



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y
FECALES EN EL PEZ *Oreochromis niloticus* Y EN EL
AGUA SUPERFICIAL DEL SISTEMA LAGUNAR “LA
SABANA” EN LA CIUDAD DE CHETUMAL
QUINTANA ROO.**

TESIS

Para obtener el grado de
Ingeniero Ambiental

PRESENTA

FABIOLA MICHELLE ACOSTA AKE

DIRECTOR DE TESIS

DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS

ASESORES

DRA. MARTHA GUTIÉRREZ AGUIRRE

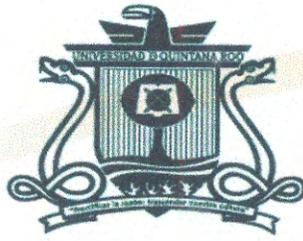
DR. ADRIÁN CERVANTES MARTÍNEZ

M.C. RUSSELL GIOVANNI UC PERAZA

DR. JOSE MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ.



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, DICIEMBRE DE 2016



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

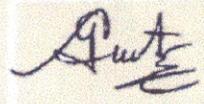
DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y
FECALES EN EL PEZ *Oreochromis niloticus* Y EN EL
AGUA SUPERFICIAL DEL SISTEMA LAGUNAR "LA
SABANA" EN LA CIUDAD DE CHETUMAL
QUINTANA ROO.

INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR:


DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS

ASESOR:


DRA. MARTHA GUTIÉRREZ AGUIRRE

ASESOR:


DR. ADRIÁN CERVANTES MARTÍNEZ



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, DICIEMBRE DE 2016

Dedicatorias

A mis padres, Gaspar Enrique Acosta Minaya y Tereza de Jesús Ake Ake, les dedico con todo mi corazón este trabajo, como la más humilde muestra que tengo de agradecimiento por su amor infinito, esperando les llene de orgullo y alegría. Gracias por darme durante toda mi vida más de lo que merecía y más de lo que a veces podían, gracias por las lecciones de vida, por el esfuerzo inconmensurable, por la paciencia, por confiar en mí y apoyarme en cada pequeño paso que daba, gracias por permitirme culminar esta etapa de mi vida, las palabras no bastan para terminarles de agradecer, los amo.

A mis hermanas, Alejandra y Ana, que aunque no se den cuenta daría la vida por ellas, porque a pesar de que al principio detestaba tener que ser el ejemplo para alguien, sin duda ahora es una de mis motivaciones, espero también estén orgullosas de mí y recuerden que siempre estaré ahí para ustedes.

A mi amor completo, mi mejor amigo Fuat José Santiago Cabañas, porque no sé qué hubiese sido de mí sin ti estos cinco años, gracias por la espera, por acompañarme en el camino y crecer junto a mí. Te amo, siempre.

A mi abuela, Adolfina Minaya, porque a pesar de que tu despedida fue prematura y difícil sé que desde algún lugar estas siempre llenándome de energía para seguir.

A todas las personas que luchan contra tanto insensato que contamina las aguas, el aire, el suelo, nuestra flora y fauna para poder salvar nuestro hermoso planeta.

Agradecimientos

Agradezco de todo corazón al Dr. Víctor Hugo Delgado Blas por todo el esfuerzo, la sabiduría, los consejos, su tiempo pero sobre todo la paciencia que me tuvo. ¡Muchas gracias!

A mis sinodales al Dr. Adrián Cervantes Martínez & Dra. Martha Gutiérrez Aguirre por ayudarme a mejorar este trabajo y por invertir tiempo en ello.

A toda mi familia, de Playa del Carmen y de Mérida porque a pesar de estar lejos sé que confían en mí y que me apoyan a pesar de todo.

A mis compañeros de generación (2011-2016) y los que llegaron a ser mis amigos espero de por vida, ustedes saben quiénes son, gracias por todos los momentos que pasamos juntos aprendiendo a mejorar este mundo en el que vivimos.

A mis amigos de Playa del Carmen y anexas, gracias por todo el cariño y amistad intachable, sin las noches de desvelo con ustedes esto hubiese sido un poco menos agradable.

A la familia Santiago Cabañas, gracias por aceptarme y tratarme con tanto amor y comprensión como si fuera parte de la familia, les estaré eternamente agradecida por todo el apoyo brindado.

A todos los maestros de la Universidad de Quintana Roo, mi hermosa alma máter que tanto voy a extrañar, que por su sabiduría y todos los recursos ofrecidos me ayudaron a completar mi formación académica.

Gracias a todos por tanto amor.

Tabla de contenido

1. RESUMEN.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. MARCO TEÓRICO.....	8
3.1. COLIFORMES.....	8
3.2. <i>Oreochromis niloticus</i>	9
3.2.1. Hábitat y biología.....	9
3.2.2. Antecedentes históricos.....	10
3.2.3. Mercado y comercio.....	11
3.2.4. Historia Nacional.....	12
3.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	13
3.3.1. Oxígeno Disuelto (OD).....	13
3.3.2. Temperatura.....	14
3.3.3. Salinidad.....	14
3.3.4. Conductividad.....	14
3.3.5. pH.....	15
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
4.1 HIPÓTESIS.....	17
4.2. OBJETIVO GENERAL.....	17
4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	17
5. JUSTIFICACIÓN.....	19
6. ANTECEDENTES.....	20
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
7.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	23
7.2. MEDICIONES IN SITU.....	25

7.3. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA Y DE ORGANISMOS	30
7.4. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA	30
7.4.1. Determinación de Coliformes totales y fecales	30
7.5. ANÁLISIS DE <i>Oreochromis niloticus</i>	33
7.6. CONCORDANCIA CON LA NORMATIVIDAD	34
7.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS: ANOVA	35
8. RESULTADOS	37
8.1. COLIFORMES TOTALES	38
8.2. COLIFORMES FECALES	41
8.3. RELACIÓN ENTRE COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES	42
8.4. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	42
8.5. CONCORDANCIA CON LA NORMATIVIDAD	45
8.5.1. Agua	45
8.5.2. Peces	46
8.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS: ANOVA	47
9. DISCUSIÓN	48
10. CONCLUSIONES	52
11. RECOMENDACIONES	53
12. REFERENCIAS	54

1. RESUMEN

La presente investigación se realizó en una laguna denominada “La Sabana” en Chetumal, Quintana Roo, México, durante los meses de marzo y mayo del 2016. Se realizó un análisis microbiológico del agua y de ejemplares de la especie *Oreochromis niloticus* para determinar la presencia de coliformes fecales y con ello la presencia de contaminación antropogénica en la laguna, de igual manera se midieron parámetros fisicoquímicos *in situ*. Los puntos de muestreo se localizaron en áreas cercanas al área de pesca y a viviendas, considerando como posibles fuentes de contaminación fecal, las domiciliarias y la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la orilla al norte de la laguna. Las determinaciones de los coliformes se hicieron mediante la técnica de NMP descrita en la NMX-AA-042-1987. La época de lluvias en mayo se destacó por tener las mayores concentraciones de coliformes fecales encontrándose en distintos puntos de la laguna valores superiores a los límites impuestos por las Normas mexicanas, y presencia mínima en el 50% de los organismos analizados. De esta manera se confirmó la influencia de la época de lluvias en la concentración de coliformes fecales y se concluyó que el principal aporte de contaminación fecal al agua de la laguna son las fuentes domiciliarias, afectando ínfimamente a los peces de la misma.

Palabras clave: coliformes, contaminación fecal, época de lluvias, *Oreochromis niloticus*, peces, laguna La sabana, Chetumal

2. INTRODUCCIÓN

Según datos estadísticos para el año 2000, en México se tenía un consumo de productos pesqueros de 12.46 kg/hab, cifra que tuvo una variación año con año de ± 1.4 kg/hab, durante la primera década del siglo XXI. Sin embargo para el reciente año 2014 el consumo decayó y se acercó a los 8.9 kg/hab (SAGARPA, 2010).

En el 2015 hubo un aumento a 2.5 kilos consumo per cápita en pescados y mariscos en México, esto debido a que constituyen una fuente balanceada de proteínas, vitaminas y minerales con un contenido calórico relativamente bajo. Para satisfacer la demanda creciente, el sector pesquero debería estar cada vez mejor preparado, con una mayor vinculación de la investigación, mejor ordenamiento pesquero y un esquema de capacitación de los pescadores, a efecto fortalecer el valor agregado a su producción y prácticas de sustentabilidad e higiene (CONAPESCA, 2015).

Cabe recalcar que el pescado es un producto altamente perecedero, por lo que los procesos de captura y comercialización deben ser monitoreados y así asegurar que es apto para el consumo humano. Ya que un producto como este puede tornarse nocivo para el consumidor, debido a la presencia de cualquier sustancia o agente, incluyendo residuos químicos alimentarios (antibióticos, plaguicidas, etc.), exceso de aditivos, materiales extraños (insectos, pelos de roedores, etc.) y microorganismos (FAO, 1997)

Los microorganismos, principalmente las bacterias, son responsables de ciertas características de los productos alimenticios, pueden producir toxinas microbianas o defectos físicos no deseables, los factores ambientales y la inadecuada manipulación están estrechamente ligados con la proliferación bacteriana, de las cuales, las bacterias patógenas son los principales riesgos de naturaleza biológica, entre las que se destacan aquellas que se encuentran de forma natural en el medio acuático y las que

se encuentran en los productos como consecuencia de la contaminación con aguas residuales.

Las principales fuentes de estos organismos patógenos son los efluentes de agua residual, lodos residuales de tratamientos de desechos y efluentes de tanques sépticos.

Las principales fuentes de estos organismos patógenos son los efluentes de agua residual, lodos residuales de tratamientos de desechos y efluentes de tanques sépticos.

La materia fecal es una forma de contaminación alimentaria, dada principalmente por la exposición del producto a fuentes de materia fecal. Es posible evaluar la efectividad del tratamiento de agua a través de los coliformes totales, bacterias gram negativas con capacidad de fermentar la lactosa, sin embargo existen bacterias más especializadas para detectar contaminación de origen fecal. El indicador de contaminación fecal más utilizado son los coliformes fecales y constituyen el 10 % de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales de sangre caliente (Marín, 2008). La presencia de estos en los alimentos representa un factor de riesgo importante en la salud de la población, exponiéndolas a enfermedades gastrointestinales y en casos extremos incluso la muerte.

