirima con los tres puntos de muestreo.

Anteriormente se mencionó que las actividades humanas tienen un impacto en la calidad de agua. Es por ello que se tomó la base de datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática del año 2001 para la ubicación de los principales caseríos pertenecientes a la microcuenca Sirima. Según esta base de datos hay un mayor número de caseríos en la parte media microcuenca, con una población total de 1637 distribuida en 17 caseríos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Caseríos pertenecientes a la microcuenca Sirima, municipio de San Isidro, Departamento de Intibucá, Honduras.

Municipio	Aldea	Caseríos	Población
San Isidro	San Isidro	Ocote Picado	7
San Isidro	San Isidro	Agüera	20
San Isidro	San Isidro	El Barreal	168
San Isidro	San Isidro	Pueblo Viejo	381
Jesús de Otoro	San Jerónimo	Las Trankitas	29
San Isidro	Macuelizo o Hato Viejo	El Calichito	11
San Isidro	Macuelizo o Hato Viejo	El Manzano	24
San Isidro	Macuelizo o Hato Viejo	Santa Rita	24
San Isidro	Macuelizo o Hato Viejo	Quebrada Liquidámbar	41
San Isidro	Macuelizo o Hato Viejo	Horconsitos del Macho	47
San Isidro	Macuelizo o Hato Viejo	Las Trankitas	61
San Isidro	Macuelizo o Hato Viejo	Agua Buena	141
San Isidro	Macuelizo o Hato Viejo	El Borbollón	163
San Isidro	Macuelizo o Hato Viejo	Macuelizo o Hato Viejo	518
Total			1637

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2001.

Límites de la microcuenca. La microcuenca Sirima limita al norte con el centro poblado de San Isidro, al sur con el municipio San Jerónimo y al este con el Río grande de Otoro.

Descripción de los puntos de muestreos. Las mediciones de los parámetros y caudales se realizaron en tres puntos de la microcuenca. Los puntos seleccionados fueron: Peña blanca, Macuelizo y Joya de Ocotal.

Peña blanca. Es el primer punto de muestreo, tiene como coordenadas 14°31'31.66"N de latitud y 88°8'27.65"O de longitud. Está ubicada a 1,428 m.s.n.m. es el punto de mayor elevación. La zona ha sido afectada por la deforestación de bosques de liquidámbar (localizado en la zona de recarga hídrica) debido a la expansión de cultivos intensivos de café. El bosque protegido con una vegetación densa se encuentra ubicada a una distancia de 0.45 kilómetros de distancia desde el punto de muestreo. En la red hídrica se observaron un incremento considerable del caudal en temporada lluviosa.

Macuelizo. El segundo punto de muestreo se ubica al costado de un puente de concreto, tiene como coordenada de latitud 14°32'46.49"N y 88°6'37.08"O de longitud. Está ubicada a 852 m.s.n.m. La red hídrica presenta un bosque ribereño con especies de hoja ancha, sotobosque en buen estado de conservación y especies maduras de árboles como el indio desnudo (*Bursera simaruba*). A los alrededores se desarrolla la actividad agrícola de cultivo de café bajo sistemas de producción bajo sombra y monocultivo.

Joya de Ocotal. Es el tercer punto de muestreo, tiene como coordenada 14°33'44.93"N de latitud y 88°4'4.50"O de longitud. Está ubicada a 542 m.s.n.m. Estas áreas pertenecen a la reserva de vida silvestre Mixcure, el tipo de bosque predominantes es el bosque seco. La

red hídrica presenta un bosque ribereño con especies jóvenes, y se ubica en pendientes pronunciadas con rocas fijas que permite la oxigenación de las aguas. La actividad agrícola que se desarrolla en el lugar es el cultivo de maíz en pequeñas extensiones. En cuanto a la vida acuática se observó la presencia de peces de un tamaño menor y presencia de algas con una coloración de color marrón.

Análisis de calidad de agua en campo.

Se midieron cuatro parámetros de calidad de agua en el sitio con el multiparámetro portátil PCSTestr 35 series y el oxígeno disuelto con un kit de campo para oxígeno disuelto marca LaMotte®.

Temperatura. Los datos fueron medidos con un multiparámetro PCSTestr 35 series, el multiparámetro para medir la temperatura dispone de un rango de 0 ° a 50 °C, la unidad utilizada fue el grado centígrado (°C). La temperatura es un indicador del estado relativo de calentamiento o enfriamiento de un cuerpo, se considera como una medida de agitación de las moléculas o átomos que constituyen un cuerpo (Peña, 2006). “La temperatura es una medida de energía cinética de las partículas que componen un sistema” (Sánchez & Ibarra, 2007) La temperatura en los cuerpos de agua es importante debido a que tiene un efecto inversamente proporcional a la concentración del oxígeno disuelto.

Oxígeno disuelto. Los datos de oxígeno disuelto fueron medidos con un kit de prueba de calidad de agua, marca La motte, código 5860-01. Se realizó en campo y al momento de la recolección de la muestra una prueba estandarizada mediante el método Winkler (La motte, 2014). El oxígeno (O₂) se reportó en mg/L y con base en la temperatura del momento de muestreo se realizó una estimación del porcentaje de saturación de oxígeno para eliminar el sesgo de comparación de sitios de diferente elevación y por lo tanto, diferentes temperaturas.

pH. Los datos fueron medidos con un multiparámetro PCSTestr 35 series, el multiparámetro para medir el pH dispone de un rango de 0 a 14 pH. El pH hace referencia a la concentración de iones de hidrogeno en una solución, indicando la acidez o alcalinidad, los valores van desde 0 (más ácida) hasta 14 (más alcalina) (Nutriterra, 2008).

Salinidad. Los datos fueron medidos con un multiparámetro PCSTestr 35 series. Para medir salinidad el multiparámetro dispone de un rango de 0 a 99.9 ppm. Las sales disueltas en el agua están en forma de aniones y cationes, estas moléculas tienen la característica de conducir la electricidad. La salinidad está relacionada por elevadas concentraciones de cloruros, sulfatos y dureza (altas concentraciones).

Parámetros analizados en laboratorio.

Se realizaron análisis bacteriológico de coliformes totales y fecales en el Laboratorio del Centro de Salud Pública de la Esperanza, Intibucá. El conteo de las bacterias se realizó mediante el método de placas Petri film 3M ®. La recolección de las muestras de agua para estos análisis se hizo en horas de la mañana y se utilizaron bolsas de polietileno estériles

(Fisherbrand®) con cierre de tira plana y se conservaron a 4 °C hasta su análisis en el laboratorio.

Coliformes totales. Es un grupo de bacterias que poseen características similares, son bacilos no esporulados, se desarrollan 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 a 35 o 37 °C, en un periodo de 24 a 48 horas (República de Honduras Ministerio de Salud, 1995).

Coliformes fecales. “Son microorganismos que tienen las mismas propiedades del grupo de bacterias Coliformes Totales, pero a temperatura de 44 o 45 °C, también se les llama como Coliformes termorresistentes o Termotolerantes” (República de Honduras Ministerio de Salud, 1995).

Medición de caudal.

Se realizaron aforos al momento del muestreo mediante el método de vadeo con un correntómetro marca GlobalWater y mediante el uso de tintes para la medición de velocidad. Se obtuvo el área de la sección transversal del río y se estimó el caudal mediante la ecuación 1.

