



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**“EVALUACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES Y
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LOS RÍOS SAN
ROMÁN Y UCUM TRIBUTARIOS AL RÍO HONDO
DURANTE LAS TEMPORADAS DE LLUVIAS Y SECAS”**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE

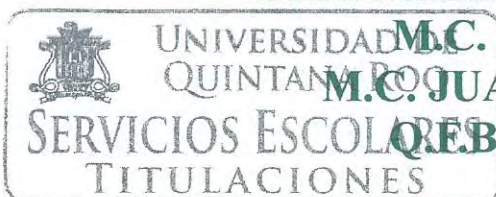
**LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS
NATURALES**

PRESENTA
JONATHAN ENRIQUE CONTRERAS COBOS

DIRECTOR
M.C. TERESA ÁLVAREZ LEGORRETA

ASESORES
DRA. MARÍA CONCEPCIÓN ORTÍZ HERNÁNDEZ

M.C. BENITO PREZAS HERNÁNDEZ
M.C. JUAN ANTONIO RODRÍGUEZ GARZA
M.C. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2016.



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL
PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:


M.C. TERESA ÁLVAREZ LEGORRETA

ASESOR:


DRA. MARÍA CONCEPCIÓN ORTÍZ HERNÁNDEZ

ASESOR:

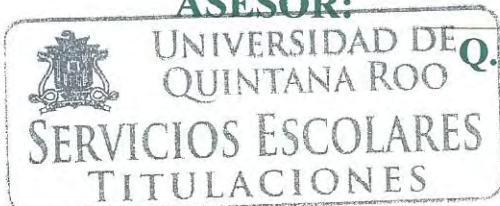

M.C. BENITO PREZAS HERNÁNDEZ

ASESOR:


M.C. JUAN ANTONIO RODRÍGUEZ GARZA

ASESOR:


Q.F.B. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2016.

Agradecimientos

A Dios por darme las fuerzas necesarias para nunca perder la fe en momentos difíciles.

A todos aquellas personas que aportaron su granito de arena para mi formación profesional.

A mi abuelita Thelma Rivero Oropeza y a mi tía Minerva Contreras Rivero por su comprensión, soporte y cariño incondicional que siempre me han dado en todo momento.

A mis padres Verónica Cobos y Jaime Contreras, por brindarme su apoyo cuando lo he necesitado.

A todos mis hermanos y amigos que estuvieron en todo este trayecto.

De manera muy especial y con mucho cariño, mis más sinceros agradecimientos a la Dra. Teresa Álvarez Legorreta, por su apoyo, paciencia, y sobre todo consejos.

Un agradecimiento a todos los integrantes de mi comité tutorial de tesis: M.C Benito Prezas Hernández, Dra. María Concepción Ortiz Hernández, M.C. Juan Antonio Rodríguez Garza y Q.F.B José Luis González Bucio.

Al colegio de la Frontera Sur unidad Chetumal, por abrirme sus puertas para la realización de mi tesis.

Dedicatoria

A mamá Thelma:

Con mucho amor;

Por su apoyo, tiempo y

Esfuerzo durante toda mi vida.

De Su nieto Jonathan Contreras

Índice

1. Introducción:	1
2. Antecedentes	4
3. Marco teórico	5
4. Justificación	10
5. Área de estudio	10
6. Objetivos	13
7. Metodología:	13
7.1 Trabajo de campo:	14
7.2 Trabajo de laboratorio:	15
8. Análisis de resultados	16
8.1 Análisis estadísticos:	16
8.2 Comportamiento Espacial de los indicadores de calidad del agua en los ríos San Román y Ucum, tributarios del río Hondo.	17
8.2.1 Temporada de secas	17
8.2.2 Temporada de lluvias	18
8.3 Comportamiento temporal de los indicadores de calidad de agua en los ríos San Román y Ucum, tributarios del río Hondo.	28
8.3.1 Río San Román como afluente al río Hondo.	28
8.3.2 Río Ucum como afluente al río Hondo.	29
9. Discusión	30
10. Conclusiones y recomendaciones	39
11. Referencia bibliográfica:	40

Índice de figuras

Figura 1: mapa de ubicación del Río Hondo y los sitios de toma de muestras.	11
Figura 2. Valores de temperatura (°C) a un metro de profundidad de la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo. Durante la temporada de lluvia de julio a octubre del año 2011.....	19
Figura 3. Valores de conductividad (µs) promedio a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo. Durante la temporada de lluvias, julio a septiembre 2012.....	20
Figura 4. Valores de turbidez (UTN) promedio a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.	21
Figura 5. Concentración promedio de potencial de hidrogeno (unidades de pH) a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo. Durante la temporada de lluvias, julio a septiembre del año 2012.	22
Figura 6. Concentración promedio de oxígeno disuelto (mg/l como O₂) promedio a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo. Durante la temporada de lluvias, julio a septiembre del 2012.	23
Figura 7. Concentración de nitratos (mg/l como N) en muestras a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.	25
Figura 8. Concentración de nitritos (mg/l como N) en muestras a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.	25
Figura 9. Concentración de amonio (mg/l como N) en muestras a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.	26
Figura 10. Concentración de ortofosfatos (mg/l como P) en muestras a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.	26

Índice de tablas

Tabla 1. Valores medios en la temporada de secas (Marzo-Junio) de 2011, obtenidos en dos ríos tributarios del río Hondo.....	17
Tabla 2. Concentraciones promedio y desviación estándar de parámetros físico-químicos en la temporada de lluvias a un metro de profundidad de la columna de agua en cuatro sitios estratégicos del río Hondo.	18
Tabla 3. Concentraciones promedio y desviación estándar de nutrientes en la temporada de lluvias a un metro de profundidad de la columna de agua en cuatro sitios estratégicos del río Hondo.....	24
Tabla 4: Valores promedio y desviación estándar de parámetros físico-químicos y nutrientes tomados a un metro de profundidad de la columna de agua en la desembocadura del río San Román en dos temporadas climáticas.....	28
Tabla 5: Valores promedio y desviación estándar de parámetros físico-químicos y nutrientes tomados a un metro de profundidad de la columna de agua en la desembocadura del río Ucum en dos temporadas climáticas.....	29
11. Referencia bibliográfica:.....	40
Tabla 6. Concentraciones de parámetros físico-químicos y nutrientes como herramienta de calidad de agua del río Hondo reportados en literatura cronológicamente.	45
Tabla 7. Comparación de la normatividad vigente de los parámetros físico-químicos y nutrientes de calidad de agua para abastecimiento en la república mexicana en la Temporada de secas.	46
Tabla 8. Comparación de la normatividad vigente de los parámetros físico-químicos y nutrientes de calidad de agua para abastecimiento en la república mexicana en la Temporada de lluvias.....	47
Tabla 9. Concentraciones promedio y desviación estándar de parámetros físico-químicos y nutrientes como herramienta de calidad de agua de los ríos Ucum y San Román.	48

1. Introducción:

El agua por el grado de importancia que tiene, es un elemento clave para la vida en nuestro planeta, por desgracia, no toda el agua existente en el mundo es accesible para los seres vivos que requieren de ella. De su volumen total un 97.13% lo ocupan los océanos, el 2.24% los casquetes polares y los glaciares, el 0.61% las aguas subterráneas y por último el 0.02% ríos, lagos y corrientes. (Snoeyink y Jenkins, 1996)

En México, el agua es un tema de seguridad nacional, ya que busca la noción de relativa estabilidad, y de cierta calma social y económica, que es necesaria para el desarrollo de nuestro país. Hoy en día, se ha convertido en un elemento clave de las políticas ambientales por su gran importancia, y más aún, es un factor importante de la política de desarrollo social y de la política económica; la disponibilidad de este recurso es de suma importancia para el desarrollo de algunas regiones del país y conservar su calidad es sumamente importante para la salud y el bienestar de la población. (CONAGUA, 2006).

En los ríos que desembocan en el mar se origina cerca del 80% de los contaminantes que afectan las franjas costeras. Un río es una corriente de agua que va de un lugar a otro. Generalmente, los ríos fluyen de lugares más altos a lugares más bajos (Kalman, 1947). Y tienen la particularidad de concentrar los contaminantes que captan en las cuencas. Algunos puntos clave de éstas se encuentran en la costa marina, donde precisamente existen ecosistemas altamente sensibles para la reproducción de especies tanto de agua dulce como salobre, como son los estuarios. Básicamente se produce alteración de las funciones ecológicas, reducción de la diversidad biológica, daño a los hábitats acuáticos y contaminación de los cauces bajos y ecosistemas marinos, así como efectos en la salud humana. (Kraemer, Chouhury y Kampa, 2000).

La contaminación en cuerpos de agua dulce, está íntimamente ligada a la demanda de nutrientes presentes, debido a su importancia para el crecimiento fitoplanctónico, y para el óptimo control de la eutrofización. (Smith et al. 1999).

El ingreso de nutrientes contenidos en las descargas municipales y los provenientes por la escorrentía agrícola han producido un incremento en la eutrofización de las aguas costeras y en algunos cuerpos de aguas dulces. El flujo a través de los ríos de los tres elementos esenciales de la producción biológica (carbono, nitrógeno y fósforo), muestra una concentración en las costas dos veces mayor que los valores en condiciones originales, lo que ha afectado el ciclo natural de estos elementos (Mckenzie y Lea Mat, 2002).

Las principales fuentes fijas de contaminación corresponden a las plantas industriales, desechos municipales y sitios de extracción y explotación como la agrícola, aprovechamiento forestal, minería, etc. Los contaminantes presentes en las fuentes industriales son por lo general nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos específicos, radionúclidos y cambios en las propiedades físico-químicas específicas como pH, salinidad, demanda de oxígeno, dureza, etc. Por otro lado los componentes de algunos desechos son microorganismos patógenos, nutrientes y carbono orgánico que pueden estar combinados con aceites, grasas y productos químicos derivados de las industrias y eventualmente pueden entrar en las corrientes de desechos domésticos a través de los sistemas de alcantarillado y la escorrentía pluvial (GESAMP, 2001).

En nuestro país, en los cuerpos de agua superficial, representado específicamente por los ríos, existe un escurrimiento anual aproximado de 400 km³, tomando en cuenta las entradas de otros países y excluyendo las salidas. Aproximadamente, el 87% de este escurrimiento se presenta en los 39 ríos con los que cuenta México, en el cual se encuentra enlistado el río Hondo como una de las principales fuentes de agua dulce, con las que cuenta el Estado de Quintana Roo. (CONAGUA, 2006)

El río Hondo es considerado como el único río del estado de Quintana Roo, el cual es una falla geológica y frontera natural con el país de Belice con 125 Km de longitud, sus efluentes más importantes son el río Azul y corrientes como la de San Román, arroyo Sabido y arroyo Chac, este último desemboca en la Bahía de Chetumal (CONABIO, 2000)

La calidad del agua del río Hondo, se ha visto afectada por las diversas actividades humanas que se realizan en torno a este cuerpo de agua. Entre las actividades que constituyen fuentes permanentes de contaminación, están las relacionadas con la actividad agrícola y la aplicación en grandes cantidades de fertilizantes químicos y plaguicidas que ocurre en ambas riberas tanto la de la parte de México como la de Belice. Aunado a esto, se encuentra también la problemática de los lixiviados de fosas sépticas de las comunidades que habitan a lo largo del río (Álvarez, 2010).

El análisis de constituyentes físico-químicos de temperatura, turbidez, salinidad, pH, oxígeno disuelto y conductividad son de suma importancia para evaluar la condición o el estado de salud del río Hondo, en relación con factores de estrés que pueden ser de origen natural o antropogénico, como el enriquecimiento de nutrientes. Por lo que en este trabajo se evaluará la concentración de los siguientes nutrientes: nitritos, nitratos, amonio y ortofosfatos.

Para hacer un manejo adecuado en el río Hondo, es necesario tener un diagnóstico general del área de muestreo para determinar el estado de salud de este cuerpo de agua, ya que proporcionará las herramientas necesarias para tomar decisiones para su óptimo uso y aprovechamiento.

El río Hondo es una fuente primordial de agua dulce para la zona sur del Estado de Quintana Roo, CONABIO (Arriaga et al., 1998), es por eso la necesidad de contar con información confiable de la calidad de agua, para lograr un manejo eficiente y efectivo de este recurso.

2. Antecedentes

El río Hondo es hábitat de diversas especies tanto de animales como de plantas, hay especies que se encuentran en peligro de extinción o en amenaza. Cabe mencionar, que este cuerpo de agua contiene las mayor abundancia de especies de nutria (*Lutra longicaudis*), manatí (*Trichechus manatus*), y especies importantes de aves, entre otros (CONABIO, 2000).