El sistema lagunar “La Sabana” se encuentra al norte de la ciudad de Chetumal, es dependiente de las lluvias, del escurrimiento de las mismas y del efluente de la Planta de tratamiento de aguas residuales “El centenario”. No se tienen registros de los efectos de este efluente a la laguna “La sabana” por lo que se desconocen si hay afectación a la ecología del lugar, incluyendo los productos pesqueros de la actividad que se realizan dentro de ella.

Ahí recae la importancia de la detección de estos organismos en el agua y los animales de consumo en el área de estudio.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. COLIFORMES

Debido a que un gran número de enfermedades son transmitidas por vía fecal-oral utilizando como vehículo los alimentos y el agua, es necesario contar con microorganismos que funcionen como indicador de contaminación fecal. Estos deben de ser constantes, abundantes y exclusivos de la materia fecal, deben tener una sobrevivencia similar a la de los patógenos intestinales y debe de ser capaces de desarrollarse extraintestinalmente (Arcos Pulido, *et al.*, 2005)

El grupo coliforme es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad para multiplicarse fuera del intestino también se observan en aguas potables, por lo que el grupo coliforme se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua; conforme mayor sea el número de coliformes en agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación reciente.

Cuando los coliformes llegan a los alimentos, no sólo sobreviven, también se multiplican, por lo que en los alimentos el grupo coliforme adquiere un significado distinto al que recibe en el agua. En productos alimenticios que han recibido un tratamiento térmico (pasteurización, horneado, cocción, etc.), se utilizan como indicadores de malas prácticas sanitarias.

Los microorganismos coliformes constituyen un grupo heterogéneo con hábitat primordialmente intestinal para la mayoría de las especies que involucra. El grupo de bacterias coliformes totales comprende todos los bacilos Gram-negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h. a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Este grupo está conformado por 4 géneros principalmente: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella* (Arcos Pulido, *et al.*, 2005).

El grupo de coliformes fecales, está constituido por bacterias Gram-negativas capaces de fermentar la lactosa con producción de gas a las 48 h de incubación a $44.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$. Este grupo no incluye una especie determinada, sin embargo la más prominente es *Escherichia coli*. La demostración y el recuento de organismos coliformes, puede realizarse mediante el empleo de medios de cultivo líquidos y sólidos con características selectivas y diferenciales (Camacho, 2009).

Escherichia coli es un bacilo corto Gram-negativo que se encuentra clasificado dentro de la familia Enterobacteriaceae (bacterias entéricas), existe como comensal en el intestino delgado de humanos y animales. Sin embargo, hay algunas cepas de *E. coli* patógenas que provocan enfermedades diarreicas. Estas *E. coli* se clasifican con base en las características que presentan sus factores de virulencia únicos, cada grupo provoca la enfermedad por un mecanismo diferente. Este grupo de bacterias se encuentra constituido por las siguientes cepas: *E. coli* enterotoxigénica (ETEC), *E. coli* enteropatógena (EPEC), *E. coli* enterohemorrágica (EHEC), *E. coli* enteroinvasiva (EIEC), *E. coli* enteroagregativa (EAEC) *E. coli* enteroadherente difusa (DAEC). Existen otras cepas que no han sido perfectamente caracterizadas; de las cepas anteriores, las 4 primeras están implicadas en intoxicaciones causadas por el consumo de agua y alimentos contaminados (Arcos Pulido, *et al.*, 2005).

3.2. *Oreochromis niloticus*

3.2.1. Hábitat y biología

La tilapia del Nilo es una especie tropical que prefiere vivir en aguas someras. Las temperaturas letales son $11-12^\circ\text{C}$ y 42°C , en tanto que las temperaturas ideales varían entre 31 y 36°C . Es un consumidor omnívoro que se alimenta de fitoplancton, perifiton, plantas acuáticas, pequeños invertebrados, fauna béntica, desechos y capas bacterianas asociadas al detritus. La tilapia del Nilo puede filtrar alimentos tales como partículas suspendidas, incluyendo el fitoplancton y bacterias que atrapa en las

mucosas de su cavidad bucal, sin embargo la mayor fuente de nutrición la obtiene pastando en la superficie sobre las capas de perifiton. En estanques, la madurez sexual la alcanzan a la edad de 5 o 6 meses. El desove inicia cuando la temperatura alcanza 24°C. El proceso de reproducción empieza cuando el macho establece un territorio, excava un nido a manera de cráter y vigila su territorio. La hembra madura desova en el nido y tras la fertilización por el macho, la hembra recoge los huevos en su boca y se retira. La hembra incuba los huevos en su boca y cría a los pececillos hasta que se absorbe el saco vitelino. La incubación y crianza se completa en un período de 1 a 2 semanas, dependiendo de la temperatura. Cuando se liberan los pececillos, estos pueden volver a entrar a la boca de la madre si les amenaza algún peligro. Siendo una incubadora bucal materna, el número de huevos de una camada es mucho menor en comparación con la mayoría de otros peces de cultivo. El número de huevos es proporcional al peso del cuerpo de la hembra. Un pez hembra de 100 g desovará aproximadamente 100 huevos, en tanto que una hembra con peso de entre 600 y 1000 g podrá producir entre 1000 y 1500 huevos. El macho permanece en su territorio, cuidando el nido, y puede fertilizar los huevos de varias hembras. Si no se presenta una temporada de frío por la que se suprima un desove, la hembra puede desovar continuamente. La hembra come muy poco o se priva por completo de la alimentación mientras está incubando. La tilapia del Nilo puede vivir más de 10 años y alcanzar un peso de hasta 5 kg (FAO, 2015).

3.2.2. Antecedentes históricos.

Según la FAO (2015) el cultivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) puede rastrearse en los antiguos tiempos egipcios como lo indican los bajo-relieves de una tumba egipcia que data de más de 4000 años atrás y que muestra peces en estanques ornamentales. Mientras que la tilapia, principalmente *Oreochromis mossambicus*, se distribuyó ampliamente por todo el mundo durante las décadas de 1940 y 1950, la

diseminación de la tilapia del Nilo, más apreciada, ocurrió durante la década de 1960 y hasta principios de 1980. La tilapia del Nilo procedente de Japón se introdujo a Tailandia en 1965, y de ahí se envió a Filipinas. La tilapia del Nilo procedente de Costa de Marfil se introdujo a Brasil en 1971 y de Brasil también se envió a Estados Unidos en 1974. En 1978, la tilapia del Nilo se introdujo a China, actualmente el principal productor mundial y que continuamente ha producido más de la mitad de la producción global de 1992 a 2003. La cría incontrolada de tilapia en estanques, que condujo a un excesivo reclutamiento, enanismo y un bajo porcentaje de peces de talla comercial, empañó el entusiasmo inicial que se había generado por la tilapia como un pez para alimentar a vastos sectores de la población. El desarrollo de técnicas de reversión sexual mediante hormonas, en los años 1970s representó un triunfo importante que permitió el cultivo de poblaciones monosexuadas hasta tallas comerciales uniformes. Adicionalmente, la investigación en nutrición y sistemas de cultivo, junto con el desarrollo del mercado y avances de procesamiento, condujeron a una rápida expansión de la industria desde mediados de los años 80. Se cultivan diversas especies de tilapia a nivel comercial, pero la tilapia del Nilo es la predominante mundialmente.

3.2.3. Mercado y comercio

La tilapia del Nilo se introdujo a los países en desarrollo y se cultivó a nivel de subsistencia con el fin de satisfacer los requerimientos locales de ingesta de proteínas. Al mejorar las técnicas de producción y el control de sabor del producto, la tilapia ingresó a los principales mercados de pescado de estos países. En los países altamente industrializados, los mercados pequeños de tilapia viva localmente producida o las importaciones de tilapia congelada se desarrollaron entre las comunidades de inmigrantes. Con la aparición de filetes de tilapia fresca producida en países tropicales, se abrieron nuevos mercados en restaurantes de peces y mariscos de alta categoría,

cadena de restaurantes informales, supermercados y tiendas de descuento (FAO, 2015).

3.2.4. Historia Nacional

En México, a principios de los años sesentas, se comenzó a cultivar la tilapia. En 1964, la Dirección General de Pesca, por conducto del Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-Pesqueras (hoy Instituto Nacional de Pesca, INAPESCA) consideraron la posibilidad de importar las primeras especies, procedentes de la Universidad de Auburn, de los Estados Unidos de América; las cuales fueron llevadas al actual Centro Acuícola de “Temascal”, en el Estado de Oaxaca. Las especies introducidas en esa época correspondían a: *Tilapia redalli*, *Oreochromis mossambicus* y *O. aureus*. (Arredondo *et al.* 1994). Mediante esta primera introducción se pudo constatar que esta especie tiene una gran adaptación a las aguas epicontinentales del país, a tal grado que hoy reporta más del 90% de la producción pesquera nacional en estos cuerpos de agua. De acuerdo con Arredondo *et al.*, (1994), en el año de 1979 se transportaron a México los primeros ejemplares de *Tilapia nilótica* (*Oreochromis niloticus*) procedentes de Panamá y fueron depositados en el Centro Acuícola de “Tezontepec de Aldama” en Hidalgo, de donde, a su vez se llevaron al Centro Acuícola de Temascal, Oaxaca (Arredondo y Guzmán, 1989).

En julio de 1986, llegó otro lote de *Oreochromis niloticus* en el que venían algunos organismos de color rojo, que fueron donados a nuestro país por la Universidad de Stirling, Escocia y reclutados en las instalaciones del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV). No obstante, una parte de este lote se donó a la Secretaría de Pesca, quien se encargó de distribuirla en varios centros de investigación y acuícolas. En épocas recientes se han introducido especies menos populares como *O. urolepis* que fue utilizada para la obtención de

híbridos monosexuales, así como diversas líneas o razas sintéticas con colores atractivos para el consumidor como la tilapia roja de Florida (CONAPESCA, 2011).