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = A(\text{m}^2) \times V(\text{m}/\text{s}) \quad [1]$$

Donde:

Q: Caudal

A: Área de la sección transversal del río

V: Velocidad de la corriente

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis de calidad se evaluaron con base en los usos del agua en los sitios. Se consideró que las partes altas de la microcuenca son áreas que abastecen de agua a algunos de caseríos, por ende, el análisis tiene un enfoque en el agua para consumo humano. Para el análisis en la parte media y baja de la microcuenca se consideró el impacto que genera las diferentes actividades (agricultura, ganadería entre otros) en la calidad del agua y los potenciales impactos en los ecosistemas acuáticos. Los datos obtenidos se presentan con el fin de observar los cambios de calidad entre las zonas altas y bajas de las microcuencas a lo largo del periodo de estudio y las posibles causas de los cambios.

Parámetros bacteriológicos de la microcuenca Cumes.

Coliformes totales. según los resultados se observa un incremento (desde la parte alta hacia la parte baja de la microcuenca) en la concentración de las bacterias pertenecientes al grupo de coliformes totales y superan el máximo permitido según la normativa hondureña en caso de que el agua fuera destinada para consumo (Figura 5). Este incremento se debe a que aumentan las fuentes de contaminación en la parte media y baja. En esta parte de la microcuenca se desarrollan actividades de agricultura y pastoreo de ganado (vacas y ovejas). Otras de las posibles fuentes de contaminación son las aguas domésticas y corrales de ovejas cercanos a la red hídrica.

En el punto de muestreo Ojo de Agua se encontraron valores menores o iguales a los establecidos por la normativa hondureña. Esta concentración baja se debe a las actividades de conservación de las zonas de recarga hídrica como iniciativa de la Junta Administradora de Agua y Disposición de Excretas del municipio de Jesús de Otoro (JAPOE) a través de compras de terrenos que están cercanos al bosque ribereño y el incentivo de actividades para la reducir los impactos negativos de la agricultura en la calidad y cantidad de agua.

Coliformes fecales. Se observa una menor concentración de coliformes fecales en el punto de muestreo Ojo de agua (Figura 5). La causa reside posiblemente en el grado de conservación de las áreas de recarga hídrica, ya que estas cuentan con áreas de protección y actividades encaminadas a reducir el impacto negativo de la agricultura. La concentración de los coliformes fecales es menor en la parte alta en comparación que la parte media y baja de la microcuenca. Esta variación se debe al aumento de las fuentes de contaminación existentes en la parte media y baja y al incremento del área de drenaje de los puntos aguas abajo. En el sitio Puente Hacienda se observa la influencia de un evento de precipitación previo al último muestreo, en el arrastre de bacterias del área de drenaje contribuyente.

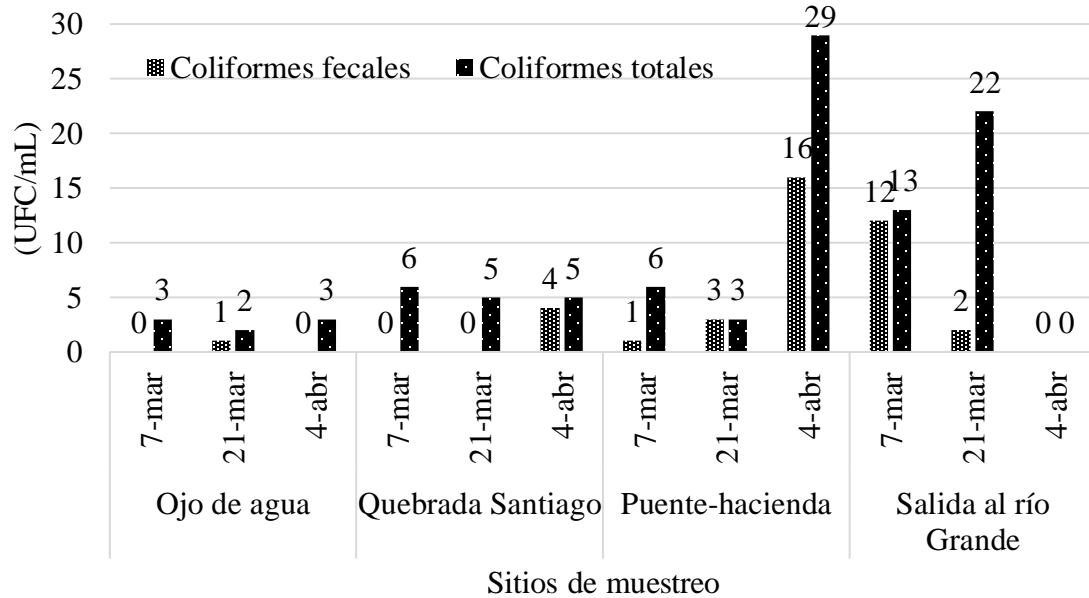


Figura 5. Caracterización bacteriológica de las aguas de la microcuenca Cumes.

Caracterización fisicoquímica de las aguas de la microcuenca Cumes.

pH. Este parámetro regula los procesos biológicos mediados por enzimas, por ejemplo la fotosíntesis y la respiración (Fuentes y Massol, 2002c). En los sitios de estudio se observó la presencia de algas los cuales generan oxígeno para el cuerpo de agua a través de la fotosíntesis.

Cercano al punto de muestreo Ojo de Agua se encuentran tomas de agua, en este punto los valores de pH se encuentran alrededor de la neutralidad, lo cual indica que el agua tendrá un efecto menor en la oxidación de las tuberías y está dentro del rango permitido por la normativa de agua para consumo de Honduras (6.5 – 8.5). Valores menores a 6.5 puede causar corrosividad y remoción de metales de las tuberías que conducen el agua hacia el casco urbano de Jesús de Otoro. En tal sentido si en futuros monitoreos el agua presenta valores menores a 6.5 es recomendable hacer un análisis de corrosión o de metales pesados (Adam y Bauder, 2012).

Generalmente, para cuerpos de agua dulce no contaminados el rango de pH es de 6.0 a 9 (Fuentes y Massol, 2002c). Los valores reportados en la microcuenca están en este rango, el cual es un indicador de que el agua está en buenas condiciones con relación al pH.

Salinidad. Es una medida de la cantidad total de sales disueltas en el agua. Este parámetro es una propiedad importante para los cuerpos de agua naturales ya que son indicadores de presencia de iones. Los iones más comunes son CO_3^- , SO_4^- , Cl^- , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ . “Los iones y los elementos presentes en cuerpos de agua naturales se originan de procesos

de mineralización y desgaste de las rocas que forman la corteza terrestre” (Fuentes y Massol, 2002d). La presencia de los iones en el agua reduce los espacios intermoleculares disponibles para solución de los gases (Fuentes y Massol, 2002a).

A través de la herramienta Google Earth Pro se realizó un análisis de uso y cobertura actual de la microcuenca Cumes y se observaron dos escenarios diferentes en cuanto a las áreas de recarga para las quebradas Ojo de Agua y Santiago. La quebrada Ojo de agua presenta una parte de su área de recarga con actividad agrícola y la mayor parte conservada, inclusive la zona núcleo abarca el área de reserva biológica Montecillos. Por otro lado, la Quebrada Santiago presenta la mayoría del área de recarga bajo usos agrícolas. Según los resultados la concentración de la salinidad en la quebrada Santiago es el doble de la quebrada Ojo de Agua (Cuadro 3).

Asimismo, el valor de este parámetro en la parte baja de la microcuenca se incrementa, hasta tres veces el valor de los sitios localizados en zonas de recarga. La principal causa de esta variación es debido a que en la parte baja se intensifican las actividades agrícolas con cultivos de ciclo corto, tales como el arroz y el maíz y es mayor el área expuesta a erosión y arrastre de sedimentos.

Conductividad eléctrica. Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica, tiene una relación directamente proporcional con la presencia de iones, la temperatura ambiental es uno de los factores que influye en los resultados, los compuestos inorgánicos son mejores conductores de la corriente eléctrica (Sanabria, 2006). Los iones que conducen mejor la electricidad son aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato (Fuentes y Massol, 2002b).