Se han realizado algunos estudios el río Hondo, sobre los niveles de plaguicidas organoclorados en sedimento, los principales afluentes México y Belice con desembocadura en el río Hondo. Se consideraron 14 puntos partiendo de la Unión, hasta la desembocadura del río Hondo en la bahía de se concluyó que al río Hondo llega gran diversidad de contaminantes provenientes de la actividad agrícola de la zona cuyo receptor final son los sedimentos de la bahía y, en caso de resuspenderse, los sedimentos serían una fuente potencial de contaminantes que podrían liberarse a la columna de agua y ocasionar efectos tóxicos a la biota: (Ortiz, 2007).

Sin embargo, debido a las actividades humanas a lo largo de la ribera del río Hondo, como son las zonas agrícolas y su paso por los puntos principales hacia las poblaciones, también está sujeto a diversas fuentes de contaminantes como: el transporte atmosférico de las aplicaciones de plaguicidas en los programas de erradicación de vectores y en las áreas de cultivo, los procesos de combustión de gasolinas, caña de azúcar y leña. También las descargas de aguas residuales no tratadas mezcladas con aguas pluviales y la lixiviación de fosas sépticas y tiraderos de basura a cielo abierto son fuentes importantes de contaminación (Alvarez-Legorreta, 2010)

Existen algunos estudios que se ha realizado en el río Hondo relacionado con su papel como fuente principal de contaminación hacia la bahía de Chetumal, pero no se cuenta con la información necesaria para determinar el volumen de descarga de contaminantes hacia la bahía: (Ortiz-Hernández, et al.1997b; Alvarez-Legorreta, 1998; Euán-Avila et al. 2002; Alvarez-Legorreta, 2007).

Las concentraciones más altas de contaminantes se han localizado en la desembocadura del río Hondo. Estas concentraciones se han considerado bajas en

relación con otras regiones de México; aunque, varios de los plaguicidas detectados están incluidos en la lista de sustancia químicas peligrosas de importancia global por el programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (Ortiz *et al*, 1997a; Noreña-Barroso *et al.*, 1998; Alvarez y Sáenz, 1999; Alvarez-Legorreta *et al*, 2000; Sáenz-Morales, 2001).

En el estudio de Magnon (1996) se analizó la problemática del uso de los recursos hídricos y la identificación de los elementos para su manejo, protección y preservación de la cuenca hidrológica del río Hondo, mediante el análisis de bicarbonatos (161-209.8 mg/l), sulfatos (154-959.8 mg/l) , cloruros (27.8- 283.9 mg/l), sólidos totales (558-2158 mg/l), sólidos suspendidos (9-35 mg/l), sólidos sedimentados (0.03-0.2mg/l), dureza total (829-1190 mg/l), alcalinidad total (132-172 mg/l), conductividad eléctrica (1250-1700 μ mhos/cm), la contaminación por coliformes fecales, así como grasas y aceites, que se presenta con bajos valores principalmente en las localidades de Subteniente López, Cacao y entre Allende y Agua Dulce con un máximo de 3.9 mg/l.

3. Marco teórico

Contaminante:

Los contaminantes pueden estar en la atmósfera en forma de gases o de finas partículas que pueden resultar irritantes para los pulmones, ojos y piel, como sustancias disueltas o suspendidas en el agua de beber y como carcinógenos o mutágenos en alimentos o bebidas. Sustancia indeseable presente en el medio ambiente, generalmente con efectos peligrosos para la salud (Diccionario Mosby, 1999)

Contaminación acuática:

Es una alteración perjudicial con características físicas, químicas y biológicas que pueden afectar al medio ambiente acuático, salud humana, recursos naturales, áreas urbanas y en general al desarrollo y economía del país. (SEDUE, 1985)

Parámetros fisicoquímicos

Conductividad:

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia química, carga eléctrica, estado de oxidación y concentraciones relativas, así como de la temperatura. Las soluciones de la mayoría de los ácidos, bases y sales presentan coeficientes de conductividad relativamente altos. Por lo contrario, las moléculas de los compuestos orgánicos que no se disuelven en soluciones acuosas tienen una conductividad muy escasa o nula. (APHA Standard methods, 1992; AWWA standard methods, 1992; WPCF standard methods; 1992)

Temperatura:

La temperatura es un parámetro que indica qué tan caliente o frío está un cuerpo de agua. En estudios limnológicos, con frecuencia se requieren temperaturas del agua en función de la profundidad. Las temperaturas elevadas, consecuencia de descargas de agua calentada, pueden tener impacto ecológico significativo (APHA Standard methods, 1992; AWWA standard methods, 1992; WPCF standard methods, 1992).

Gran cantidad de organismos acuáticos, son dependientes del rango de temperatura para su mejor desarrollo, si éste estuviese fuera de los rangos, habría una afectación significativa en la población, ya que se vuelven más sensibles a los cambios de su entorno. (EPA, 2001)

Turbidez:

Es un parámetro fisicoquímico que indica la cantidad de materia sólida suspendida en el agua y se mide por la luz que se refleja a través de esa materia. Se dice que a mayor intensidad de luz dispersa, mayor nivel de turbidez. Entre la lista de material disuelto que causa la turbidez se incluye: las arcillas, el fango, la materia orgánica e inorgánica pequeña, los componentes de color orgánico soluble, el plancton y los organismos

microscópicos. La turbidez hace que el agua pierda su transparencia y sea opaca. (USGS, 2011)

Salinidad:

La salinidad es una propiedad importante de aguas usadas industriales y de cuerpos de agua naturales. Originalmente este parámetro se concibió como una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua. Dado que la determinación del contenido total de sales requiere de análisis químicos que consumen mucho tiempo, se utilizan en substitución métodos indirectos para estimar la salinidad. Se puede determinar la salinidad de un cuerpo de agua con base en las determinaciones de: conductividad, densidad, índice de refracción o velocidad del sonido en el agua (APHA-Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 1992).

Oxígeno disuelto:

Aunque las moléculas del agua contienen un átomo de oxígeno, este no está disponible para los organismos acuáticos que viven en nuestras aguas. Una pequeña parte de oxígeno, cerca de diez moléculas por un millón de partes de agua, se encuentra disuelta en el agua. Este oxígeno disuelto es primordial para la vida de los peces y la fauna de plancton. Un flujo rápido de agua, como en un río grande, tiende a contener mucho oxígeno disuelto, mientras que el agua estancada contiene poco. Las bacterias existentes en el agua pueden consumir el oxígeno al descomponer la materia orgánica. Por lo tanto, la materia orgánica en exceso en los lagos y ríos puede hacer que escasee el oxígeno en el agua. (USGS, 2011)

Potencial de hidrógeno:

Es un parámetro que indica la acidez o basicidad de las sustancia en una escala de 0-14 estandarizada. A una sustancia que no es ácida o básica, se le llama neutra y tiene un pH de 7. Si el pH es inferior a 7 es ácida y si es superior a 7 es básica. El agua pura es neutra, tiene un pH de 7.0. Cuando se mezcla una sustancia química con agua, la mezcla puede convertirse en ácida o base. El pH, puede llegar a modificar los procesos

químicos y biológicos en los cuerpos de agua, ya que existen especies de fauna y flora acuática que son muy poco tolerantes a estos cambios. (EPA, 2012)

Nutrimentos

Nitritos:

Los nitritos son iones que existen de manera natural y forman parte del ciclo del nitrógeno, el ión nitrito es muy inestable y reactivo ocasionando toxicidad al medio ambiente, estos iones pueden estar en condiciones aerobias y anaerobias (Lenntech, 2008).

En condiciones aeróbicas los nitritos se oxidan a nitratos por bacterias del grupo nitrobacter (nitrificación), y en condiciones anaeróbicas los nitritos son reducidos por el proceso de desnitrificación (Harrison, 2003).

Nitratos:

Los nitratos son una variante de nitrógeno que se encuentran tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos. Los nitratos son nutrientes esenciales para la vida vegetal, pero en cantidades excesivas pueden causar problemas significativos para la calidad de agua. Las altas concentraciones de nitratos pueden causar hipoxia (bajos niveles de oxígeno disuelto) por el exceso de materia orgánica en descomposición y puede ser tóxico para animales de sangre caliente a concentraciones de 10 mg/l ó más (EPA, 1997). La distancia, dirección y cantidad de nitrógeno transportado varía con el tiempo y de las propiedades físicas y biológicas de suelo. Por otra parte en la velocidad de transporte se ve afectada por factores ambientales como la temperatura, la humedad y la disponibilidad de recursos que influyen en la actividad microbiana (Harrison, 2003).

Ortofosfatos:

El fósforo es un elemento importante para las plantas y animales que forman la cadena alimenticia acuática. Este nutriente presenta reservas limitadas en la mayoría de cuerpos de agua dulce, por lo que un ligero incremento en la concentración de éste puede causar

un crecimiento acelerado en las poblaciones de algas, una disminución del oxígeno disuelto y la muerte de algunos peces y otros organismos sensibles a cambios en su entorno. (EPA, 1997)

El fósforo se presenta en el agua en diferentes formas de fosfatos: como son los ortofosfatos que son una forma inorgánica (SEDUE, 1989), La forma más sencilla de fosfatos por oxidación de la materia orgánica en el agua son los ortofosfatos que se eliminan muy despacio (Mason, 1984).

Las fuentes principales de ortofosfatos son los detergentes (Mason, 1984), fertilizantes (Contreras, 1984) y aguas residuales domésticas que constituyen cerca del 50% del aporte de fosfato al medio ambiente (Hirondel, 2002).

El fósforo es un parámetro crítico en la calidad del agua y es un elemento limitante para: el incremento de biomasa (Brooks y Edginton, 1994 en: Ortiz y Sáenz, 1996), producción primaria (Batllori, 2002) y eutrofización (Contreras, 1984).

Estudios detallados de la productividad de lagos y su relación con fósforo y nitrógeno (Vollenweider, 1968), han demostrado por varios criterios, que la cantidad de fósforo total aumenta la productividad del lago. Aunque hay sus excepciones esto demuestra un principio general que es útil cuando se aplica a estudios de eutrofización.

Amonio:

El ion amonio es una parte transitoria del ciclo del nitrógeno (Pacheco et al., 2001), este elemento es el compuesto que aparece primero en los procesos de descomposición de los organismos y de su metabolismo, por lo que es considerado como un indicador de la actividad biológica y de contaminación. En condiciones normales, su fracción es muy pequeña y puede ser oxidado por acción química, fotoquímica y bacteriana. Asimismo los microorganismos juegan un papel importante en el ciclo del nitrógeno, ya que cuando los organismos mueren, los organismos descomponedores, es decir las bacterias y hongos; consumen la materia orgánica mediante el proceso de descomposición. Durante este proceso, una cantidad significativa de nitrógeno contenido dentro del organismo muerto se convierte en amonio (Harrison, 2003).

4. Justificación

El río Hondo es un sistema natural hídrico de gran importancia, debido a que está catalogado, como la mayor corriente superficial con la que cuenta la península de Yucatán y es indispensable el análisis de sus aguas, para su óptimo uso y aprovechamiento (CONABIO, 2000)

El crecimiento poblacional ha ido deteriorando gradualmente la calidad del agua del río Hondo, ya que este recurso es utilizado para abastecer las necesidades de las comunidades aledañas como La Unión y Subteniente López (en México); pasando también por Blue Creek, Village Santa Elena, ambos en Belice (CONABIO, 2000)

Cabe destacar que en el río Hondo desde su origen hasta su desembocadura, existen diversos cuerpos de agua que desembocan en su canal principal, y que pueden modificar sus características fisicoquímicas. Entre estos destacan los ríos San Román y Ucum, que atraviesan zonas agrícolas de las riberas de los países de Belice y México, respectivamente.

La problemática de contaminación constante del río Hondo es un asunto de carácter binacional, debido a que los países de México y Belice comparten este cuerpo de agua. Sin embargo, la información con que se cuenta actualmente ha sido generada principalmente por instituciones mexicanas- (Álvarez, 2010).

Este estudio nos proporcionará información del estado en que se encuentra los sitios cercanos a la desembocadura de los ríos tributarios San Román y Ucum, para determinar si el agua de estos ríos modifica las características fisicoquímicas del canal principal del río Hondo.