3.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.

3.3.1. Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es uno de los constituyentes no conservativos más elementales en un sistema acuático y un parámetro indicativo de la calidad de un cuerpo de agua, ya que es un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos vivos en el proceso de respiración, la generación de energía y la movilización del carbono en la célula. Por otra parte también forma parte esencial en el proceso de fotosíntesis, óxido-reducción y la descomposición de la materia orgánica.

Los niveles de oxígeno disuelto necesarios para sostener la vida de organismos acuáticos varían de una especie a otra. Por otro lado, existe una gran variedad de microorganismos (bacterias, hongos y protozoarios) para los cuales el oxígeno no es indispensable (anaerobios facultativos), otros no lo utilizan, siendo indiferentes a su presencia (aerotolerantes) e incluso, para algunos el oxígeno resulta ser tóxico o inhibitorio para el crecimiento (anaerobios estrictos) (Fuentes y Massol-Deyá, 2002).

Es importante señalar que la mayor parte del oxígeno presente en los cuerpos lóticos tiene su origen a través de la actividad fotosintética, ya que el oxígeno derivado del proceso de fotosíntesis se produce como resultado de la fotólisis del agua. Sin embargo la distribución del oxígeno en un cuerpo de agua está determinado por diversos procesos como la entrada de oxígeno atmosférico y el intercambio gaseoso a través de la superficie del agua, la generación y el consumo de oxígeno dentro del cuerpo de agua a consecuencia de la producción fotosintética y la respiración, además de los procesos físicos de advección y difusión (Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 1992).

3.3.2. Temperatura

La temperatura es un parámetro que permite conocer el gradiente de energía generado por la transferencia de calor y es uno de los principales factores para la regulación de la distribución y los procesos vitales en los organismos vivos, además de ejercer influencia en las propiedades físicas y químicas presentes en un cuerpo de agua.

Algunos de los procesos en los organismos vivos que pueden sufrir afectación son la reproducción, el crecimiento, la nutrición, grado de actividad metabólica y su estado fisiológico (Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 1992).

3.3.3. Salinidad

La salinidad es un parámetro utilizado para determinar el contenido total de sales en un volumen determinado de agua y pueden ser agrupadas en elementos *conservativos* y *no conservativos*. Los elementos *conservativos* incluyen a todas las sales que se encuentran presentes en concentraciones relativamente constantes, mientras que los elementos *no conservativos* presentan variaciones en su concentración relativa de tipo temporal y espacial. (Herrera Sansores, 2011).

3.3.4. Conductividad

La conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiental. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos como los nitratos, sulfatos y fosfatos son considerados conductores relativamente buenos, mientras que las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas como los aceites, fenoles, alcoholes y azúcares no son buenos conductores de una corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la conductividad es reportada en milisiemens/metro (Fuentes, 2002).

3.3.5. pH

El potencial de hidrógeno o pH es una medida de la concentración de iones hidronio (H_3O^+) presentes en el agua. El pH expresa la intensidad de un ácido de acuerdo a su concentración y su capacidad de disociación.

Debido a que la temperatura afecta a la constante de disociación del agua, las concentraciones de los iones hidronio e hidroxilo, los valores de pH también se ven afectados.

El pH en un cuerpo de agua es un factor abiótico que regula procesos biológicos mediados por enzimas (ej. fotosíntesis, respiración); la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano en muchos ecosistemas. Variaciones en el pH pueden tener entonces efectos marcados sobre cada uno de los niveles de organización de la materia viva, desde el nivel celular hasta el nivel de ecosistemas. El pH de un cuerpo de agua puede presentar un amplio rango de variaciones dependiendo de factores como la capacidad de amortiguación, estratificación y mezcla, evaporación, procesos biológicos como la fotosíntesis, respiración y descomposición de la materia orgánica, composición de suelos adyacentes, depósitos superficiales y lecho rocoso, presión parcial de CO_2 en la atmósfera, temperatura y por fuentes de contaminación.

El rango de pH en la mayor parte de los cuerpos de agua dulce no contaminados oscila entre 6.0 y 9.0. El pH del agua es generalmente controlado por el sistema amortiguador de ácido carbónico (Fuentes, 2002).

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1 HIPÓTESIS

El sistema lagunar está siendo sobrecargado de microorganismos (coliformes fecales) por descargas de origen antropogénico que podrían estar contaminando el agua y los peces de la laguna.

4.2. OBJETIVO GENERAL

Determinar la presencia de bacterias coliformes totales y fecales en el músculo de *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La sabana”

4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar si la presencia de coliformes totales y fecales en la columna de agua del sistema cumple con la NOM-01-SEMARNAT-1996
- Determinar si la presencia de coliformes totales y fecales en *Oreochromis niloticus* cumplen con la NOM-242-SSA1-2009
- Determinar las características físico-químicas del sistema lagunar: pH, temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y conductividad.

4.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Se encuentran coliformes totales y fecales en el agua de la laguna que puedan indicar contaminación por aguas residuales, con fundamento en la NOM-01-SEMARNAT-1996?

¿Se encuentran coliformes totales y fecales en *Oreochromis niloticus* que puedan indicar contaminación microbiológica por aguas residuales, con fundamento en la NOM-242-SSA1-2009?

¿La carne de consumo humano de pesca en esta laguna se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles propuestos en la NOM-242-SSA1-2009?

5. JUSTIFICACIÓN

El sureste de Quintana Roo se caracteriza por la abundancia de cuerpos de agua superficiales, en donde las poblaciones humanas se han desarrollado. Durante generaciones la población de la ciudad de Chetumal ha aprovechado las bondades que estos cuerpos cercanos a la ciudad tienen para ofrecerle. La pesca de especies tanto endémicas como introducidas es aún hoy en día, una práctica común entre las personas que viven en las orillas de la laguna “La sabana”. Desafortunadamente la falta de conocimiento y de drenaje sanitario han sido precursores para que algunos pobladores descarguen sus aguas crudas en ella. Aunado a esto, hace aproximadamente 16 años comenzó sus operaciones a la orilla de la laguna, la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) “El Centenario”, cuyas aguas tratadas tienen como destino final la laguna. Al no haber estudios microbiológicos previos en el cuerpo de agua, se desconocen los efectos que estos hechos pudiera traer a las especies que habitan en la laguna, al ser humano que las consume y a la población que vive y realiza sus actividades cotidianas en su ribera. Un caso particular es la tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*) una de las especies de mayor consumo en la zona, de la cual no se han documentado consecuencias de las aguas tratadas sobre ella, en específico si muestra presencia de bacterias coliformes, indicador de contaminación por materia orgánica de origen antropogénico. Se hace necesario este estudio ya que de haber presencia de microorganismos asociados a desechos humanos en los peces de consumo existe un factor de riesgo significativo para la salud de la población, igualmente el presente estudio servirá como línea base a futuros análisis microbiológicos en esta laguna.

6. ANTECEDENTES

Cabe destacar que en la región sureste de México se encontró únicamente un estudio de contaminación microbiológica en peces de consumo humano.

El estudio mencionado se llevó a cabo en el norte del estado de Quintana Roo, donde se recolectaron 20 organismos de cada una de las 11 especies que fueron consideradas de importancia comercial, en cada una de las estaciones muestreadas. El área de estudio total se dividió en 8 estaciones, entre los que destacan, Isla Mujeres, Isla Contoy y Bahía de la Ascención, las cuales fueron las estaciones con mayor porcentaje de contaminación bacteriana. El área de estudio se caracteriza por un gran movimiento turístico en el norte del estado. Los microorganismos estudiados fueron las bacterias gram negativas.

Se observó que la incidencia bacteriana en los pescados analizados en este estudio, no fue selectiva, es decir, no se presentó mayor o menor tendencia de ciertas especies bacterianas, a contaminar sólo alguna o algunas especies de pescados en especial (Romero-Jarero y Negrete-Redondo, 2011).

El análisis bacteriológico realizado evidenció que las muestras de pescado recién capturado también presentaron crecimiento bacteriano. Lo anterior demuestra que los peces desde que están en el medio ambiente natural se encuentran contaminados por bacterias patógenas de origen humano y animal y su manejo en el mercado no incrementa significativamente su contaminación.

El grupo predominante fue *Streptococcus*, formado por el 93.3 % de las bacterias aisladas en el estudio; las especies de este género se encuentran en el grupo de bacterias patógenas más importantes, ya que causan una alta morbilidad en el humano.

Streptococcus faecalis se identificó y su uso como indicador de contaminación fecal no es tan frecuente; sin embargo, la abundancia con la que se presentó en las muestras en el estudio y las enfermedades que provoca, lo hacen un grupo indicador fecal importante (Romero-Jarero y Negrete-Redondo, 2011).

Se han realizado algunos estudios microbiológicos en distintos puntos de la bahía de Chetumal, la mayoría con niveles superiores a 200 NMP/100 ml. Uno de los más sobresalientes es el de Ortiz-Hernandez y Sáenz-Morales (1999) quien reportó una buena correlación entre los coliformes totales y fecales. En el estudio se analizaron 258 muestras de coliformes fecales, de los cuales 33 % estuvo por encima de los valores establecidos por la legislación mexicana.

Estudios microbiológicos de las playas de la zona norte del estado, indicaron que los niveles de bacterias coliformes detectados en el agua de las bahías de Akumal, Media Luna y la Laguna Yalkú no representaron un riesgo sanitario relevante para las actividades de recreación la mayor parte del año, pero esta última presentó mala calidad sanitaria hacia diciembre, en temporada vacacional alta, dejándose ver la fuerte influencia antropogénica en el lugar. La zona al tener posibilidades de recambio de agua y la salinidad marina puede disminuir las concentraciones de bacterias coliformes en agua, así como obstaculizar una acumulación de las mismas en el sedimento (Barrera-Escorcia y Namihira-Santillán, 2004).

En las playas del centro del estado, se analizaron los valores físico-químicos de las aguas de la zona de Xcalak, reflejando nuevamente el efecto de las actividades antropogénicas en esta área de estudio y cuyo valor pico de coliformes totales se vio fuera de los valores límites marcados en la normatividad, con un valor de 240 NMP/100 ml (Méndez Montaña, 2007).