Los valores medidos de este parámetro presentan un incremento aguas abajo de la red hídrica principal (desde la parte alta de la microcuenca hacia la parte baja). Asimismo, se observó que tiene una relación directa con la salinidad, es decir incrementa su valor cuando incrementa los valores de la salinidad. La conductividad eléctrica puede ser un indicador de ingreso de fertilizantes al cuerpo de agua (Pérez y Rodríguez, 2008). Los valores medidos en la quebrada Santiago duplican los de la quebrada Ojo Agua. Asimismo, las áreas aguas arriba a la quebrada Santiago están sujetas a una mayor intervención agrícola, específicamente el cultivo que más se cultiva es el café con fertilizantes inorgánicos con una frecuencia de fertilización de dos veces al año.

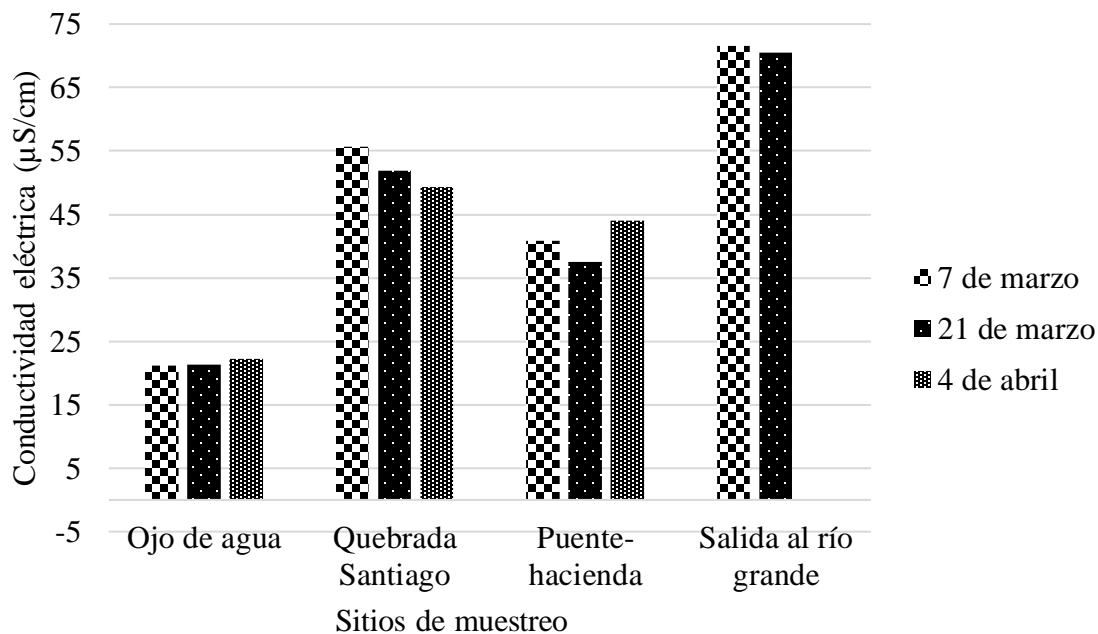


Figura 6. Conductividad eléctrica en las aguas de la microcuenca Cumes.

Temperatura. “La temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema” (Fuentes y Massol, 2002a). También es considerado como una medida de mayor o menor agitación de las moléculas o átomos que constituyen un cuerpo (Peña, 2006).

Los valores de temperatura se encuentran en un rango de 14.2 a 29.7 (Cuadro 4). Los valores menores se reportaron en sitios con mayor elevación, bosques ribereños mejor protegidos y con un caudal de agua mayor ya que impide que la energía del sol tenga un contacto directo con las aguas. La importancia de la temperatura para un cuerpo de agua reside en que este parámetro interviene en las reacciones bioquímicas y por ende, influye mucho en la reproducción, crecimiento y el status fisiológico de los seres vivos (Junta de Control de Recursos de Agua del Estado de California [WATERBOARDS], 2002).

Oxígeno disuelto. Indica la cantidad de oxígeno molecular (O_2) en forma de gas disuelto en el agua. La concentración de este gas es de vital importancia para algunos organismos vivos ya que interviene en los procesos metabólicos que genera energía para crecer y reproducirse (Car, 2003).

“El oxígeno disuelto es un indicador usado para evaluar la salud de un sistema acuático, debido a que la hipoxia o anoxia tienen un significativo efecto ecológico” (García, Puentes, y Fuentes, 2008a). Las concentraciones de oxígeno nos permiten determinar la condición acuática de las microcuencas en estudio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rangos de Concentración de oxígeno disuelto y consecuencias en ecosistemas acuáticos.

Concentración de OD (ppm)	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0 - 5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5 - 8	Acceptable	Concentraciones adecuadas
8 - 12	Buena	Alta diversidad acuática
> 12	Sobresaturada	Sistemas en plena función fotosintética.

Fuente: Asociación Civil de Investigación y Desarrollo, 2007.

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en índices de calidad de agua se le otorga una alta ponderación debido a que define en gran parte la biodiversidad y la supervivencia de la comunidad biótica (Pérez y Rodríguez, 2008). Debido a las diferencias en la temperatura de los sitios, el porcentaje de saturación resulta más útil para evaluar el oxígeno disuelto en los sitios y sus características (Cuadro 4).

Cuadro 4. Calidad de agua en función del porcentaje de saturación de oxígeno.

Calidad	% saturación de oxígeno disuelto (a la temperatura y salinidad prevalecientes en el ambiente)
Buena	90
Regular	89 – 75
Dudosa	74 – 50
Contaminada	< 50

Fuente: Fuentes & Massol, 2002.

A continuación, se presenta los resultados de la concentración de oxígeno disuelto expresado como porcentaje de saturación en las tres partes de la microcuenca, la parte alta (Ojo de Agua), media (Puente-hacienda) y baja (Salida al Río Grande de Otoro) (Cuadro 5). En el cual se puede observar una mayor saturación del gas en la parte baja de la microcuenca. Es importante recordar que a mayor temperatura el agua tiene menor capacidad del almacenamiento de oxígeno. Durante el tiempo de monitoreo se registró un valor mínimo 5.9 ppm y un valor máximo de 7.4 ppm. Según la tabla 4 esta concentración presenta una condición aceptable para los ecosistemas acuáticos el cual nos indica que las aguas de la microcuenca Cumes presenta concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto.

“La medición del oxígeno disuelto como porcentaje de saturación, facilita la comparación de sitios con distintas temperaturas, presiones o salinidades” (Fuentes y Massol, 2002a). Se presentan los resultados de porcentaje de saturación de oxígeno (Cuadro 5). El valor promedio de porcentaje de saturación de oxígeno en las aguas de la microcuenca Cumes es de 73%. Según la clasificación que se establece en el cuadro 4 las aguas no están contaminada y tienen una alta tendencia de pasar a la clasificación de carácter regular (75-89%).

En el punto de muestreo Salida al Río Grande se reportaron valores bajos de oxígeno disuelto, una posible explicación a esta diferencia es por la demanda de oxígeno por parte de las bacterias para descomponer la materia orgánica presente en el agua (partículas de hojas de árboles y trozos de madera).

Cuadro 5. Caracterización fisicoquímica de las aguas de la microcuenca Cumes.