5. Área de estudio

El río Hondo se ubica al sur del estado de Quintana Roo, tiene una longitud aproximada de 209 kilómetros y sus coordenadas geográficas son: Latitud 18°39'36" - 17°48'36" N y Longitud 89°21'36" - 88°12'36" W, su dirección es hacia el noroeste, desembocando en

la Bahía de Chetumal en el mar Caribe. Es un cuerpo con aguas de flujo lento y cuenta con tipos de suelo como: regosol, vertisol y rendzina según la FAO (CONABIO, 2000).

Figura 1: mapa de ubicación del Río Hondo y los sitios de toma de muestras.



Vegetación

Debido a sus características climáticas, geológicas e hidrológicas ha permitido el establecimiento de tipos de vegetación como selva mediana subcaducifolia, selva baja perennifolia, selva baja inundable, sabana y pastizal cultivado y cuenta con especies características como: *Acacia globulifera*, *Annona glabra*, la chaca *Bursera simaruba*, *Caesalpinia gaumeri*, *Capparis flexuosa*, *C. incana*, la palma nakax *Coccothrinax*

readii, *Cordia sebestena*, el chechén *Metopium brownei*, *Pithecellobium lanceolatum*, la palma kuka *Pseudophoenix sargentii*, y el mangle rojo *Rhizophora mangle* (INEGI, carta de vegetación, 1993).

Fauna

Esta zona es de gran importancia como hábitat para especies en peligro de extinción y la zona de mayor abundancia de: nutria (*Lutra longicaudis*), Manatí (*Trichechus manatus*), y especies de aves como *Falco columbarius*, *Geranospizacaerulescens*, *Jaribu mycteri*, *Mycteria americana*, *Penelopepurpurascens* y el chipe encapuchado (*Wilsonia citrina*). (CONABIO, 2000)

Aspectos climáticos:

Tipo (s) de clima: Aw1 (x') según la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en Algunas consideraciones climáticas acerca de los sistemas de clasificación climática (Sánchez y Garduño, 2008)

Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor a 22°C y temperatura de mes más frío menor de 18°C, precipitación media anual de 500 a 2,500 mm y precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano mayores al 10.2%.

6. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar en la temporada de lluvias y secas, el aporte de nutrientes y parámetros físico-químicos, como indicadores de calidad de agua en los ríos San Román y Ucum como afluentes al río Hondo.

Objetivos específicos:

.Evaluar los parámetros físico-químicos de temperatura, turbidez, salinidad, pH, oxígeno disuelto y conductividad como indicadores de calidad en la columna de agua.

.Evaluar la concentración de los principales nutrientes: nitritos, nitratos, amonio y ortofosfatos, como indicadores de la calidad en la columna agua.

. Evaluar la variación temporal de calidad del agua en ambos afluentes.

.Comparar los indicadores de calidad de agua del río Hondo, con la CE-CCA-001-1989 para la protección de vida acuática y la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994 para salud ambiental, uso y consumo humano.

7. Metodología:

Durante el año 2011 se realizaron dos muestreos, el primero correspondió a la temporada de secas (marzo a junio), y el segundo a la época de lluvias (julio a octubre).

Temporada de secas:

Correspondió a un muestreo de tipo prospectivo para la selección de sitios de monitoreo frente a la desembocadura de algunos arroyos y tributarios para determinar la posible influencia de los aportes en la calidad de agua hacia el río Hondo. Seleccionando por su importancia solamente a los ríos Ucum y San Román.

El muestreo para esta temporada consistió en la colecta de muestras de agua por triplicado por sitio de monitoreo para la evaluación de cuatro nutrientes (nitritos, nitratos, amonio y ortofosfatos); y la medición *in situ* de seis parámetros físico-químicos (temperatura, salinidad, pH, conductividad, turbidez y oxígeno disuelto) en la columna de agua.

Temporada de lluvias

Con base en el muestreo prospectivo realizado durante la temporada de secas, el monitoreo de nutrientes y parámetros físico-químicos para la época de lluvias consistió en trazar dos transectos a lo ancho del río Hondo, localizados 200 metros antes y después de la desembocadura de cada río tributario seleccionado. Cada uno de estos transectos se dividió en cuatro puntos de los cuales se obtuvieron muestras de agua por triplicado para la evaluación de nutrientes, y mediciones de parámetros físico-químicos *in situ* en la columna de agua.

7.1 Trabajo de campo:

Con la ayuda de una sonda multiparamétrica marca Horiba modelo U-50, se midieron *in situ* los parámetros de temperatura, turbidez, salinidad, potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto y conductividad a un metro de profundidad en la columna de agua en cada sitio y transecto antes mencionados.

Para la determinación de nitritos, nitratos, amonio y ortofosfatos, las muestras de agua se colectaron por triplicado en cada sitio y transecto de monitoreo con la ayuda de una botella Van Dorn, a un metro de profundidad de la columna de agua.

Todas las muestras de agua fueron depositadas en envases de 250 ml que se almacenaron en neveras con hielo para su conservación y posterior transporte al Laboratorio de Química de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), para el análisis químico de las muestras. Todo el material de muestreo fue previamente lavado con detergente libre de fosfatos (Extran), con ácido clorhídrico al 20%, enjuagado con agua destilada y etiquetados.

7.2 Trabajo de laboratorio:

Las muestras de agua fueron inmediatamente filtradas con la ayuda de un equipo de filtración Millipore, filtros Whatmann y una bomba de vacío, y se conservaron en refrigeración a una temperatura de 4°C para los análisis correspondientes.

Posteriormente, para asegurar la calidad de los resultados, se siguieron los procedimientos establecidos en el sistema de calidad y las técnicas analíticas en proceso de acreditación desarrolladas en el Laboratorio de Química de ECOSUR. Para ello se prepararon los reactivos y se realizaron las curvas de calibración de cada nutriente para calcular su concentración en las muestras ambientales. Se tomó en cuenta el R^2 obtenido en cada curva de calibración, como medida de calidad y se comparó con los datos estandarizados existentes en el Laboratorio de Química de ECOSUR.

En seguida se describen los métodos analíticos que se utilizaron para evaluar nutrientes en la columna de agua:

Nitritos (NO_2). Método colorímetro, que consiste en que los nitritos, en un medio de ácido, provocan una reacción de diazotación con la sulfanilamida para formar la sal de diazonio. Ésta se transforma en un producto coloreado rosa-púrpura adecuado para su cuantificación colorimétrica por reacción con el N-1-naftil-etilendiamina-diclorhidrato. La medida de la absorbancia se realizará a 550 nm con un espectrofotómetro (EPA método 353.2, 1984).

Nitratos (NO_3). Se reducen cuantitativamente a nitritos (NO_2) en presencia de cadmio (Cd). Este método emplea gránulos de cadmio, disponible comercialmente, tratado con sulfato de cobre (CuSO_4) y empacado en columna de vidrio. El nitrito producido se determina entonces por diazotización de la Sulfanilamida acoplada con dihidrocloruro de N-(1-naftil) etilendiamina para formar un compuesto altamente colorido que se mide espectrofotométricamente a 543nm. (EPA método 353.2, 1984).

Amonio (NH₄): Este método consiste en la reacción del fenol alcalino y el hipoclorito, para formar azul de indofenol, que es proporcional a la concentración de amonio. El color azul producido es intensificado con nitroprusiato sódico. Su lectura se realizará en un rango menor a 24 horas en un espectrofotómetro a 630 nm (EPA método 350.1, 1984).

Ortofosfatos (PO₄). Método colorímetro en el cual el molibdato amónico y el tartrato de potasio-antimonio reaccionan con el ion fosfato en un medio ácido, para dar lugar a un complejo antimonio-fosfomolibdato. Éste, tras la reducción por el ácido ascórbico, produce un color azul, que es leído en un espectrofotómetro a 880nm. (EPA método 350, 1984).

El equipo utilizado para medir la absorbancia de cada nutriente fue el espectrofotómetro Genesys 10uv (Thermo electro corporation).

Posteriormente, tanto los datos de parámetros físico-químicos que se obtuvieron con la sonda multiparamétrica *in situ*, como los resultados de los nutrientes, fueron capturados en la computadora para su respectivo análisis estadístico

8. Análisis de resultados

8.1 Análisis estadísticos:

Para determinar si existían diferencias significativas en la calidad del agua entre sitios, se obtuvo la media y desviación estándar de las concentraciones de todos los parámetros en ambas temporadas.

Se utilizó la prueba de hipótesis para medias usando distribución t de Student, debido a la poca cantidad de muestras con la que contábamos que no sobrepasaban los 30 datos. Teniendo en cuenta un rango de aceptación de hipótesis alternativa de 0.05; todo esto se realizó en el programa Statgraphics.

Además, se elaboraron gráficas que representaron el comportamiento de los nutrientes y parámetros físico-químicos en cada sitio de monitoreo.

Se hizo una comparación de los valores obtenidos de las concentraciones de nutrientes (nitritos, nitratos, amonio y ortofosfatos), con los criterios ecológicos de calidad de agua

CE-CCA-001/89 para uso recreativo y para protección de organismos acuáticos de agua dulce. También se comparó con la NOM-127-SSA-1994 para la “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano” ambas en México.

8.2 Comportamiento Espacial de los indicadores de calidad del agua en los ríos San Román y Ucum, tributarios del río Hondo.

8.2.1 Temporada de secas

Parámetros físico-químicos y nutrientes

En seguida se presentan los valores de los parámetros físico-químicos y la concentración de nutrientes registrados durante la temporada de secas (marzo a junio de 2012) en la columna de agua de los ríos San Román y Ucum, ambos tributarios que desembocan al canal principal del río Hondo.

Tabla 1. Valores medios en la temporada de secas (Marzo-Junio) de 2011, obtenidos en dos ríos tributarios del río Hondo.

Parámetros	Río San Román	Río Ucum
Salinidad (‰)	0.9	0.9
Temperatura (°C)	30.13	29.31
Conductividad (µs)	1.7	1.7
Oxígeno disuelto (mg/l)	8.03	9.2
Turbidez (UNT)	2.4	2.4
Potencial de hidrogeno (unidades)	7.88	7.89
NO ₃ mg/l	0.297 (± 0.000)	0.463 (± 0.000)
NO ₂ mg/l	0.000 (± 0.000)	0.004 (± 0.000)
NH ₄ ⁺ mg/l	0.005 (± 0.000)	0.010 (± 0.000)
PO ₄ mg/l	0.003 (± 0.000)	0.004 (± 0.000)

En la Tabla 1 Al analizar el comportamiento espacial de las concentraciones de parámetros físico-químicos y nutrientes, el río San Román registró los niveles más altos de temperatura y turbidez, mientras que en el río Ucum el oxígeno disuelto y los cuatro nutrientes (NO_3 , NO_2 , NH_4 y PO_4) se encontraron en mayores concentraciones; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

8.2.2 Temporada de lluvias

Resultados de los parámetros de calidad de agua en la temporada de lluvias.

En seguida se presentan los valores de los parámetros físico-químicos y la concentración de nutrientes registrados durante la temporada de lluvias (julio a octubre de 2011) en la columna de agua de los transectos antes y después de la desembocadura de los ríos San Román (SRA y SRD) y Ucum (UCA y UCD), respectivamente. Por lo que se reportan en las tablas 2 y 3, el promedio de cada parámetro, que corresponde a los cuatro puntos monitoreados por transecto.

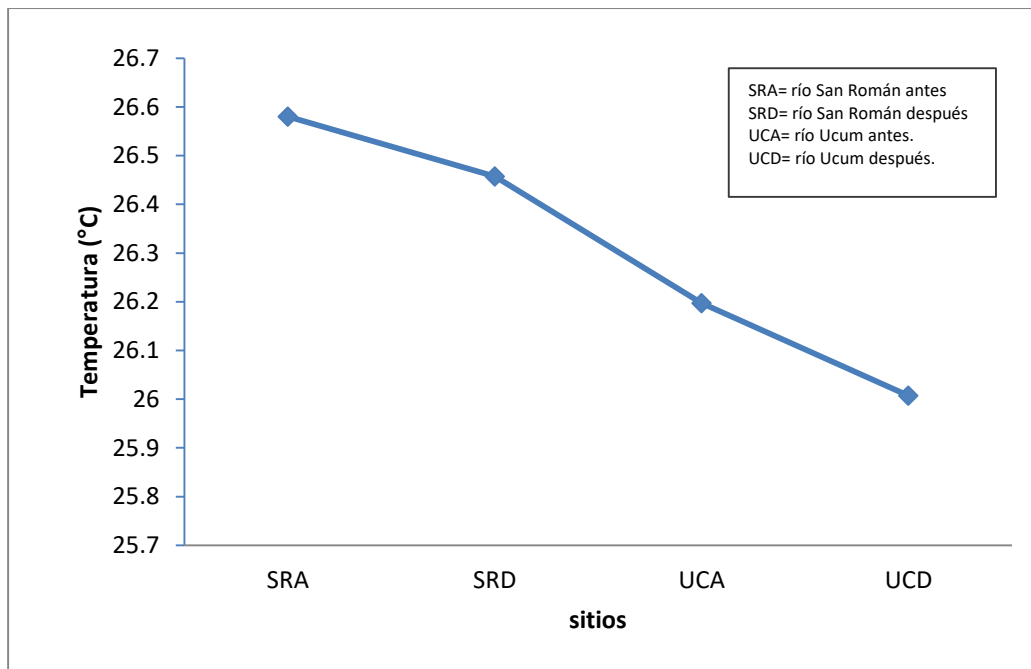
Tabla 2. Concentraciones promedio y desviación estándar de parámetros físico-químicos en la temporada de lluvias a un metro de profundidad de la columna de agua en cuatro sitios estratégicos del río Hondo.