Bravo Mendrano (2008) Determinó amonio, nitratos, nitritos y coliformes fecales en los efluentes pluviales y del manto freático localizados en la línea costera de la zona conurbada de la bahía de Chetumal. Las mayores concentraciones fueron detectadas en los efluentes pluviales y en algunos rebasó con un total de 210 organismos por cm³, lo dispuesto por la norma. Estos valores mostraron un comportamiento inversamente proporcional a las precipitaciones registradas.

A su vez, Maas Vargas (2009) reportó que en el cuerpo de agua continental superficial más cercano al área de estudio, la Laguna de Bacalar, se presentaron en distintos puntos de ésta valores de coliformes fecales positivos, de no más de 20 NMP/100ml, valores dentro del rango impuesto por la normatividad mexicana.

En la Bahía de Chetumal se reportó durante los meses de abril, mayo, julio, agosto, y septiembre del 2006 un aumento en los valores de coliformes totales y fecales, donde se superaban los límites máximos permisibles impuestos por las normas mexicanas, valores influidos por los parámetros fisicoquímicos de la zona: la profundidad, la temperatura y las precipitaciones en distintos puntos de la parte urbana de la bahía de Chetumal (Aguilar Martínez, 2011).

Como se observa, no existen estudios en el cuerpo de agua conocido como “La sabana” sobre la calidad de agua, específicamente sobre la calidad microbiológica. El único estudio conocido respecto a esta laguna es el de Alpuche, (2014), donde evalúa los aspectos físico-químicos y biológicos (zooplancton) del cuerpo, observando una proliferación mayor de los organismos zooplanctónicos en la cercanía del efluente de la planta de tratamiento.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 ÁREA DE ESTUDIO

La laguna La Sabana es un cuerpo de agua dulce que se encuentra al noroeste de la ciudad de Chetumal (Fig. 1). Chetumal es la ciudad capital del estado de Quintana Roo y se encuentra en el municipio de Othón P. Blanco. Tiene una población total de 244,553 habitantes (Escobar Nava, 1986). La Sabana se encuentra a 4 m sobre el nivel del mar, en la colonia Payo Obispo en las coordenadas geográficas 18°32'15.60"N y 88°19'18.57"W (Alpuche, 2014).

El agua de este cuerpo de agua no permanece al mismo nivel todo el año sino que depende la actividad pluvial, lo que provoca un aumento durante épocas de lluvia.

Las épocas climáticas locales correspondientes al área de estudio según Delgado *et al.*, (2011) son secas (marzo a junio), lluvias (julio a octubre) y nortes (noviembre a febrero). Sin embargo Carrillo *et al.*, (2009) discrepan situando las épocas climáticas en la época de secas de febrero a abril, la época de lluvias, de junio a septiembre (1002.4 mm), un período de disminución dentro de la temporada (en julio y agosto, conocida como canícula) y la época de nortes se sitúan en los meses de octubre a enero. La revisión a las precipitaciones de los últimos años indicó que la época de lluvias comienza en el mes de mayo ya que se diferencia mucho los niveles de precipitación entre este mes y los posteriores a este. (Servicio Meteorológico Nacional)

El cuerpo de agua se encuentra dividido en dos partes por una carretera que sirve a los pobladores de las zonas aledañas como puente para poder atravesar la laguna, esta carretera en un principio era la debajo de la carretera era resultado de un relleno de tierra, pero en los primeros meses del año 2016 fue pavimentada. En la carretera existe únicamente una red de tuberías que conecta el agua de ambos lados de la laguna.

La Sabana forma parte del sistema lagunar norponiente de la ciudad de Chetumal y de acuerdo al informe de diagnóstico preliminar para el proyecto de la preservación del Ecosistema de la región Lagunar de la zona Norponiente de la ciudad de Chetumal, Municipio de Othón P. Blanco (Dirección General de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, 2012); posee una gran diversidad de flora y fauna, muchas de las cuales son especies endémicas sujetas a protección especial enlistadas en la NOM-059-ECOL-2001, “Protección ambiental-Especies nativas de México de flora u fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo”. Dentro de la fauna relevante del sitio podemos encontrar gran variedad de aves, peces, serpientes, lagartos y mamíferos. En lo que respecta a la flora, abunda la presencia de mangle (Alpuche, 2014).

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo

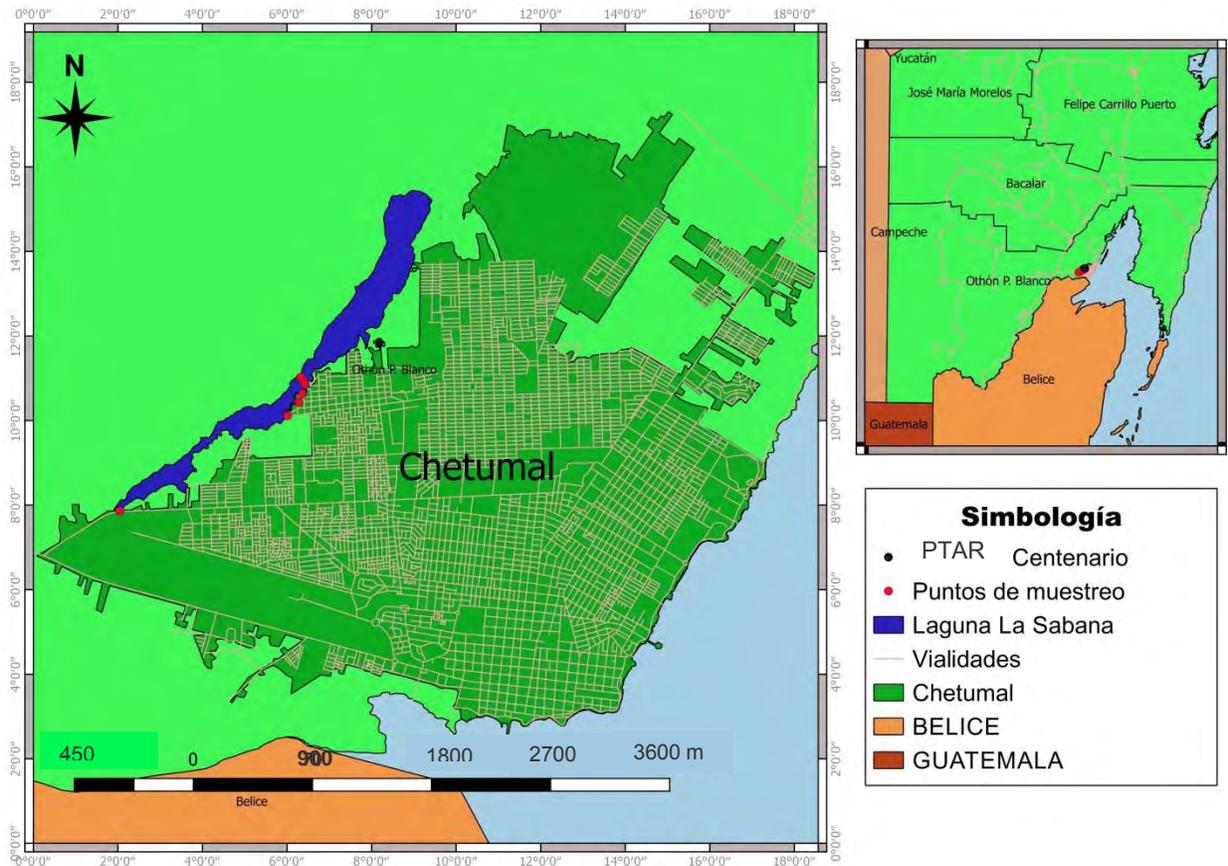


Figura 1. Mapa de la ubicación de la Laguna “La sabana”.

7.2. MEDICIONES IN SITU

Los muestreo se realizaron en dos fechas, la primera el 2 de marzo del 2016 y la segunda el 23 de mayo del 2016, el primer muestreo fue coincidente con la época de secas y el segundo muestreo se realizó a inicios de las épocas de lluvias (Carrillo *et al.*, 2009). Se fijaron 7 estaciones de muestreo abarcando únicamente dos zonas de la laguna: la zona centro y sur (Tabla 1). En la zona centro se encontraron las estaciones 1, 2, 3, 4, 5 y en la zona sur la 7 y 8 (Fig. 2). Los análisis posteriores fueron medidos en

sitios de muestreo que fueron geo posicionados con el GPS de una sonda digital Garmin (Tabla 1).

El comportamiento ambiental de la laguna “La sabana” se evaluó mediante la medición de parámetros físico-químicos in situ como son: temperatura del agua (°C), pH, oxígeno disuelto (mg/l), conductividad (mS/cm) y salinidad (PPT).

Las muestras de agua se tomaron de la superficie de la columna de agua a no más de 30 cm de profundidad, con envases estériles comerciales de 100 ml de capacidad. La temperatura del agua y el pH se midieron de manera simultánea con un medidor de pH, el oxígeno disuelto con un oxímetro Hanna HI-9142 y la conductividad con un conductímetro hi-9635.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo en la laguna La Sabana, Chetumal Quintana Roo.