Sitio	Fecha	pH	Salinidad (ppm)	Conductividad (μS/cm)	Temperatura ($^{\circ}$C)	Oxígeno Disuelto ppm	Saturación de oxígeno (%)
Ojo de agua	28 de Febrero	7.1	14.6	19.9	15.0	6.0	59.5
	7 de Marzo	7.7	15.6	21.1	20.7	6.8	68.9
	21 de Marzo	7.5	15.0	21.3	14.2	7.6	73.7
	4 de Abril	7.6	15.8	22.2	17.9	6.7	70.8
Quebrada Santiago	28 de Febrero	8.1	30.4	51.3	20.7	6.4	71.8
	7 de Marzo	8.4	32.1	55.7	19.2	6.4	69.0
	21 de Marzo	7.0	29.5	51.9	16.9	7.4	76.6
	4 de Abril	7.3	30.3	49.3	22.9	6.0	69.9
Puente- hacienda	7 de Marzo	8.0	27.1	40.9	25.0	5.9	71.4
	21 de Marzo	5.9	25.2	37.5	23.5	7.2	85.5
	4 de Abril	7.8	29.7	44.0	30.2	5.8	76.7
Salida al río grande	7 de Marzo	8.4	42.1	71.6	29.7	5.3	70.1
	21 de Marzo	7.9	41.3	70.5	28.6	6.6	85.8
	4 de Abril			no se registró caudal			

Parámetros bacteriológicos de la microcuenca Sirima.

A continuación, se presentan los resultados del análisis por parámetro durante el tiempo de monitoreo. El análisis se realizó con base en el mapa de uso y cobertura de las microcuencas, la herramienta Google Earth Pro y los resultados medidos en campo y laboratorio.

Coliformes totales. En la red hídrica, una de las fuentes de contaminación son las excretas de los animales (caballos). Estos animales son usados en la zona para el transporte del café desde el terreno hasta la carretera. La lluvia, pendiente y la forma del camino facilitan el transporte de los contaminantes (heces) hacia la red hídrica principal.

Cercanos al punto de muestreo Peña Blanca se encuentran tomas de agua para consumo humano. Según la Norma Técnica de Calidad de Agua Potable, el valor máximo permisible es de 3 UFC/ml. Según los muestreos realizados se reportó valores superiores, haciendo que el agua no está apta para consumo humano.

En la figura 5 se observa que el 20 de abril se registró una mayor concentración de coliformes totales la parte alta (Peña Blanca), media (Macuelizo) y baja (Joya de Ocotal) de la microcuenca. Esta variación debido a que el muestreo fue después de un evento de lluvia, mientras que los dos muestreos anteriores no se registraron lluvias. La lluvia produce un efecto de lavado de la superficie del suelo que esta al descubierto incluyendo las heces fecales de los animales y demás fuentes de contaminación.

Coliformes fecales. En la tabla 11 se presenta los resultados de los coliformes fecales. El lugar de muestreo peña blanca presentó una concentración poca o nula de coliformes fecales. La bacteria que predomina en el grupo de los coliformes fecales es la *E.coli* Una de las posibles razones de la poca o nula presencia de estas bacterias puede ser por el pH del agua. En el lugar se registraron valores de 5.3 a 5.72. La *E.coli* tiene un óptimo desarrollo en un pH de 7.2 (Canét, 2016). Asimismo, el resultado puede reflejar la ausencia de contaminantes en la parte alta de la microcuenca y la cercanía a un tipo de bosque conservado.

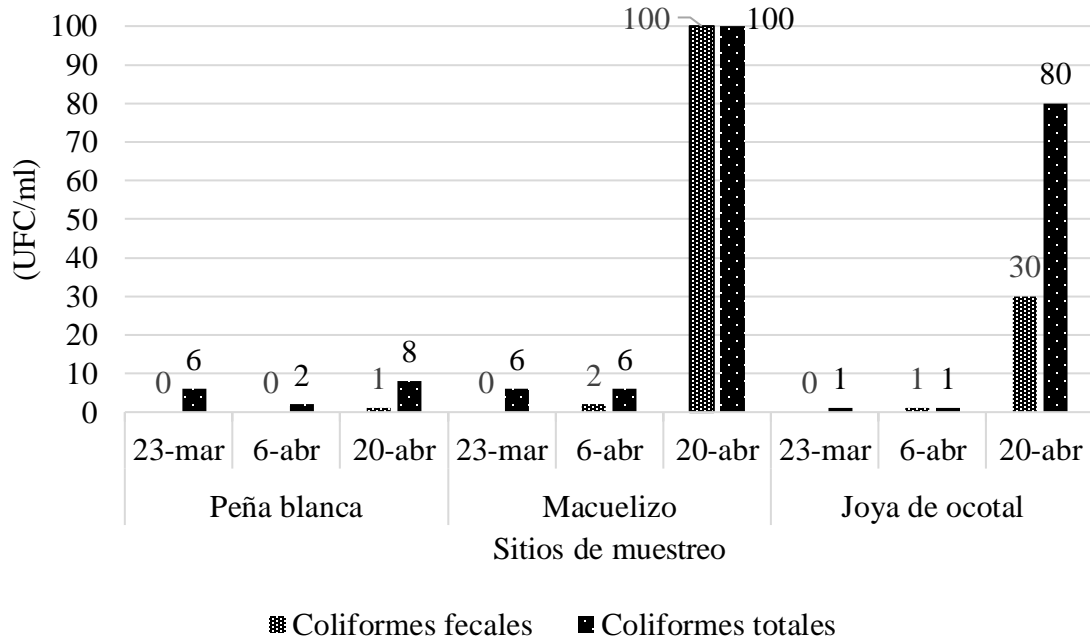


Figura 7. Caracterización bacteriológica de las aguas de la microcuenca Sirima.

Caracterización fisicoquímica de las aguas de la microcuenca Sirima.

pH. En el cuadro 6 se reportan los valores de pH el punto de muestreo Peña blanca los valores de este parámetro se encuentran dentro de un rango de 5.3 – 5.72. De esta parte de la microcuenca se extraen aguas a través de tuberías de policloruro de vinilo (PVC) y de metal (en lugares afectados por derrumbes) para dos caseríos (Peña Blanca y Macuelizo). Según la literatura valores menores a 6.5 causan corrosión a las tuberías de metal, el cual puede desprender metales. Es por ello que es recomendable hacer un análisis de metales pesados en este punto de muestreo. Asimismo, para evitar problemas de corrosión en tuberías es recomendable subir el pH del agua a través de un insumo químico.

Según la Norma Técnica Nacional para agua de uso Agrícola y Pecuario de Honduras se permite un rango de pH de 6.0 a 9.0 unidades para aguas destinadas al uso pecuario. Asimismo, la Norma Técnica de Calidad de Agua potable recomienda el consumo de agua con un pH de 6.5 a 8.5. Por ende, los resultados reportados (5.3 – 5.72) en la parte alta de la microcuenca indican que no está en el rango permisible. Generalmente, para los cuerpos de agua dulce no contaminados el rango de pH es de 6.0 a 9.0 (Fuentes y Massol, 2002c). Es importante recalcar que los valores de pH en la parte media y baja de la microcuenca están dentro del rango mencionado.

Salinidad. Este parámetro presenta un incremento en sus valores en la parte media y baja de la microcuenca, los valores promedios de la parte alta, media y baja de la microcuenca son 26 ppm, 50 ppm y 58 ppm respectivamente. Este parámetro determina la concentración de iones, algunos de estos iones se encuentran en los fertilizantes inorgánicos usados en la microcuenca. El incremento de la salinidad de en los ríos y lagos son causados por las

actividades humanas como la agricultura (Universidad de Barcelona, 2016). Los fertilizantes inorgánicos más usados en los caseríos de la microcuenca Sirima son: nutricafé, fórmula 18-49-0, fórmula 12-24-12, KCL granulado nitrato de amonio, urea, y fórmula cafetalera. Con una frecuencia de dos veces por año.

Conductividad eléctrica. Como se mencionó anteriormente la presencia de estos iones en el agua es de origen natural y antropogénico. En la figura 8 se muestran los valores de conductividad. valoren las zonas medias y bajas la conductividad se incrementa. Este incremento se puede sugerir el ingreso de fertilizantes inorgánicos a los cuerpos de agua debido a la fertilización del cultivo predominante en la zona (café), o al arrastre de minerales presentes en el suelo.