Sitio	Parámetros					
	Temperatura (°C)	Salinidad (‰)	Conductividad (µs)	Turbidez (UNT)	Potencial de hidrogeno (unidades de pH)	Oxígeno disuelto (mg/l)
SRA	26.58 (± 0.09)	0.3 (± 0)	0.65 (± 0.00)	7.97 (± 0.87)	7.25 (± 0.62)	8.47 (± 2.80)
SRD	26.45 (± 0.02)	0.3 (± 0)	0.64 (± 0.00)	7.95 (± 0.17)	7.28 (± 0.90)	8.97 (± 0.26)
UCA	26.19 (± 0.14)	0.3 (± 0)	0.62 (± 0.00)	6.75 (± 0.3)	7.10 (± 0.038)	8.16 (± 0.33)
UCD	26.00 (± 0.00)	0.3 (± 0)	0.61 (± 0.10)	5.2 (± 0.66)	7.01 (± 0.01)	6.71 (± 0.48)

Físico-químicos

Temperatura

Figura 2. Valores de temperatura (°C) a un metro de profundidad de la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo. Durante la temporada de lluvia de julio a octubre del año 2011.



Se puede observar en la figura 2, que el río San Román presentó valores promedio de temperatura más altos en comparación con el río Ucum en el cual se obtuvieron valores menores.

En relación con el comportamiento espacial para este parámetro, en lo que respecta al río San Román Antes (SRA) y Después (SRD) de su desembocadura, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Registrándose la temperatura más alta en el sitio antes de la desembocadura (SRA) con un valor de 26.6 °C, y la más baja después de la desembocadura (SRD) con 26.45°C.

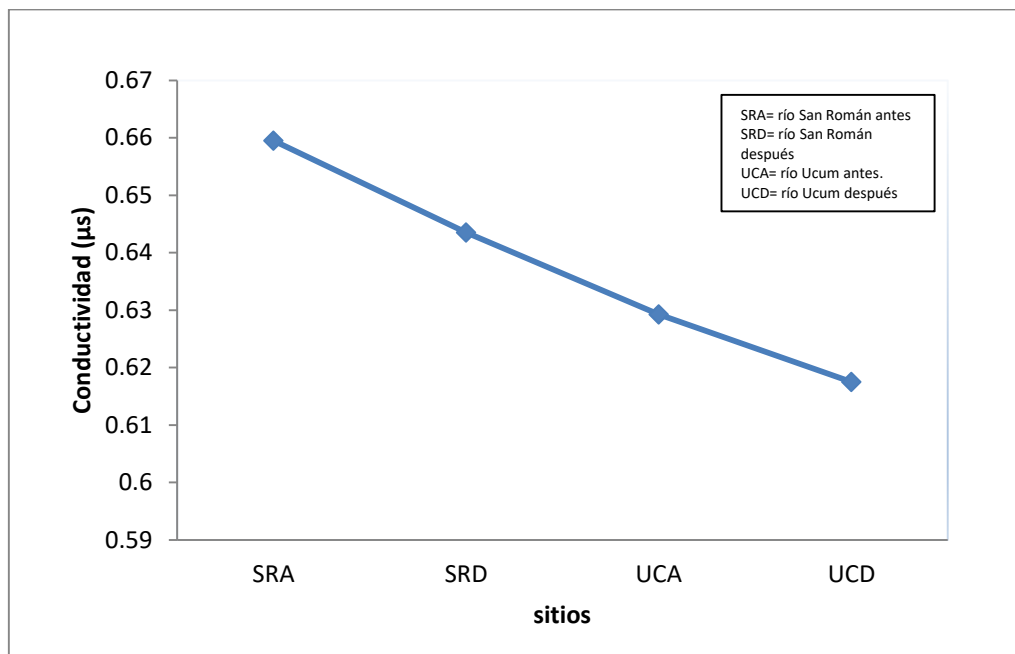
Por otro lado el comportamiento espacial del río Ucum antes y después de su desembocadura no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) obteniendo la temperatura más alta en el sitio antes de su desembocadura (UCA) con 26.2°C y las más baja después de la desembocadura (UCD) con 26°C. (Figura 2 y tabla 2)

Salinidad

En lo que respecta a la temporada de lluvias, los valores de salinidad no tuvieron variaciones y se mantuvieron en 0.3 ‰ en los cuatro puntos. (Tabla 2)

Conductividad

Figura 3. Valores de conductividad (μs) promedio a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo. Durante la temporada de lluvias, julio a septiembre 2012.



Se puede apreciar en la figura 3, que el río San Román presentó valores promedio de conductividad más altos en relación con el río Ucum, en donde se obtuvieron valores menores.

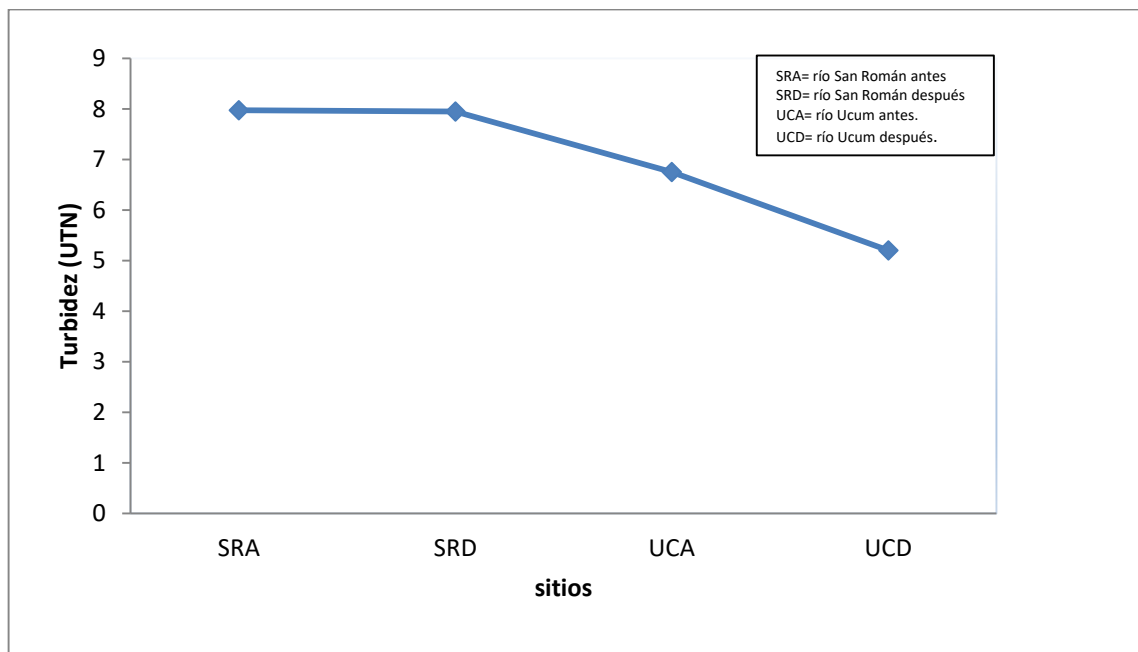
Al analizar el comportamiento espacial para este parámetro, en lo que respecta al río San Román antes y después de su desembocadura, no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Registrándose la conductividad más alta en el sitio antes de la desembocadura (SRA) con un valor de $0.65 \mu\text{s}$ y la más baja después de la desembocadura (SRD) con $0.64 \mu\text{s}$.

En cambio el comportamiento espacial del río Ucum antes y después de su desembocadura presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Obteniéndose la conductividad más alta en el sitio antes de su desembocadura (UCA)

con un valor de 0.63 μ s y la más baja después de la desembocadura (UCD) con 0.61 μ s. (figura 3 y tabla 2)

Turbidez

Figura 4. Valores de turbidez (UTN) promedio a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.



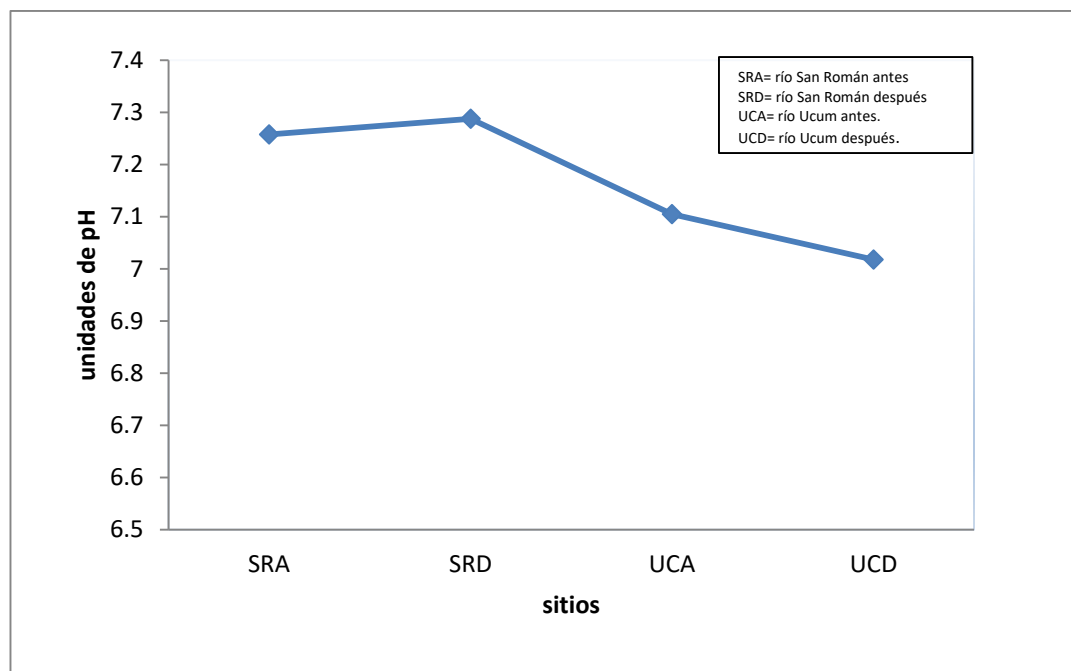
Se puede observar en la figura 4, que el río San Román presentó valores promedio de turbidez más altos en relación con el río Ucum en el cual se obtuvieron valores menores.

Al estudiar el comportamiento espacial para este parámetro, en lo que concierne al río San Román antes y después de su desembocadura, no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Registrándose la turbidez más alta en el sitio antes de la desembocadura (SRA) con un valor de 7.97 UTN y la más baja después de la desembocadura (SRD) con 7.95 UTN.

Acorde al comportamiento espacial del río Ucum antes y después de su desembocadura, presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Registrándose la turbidez más alta en el sitio antes de la desembocadura (UCA) con 6.75 UTN y la más baja después de la desembocadura (UCD) con 5.2 UTN. (Figura 4 y tabla 2)

Potencial de hidrogeno

Figura 5. Concentración promedio de potencial de hidrogeno (unidades de pH) a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo. Durante la temporada de lluvias, julio a septiembre del año 2012.