Estación	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	18° 31' 57.9714"	-88° 19' 29.9634"
2	18° 31' 59.3034"	-88° 19' 30.5754"
3	18° 32' 0.9954"	-88° 19' 31.98"
4	18° 31' 53.8674"	-88° 19' 31.1874"
5	18° 31' 50.3034"	-88° 19' 32.8074"
6	18° 31' 44.4354"	-88° 19' 37.7034"
7	18° 31' 2.9634"	-88° 20' 52.98"

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo

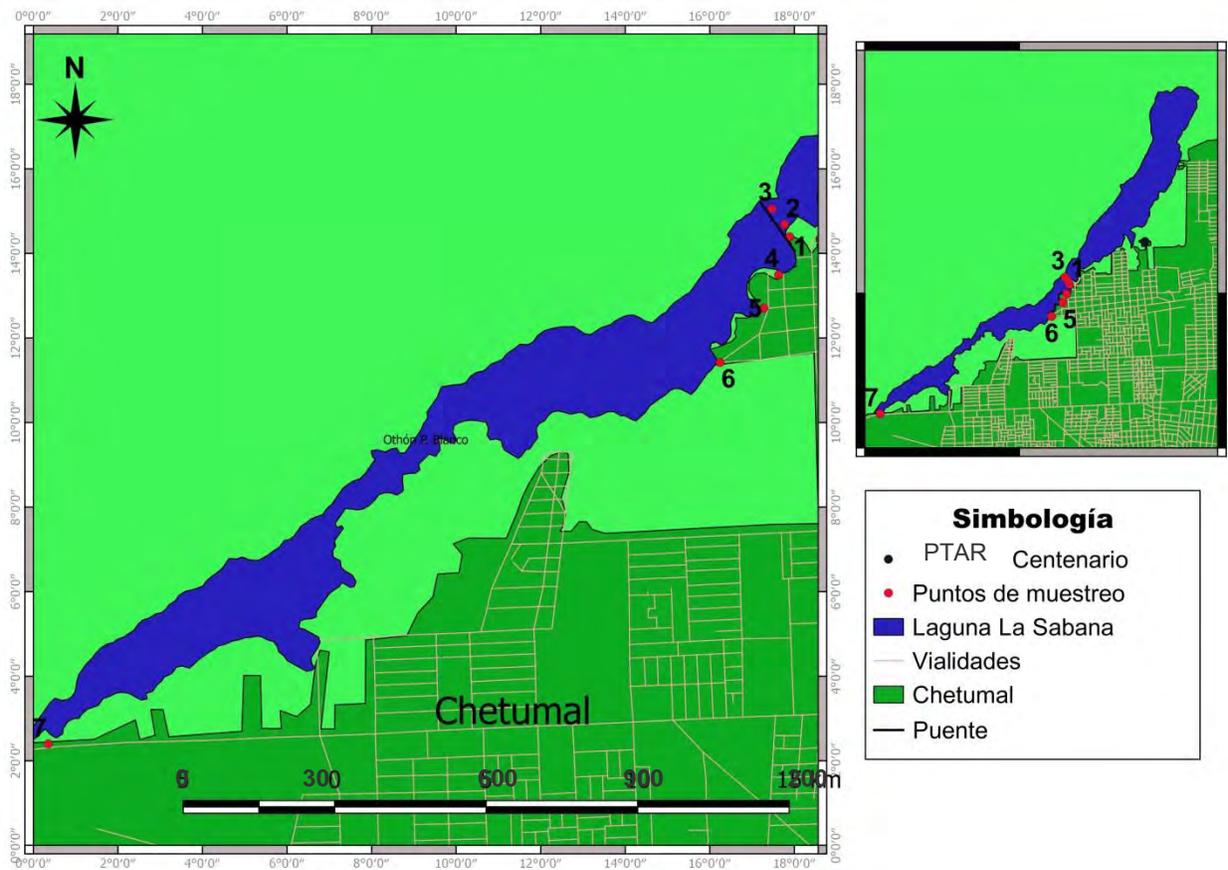


Figura 2. Localización de los puntos de muestreo en la Laguna “La sabana”

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo



Estación 1



Estación 2



Estación 3



Estación 4

Figura 3. Fotografías de las estaciones de muestreo.

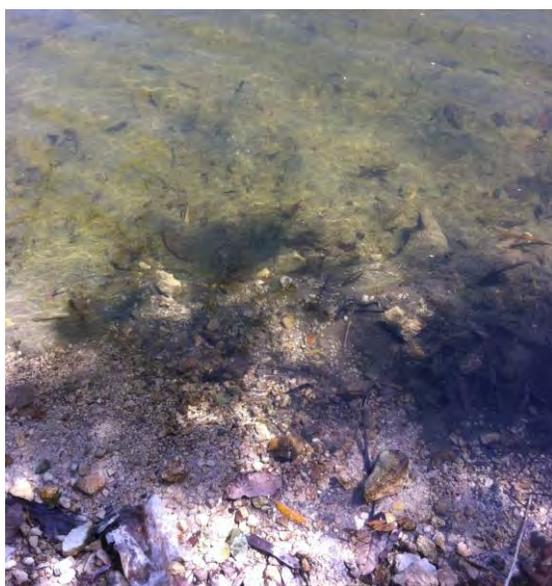
Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo



Estación 5



Estación 6



Estación 7

Figura 4. Fotografías de las estaciones de muestreo.

7.3. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA Y DE ORGANISMOS

Se recolectaron las muestras de agua en las 7 estaciones a lo largo de la laguna (Fig. 3 y 4). Los pobladores únicamente pescan tilapias en una pequeña zona de la laguna, esta zona se encuentra a pocos metros de la carretera que atraviesa la laguna, y siendo los puntos de muestreo más cercanos las estaciones 1, 2 y 3 (Fig. 2). En la estación 2 se recolectaron cuatro organismos por cada uno de los muestreos realizados, los cuales se adquirieron con los mismos pescadores locales, con el objeto de que los peces a estudiar sean del mismo sitio en que los pescadores habitualmente pescan y posteriormente venden y/o utilizan para su autoconsumo.

Para la transportación de los peces y muestras de agua al laboratorio se utilizaron neveras con hielo para su conservación y para su posterior análisis, esto para evitar fluctuaciones no deseadas en los resultados finales de los análisis.

Se realizaron dos muestras por estación las cuales se recolectaron en botellas estériles comerciales de plástico de 100 ml de capacidad y para su conservación se guardaron a 4°C de acuerdo a la normatividad mexicana en materia de calidad del agua (Norma Mexicana, 1987).

7.4. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA

7.4.1. Determinación de Coliformes totales y fecales

Para el análisis bacteriológico, el material que se utilizó fue previamente lavado, desinfectado y esterilizado en una autoclave a 121°C y 1 kg/cm² de presión durante 15 min. Para la determinación de bacterias coliformes se utilizó el método de tubos múltiples de fermentación (Número Más Probable (NMP)), que se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a 36°C ± 1°C durante 48 h. Esta determinación consta de dos pruebas (Norma Mexicana, 1987).

- **Prueba presuntiva**

Se emplearon tubos de fermentación, en donde se colocaron 10 ml de caldo lactosado, provistos de una campana Durham invertida, los cuales fueron previamente esterilizados en un autoclave. Posteriormente, en un ambiente estéril, se procedió a inocular en series de 5 y con diluciones de 10, 1 y 0.1 mililitros de muestra. Los tubos se incubaron a 36°C durante un periodo de 24 a 48 horas. La turbidez y la formación de gas dentro de las campanas, constituyó una prueba presuntiva positiva para la presencia de bacterias del grupo coliformes.

- **Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales**

Los tubos positivos obtenidos en la prueba presuntiva fueron inoculados con un asa bacteriológica en tubos viales provistos de una campana Durham y con caldo Verde Bilis Brillante. Se agitaron los tubos para su homogenización y se incubaron a 36°C de 24 a 48 horas. Después del periodo de incubación, se registraron como positivos aquellos tubos donde se observó crecimiento y formación de gas.

- **Prueba confirmativa de microorganismos coliformes fecales**

Los tubos positivos de la prueba presuntiva fueron inoculados con un asa en tubos viales con una campana Durham y con 5 ml de caldo EC. Se agitaron los tubos para su homogenización y se incubaron a 45°C durante 24 a 48 horas. La formación de gas dentro de las campanas Durham y la turbidez en el medio de cultivo constituye una prueba confirmativa positiva.

Se contabilizó el número de tubos positivos en cada dilución y se comparó con la tabla índice del NMP (Tabla 2) con un nivel de confianza de 95%. Los resultados fueron expresados como NMP/100ml (Norma Mexicana, 1987).

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo

Tabla 2. Índice del NMP con un nivel de confianza de 95%

No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100cm ³	Límite confiable de 95%		No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100cm ³	Límite confiable de 95%	
1 tubo con 50cm ³	5 tubos con 10cm ³	5 tubos con 1cm ³		Interior	Superior	1 tubo con 50cm ³	5 tubos con 10cm ³	5 tubos con 1cm ³		Interior	Superior
0	0	0	<1								
0	0	1	1	<0.5	4	1	2	1	7	1	17
0	0	2	2	<0.5	6	1	2	2	10	3	23
0	1	0	1	<0.5	4	1	2	3	12	3	28
0	1	1	2	<0.5	6	1	3	0	8	2	19
0	1	2	3	<0.5	8	1	3	1	11	3	26
0	2	0	2	<0.5	6	1	3	2	14	4	34
0	2	1	3	<0.5	8	1	3	3	18	5	53
0	2	2	4	<0.5	11	1	3	4	21	6	66
0	3	0	3	<0.5	8	1	4	0	13	4	31
0	3	1	5	<0.5	13	1	4	1	17	5	47
0	4	0	5	<0.5	13						
						1	4	2	22	7	69
1	0	0	1	<0.5	4	1	4	3	28	9	85
1	0	1	3	<0.5	8	1	4	4	35	12	100
1	0	2	4	<0.5	11	1	4	5	43	15	120
1	0	3	6	<0.5	15	1	5	0	24	8	75
1	1	0	3	<0.5	8						
						1	5	1	35	12	100
1	1	5	5	<0.5	13	1	5	2	54	18	140
1	1	7	7	1	17	1	5	3	92	27	220
1	1	9	9	2	21	1	5	4	160	39	450
1	2	5	5	<0.5	13	1	5	5	=>240		

7.5. ANÁLISIS DE *Oreochromis niloticus*

Para las mediciones se procesaron muestras de músculo del organismo (Fig. 6). Se limpió previamente la superficie corporal de cada organismo con un algodón empapado con alcohol al 70%, para posteriormente realizar la disección. Con el bisturí estéril se practicó un corte lateral desde el opérculo hasta la base de la aleta caudal (Fig. 5). Ya expuesta la cavidad visceral, se extrajeron muestras de 10 g de músculo y se homogenizaron en un mortero estéril con 90 ml de agua destilada (Romero-Jarero y Negrete-Redondo, 2011) Posteriormente se filtró el sólido restante del agua homogenizada. Para cada una de las muestras se hicieron cinco diluciones del homogenizado para llevarlas a un proceso de análisis bacteriológico igual al que fue llevada el agua previamente descrito, con una prueba presuntiva de coliformes totales, una prueba confirmativa de coliformes totales y finalmente una prueba confirmativa de coliformes fecales, análisis apegado a la normativa mexicana. (Norma Oficial Mexicana, 1987).