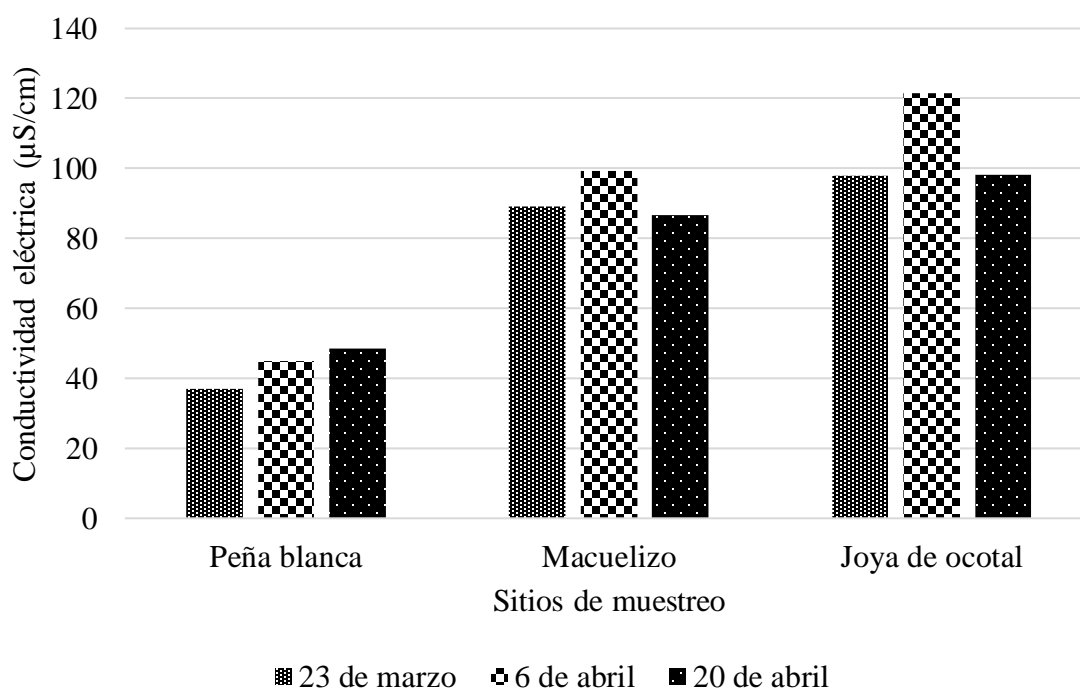


Figura 8. Conductividad eléctrica en las aguas de la microcuenca Sirima.

Temperatura. En el cuadro 6 se presentan los resultados de la temperatura durante la temporada de monitoreo. Los valores en la parte alta de la microcuenca son menores por la elevación del sitio de muestreo (1428 m.s.n.m). Estos valores favorecen a la retención del oxígeno (O₂) en el agua, ya que a valores menores de temperatura la solubilidad del oxígeno es mayor por cada unidad de volumen. Los valores promedios reportados en la parte alta, media y baja son 16, 21 y 23°C, respectivamente.

Oxígeno disuelto. En el Cuadro 6 se presentan los resultados de oxígeno disuelto obtenidos durante la temporada de muestreo. Se registraron valores que están en un rango de 5.9 a 7.6 ppm. estos valores indican que la concentración de oxígeno es adecuada para el ecosistema. Estos valores nos indican que las agua no presenta riesgos para organismos y especies

sensibles. Es importante mencionar que, en la época seca, la concentración en la parte baja (Joya de Ocotál) de la microcuenca presenta valores cercanos a 5 ppm. Ante la presencia de valores inferiores a los 5 ppm existe la probabilidad de desaparición de organismos y especies sensibles.

En el Cuadro 6 se presenta los valores de la concentración de oxígeno expresado como porcentaje de saturación. Estos valores nos permiten determinar la calidad del agua. En comparación con el cuadro 4 se determinó que la calidad de agua es dudosa y regular. Es importante resaltar que las aguas de la microcuenca Sirima presenta valores cercanos para convertirse en agua de calidad regular bajo esta clasificación (75 - 89%).

En la microcuenca Sirima se observó un tributario con presencia de contaminantes causado por las aguas mieles del café. Las aguas mieles del café están compuestas mayormente por materia orgánica del proceso de lavado y despulpado del café. Para la descomposición de estos contaminantes, los microorganismos requieren oxígeno soluble en el agua y a medida que avanza el proceso de descomposición el oxígeno se reduce en el agua. La descarga de las aguas contaminadas es justo después de la medición en la parte media de la microcuenca (Macuelizo), sin embargo, debido a procesos de dilución y aireación que favorecen el ingreso de oxígeno en su recorrido aguas abajo y compensan el consumo de oxígeno por descomposición de materia orgánica, el ingreso de aguas mieles no resulta en una reducción considerable del oxígeno disuelto en el sitio de muestreo aguas abajo.

Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica de las aguas de la microcuenca Sirima.

Sitio	Fecha	pH	Salinidad (ppm)	Conductividad (μS/cm)	Temperatura ($^{\circ}$C)	Oxígeno disuelto (ppm)	Saturación (%)
Peña Blanca	9 de Marzo	5.72	25.5	42.8	16.7	7.2	74.5
	23 de Marzo	5.30	21.4	36.9	13.5	7.6	73.7
	6 de Abril	5.71	26.8	44.9	18.3	6.6	69.7
	20 de Abril	5.65	29.3	48.5	17.3	6.8	70.4
Macuelizo	9 de Marzo	8.44	53.1	99.8	20.6	7.1	79.6
	23 de Marzo	6.51	47.3	89.0	18.4	7.0	73.9
	6 de Abril	7.85	54.0	99.3	24.3	6.1	72.5
	20 de Abril	7.93	47.2	86.6	21.3	6.9	77.4
Joya de Ocotál	9 de Marzo	8.55	61.6	116.3	22.5	7.2	83.9
	23 de Marzo	7.94	52.2	97.8	20.8	7.6	85.2
	6 de Abril	8.58	64.4	121.6	26.8	5.9	74.0
	20 de Abril	8.05	53.5	98.1	24.6	5.9	71.4

Resultados de caudal en la microcuenca Cumes.

En el gráfico 3 se presentan los resultados del caudal medidos en las tres partes de la microcuenca y la quebrada Santiago. La quebrada ojo de agua presenta un caudal promedio de 108.54 L/s, el cual es mayor en comparación con la quebrada Santiago. La diferencia del caudal se debe a que tiene un área de recarga hídrica más grande y con mayor grado de conservación.

Las áreas de recarga hídrica de la microcuenca Cumes suplen una parte de la demanda hídrica del casco urbano de Jesús de Otoro y de las actividades agrícolas. Muchas veces la demanda hídrica en general es alta, llegando al punto de no respetar el caudal ecológico para la red hídrica principal. Este es el caso de la Salida al Río Grande (parte baja de la microcuenca) en donde no se tomaron datos debido a la ausencia del caudal el 20 de abril.

En la microcuenca Cumes, en la parte media de la microcuenca (Puente-hacienda) hay una variación de 153.83 L/s a 53.51 L/s debido a que la quebrada Ojo de agua cubre una parte de la demanda hídrica del casco urbano de Jesús de Otoro. Asimismo, en la parte baja de la microcuenca (salida al Río Grande de Otoro) el caudal es apenas de 1.29 L/s y en dos ocasiones hubo ausencia de caudal en el cauce debido a las extracciones de agua-arriba.