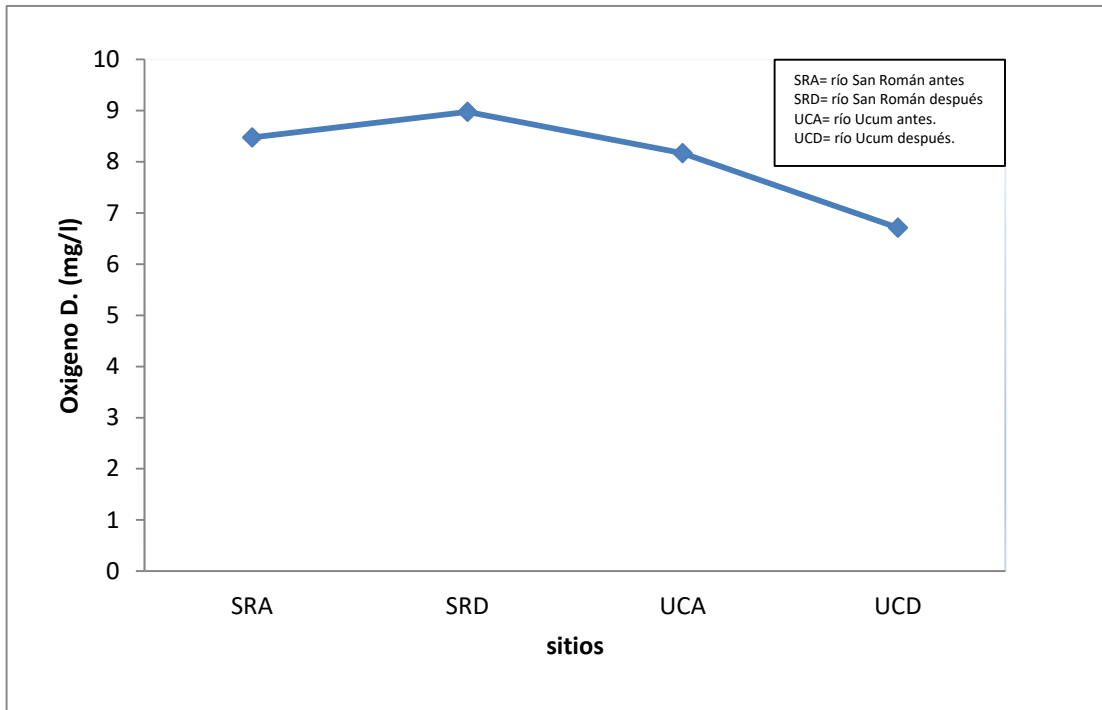
Se puede observar en la figura 5, que el río San Román presentó valores promedio de pH más altos en comparación con el río Ucum en el cual se obtuvieron valores menores.

Al estudiar el comportamiento espacial para este parámetro, en lo que respecta al río San Román antes y después de su desembocadura, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), reconociendo el valor de pH más alto en el sitio después de la desembocadura (SRD) con un valor de 7.28 unidades y el más bajo antes de la desembocadura (SRA) con 7.25 unidades.

Por otra parte, el comportamiento espacial del río Ucum antes y después de su desembocadura, presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Teniendo en cuenta el pH más alto en el sitio antes de la desembocadura (UCA) con un valor de 7.10 unidades y la más baja después de la desembocadura (UCD) con 7.01 unidades. (Figura 5 y tabla 2)

Oxígeno disuelto

Figura 6. Concentración promedio de oxígeno disuelto (mg/l como O₂) promedio a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo. Durante la temporada de lluvias, julio a septiembre del 2012.



Como se aprecia en la figura 6, el río San Román presentó valores promedio de Oxígeno disuelto más altos en comparación con el río Ucum en el cual se obtuvieron valores menores.

Al nivel del comportamiento espacial para este parámetro, en lo que respecta al río San Román antes y después de su desembocadura, no presenta diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Registrándose la concentración de Oxígeno disuelto más alta en el sitio después de su desembocadura (SRD) con un valor de 8.87 mg/l y la más baja antes de su desembocadura (SRA) con 8.47 mg/l.

Por otro lado el comportamiento espacial del río Ucum antes y después de su desembocadura presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Obteniendo la concentración de Oxígeno disuelto más alta en el sitio antes de la desembocadura (UCA) con 8.16 mg/l y la más baja después de la desembocadura (UCD) con 6.71 mg/l. (figura 6 y tabla 2)

A) Nutrientes

Concentración de nitritos (mg/l como N), nitratos (mg/l como N), amonio (mg/l como N) y ortofostatos (mg/l como P) en muestras a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.

Tabla 3. Concentraciones promedio y desviación estándar de nutrientes en la temporada de lluvias a un metro de profundidad de la columna de agua en cuatro sitios estratégicos del río Hondo.

SITIO	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₄ mg/l	PO ₄ mg/l
SRA	0.156 (± 0.036)	0.006 (± 0.000)	0.038 (± 0.050)	0.010 (± 0.016)
SRD	0.096 (± 0.011)	0.007 (± 0.000)	0.006 (± 0.002)	0.003 (± 0.003)
UCA	0.079 (± 0.006)	0.004 (± 0.000)	0.009 (± 0.003)	0.003 (± 0.001)
UCD	0.095 (± 0.018)	0.005 (± 0.001)	0.014 (± 0.005)	0.002 (± 0.001)

Figura 7. Concentración de nitratos (mg/l como N) en muestras a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.

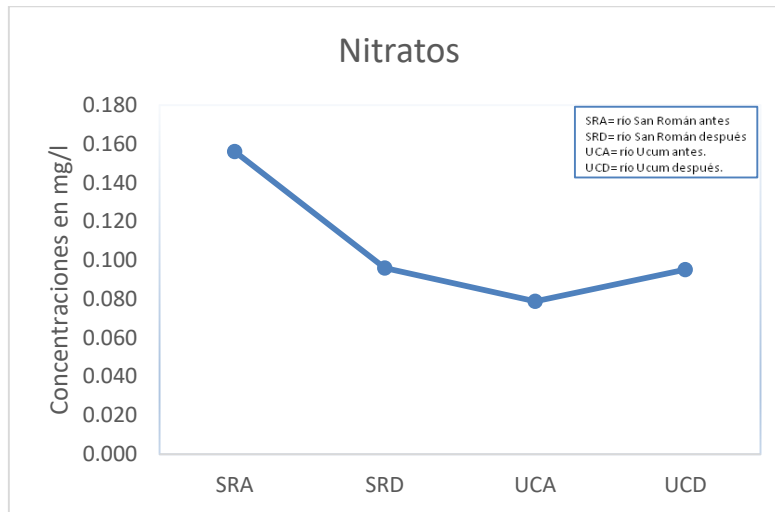


Figura 8. Concentración de nitritos (mg/l como N) en muestras a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.

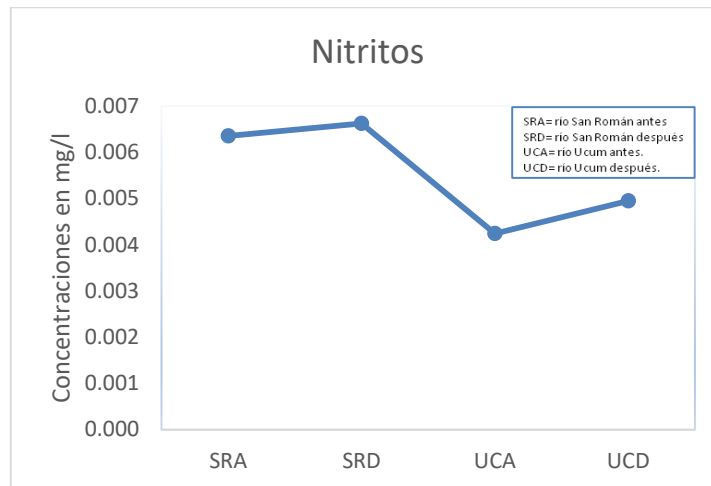


Figura 9. Concentración de amonio (mg/l como N) en muestras a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.

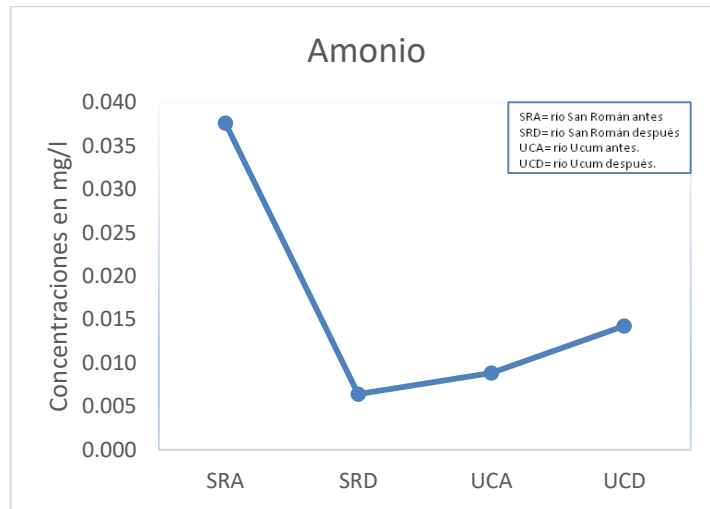
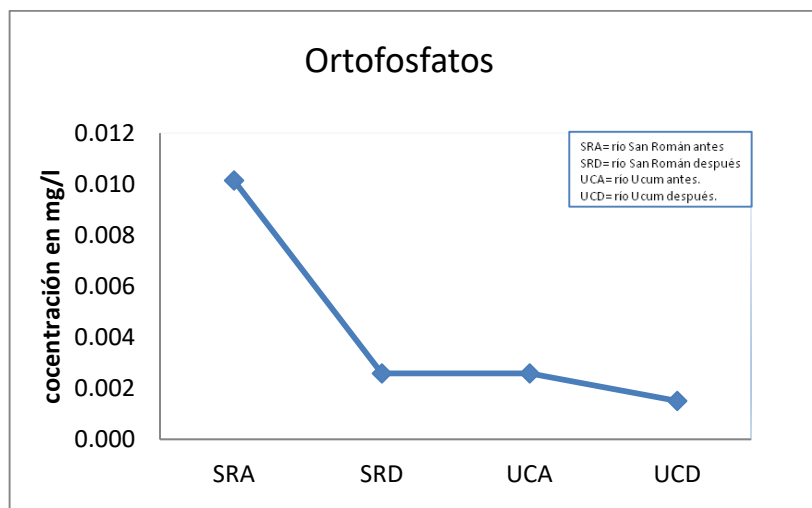


Figura 10. Concentración de ortofosfatos (mg/l como P) en muestras a un metro de profundidad en la columna de agua en cuatro sitios del río Hondo, durante la temporada de lluvia en los meses de julio a septiembre del año 2012.



Nitratos:

Se puede observar en la figura 7, que el río San Román presentó valores promedio de Nitratos más altos en comparación con el río Ucum en el cual se registraron valores menores.

En relación con el comportamiento espacial para este nutriente, en lo que respecta a ambos ríos: San Román y Ucum, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Registrándose la concentración más alta en el sitio antes de la desembocadura del río San Román (SRA) con un valor de $0.156 (\pm 0.036)$ mg/l, y la más baja antes de la desembocadura del río Ucum con $0.079 (\pm 0.006)$ mg/l. (Figura 7 y tabla 3)

Nitritos:

Como se ve en la figura 8, el río San Román presentó valores promedio de nitritos más altos, en comparación con el río Ucum en el cual se registraron valores menores.

A nivel del comportamiento espacial para este nutriente, en lo que respecta al río San Román, no presenta diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Registrándose la concentración más alta en el sitio después de su desembocadura (SRD) con un valor de $0.007 (\pm 0.000)$ mg/l y la más baja antes de la desembocadura (SRA) con $0.004 (\pm 0.000)$ mg/l.

En lo que respecta al comportamiento espacial del río Ucum, presenta diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Registrándose la concentración de nitritos más alta en el sitio después de su desembocadura con $0.005 (\pm 0.002)$ mg/l y la más baja antes de la desembocadura con $0.004 (\pm 0.000)$ mg/l. (Figura 8 y tabla 3)

Amonio:

Se puede apreciar en la figura 9, que el río San Román presentó valores promedio de Amonio más altos en comparación con el río Ucum en el cual se obtuvieron valores menores.

Al estudiar el comportamiento espacial para este nutriente, en lo que respecta al río San Román y Ucum, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Registrándose la concentración más alta en el sitio San Román antes de su desembocadura (SRA) con un valor $0.038 (\pm 0.050)$ mg/l y la más baja después de la desembocadura (SRD) con $0.006 (\pm 0.002)$ mg/l. (Figura 9 y tabla 3)

Ortofosfatos:

Se puede apreciar en la figura 10, que el río San Román presentó valores promedio de ortofosfatos más altos en relación con el río Ucum, en donde se obtuvieron valores menores

Al analizar en comportamiento espacial para este parámetro, en lo que respecta a los ríos San Román y Ucum, no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Registrándose la concentración más alta en el sitio antes de la desembocadura del río San Román (SRA) con un valor de $0.010 (\pm 0.016)$ mg/l y la más baja después de la desembocadura del río Ucum (UCD) con $0.002 (\pm 0.001)$ mg/l. (Figura 10 y tabla 3)

8.3 Comportamiento temporal de los indicadores de calidad de agua en los ríos San Román y Ucum, tributarios del río Hondo.