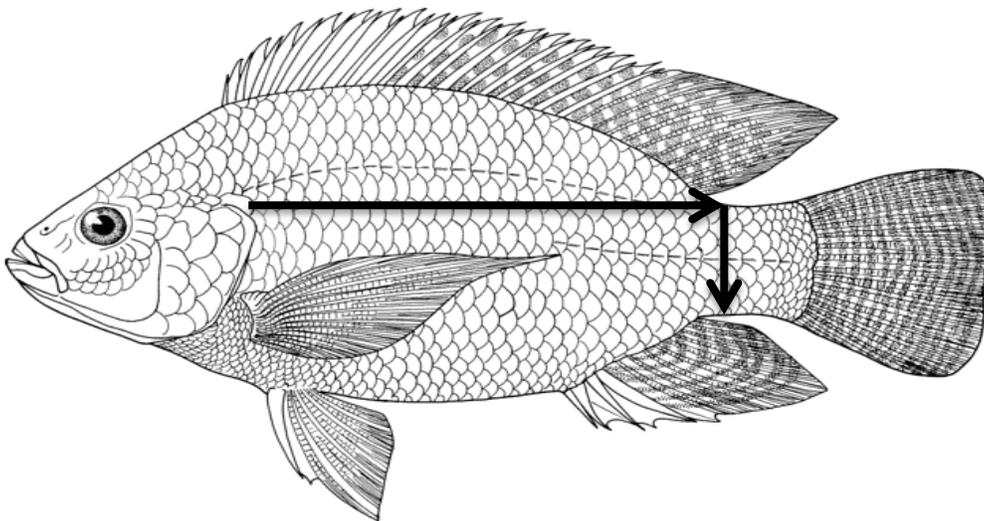


Figura 5. Cortes a realizar para la extracción de la muestra. Imagen extraída de:

<http://www.briancoad.com/Species%20Accounts/Onilotfig.htm>

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo



Figura 6. Procesamiento de las muestras de *Oreochromis niloticus*

7.6. CONCORDANCIA CON LA NORMATIVIDAD

Los resultados obtenidos se compararon con la NOM-01-SEMARNAT-1996 en el caso del agua y con la NOM-242-SSA1-2009 en el caso de los organismos *Oreochromis niloticus* para determinar su apego con la normatividad mexicana y con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CA-001/89 (SEDUE, 1990). Se utilizó la relación coliformes totales entre coliformes fecales (CT/CF) como herramienta en la identificación de fuentes fecales o ambientales de las bacterias, según a Goyal *et al.*

(1977). Lo valores mayores indican una mayor presencia de coliformes de origen ambiental.

7.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS: ANOVA

El Análisis de Varianza (ANOVA) es una prueba estadística desarrollada para realizar simultáneamente la comparación de las medias de más de dos o más poblaciones. Si el valor estadístico de prueba (análisis de varianza) nos impulsa a aceptar la hipótesis nula (H_0), se concluiría que las diferencias observadas entre las medias de las muestras se deben a la variación casual en el muestreo (y por tanto, que los valores medios de población son iguales). Si se rechaza la hipótesis nula, se concluiría que las diferencias entre los valores medios de la muestra son demasiado grandes como para deberse únicamente a la casualidad (y por ello, no todas las medias de población son iguales) y deberá aceptarse la hipótesis alternativa (H_1) Los datos para el análisis de varianza se obtienen tomando una muestra de cada población y calculando la media muestral y la variancia en el caso de cada muestra.

El programa usado fue el Excel 2010, haciéndose uso de la herramienta “Análisis de datos” que el programa ofrece. Se usó un nivel de confianza de 95%, por lo tanto un valor de significancia α (alpha) de 0.05. Del total de datos obtenidos de este ANOVA, el valor P (Probabilidad) fue el de mayor interés, ya que se trata del valor de referencia para tomar la decisión de cual hipótesis aceptar, dependiendo de si el valor P es mayor o menor a α .

Si $P < \alpha$ rechazo H_0

Si $P > \alpha$ acepto H_0

$H_0 = \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D$

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo

En este caso este análisis se usara para hacer una comparación entre los datos obtenidos de coliformes totales del primer y del segundo muestreo y entre los datos de coliformes fecales del primer y segundo muestreo.

8. RESULTADOS

Los muestreos se realizaron en diferentes épocas del año, el primero fue hecho el 2 de marzo del 2016 y el segundo el 23 de mayo del mismo año. Las diferencias en las condiciones meteorológicas entre las fechas de muestreo fueron considerables (Tablas 3 y 4).

A pesar de mostrarse marzo como el mes con mayor precipitación en comparación con el mes de mayo los días en que fueron registradas las precipitaciones fueron los días después de la fecha del muestreo, por lo que se puede deducir que las precipitaciones no afectaron el primer muestreo, mientras que la mínima precipitación del mes de mayo corresponde a apenas unos días atrás de la fecha de muestreo (Tabla 3).

Tabla 3. Condiciones atmosféricas de los meses muestreados.

Mes	Temperatura máxima promedio mensual (°C)	Temperatura media mensual (°C)	Temperatura mínima promedio mensual (°C)	Precipitación mensual (mm)	Días de lluvia antes del muestreo
Marzo	32.2	27.8	23.3	63	0
Mayo	38	30.2	17.7	3.2	2

Tabla 4. Condiciones atmosféricas de los días muestreados.

Fecha	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
2 de Marzo	32,0	26,6	21,1	0,0
23 de Mayo	34,9	30,9	26,8	0,0

8.1. COLIFORMES TOTALES

Los coliformes totales (CT) del primer muestreo se muestran en la tabla 5, teniéndose en cuatro ocasiones el máximo de coliformes (de 2400 NMP/100 ml) registrados en la estación 1, 2, 4 y 6. El valor mínimo para las estaciones fue de 94 NMP/100 ml. Por su parte, los valores en los organismos no fueron importantes con referencia a las normas mexicanas ya que los valores oscilaron con mínimos de 0.72 NMP/gr y máximos de 3.06 (Tabla 5).

El valor máximo registrado de los CT en el muestreo 2 fue 2400 NMP/100 ml en la estación 5. El valor mínimo fue de 70 NMP/100 ml en la estación 6 muy distante del valor máximo de la misma estación presentado en el muestreo 1 (Tabla 5).

Tabla 5. Valores obtenidos de coliformes totales en agua y peces en los muestreos 1 y 2.

Estación	Muestreo 1	Muestreo 2
	NMP/100 ml	
1	2400	240
2	2400	350
3	240	280
4	2400	240
5	540	2400
6	2400	70
7	94	240
Organismo	NMP/gr	
1	0.72	0.45
2	0.72	0.63
3	2.97	0.45
4	3.06	1.26

En cuanto a los CT en los organismos se presentaron valores menores que en el primer muestreo (Fig. 7).

Se puede observar diferencias muy marcadas entre los valores del segundo y del primer muestreo, con máximas no coincidentes entre ambos. Sin embargo cabe recalcar la poca variación de los niveles de CT en la estación 3 de ambos muestreos (Fig. 7).

Comparando ambos muestreos se observa que los valores mínimos en ambos muestreos se encuentran en la estación 7, mientras que el valor máximo encontrado en el muestreo 1 no es el mismo encontrado en el muestreo 2, destacándose la estación 5 en el muestreo 2 como la de mayor concentración de coliformes totales (Fig. 7) y la estación 1, 2, 4 y 6 las de mayor concentración de coliformes totales en el muestreo 2.

En cuanto a los organismos se puede observar que en el muestreo 1 hubo una mayor concentración de coliformes a comparación del muestreo 2 (Fig. 8), aunque en ninguno del total de los 8 organismos analizados se observó una concentración total de coliformes alta en el órgano analizado, el músculo.

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo

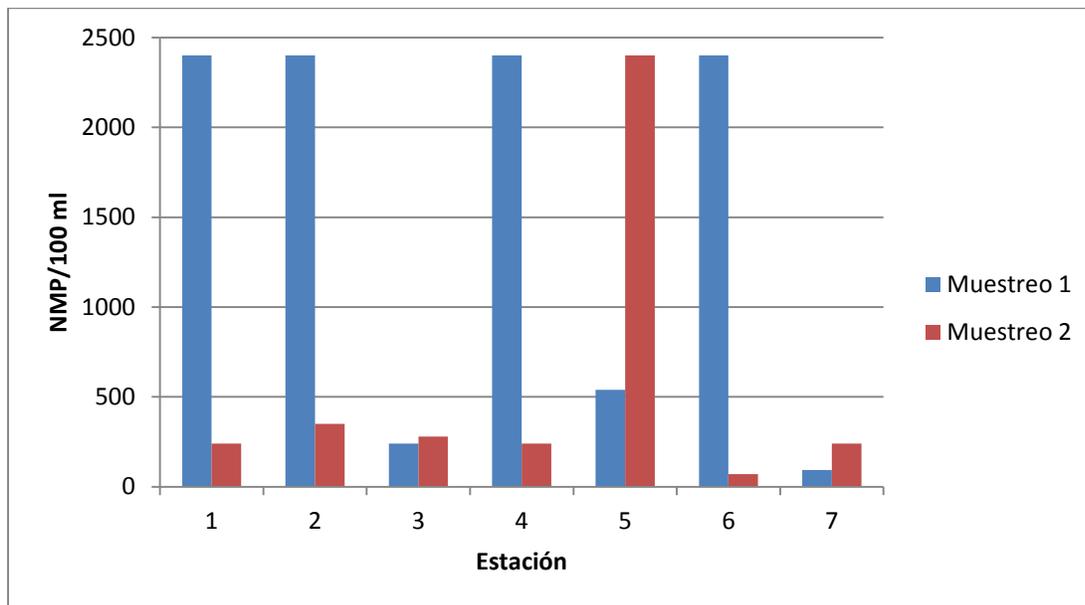


Figura 7. Comparación de valores de coliformes totales en el agua entre el primer y segundo muestreo