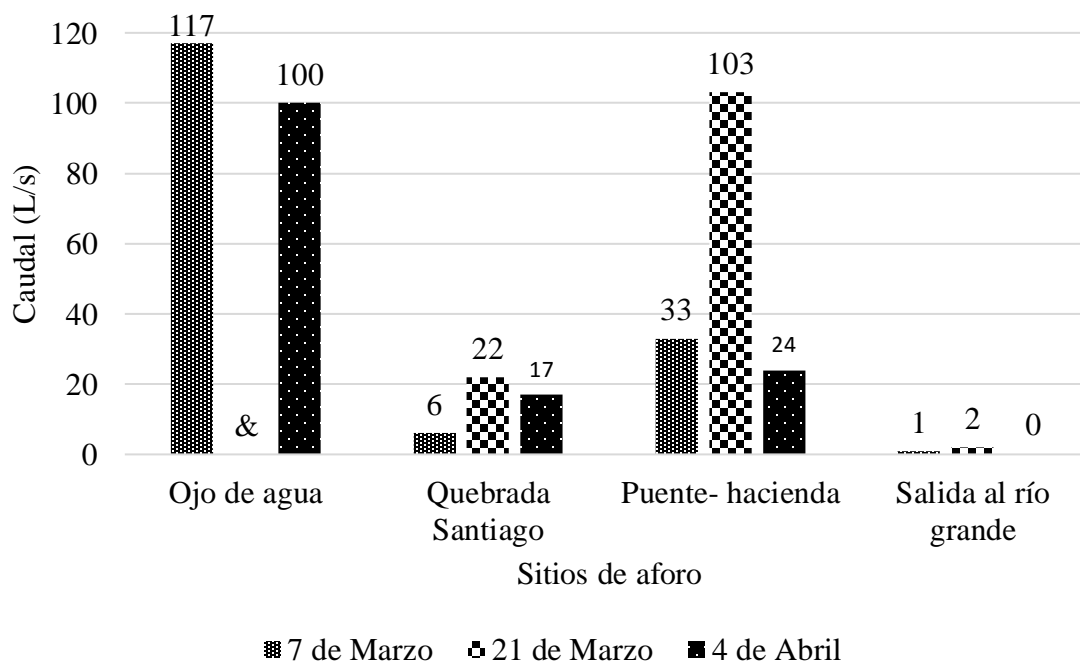


Figura 9. Resultados de caudales en las tres partes de la microcuenca. &Dato no tomado

Resultados de caudal en la microcuenca Sirima.

En el grafico 4 se presentan los caudales promedios en las tres partes de la microcuenca. Presenta un incremento en la parte media y baja de la microcuenca. Esto debido a que en esta parte de la microcuenca predomina el cultivo del café, el cual se cultiva sin sistema de riego. De esta forma el agua aumenta su caudal por aporte de los tributarios. Durante el estudio se observó que ante un evento de lluvia el caudal aumenta mayor al 100%.

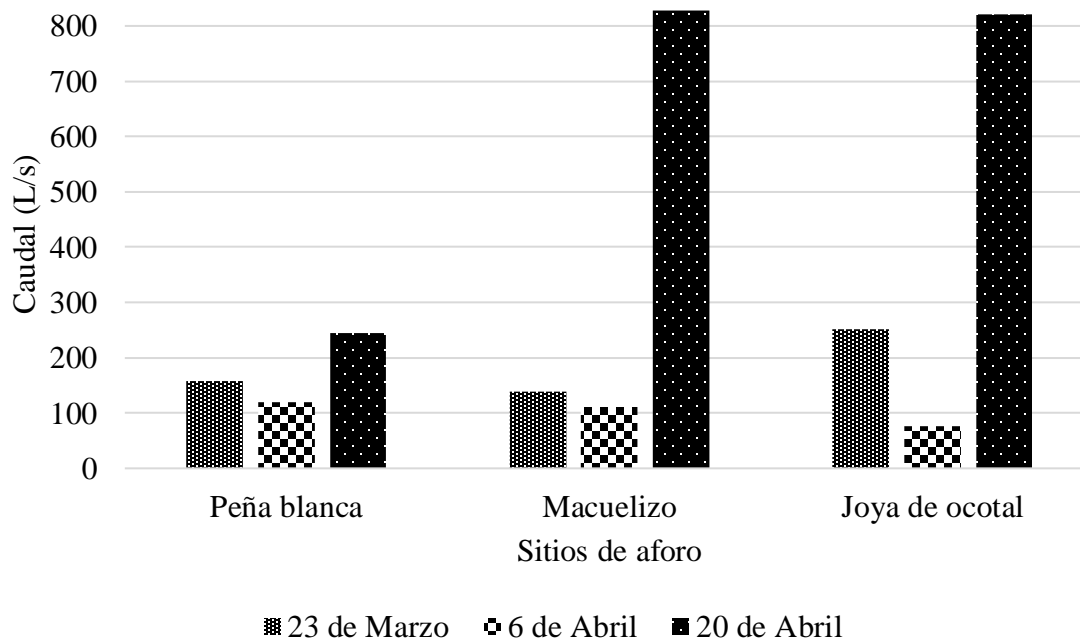


Figura 10. Resultado de caudales en las tres partes de la microcuenca Sirima.

4. CONCLUSIONES

- En la microcuenca Cumes, la principal amenaza a los ecosistemas acuáticos resulta de la extracción de agua para consumo durante la época seca y a la ausencia de caudal ecológico debido a la alta demanda de agua para consumo humano e irrigación. En la microcuenca Sirima, las extracciones de agua no representan al momento una amenaza para el ecosistema acuático o para el mantenimiento de caudal permanente en el río en su parte baja.
- En las microcuencas Cumes y Sirima las concentraciones de oxígeno son adecuadas para los ecosistemas acuáticos. A lo largo de la microcuenca, las variaciones de oxígeno están relacionadas mayormente con los cambios de temperatura y los procesos de aireación en los cauces y no se observan cambios significativos por ingreso de aguas residuales durante el periodo evaluado.
- En el tributario Ojo de Agua, pese a encontrarse en la misma zona de elevación y bajo las mismas condiciones geológicas, los parámetros de calidad de agua evaluados indican tener un agua de mejor calidad que la Quebrada Santiago. El efecto se refleja en una mayor concentración de oxígeno disuelto, y menor concentración en la conductividad eléctrica, la salinidad y los coliformes.
- En ambas microcuencas, las acciones para el manejo deben abarcar principalmente las zonas medias y bajas ya intervenidas. El modelo de protección de JAPOE se refleja en los indicadores de calidad de agua evaluados y debe ser replicado en la microcuenca Sirima.

5. RECOMENDACIONES

- En la microcuenca Cumes, y en particular en la quebrada Santiago se recomienda promover programas con enfoques en reducir el uso de los insumos químicos y en la conservación de suelos. Asimismo, promover el uso de insumos amigables con el medio ambiente.
- Promover el uso de sistemas eficientes de riego en los productores de las microcuencas y el establecimiento de alternativas de cosecha de agua lluvia con el fin de reducir las extracciones durante la época seca y mantener caudal ecológico en el río Cumes.
- Capacitar a la población en general sobre la importancia de consumir agua tratada previo al consumo, con la finalidad de reducir los posibles brotes de infecciones y enfermedades transmitidas por el agua en la población.
- Se recomiendan estrategias de intervención para la protección de la parte alta de la microcuenca Sirima. Estas áreas están sujetas a una acelerada deforestación para la expansión de cultivos de café.
- Continuar realizando estudios para evaluar el impacto de las aguas mieles durante toda la época de corte y procesamiento de café. Asimismo, monitorear nutrientes y agroquímicos en las zonas de producción agrícola en los que se reportaron incrementos en la conductividad y salinidad.
- Realizar estudios específicos de caudal ecológico requerido a lo largo del año como base para futuras regulaciones sobre extracciones de agua en los tributarios.