8.3.1 Río San Román como afluente al río Hondo.

Tabla 4: Valores promedio y desviación estándar de parámetros físico-químicos y nutrientes tomados a un metro de profundidad de la columna de agua en la desembocadura del río San Román en dos temporadas climáticas.

Parámetro	Río San Román	
	Secas	Lluvias
NO ₃ mg/l	0.297 (± 0.000)	0.126 (± 0.039)
NO ₂ mg/l	0.000 (± 0.000)	0.006 (± 0.001)
NH ₄ mg/l	0.005 (± 0.000)	0.022 (± 0.035)
P ₀₄ mg/l	0.003 (± 0.000)	0.006 (± 0.011)
Salinidad (‰)	0.9	0.3 (± 0.0)
Temperatura (°C)	30.13	26.14 (± 0.24)
Conductividad (μ s)	1.70	0.63 (± 0.02)
Oxígeno disuelto (mg/l)	8.03	8.10 (± 1.91)
Turbidez (UTN)	5.40	5.92 (± 0.89)
pH (unidades de pH)	7.88	7.10 (± 0.35)

En lo que respecta a este estudio, el comportamiento temporal de los nutrientes y parámetros físico-químicos de una manera general para el río San Román, los parámetros NO₂, NH₄ y la conductividad presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las temporadas de lluvias y secas ($p < 0.05$).

8.3.2 Río Ucum como afluente al río Hondo.

Tabla 5: Valores promedio y desviación estándar de parámetros físico-químicos y nutrientes tomados a un metro de profundidad de la columna de agua en la desembocadura del río Ucum en dos temporadas climáticas.

Parámetro	Río Ucum	
	Secas	Lluvias
NO ₃ mg/l	0.463 (±0.000)	0.087 (±0.015)
NO ₂ mg/l	0.004 (±0.000)	0.005 (±0.001)
NH ₄ mg/l	0.010 (±0.000)	0.012 (±0.005)
P0 ₄ mg/l	0.004 (±0.000)	0.002 (±0.001)
Salinidad (‰)	0.9	0.3 (±0.0)
Temperatura (°C)	29.31	26.48 (±0.05)
Conductividad (µs)	1.7	0.64 (±0.01)
Oxígeno disuelto	9.20	8.06 (±1.22) 7
Turbidez (UTN)	2.40	8.01 (±0.46)
pH (unidades de pH)	7.89	7.22 (±0.24)

En relación con el comportamiento temporal de los nutrientes y parámetros físico-químicos de una manera general para el río Ucum, en los únicos parámetros donde se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las temporadas de lluvias y secas fue en NO₃ y en la conductividad ($p < 0.05$).

9. Discusión

Factores físico-químicos

Temperatura

Variación temporal

Las temperaturas más altas se registraron en la temporada de secas (Marzo-junio).

Es posible que las ligeras variaciones en la temperatura a lo largo de este estudio sean debido a factores como la vegetación abundante a lo largo de su ribera, ya que puede llegar a amortiguar los cambios ambientales (Serrano, 2009).

Normatividad Mexicana

En lo que respecta a las normas NOM-127-SSA-94 Y CE-CCA-001-89 para temperatura, la CE-CCA menciona que para protección de agua dulce en condiciones naturales debe ser mayor a 1.5 °C entre diferentes muestras en un mismo punto, por otro lado para uso recreativo no se tiene un dato de medida de límites permisibles para este parámetro al igual que para la NOM-127-SSA-94.

Al analizar el comportamiento de la temperatura promedio del río San Román 26.58°C (± 1.35) y del río Ucum 26.80°C (± 0.94), se puede decir que se cumple la norma establecida de la CE-CCA (Tabla 9).

Al analizar el comportamiento de la temperatura promedio con otros estudios realizados en el río Hondo, Valero Gamboa (2002) al igual que este estudio realizó muestras en lugares estratégicos a los puntos poblacionales más cercanos y estas fueron tomadas en el mes de diciembre, el cual pertenece a la temporada de nortes por lo que se obtienen temperaturas de 25.5-26.7 °C, prácticamente son temperaturas similares a los ríos San Román y Ucum.

Serrano (2009), en su estudio, registró valores más altos en la temporada de secas (marzo-junio) con 28.44 °C y valores inferiores en la temporada de lluvias (julio-septiembre) con 25.03 °C.

Por otro lado, Flores (1992) registra variaciones de temperatura en todo el periodo de 23-31.5 °C con los valores mínimos en diciembre (nortes) y máximos en junio (secas),

en este estudio, en la temporada de secas se obtuvieron los valores promedio más altos con 30.13-29.31 °C y mínimos en lluvias con 26.6-26 °C.

Al comparar los datos obtenidos con sistemas un similares pero como otras latitudes, podemos constatar que los valores son muy similares.

Salinidad

Variación temporal

En relación a la salinidad los registros más altos fueron en la temporada de secas (marzo-junio). Esto se debe al bajo nivel de precipitación que presenta y en consecuencia una menor disolución en la concentración (Flores, 1992).

Entre mayor precipitación ocurra, habrá mayor flujo y por lo tanto menor concentración para este parámetro.

Normatividad Mexicana

De acuerdo a las normas NOM-127-SSA-94 Y CE-CCA-001-89 para salinidad, no se tiene datos para límites permisibles. Registrando una concentración promedio de 0.37‰ (± 0.20) para ambos ríos (Tabla 9).

Con respecto algunos estudios relacionados, Flores (1992) registró concentraciones de salinidad durante todo el periodo de 0.0-3.7‰ con un valor mínimo en el mes de diciembre (nortes) y el máximo valor se presentó en abril (secas).

Al analizar los datos con otros estudios, Serrano (2009) obtuvo concentraciones durante todo el periodo de 0.62-1.30 ‰, registrando valores mínimos en diciembre (nortes) y máximos en mayo (secas). En relación con este estudio en la temporada de secas se obtuvieron concentraciones promedio máximas con 0.9 ‰ y bajas con 0.3‰ en lluvias. Se puede notar que al compararlos con otros estudios son mayores las concentraciones de Flores y Serrano ya que estuvieron influenciados por la entrada de agua salobre por la Bahía (Tabla 6).

Conductividad

Variación temporal

En la temporada de secas (marzo-junio) se registraron los niveles más altos de conductividad.

Cabe mencionar que la conductividad tiene una relación bastante íntima con la salinidad, debido a la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas. Por otro lado el agua dulce que se pierde por evaporación aumenta la conductividad y la salinidad de la masa de agua (State water resources control board, 2013).

Normatividad Mexicana

En relación con las normas NOM-127-SSA-94 Y CE-CCA-001-89 para conductividad, no se cuenta con límites ni datos permisibles, cabe mencionar que la concentración promedio para el río San Román fue de 0.75 (\pm 0.36) y la del río Ucum fue de 0.76 (\pm 0.35) ver en la tabla 7 y 8.

Comparando la conductividad promedio con otros estudios similares en el río Hondo, Serrano (2009) registró concentraciones más elevadas en el mes de mayo (secas) con 5880 μ mhos/cm, y menores en noviembre (nortes) con 770 μ mhos/cm. Por lo tanto las concentraciones mayores para este estudio fueron de 1700 μ mhos/cm en secas y las menores con 602 μ mhos/cm en lluvias.

Oxígeno disuelto

Variación temporal

En lo que respecta a las altas concentraciones de Oxígeno disuelto se registraron en secas (Marzo-Junio).

Las concentraciones de oxígeno se consideran un indicador de contaminación por materia orgánica, por descargas residuales tanto domésticas como industriales, en los cuerpos de agua.

Las concentraciones bajas de oxígeno disuelto, pueden localizarse donde la materia orgánica está en descomposición, lo que significa que las bacterias utilizan el oxígeno para descomponer el desecho, también son bajas en aguas tibias de lento movimiento (Picone et al, .2003).

Normatividad Mexicana

En lo que respecta a las normas NOM-127-SSA-94 Y CE-CCA-001-89 para oxígeno disuelto, la NOM-127-SSA-94 no presenta datos permisibles, por otro lado la CE-CCA para protección de la vida acuática debe encontrarse en niveles de 5mg/l.

Al comparar los datos obtenidos con las concentraciones permisibles para protección de la vida de agua dulce, se puede observar que todos los sitios no cumplen con los valores mínimos que se marcan, tanto en el río San Román con $8.098(\pm 1.789)$ como O_2 como para el río Ucum con $8.187(\pm 1.209)$ como O_2 (Tabla 9).

Referente a los antecedentes, Serrano (2009) presentó valores promedio de 4.28-4.92 O_2 , por debajo de los límites que marca la norma para protección de la vida agua dulce, debido a las temperaturas registradas, o la escasa precipitación así como a la alta actividad metabólica de los organismos acuáticos en su estudio.

Por otra parte Valerio Gamboa (2002) presentó en su estudio valores de 0.9-2.7 como O_2 .

Al compararlos con otros ríos de diferentes partes de México, los datos son similares.

Turbidez

Variación temporal

Los valores más altos de turbidez se presentaron en la temporada de lluvias (Julio-Septiembre).

La turbidez tiene una gran importancia, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas en lo que respecta al agua, por lo que puede ser indicio de contaminación". (Espigares García y Fernández Crehuet, 1999).

Normatividad Mexicanas

NOM-127-SSA-94 Y CE-CCA-001-89 para turbidez, la NOM-127-SSA-94 menciona que no debe sobrepasar los valores de 5 UTN, y la CE-CCA para protección de la vida de agua dulce no se cuanta con un valor permisible.

Al analizar el comportamiento de la turbidez promedio del río San Román $5.87 (\pm 0.86)$ y del río Ucum $7.39 (\pm 1.92)$, se puede decir que tiene un ligero aumento y por lo tanto no cumple con la norma oficial mexicana NOM-127, ya que no deben sobre pasar los valores de 5 UTN (Tabla 9).

Potencial de hidrogeno

Variación temporal

En lo que respecta a los valores de pH, fueron ligeramente alcalinos, esto puede explicar las pocas variaciones que tuvo este parámetro e indica que el río muy probablemente se encuentra amortiguado. La alcalinidad normalmente se presenta debido a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidrógenos ya que el sistema de equilibrio CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{2-} es el principal mecanismo de amortiguamiento en las aguas dulces (Wetzel, 1972).

Los valores más altos de Potencial de hidrogeno se presentaron en la temporada de secas (Marzo-Junio).

Normatividad Mexicana

En lo que respecta a las normas NOM-127-SSA-94 Y CE-CCA-001-89 para pH, la NOM-127, para salud ambiental, uso y consumo humano debe rondar entre 6.5 a 8.5 unidades; y para la CE-CCA, para protección de la vida acuática sin variaciones entre muestras mayores de 0.2 unidades.

Al hacer la comparación promedio de los sitios, para el río San Román 7.19 (± 0.42) y para el río Ucum 7.30 (± 0.32), ambos cumplen con la norma NOM-127 para salud ambiental, uso y consumo humano ya que se encuentran dentro de los límites permisibles, por otro lado para la norma CE-CCA no sobrepasa las variaciones establecidas entre valores (Tabla 9).

En relación con los antecedentes, el estudio de Flores (1992) tuvo valores menores con 6.88-8.9 unidades de pH; Serrano (2009) y Gamboa (2002) tuvieron un rango bastante similar en relación a los datos con 7.09-8.05 y 7.17-7.56 unidades de pH en la que se estableció la calidad de agua de la Bahía y el río Hondo, mientras que en este estudio presentó concentraciones de 6.33-7.48 para el río San Román y 7.01-7.68 unidades de pH para el río Ucum (Tabla 6).