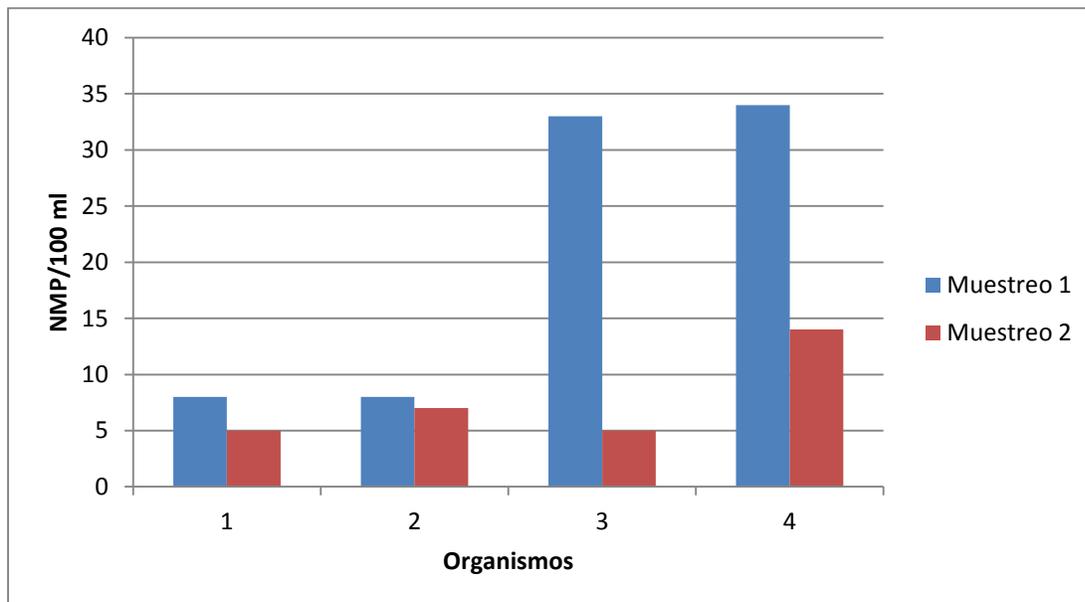


Figura 8. Comparación de valores de coliformes totales en los organismos entre el primer y segundo muestreo

8.2. COLIFORMES FECALES

Se puede observar que aunque en la prueba de coliformes totales el muestreo 1 presentó niveles mayores a 2400 NMP/100 ml, en la prueba de coliformes fecales hubo un descenso abrupto (Tabla 6), teniéndose una presencia nula de los mismos tanto en el agua como en los organismos, a pesar de haber presencia de turbidez en los tubos durante la prueba.

A diferencia del primer muestreo, el segundo mostró niveles de coliformes fecales muy diferentes de estación en estación. Se presentó la máxima (1600 NMP/100 ml) en la estación 5, y la mínima en la estación 6 (33 NMP/100 ml) asimismo las pruebas de agua (Tabla 6), mientras que en los organismos solo se pudo apreciar presencia en dos de ellos con 0.45 y 0.18 NMP/gr.

Tabla 6. Valores obtenidos de coliformes fecales en agua y peces en el muestreo 1.

Estación	Muestreo 1 Muestreo 2	
	NMP/100 ml	
1	0	240
2	0	350
3	0	170
4	0	350
5	0	1600
6	0	33
7	0	240
Organismo	NMP/gr	
1	0	0.45
2	0	0.18
3	0	0
4	0	0

8.3. RELACIÓN ENTRE COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES

Se utilizó la relación coliformes totales entre coliformes fecales (CT/CF) como herramienta en la identificación de fuentes fecales o ambientales de las bacterias. (Tabla 7).

Al no presentarse coliformes fecales en el primer muestreo no se pudo establecer una relación entre estos y los CT al tratarse de una división entre 0. En el segundo muestreo la estación que presento valores mínimos fueron la 1 y la 2 indicando una posible fuente de contaminación por materia fecal, los valores mayores indican posibles fuentes ambientales de coliformes.

Tabla 7. Relación entre coliformes totales y coliformes fecales

Muestreo	Estaciones							Organismos				
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	
1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	1	1	1.6470	0.6857	1.5	2.1212	1	1	3.5	NA	NA	NA

8.4. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Las condiciones meteorológicas tan desiguales de ambas fechas de muestreo se reflejan en los valores de los parámetros fisicoquímicos (Tabla 8). La temperatura varió en el primer muestreo de 26.8°C en la estación 7 a 25.1°C, en las estaciones 1 y 4, con un promedio de 25.87°C; con respecto al segundo muestreo varió de 28.9 en la estación 7 a 27.85°C en la estación 4, con un promedio de 28.33°C; mientras que el oxígeno disuelto el valor mínimo en el primer muestreo fue de 4.25 mg/l y en el segundo de 5.14 mg/l ambos en la estación 7, con máximos de 8.16 mg/l y 8.5 mg/l y promedios de 5.84 mg/l y 6.83 mg/l para el primer y segundo muestreo respectivamente (Fig. 9). Por su parte en la salinidad se registraron mínimas de 1.41 PPT y de 1.47 PPT, ambas registradas en la estación 2, máximas de 1.67 PPT y 1.63

PPT igualmente ambas en la estación 7 y finalmente promedios de 1.53 PPT y 1.55 PPT todos los valores del primer y segundo muestreo respectivamente. La conductividad varió en el primer muestreo de 2.83 mS/cm en la estación 2 a 3.35 mS/cm en la estación 7, con un promedio de 3.07 mS/cm; con respecto al segundo muestreo varió de 2.91 mS/cm en la estación 2 a 3.28 mS/cm en la estación 7, con un promedio de 3.08 mS/cm. En cuanto al pH el valor mínimo en el primer muestreo fue de 6.74 en la estación 2 y en el segundo de 7.15 en la estación 7, con máximos de 7.19 y 7.48 y promedios de 6.95 y 7.31 para el primer y segundo muestreo respectivamente

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos del muestreo 1 y del muestreo 2

Parámetro	Muestreo	Estación							Promedio
		1	2	3	4	5	6	7	
Temperatura (°C)	1	25.1	25.8	25.3	25.1	26.1	26.9	26.8	25.87
	2	28	28.35	28.1	27.85	28.35	28.75	28.9	28.33
Oxígeno disuelto (mg/l)	1	6.3	8.16	6	5.43	5.29	5.46	4.25	5.84
	2	7.5	8.5	7.42	6.4	6.37	6.46	5.14	6.83
Salinidad (PPT)	1	1.54	1.41	1.54	1.49	1.54	1.55	1.67	1.53
	2	1.55	1.47	1.6	1.51	1.53	1.59	1.63	1.55
Conductividad (mS/cm)	1	3.08	2.83	3.08	2.95	3.09	3.11	3.35	3.07
	2	3	2.91	3.04	3.05	3.12	3.13	3.28	3.08
pH	1	7.07	6.74	7.05	7.19	7	6.76	6.81	6.95
	2	7.4	7.18	7.39	7.48	7.3	7.26	7.15	7.31

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar "La Sabana" en la ciudad de Chetumal Quintana Roo

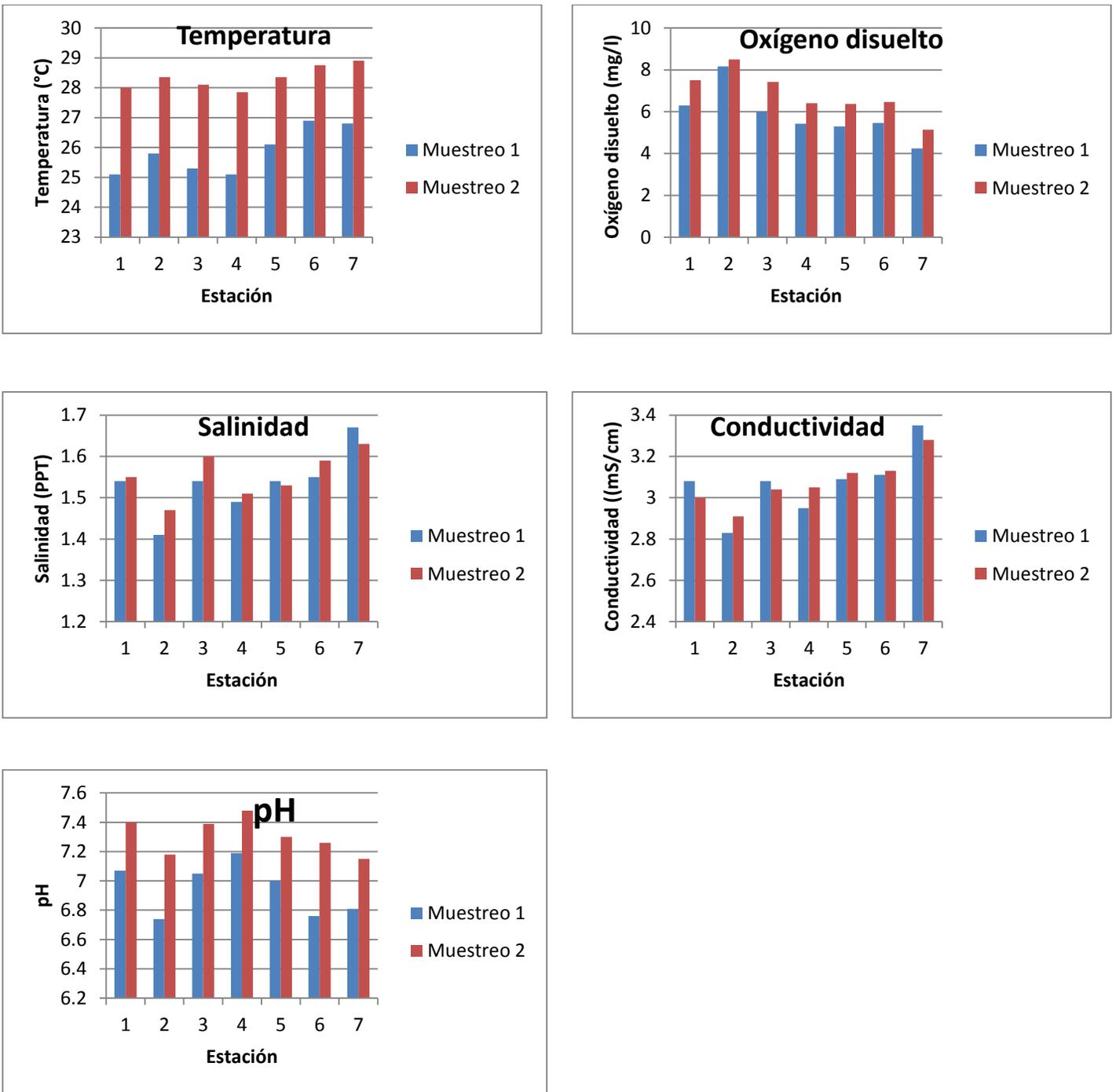


Figura 9. Comparación de los parámetros fisicoquímicos entre ambos muestreos.