6. LITERATURA CITADA

- Adam , W., & Bauder, J. (15 de noviembre de 2012). *Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales*. Universidad Estatal de Montana Programa de Extención en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales. Recuperado: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Corrosivity%20&%20Hardness%202012-11-15-SP.pdf.
- Asociacion Civil de Investigacion y Desarrollo. (22 de junio de 2007). *Oxígeno Disuelto*. Asociacion Civil de Investigacion y Desarrollo. Recuperado de: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf.
- Ávila , S., & Estupiñan, S. (2013). Calidad sanitaria del agua del Parque Natural Chicaque. *NOVA - Publicación Científica en Ciencia Biomédica*, 11(20), pp. 45 - 51.
- Canét, J. (19 de enero de 2016). *Escherichia Coli: características, patogenicidad y prevención*. Especialistas en higiene y seguridad alimentaria, cosmetica y farmaceutica. Recuperado de: <http://www.betelgeux.es/blog/2016/01/19/escherichia-coli-caracteristicas-patogenicidad-y-prevencion-i/>.
- Cardona, A. (2010). *Estrategia Nacional de Manejo de Cuencas en Honduras*. Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre [ICF]. Recuperado de icf.gob.hn/wp-content/uploads/2015/08/Estrategia-Nacional-de-Cuencas.pdf.
- Cisneros, Y. (2016). *Proyección de escenarios futuros utilizando el modelo hidrológico WEAP en la microcuenca Santa Inés, Honduras (Tesis de pregrado)*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Francisco Morazán, Honduras.
- Cuba, Z., Suárez, J., Schiettecatte, W., Ruiz, M., & Hernández, A. Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre el proceso de erosión en suelos de la cuenca del río Cuyaguateje. *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), pp.76 - 83.
- Fuentes, F., & Massol, A. (16 de julio de 2002a). *Nutrientes y Gases: Oxígeno Disuelto*. Recinto Universitario Mayagüez, Universidad de Puerto Rico. Recuperado de: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-oxigeno.pdf>.
- Fuentes, F., & Massol, A. (16 de julio de 2002b). *Parámetros físico-químicos: Conductividad*. Recinto Universitario Mayagüez, Universidad de Puerto Rico. Recuperado de : <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-conductividad.pdf>.

- Fuentes, F., & Massol, A. (16 de julio de 2002c). *Parámetros físico-químicos: pH*. Recinto Universitario Mayagüez, Universidad de Puerto Rico. Recuperado de: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-ph.pdf>.
- Fuentes, F., & Massol, A. (16 de julio de 2002d). *Parámetros físicos-químicos: Salinidad*. Obtenido de Recinto Universitario Mayagüez, Universidad de Puerto Rico: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-salinidad.pdf>.
- Fuentes, F., & Massol, A. (16 de Julio de 2002e). *Parámetros físicos-químicos: Sólidos totales*. Recinto Universitario de Mayagüez Universidad Nacional de Puerto Rico. Recuperado de: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-tds.pdf>.
- García, N., Puentes, O., & Fuentes, J. (2008). Contaminación orgánica en el sector de la Bahía de Buena Vista cercano a la desembocadura del Río Guanó, Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Química*, 20 (3), pp. 39 - 45.
- Guillen, R. (2017). Situación de los Recursos Hídricos en Honduras. En E. Colom, & R. Artiga, *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica: Hacia una gestión integrada* (págs. 57 - 67). Tegucigalpa, Honduras: Global Water Paternship [GWP].
- Instituto de Estudios Ambientales [IDEA]. (3 de setiembre de 2013). Agencia de Noticias de la Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1957-gobernanza-del-agua>.
- Junta de Control de Recursos de Agua del Estado de California [WATERBOARDS]. (3 de enero de 2002). *Folleto Informativo Temperatura*. Junta de Control de Recursos de Agua del Estado de California [WATERBOARDS]. Recuperado de: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3120sp.pdf.
- La motte. (9 de enero de 2014). *Water Quality Test Kit Instruction Manual 5860-01*. Recuperado de: <http://www.lamotte.com/en/water-wastewater/individual-testkits/5860-01.html>.
- Mejía, M. (2005). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras (Tesis de maestría)*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], Turrialba.
- Mitchell, M., & Stapp, W. (1994a). pH. En *Field Manual for Water Quality Monitoring An Enviromental Education Program for Schools* (pp. 43-46). Thompson-Shore.
- Mitchell, M., & Stapp, W. (1994b). Temperature. En *Field Manual for Water Quality Monitoring An Enviromental Education Program for Schools* (pp. 51 - 53). Thompson-Shore.

- Nutriterra. (30 de abril de 2008). *Control de alcalinidad de agua de riego*. Nutriterra especialistas en nutricion vegetal. Recuperado del sitio web: https://www.nutriterra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/control_alcalinidad.pdf.
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica: Agua Subterráneas - Acuíferos*. Recuperado de: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/06/Cartilla-t%C3%A9cnica_aguas-subterr%C3%A1neas-acu%C3%ADferos.pdf.
- Peña, M. (08 de 19 de 2006). *Temperatura*. Universidad de el Salvador. Recuperado de: https://academica.ues.edu.sv/uiu/elementos_estudio/ciencias_naturales/fisica/termodinamica/termodinamica.pdf.
- Pérez, A., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56 (4), pp. 1905-1918.
- Poirson, J., Otto, P., Kenmore, P., Caipo, M., Desmarchelier, P., & Arellano, S. (2013). *Escherichia coli*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i2530s/i2530s03.pdf>.
- Prieto, C. (2002). *El Agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Bogotá: Fundación Universidad Central.
- República de Honduras Ministerio de Salud. (1995). Norma Técnica para la calidad de Agua Potable. Republica de Honduras, Ministerio de Salud. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/cdcagua/normas/lac/11.HON/01.norma.pdf>.
- Rugama, M., & Monserrat, R. (2016). Efecto vertido aguas mieles en calidad físico - química del agua microcuenca Rio Cuspire Yalí, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estelí*. 7, pp. 43-53.
- Sanabria, D. (2006). *Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas*. Colombia: Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>.
- Sánchez, R., & Ibarra, M. (2007). Generalidades de la temperatura. En I. M. Sánchez Rigoberto, *Temperatura* (pp. 30-31). Ciudad de México: Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología.
- Tetzaguic Car, C. (2003). *Sistematización de la información de calidad del agua del Lago de Amatitlán con parámetros que determinan su contaminación secuencial (Tesis doctoral)*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Universidad de Barcelona. (26 de Febrero de 2016). *Las actividades humanas aumentan la salinidad del agua dulce*. La ciencia es noticia. Recuperado de: [www.Noticias/Las-actividades-humanas-aumentan-la-salinidad-del-agua-dulce](http://www.noticias/las-actividades-humanas-aumentan-la-salinidad-del-agua-dulce).

Van der Zee Arias, A., & Alain Van der Zee, J. (2012). “*Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano*”. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. Recuperado de http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/tomo_i_corredor_seco.pdf.

Yepez, M. (2015). *Los Recursos Naturales y Las Cuencas Hidrográficas (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.