Nutrientes

Nitratos

Variación temporal

En la temporada de secas (Marzo-Junio) se presentaron los valores más altos de nitratos, según la CONAGUA en la estación (23169); La unión II, municipio de Othón P. Blanco la precipitación fue de 0.3 mm para el mes de abril, en el cual se tomaron las muestras. Por otro lado, el aporte de materia orgánica pudo haber aumentado por la temporada de zafra que fue del 17 de abril al 24 de mayo de este mismo año. Los nitritos que forman parte del ciclo del nitrógeno pueden presentar variaciones de concentración por las diversas cantidades de oxidación de materia orgánica por microorganismos aerobios los cuales partiendo de nitrito producen nitratos (Pacheco, Marin, Cabrera, Steinich, & Escobedo, 2001)

Normatividad Mexicana

De acuerdo con la normatividad ningún río sobrepasó los límites permisibles ya que para la NOM-127-SSA-94 y CE-CCA-001-89 para nitratos el límite permisible de la NOM-127 no debe superar los 10 mg/l como N, para la CE-CC-001 para protección de la vida de agua dulce y uso recreativo no se cuenta con límites permisibles. El río San Román presentó un promedio de concentración de 0.145mg/l (\pm 0.066) y Ucum 0.129 mg/l (\pm 0.121) ambos como N (Tabla 9).

En relación con los estudios anteriores Serrano (2009) indica que para nitratos las concentraciones obtenidas fueron de 0.114-0.230 mg/l como N; obteniendo las concentraciones ligeras menores 0.11-0.23 mg/l como N, ya que los valores promedio más bajos se registraron principalmente en los meses de diciembre y febrero (nortes), los valores más elevados se registraron en los meses de julio y agosto (lluvias) mientras que en este estudio se registraron concentraciones menores en los meses de Julio-Octubre (lluvias) con 0.087 mg/l para el río Ucum y 0.126 mg/l para el río San Román como N, mientras que los valores más elevados se registraron en los meses de Marzo-Junio (secas) con 0.463 mg/l en el río Ucum y 2.297mg/l en el río San Román, estas diferencias pueden deberse probablemente a los cambios atmosféricos, precipitación pluvial, cambios de temperatura y/o actividades humanas (Tabla 6).

Al comparar con los otros estudios mencionados en la tabla 6, se puede observar que tienen concentraciones similares.

Nitritos

Variación temporal

En la temporada de lluvias (Julio-Octubre) se presentaron ligeramente los valores más altos de nitritos, esto se debió probablemente al arrastre de materia orgánica, ya que la precipitación fue de 26.5 mm en la estación más cercana (23169); la unión II de acuerdo con los datos de la CONAGUA. Recordemos que los nitritos pueden oxidarse a nitratos mediante bacterias en condiciones aeróbicas y las formas nitrogenadas de estos mismos forman parte del ciclo del nitrógeno y formas subsecuentes del amonio, es probable que estas ligeras variaciones de concentración sean resultado de las diversas cantidades de oxidación de materia orgánica (Pacheco, Marin, Cabrera, Steinich, & Escobedo, 2001).

Normatividad Mexicana

En lo que respecta a la normatividad ningún río sobrepasó los límites permisibles ya que la NOM -127-SSA-94 Y CE-CCA-001-89 para nitritos el límite permisible de la NOM-127-SSA-94 no debe sobrepasar los 0.05 mg/l como N, y para la CE-CC-001 para protección de la vida de agua dulce y uso recreativo no cuenta con límites permisibles para este parámetro. El río San Román registró un promedio de concentración de 0.005 (\pm 0.005) y Ucum 0.006 (\pm 0.001) ambos como N (Tabla 9).

En relación con otros estudios con respecto a este nutriente Serrano (2009) obtuvo concentraciones menores con 0.004 (\pm 0.006) mg/l como N, probablemente al factor clima como lluvia y cambios de temperatura.

Amonio

Variación temporal

En la temporada de lluvias (Julio-Octubre) se obtuvieron las concentraciones más altas de amonio, cabe mencionar que de acuerdo a la CONAGUA en una estación cercana al sitio de muestreo (23169) la precipitación fue de 26.5 mm para el mes de septiembre. Muy probablemente presentó mayor concentración debido a los escurrimientos de materia orgánica reciente, ya que el ion de amonio puede adsorberse a las partículas de arcilla y desplazarse con él como consecuencia de la erosión y la participación de las bacterias favorece la siguiente forma nitrogenada. (Stevenson, 1965)

Los microorganismos juegan un papel muy importante en el ciclo del nitrógeno, cuando mueren organismos, las bacterias y hongos (descomponedores) consumen la materia orgánica mediante el proceso de descomposición, durante este proceso, una cantidad

significativa de nitrógeno contenido dentro del organismo muerto se convierte en amonio (L. Tymoczko, M. Berg, & Stryer, 2014)

Normatividad Mexicana

Con respecto a las concentraciones promedio de amonio ningún río sobrepasó las normas con una concentración promedio de 0.011 (± 0.004) mg/l como N en el río Ucum y 0.020 (± 0.033) como N para el río San Román, ya que las normas especifican que para la NOM-127-SSA para salud ambiental, uso y consumo humano debe ser no mayor a 0.5 mg/l como N y para la CE-CCA-001 para protección de la vida de agua dulce no debe ser mayor a 0.06 mg/l como N (Tabla 9).

Realizando una comparación con el estudio de Serrano (2009) el cual presentó concentraciones de 0.046-0.056 mg/l como N, registrándose los valores más bajos en la temporada de nortes, y los valores más altos se registraron en la temporada de lluvias, mientras que en este estudio se registraron concentraciones promedio inferiores de 0.002-0.108 mg/l en el río San Román y 0.005-0.021 para el río Ucum como N; obteniendo las concentraciones más bajas en la temporada de secas, y las concentraciones más altas en la temporada de lluvias (Tabla 6).

Ortofosfatos

Variación temporal

La temporada de lluvias (Julio-Octubre) es la que presento valores más altos para este parámetro, esto se debió probablemente al arrastre de materia orgánica; ya que la precipitación fue de 26.5 mm en las estación (23168) una de las más cercanas al sitio de muestreo en el mes de Septiembre, también es importante mencionar que la fuente principal de los ortofostatos son los detergentes, fertilizantes y aguas residuales domesticas que constituyen a un 50% del aporte de fosfato al medio ambiente.

El fosfato es un nutriente que este sujeto a muchos procesos de transformación, cuando hay disminución es probable que se deba a la combinación directa con material particulado de mayor densidad, lo que ocasiona su precipitación al fondo (Herderson-Saller y Mackland citado en Serrano, 2009).

Normatividad Mexicana

De acuerdo con las concentraciones promedio de esta forma fosfatada ningún río sobrepasó los límites permisibles con una concentración promedio de 0.002 (\pm 0.002) mg/l en el río Ucum y 0.006 (\pm 0.010) para el río San Román como P, ya que las normas establecen que para CE-CCA-001 para protección de la vida de agua dulce no deben exceder los 0.025 mg/l como P y para la NOM-127-SSA no se cuenta con límites permisibles para esta nutriente (Tabla 9).

Con referencia al análisis de estudios anteriores de este nutriente, se encuentra el de Serrano (2009) que fue un estudio de las tres temporadas climáticas, presentó concentraciones promedio de 0.003-0.004 mg/l como P, obteniendo la concentración más baja en la temporada de lluvias y las más elevada se registró en la temporada de nortes; mientras que en este estudio presentó concentraciones promedio ligeramente menores -0.001-0.004 mg/l para el río Ucum y 0.000-0.035 mg/l para el río San Román como P, obteniendo las concentraciones más bajas en la temporada de secas, y las concentraciones más elevadas se registraron en la temporada de lluvias (Tabla 6).

10. Conclusiones y recomendaciones

En base a los parámetros físico-químicos analizados la mejor calidad de agua se registró en el Río San Román mientras que las más perturbadas se registraron en el Río Ucum, se puede deber a la cercanía con la Bahía de Chetumal, campos de cultivo y grupos poblacionales aledaños.

Los nutrientes con referencia a los criterios ecológicos de calidad de agua la CE-CCA-001-1989 y la norma oficial mexicana NOM-127-SSA-1994, registraron mejor calidad de agua en el río Ucum, mientras que las más alteradas se registraron en el río San Román, esto puede deberse a los grupos poblacionales cercanos que habitan en su rivera y sus respectivas actividades como agricultura y ganadería.

Acorde a los parámetros físico-Químicos la temporada de secas es la que presenta cambios más marcados.

En lo que respecta a los nutrientes la temporada de lluvias es la que presenta cambios significativos a lo largo del periodo, es muy probable que el aumento de precipitación haya causado un mayor arrastre de materia orgánica.

La gran mayoría de los parámetros físico-químicos no sobrepasaron los niveles establecidos por los criterios ecológicos (CE-CCA-001-1989) para la protección de vida acuática a excepción del Oxígeno disuelto que presentó valores por arriba del nivel permisible y con respecto a la norma oficial mexicana (NOM-127-SSA-1994) el único parámetro que sobrepasó los límites permisibles fue la turbidez, el resto de los parámetros permaneció dentro del rango establecido.

Los nutrientes no sobrepasaron los niveles establecidos por los criterios ecológicos para la protección de la vida acuática (CE-CCA-001-1989) y la norma oficial mexicana para salud ambiental, uso y consumo humano (NOM-127-SSA-1994).

Se recomienda realizar estudios sistematizados de la calidad del agua año tras año del río Hondo, para poder hacer un diagnóstico más completo de este cuerpo de agua.

También fortalecer los acuerdos binacionales que aún no se han concretado en los trabajos de delimitación de aguas internacionales con sus estudios correspondientes así como las acciones de monitoreo hidrológico, previsto entre la comisión internacional del agua CILA y su homólogo Beliceño (SER).

Profundizar el conocimiento de la zona para determinar las condiciones del sistema rivero y poder definir los objetos de manejo a largo y mediano plazo, al mismo tiempo asegurar la participación de los habitantes a través de los mecanismos de concertación e instancias que permitan realmente que sean ellos los actores principales en todas las actividades relacionadas al río Hondo.

11. Referencia bibliográfica:

1. Alvarez Legorreta, T. (2007). *Monitoreo de la calidad de agua de la Bahía de Chetumal y el río Hondo*. Chetumal: ECOSUR, COQCYT CONACYT.
2. Alvarez Legorreta, T., & Sáenz Morales, R. (1999). Plaguicidas organoclorados, hidrocarburos y metales pesados en sedimentos de la bahía de Chetumal. *Programa de manejo de la zona sujeta a conservación ecológica. Santuario del manatí bahía de Chetumal*, 531-535.
3. Alvarez Legorreta, T., Medina Martin, D., & Zavala Mendoza, A. (2000). Plaguicidas organoclorados y metales pesados en sedimentos y organismos bénticos de la Bahía de Chetumal. *Bioindicadores bénticos de la Bahía de Chetumal. Informe Técnico. ECOSUR-SEMARNAT*, 82-109.
4. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (1985). *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*. Washington. Obtenido de <http://normasapa.com/como-citar-referenciar-paginas-web-con-normas-apa/>
5. Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Gómez, L., & Loa, E. (1998). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Mexico: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad.
6. Baltllori, E. (2002). *Hidrología de la península de Yucantan*. Merida: Departamento de ecología Humana. CINVESTAV IPN Unidad Mérida.
7. CONABIO. (2000). Obtenido de CONABIO web site: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_110.html
8. CONAGUA. (miercoles de Diciembre de 2012). Obtenido de CONAGUA Web site: <http://www.conagua.gob.mx/>
9. Connell, D. W., & Miller, G. J. (1984). Pollutant Behavior in Aquatic Systems. En D. W. Connell, & G. J. Miller, *Chemistry and Ecoltoxicology of pollution* (págs. 13-23). Canadá: Wiley interscience publication .
10. Contreras, F. (1984). *Manual de tecnicas hidrobiológicas*. Iztapalapa: Departamento de zootecnia.
11. Dawes, C. J. (1991). Botánica marina. En c. J. Dawes, *Botánica marina* (págs. 69-283). México: Noriega limusa.
12. De sittler, L. (1976). Geología estructural. En L. d. sittler, *Geología estructural* (págs. 117-120). Barcelona: Editorial omega.
13. EPA. (2001). National Coastal Assessment: Field operations manual. u.s. Eviromental protection agency, office of reseach and development, national healh and environmental effects. 72.
14. Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras del mar*. Santiago de Chile: Impreso en Naciones Unidas.

15. Espigares Garcia, M., & Fernandez Crehuet, M. (1999). Calidad de agua para consumo público: Caracteres físico-químicos. En J. A. Pérez López, & M. Espigares Garcia, *Estudios sanitario del agua* (págs. 85-114). Universidad de Granada.
16. Euán Avila, J. L., Liceaga Correa, M. A., & Rodriguez Sanchez, H. (2002). Caracterización de fuentes no puntuales de contaminación agrícola en el municipio de Othón P. Blanco en Quintana Roo, y su potencial influencia en la bahía de Chetumal. En F. J. Rosado May, R. Romero Mayo, & A. De Jesus Navarrete, *Contribuyentes de las ciencia al manejo costero integrado de a bahía de Chetumal y su área de influencia* (págs. 197-204). Chetumal: Universidad de Quintana Roo.
17. Flores, R. (1992). *Características ambientales del Rio Hondo Quintana Roo*. Oficina coordinadora de progra,as contra la contaminación del mar. Región Naval del caribe II/ zona naval militar. Armada de México.
18. G.Spiro, T., & M. Stigliani, W. (2004). Hidrosfera/Litosfera. En T. G.Spiro, & W. M. Stigliani, *Química medioambiental* (segunda edición ed., págs. 259-270). Madrid: pearson educación.
19. Garcia, E. (2008). *Acerca de nosotros: Modificacciones del sistema de clasificación climática de Köppen*. Obtenido de Modificacciones del sistema de clasificación climática de Köppen web side: http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf
20. GESAMP. (2001). *GESAMP*. Obtenido de GESAMP: <http://www.gesamp.org/work-programme>
21. Gómez, A., Villalba, A., Acosta, G., Castañeda, M., & Kamp, D. (viernes de Febrero de 2016). *Revista internacional de contaminación ambiental*. Obtenido de Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro: <http://132.248.8.213/rica/index.php/rica/article/view/23124>
22. Harrison, J. A. (2003). *El ciclo del Nitrógeno: De microbios y de Hombres*. visionlearnig.
23. Henderson Sellers, B., & Markland, H. R. (1987). *Acerca de nosotros: Web of science*. Obtenido de web of science web side: <http://cel.webofknowledge.com/InboundService.do?product=CEL&SID=2FLOJoeGpSIV4PrpZUO&UT=WOS%3A000166624500004&SrcApp=literatum&action=retrieve&Init=Yes&SrcAuth=atypo ncel&Func=Frame&customersID=atypo ncel&IsProductCode=Yes&mode=FullRecord>
24. Hernández Daumás, S. (2005). *Frontera sur de México*. Chiapas: El colegio de la frontera sur.
25. Hiron del, J. L. (2002). *Nitrate and man: Toxic, Harmless or Benefical?* Colchester: CABI.
26. INEGI. (1993). *Acerca de nosotros: INEGI*. Obtenido de INEGI Web site: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_148.pdf
27. Jenkins, S. (1996). Química del agua. En S. Jenkins, *Química del agua* (págs. 13-36). México: limusa noriega editores.

28. Kalman , B. (1947). *Los ríos de la tierra*. Ontario: Crabtree publishing company.
29. Kraemer, A. R., Choudhury, k., & kampa, E. (jueves de diciembre de 2012). *Recursos naturales e infraestructura*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/aidis-ar/lcl1799e.pdf>
30. L, M., Azario, R., Metzler, C., & Garcia, M. C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de las fuentes superficiales. En M. L, R. Azario, C. Metzler, & M. C. Garcia.
31. L. Tymoczko, J., M. Berg, J., & Stryer, L. (2014). *Bioquímica*. Alfaomega.
32. Lenntech. (2008). *Nitrios-Nitratos*. Delft.
33. Mackenzie , T. F., & Veer, M. B. (2002). Boundary exchanges in the global coastal margin. En T. F. Mackenzie, & M. B. Veer, *coastal goos*. Hawaii: Departament of oceanography contribution.
34. Magnon, B. C. (1996). *Diagnostico para el manejo y preservación de la cuenca hidrografica del río Hondo*. Chetumal: El colegio de la frontera sur.
35. Mancera, P., & Vida, V. (2015). Florecimiento de microalgas relacionado con la mortalidad masiva de peces en el complejo lagunar ciénaga grande de santa marta. *Boletín de investigaciones marinas y costeras*, 103-117.
36. Mason, F. H. (1984). Distribution of sheathing ectomucorhizas. En D. S. Ingram, & J. P. Helgeson, *Tissue culture methods for plant patologist* (págs. 173-178). Oxford: Blackwell Scientific.
37. Mosby. (1999). *Diccionario Mosby pocket de medicina, enfermeria y ciencias de la salud*. Elsevier mosby.
38. Nacional Coastal Assessment. (2001). EPA. En *National Coastal Assesment:Field operations manual* (pág. 72). Office of research and development,gulf ecology division, gulf brezzze, F.I. EPA/620/R-01/003.
39. Noreña Barroso, E., Zapata Perez, O., Ceja Moreno, V., & Gold Bouchot, G. (1998). Hydrocarbon and organochlorine residue concentrations in sediments from bay of Chetumal, Mexico. 81-87.
40. Ortiz, M. C., Sáenz, R. M., & Zavala, A. M. (1997). *Plaguicidad organoclorados e hidrocarburos aromáticos*. Chetumal.
41. Ortiz, M. C., Vasquez Botello, A., Díaz González, G., & Jasso Méndez, B. (1997). *Presencia de plaguicidas en la población rural y su impacto ecológico en el río Hondo*. Chetumal: CONACYT.
42. Pacheco, J., Marin, L., Cabrera, A., Rangel, S., & Escolero, O. (1991). *Estudios preliminares de la zona sur de Q.Roo*. Chetumal, QUINTANA ROO, MEXICO: Vallejo.

43. Pacheco, J., Marin, L., Cabrera, A., Steinich, B., & Escobedo, O. (2001). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Revista académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán.*, 73-81.
44. Picone, J. M., Hedin, A. E., & Drop, D. P. (2003). *Empirical model of the atmosphere*. Statistical comparisons and scientific issues.
45. Rosado May, F. J., Romero Mayo, R., & Navarrete, A. D. (2002). *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la bahía de Chetumal y su área de influencia*. Chetumal: Taller de impresiones selectas.
46. Sáenz Morales, J. R. (2001). Hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de la bahía de Chetumal, México. *Tesis de Maestría*, 40.
47. Sánchez, N., & Garduño, R. (23 de Enero de 2008). Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. 6. Obtenido de <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n68ne/clima.pdf>
48. Science for a Changing world. (2011). *Mineral commodity summaries*. Virginia: Geological Survey. Obtenido de <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2011/mcs2011.pdf>
49. Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología. (1985). *Informe sobre el estado del medio ambiente en México*. Ciudad de México: Secretaria del desarrollo urbano y ecología.
50. SEDUE. (1985). En S. d. ecología, *Programa de capacitación para operadores de plantas de tratamiento. Primer nivel. Intruducción al control de la contaminación del agua*.
51. Serrano Suarez, N. (2009). *Estudio de las variaciones espaciales y temporales de nutrientes y parámetros físico-químicos del agua del río Hondo*. Chetumal.
52. Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). *ELSERVIER*. Obtenido de <http://cedarcreek.umn.edu/biblio/fulltext/t1758.pdf>
53. *state water resources control board*. (18 de Marzo de 2013). Obtenido de http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/#wqcert
54. Stevenson, F. J. (1965). *Origin and distribution of nitrogen in soil*. madisos: Bartholomew and F.E Clack (comp).
55. USGS. (s.f.). *Acerca de nosotros: Science for a changing word*. Obtenido de Science for a changing world: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2011/mcs2011.pdf>
56. Valero Gamboa, M. E. (2002). Calidad de agua de la Bahía de Chetumal. En F. J. Rosado May, & A. De Jesús Navarrete, *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal* (págs. 179-184). Chetumal: Universidad de Quintana Roo.
57. Volger, A. L. (1969). *Química Analítica*. Buenos Aires: Kapelusz.

58. Vollenweider, R. A. (1968). *Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication*.
59. Wetzel, R. G. (1972). *limnology*. Philadelphia: SAUNDERS.

Tabla 6. Concentraciones de parámetros físico-químicos y nutrientes como herramienta de calidad de agua del río Hondo reportados en literatura cronológicamente.

Parámetros	1 (2013)	1.1 (2013)	2 (2009)	3 (2002)	4 (1992)
Salinidad (%)	0.3-0.9	0.3-0.9	0.69-1.57	N/D	0.3.7
Temperatura (C°)	26.71-30.13	26.42-29.31	25.03-28.44	25.5-26.7	23-31.5
Conductividad (µs)	0.669-1.7	0.647-1.7	1550-3260	862-1672	
Oxígeno disuelto (mg/l)	4.44-10.94	7.18-9.31	4.28-4.92	0.9-2.7	2.78-8.36
Turbidez (UNT)	6.7-6.9	8.2-8.7	N/D	N/D	
Potencial de hidrogeno (unidades)	6.33-7.48	7.01-7.68	7.09-8.05	7.17-7.56	6.88-8.9
NO ₃ ⁻ mg/l	0.087-0.297	0.071-0.463	0.114-0.230	<0.88-7.13	
NO ₂ ⁻ mg/l	0.000-0.008	0.003-0.006	0.004-0.006	N/D	
NH ₄ ⁺ mg/l	0.002-0.108	0.005-0.021	0.046-0.056	N/D	
PO ₄ mg/	0.000-0.035	-0.001-0.004	0.003-0.004	N/D	

1. Este estudio, río San Román 2013

1.1 Este estudio, río Ucum 2013

2. Serrano, N.2009

3. Gamboa, V.2002

4. Flores, 1992

Tabla 7. Comparación de la normatividad vigente de los parámetros físico-químicos y nutrientes de calidad de agua para abastecimiento en la república mexicana en la Temporada de secas.

Parámetro	Río Ucum	Rio San Román	NOM-127-SSA Salud ambiental, uso y consumo humano.	CE-CCA-001	
				Protección de la vida de agua dulce	Uso recreativo
NO3	0.463	0.297	10	S/D	S/D
NO2	0.004	0.000	0.05	S/D	S/D
NH4	0.010	0.005	0.5	0.06	S/D
PO4	0.004	0.003	S/D	0.025	S/D
Temperatura	29.31	30.13	S/D	Condiciones naturales +1.5	S/D
Salinidad	0.9	0.9	S/D	S/D	S/D
Oxígeno disuelto	9.2	8.03	S/D	5	S/D
Turbidez (UTN)	2.4	5.4	5	S/D	S/D
Conductividad	1.7	1.7	S/D	S/D	S/D
Potencial de Hidrogeno	7.89	7.88	6.5-8.5	(I)	S/D

- (I) No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de h, tomando en cuenta como base el valor natural estacional.
- (S/D) Sin dato

Tabla 8. Comparación de la normatividad vigente de los parámetros físico-químicos y nutrientes de calidad de agua para abastecimiento en la república mexicana en la Temporada de Lluvias.

Parámetro	Río Ucum	Rio San Román	NOM-127-SSA	CE-CCA-001	
				Protección de la vida de agua dulce	Uso recreativo
NO3	0.087	0.126	10	S/D	S/D
NO2	0.005	0.006	0.05	S/D	S/D
NH4	0.012	0.022	0.5	0.06	S/D
PO4	0.002	0.006	S/D	0.025	S/D
Temperatura	26.48	26.14	S/D	Condiciones naturales +1.5	S/D
Salinidad	0.3	0.3	S/D	S/D	S/D
Oxígeno disuelto	8.060	8.106	S/D	5	S/D
Turbidez (UTN)	8.013	5.925	5	S/D	S/D
Conductividad	0.640	0.635	S/D	S/D	S/D
Potencial de Hidrogeno	7.228	7.106	6.5-8.5	(I)	S/D

- (I) No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de h, tomando en cuenta como base el valor natural estacional.
- (S/D) Sin dato

Tabla 9. Concentraciones promedio y desviación estándar de parámetros físico-químicos y nutrientes como herramienta de calidad de agua de los ríos Ucum y San Román.

Parámetros	Río San Román	Río Ucum
Salinidad (‰)	0.367 (±0.200)	0.367 (±0.200)
Temperatura (°C)	26.582 (±1.349)	26.767 (±0.944)
Conductividad (µs)	0.753 (±0.356)	0.758 (±0.354)
Oxígeno disuelto (mg/l)	8.098 (±1.789)	8.187 (±1.209)
Turbidez (UNT)	5.867 (±0.859)	7.389 (±1.921)
Potencial de hidrogeno (unidades)	7.192 (±0.423)	7.301 (±0.321)
NO ₃ mg/l	0.145 (±0.66)	0.129 (±0.121)
NO ₂ mg/l	0.006 (±0.002)	0.005 (±0.001)
NH ₄ ⁺ mg/l	0.020 (±0.033)	0.011 (±0.004)
PO ₄ mg/l	0.006 (±0.010)	0.002 (±0.002)