7. ANEXOS

Anexo 1. Ficha de campo

Datos generales del sitio

Fecha: _____

Microcuenca: _____

ID del sitio: _____

Tipo de sitio: _____

Responsable: _____

Condiciones climáticas previas al muestreo

Porcentaje de flujo: En aumento ___ En disminución___ Estable___ Desconoce___

Presencia de lluvias en días anteriores en los sitios de muestreo: Sí___ No___

Si la respuesta es sí especifique. _____

Condiciones climáticas	Temperatura (°C)	Presencia de algas
Cielos claros ___	< 10 ___	Ninguna ___
Parcialmente nublado ___	10 – 20 ___	Dispersa ___
Nublado ___	21 – 25 ___	Moderada ___
Brisa ___	26 – 30 ___	Densa ___
Lluvia suave ___	31 – 35 ___	Flotante ___
Lluvia fuerte ___	36 – 40 ___	
	> 40 ___	

Olor del sitio	Claridad del agua
Ninguno ___	Clara ___
H ₂ S (huevo) ___	Sólidos suspendidos ___
Cloro ___	Levemente turbia ___
Combustible ___	Muy turbia ___
Vegetales descompuestos ___	Otros ___
Fosa séptica ___	
Otros ___	

Información del sitio de muestreo

Existe erosión en los márgenes del sitio de muestreo: Sí ___ No ___

Describe: _____

Usos del suelo en el sitio

Usos del agua en el sitio

Bosque de conífera ____
 Bosque latifoliado ____
 Agricultura ____
 Ganadería ____
 Humedal ____
 Suelo desnudo ____
 Otro ____

Consumo humano ____
 Irrigación ____
 Pesca ____
 Recreación ____
 Otros ____

En el caso que fuera otro especifique. _____

Análisis In- Situ

Riesgos de contaminación en el sitio

Basura Domiciliaria ____
 Efluentes domésticos ____
 Ganadería ____
 Pesticidas ____
 Residuos mineros ____
 Jabones y grasa ____
 Fertilizantes ____
 Otros ____

Tipo de río

Permanente ____
 Intermitente ____

Velocidad del agua

Baja (0-1 m/s) ____
 Media (1-5 m/s) ____
 Alta (>5 m/s)

Datos In- Situ

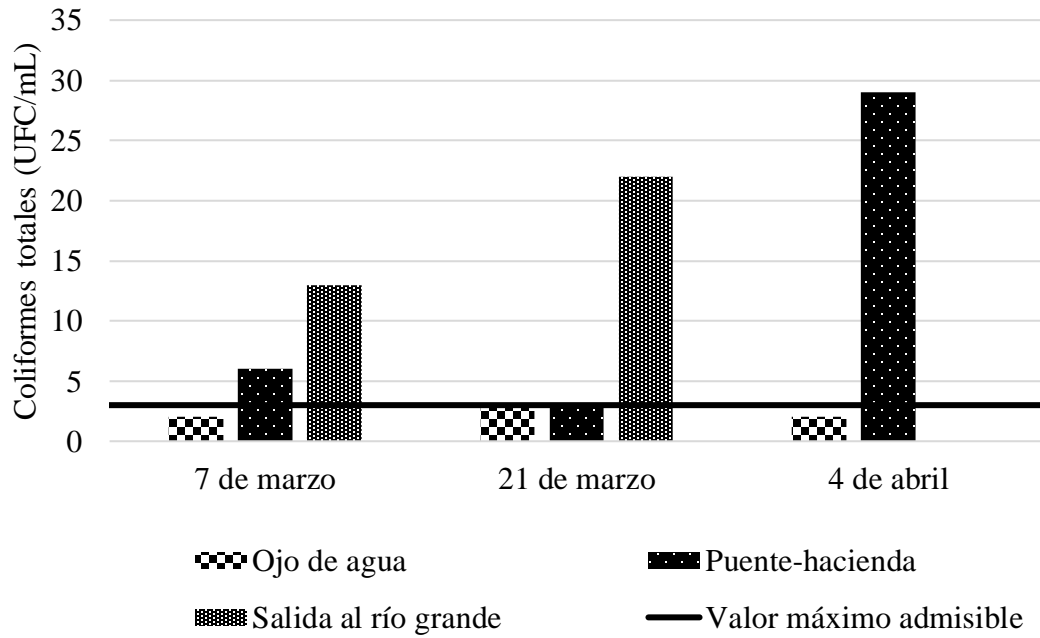
Temperatura (°C) _____
 pH _____
 Oxígeno disuelto (ppm) _____
 Salinidad (ppm) _____
 Conductividad (µS/cm) _____
 TDS (ppm) _____

Responsable del muestreo: _____

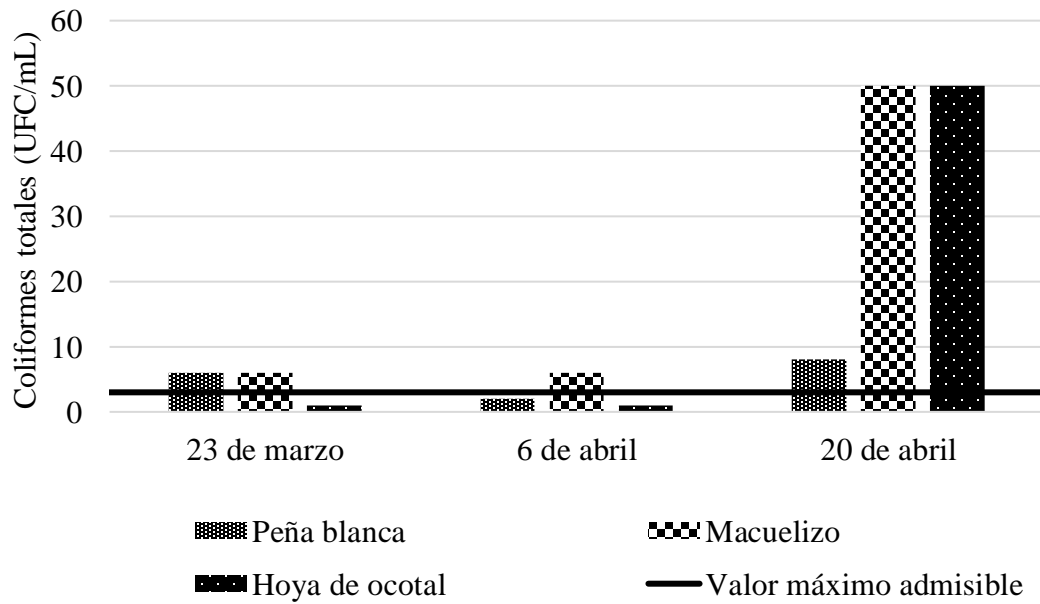
Registro de localización

ID de la muestra	Abscisa (x)	Ordenada (y)

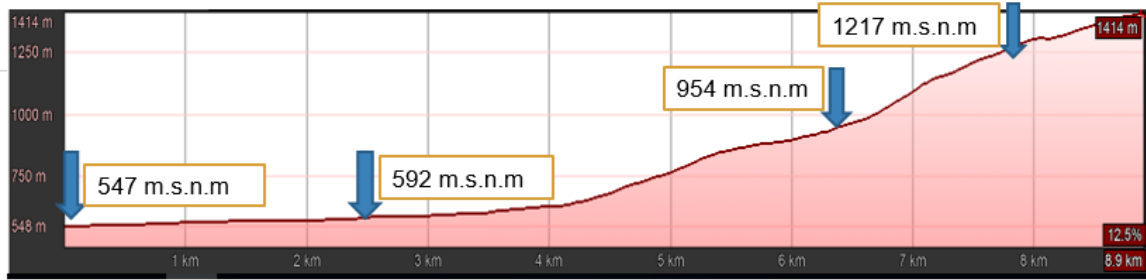
Anexo 2. Coliformes totales en las tres partes de la microcuenca Cumes y la representación de valor máximo permisible para un cuerpo de agua.



Anexo 3. Coliformes totales en las tres partes de la microcuenca Sirima y la representación del valor máximo permitido.



Anexo 4. Perfil de elevación de los sitios de muestreo en la microcuenca Cumes.



Anexo 5. Perfil de elevación de los sitios de muestreo en la microcuenca Sirima.