Se puede observar un patrón entre ambos muestreos con respecto a las estaciones, con relación a la temperatura y el oxígeno disuelto, las mínimas y máximas coincidieron en cada estación.

8.5 CONCORDANCIA CON LA NORMATIVIDAD

8.5.1. Agua

En cuanto al cumplimiento de la normatividad de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 el límite máximo permisible para la descargas de aguas residuales vertidas en aguas y bienes nacionales es de 1000 NMP/100 ml de coliformes fecales. Es posible observar que en el segundo muestreo solamente la estación 5 esta sobre este límite, las demás, se encuentran por debajo del mismo (Fig. 10).

Continuando con la normatividad con relación al agua, los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 indican que el agua para poder ser considerada para uso recreativo y protección de la vida silvestre no debe superar los 200 NMP/100 ml. Para el segundo muestreo únicamente, casi todas las estaciones, exceptuando la estación 3 y la estación 6, superaron este valor (Fig. 10). Mientras que en el primer muestreo no se vio ni cerca del límite los valores de coliformes encontrados.

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo

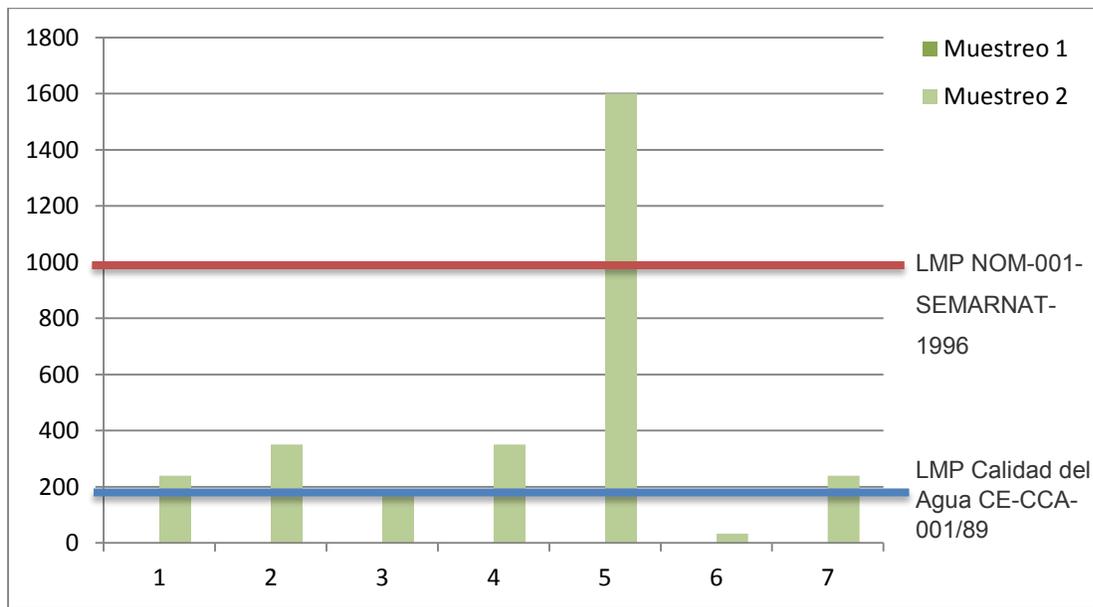


Figura 10. Comparación de valores de coliformes fecales en los organismos entre el primer y segundo muestreo.

8.5.2. Peces

Los valores arrojados en CF Y CT en peces se encontraron muy por debajo de la norma mexicana para productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados (Norma Oficial Mexicana, 2009) la cual indica un límite máximo de 400 NMP/g. Los valores de CF en este estudio no superaron 1 NMP/g, lo que puede indicar que los organismos no están siendo afectados tanto como en la columna del agua de la laguna.

8.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS: ANOVA

Se compararon estadísticamente los resultados de las siete estaciones para coliformes totales de los dos muestreos (teniéndose dos grupos de comparación con siete individuos cada uno), el análisis de varianza (ANOVA) de coliformes totales arrojó que $P = 0.0979$, al ser este valor mayor que el valor de significancia ($\alpha = 0.05$) se puede aceptar la hipótesis nula (H_0) que indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos y que sus medias aritméticas son iguales.

En el caso del ANOVA de los coliformes fecales el valor de P fue de 0.049 , contrario a los coliformes totales, ahora se acepta la H_1 la cual confirma que las medias de ambos grupos son estadísticamente diferentes. Estos resultados pueden respaldar los datos anteriores de las diferencias entre ambos muestreos.

9. DISCUSIÓN

No se presentaron diferencias importantes en la densidad de los coliformes fecales (CF) entre las estaciones de muestreo, en ninguno de los dos muestreos realizados, presentándose valores con rangos estrechos entre ellos.

Por el contrario, la densidad de CF entre los dos muestreos presentó importantes diferencias. Las precipitaciones registradas el día y el mes del muestreo diferenció notoriamente la época de secas (Muestreo 1) de la época de lluvias (Muestreo 2), la diferencia entre los CF analizados en la época de lluvias y los analizados en la época de secas dan la pauta para inferir que existe influencia de las condiciones climáticas en los valores de CF obtenidos. Estas diferencias son debido al arrastre superficial de sedimentos y partículas que se presentan de las orillas hacia el interior de la laguna en la época de lluvias en el área de estudio (Alpuche, 2014). Los valores entre ambos muestreos en cuanto a los CF fueron muy dispares con medias aritméticas de 426 NMP/100ml en la época de lluvias y totalmente ausentes en la época de secas. Este comportamiento de igual manera lo observaron Rendón y Lara, (2011), cuyos valores de CF son altos durante la temporada de lluvias y nortes, debido a los arrastres por las escorrentías y a los fenómenos hidrográficos que caracterizan las épocas, en todas las áreas de muestreo (tres áreas) en la costa de Campeche. Emiliani y Suñé, (1990) probaron la influencia del nivel hidrométrico y las precipitaciones durante los muestreos realizados en un balneario de un río salado en Argentina, midiendo la concentración de CF en días con diferentes niveles de precipitación, encontrando el nivel de contaminación por patógenos, con mínimos de 130 NMP/100 ml en los días con niveles más bajos de precipitación y máximos de hasta 79000 NMP/100 ml cuando se presentaban días con lluvia. La prueba ANOVA realizada confirma estadísticamente la diferencia de entre ambos grupos de valores de CF, rechazándose la hipótesis de que las medias de ambos grupos son iguales

Al igual que los CF, en el caso de los coliformes totales (CT) tampoco se presentó una diferencias importantes en la densidad de los CT entre cada una de las estaciones muestreadas, valores con rangos estrechos.

Se encontró una diferencia notable entre los valores promedio de los CT en el agua de la laguna entre la época de secas (1496 NMP/100ml) y la época de lluvias (545 NMP/100ml). Dado que los niveles de CT no indican una contaminación directa por materia fecal en el agua de la laguna, los altos niveles de estos, principalmente en los valores de la época de secas (primer muestreo), se puede suponer se deben al aporte de materia orgánica por la vegetación abundante presente en las estaciones, aunado con los niveles de escorrentía que se presentaron horas antes del muestreo, se puede suponer que se tratan de coliformes de origen ambiental. La relación entre coliformes totales y coliformes fecales (CT/CF) es lo que nos confirma esto, la total ausencia comprobable en el primer muestreo de CF indica que los CT podrían no ser de origen fecal (Goyal *et al.* 1977).

La evaluación microbiológica de los peces arrojó niveles detectables de CF únicamente en el segundo muestreo, si bien estos valores están muy por debajo del límite máximo permisible dado por la NOM-242-SSA1-2009, refuerzan el argumento anterior de que el agua de la laguna está siendo impactada por contaminación antropogénica. En cuanto a los CT hubo presencia en los ocho organismos evaluados (cuatro por muestreo), niveles bajos pero detectables. Sin embargo al igual que las muestras de agua, este tipo de contaminación puede ser por fuentes ambientales (Armas Zebadua, 1998). En los valores obtenidos por Marín *et al.*, (2008) concluyó que entre los tres órganos evaluados (piel, carne, vientre), la piel fue la que tuvo un conteo mayor de CT, mientras que la carne, la evaluada en este estudio, fue la que tuvo el conteo más bajo.

Con respecto a la normatividad, solamente dos de las siete estaciones del segundo muestreo cumplieron con el límite propuesto por SEDUE (1990) de 200 NMP/100ml,

con niveles de 170 NMP/100ml para la estación 3 y 33 NMP/100ml para la estación 6, desafortunadamente este límite se vio superado lo que indica que el agua no es considerada apta para uso recreativo por contacto primario y para la protección de la vida acuática, considerándose el valor máximo del agua en este estudio para CF fue de 1600 NMP/100ml en la estación 5. En cuanto al apego a la NOM-001-SEMARNAT-1996 a excepción del recién mencionado valor máximo de la estación 5, todas las demás estaciones estuvieron por debajo del límite máximo permisible impuesto por la norma para las descargas de aguas residuales vertidas en aguas y bienes nacionales. Con la normatividad referente a los organismos analizados la NOM-242-SSA1-2009 indica que el límite máximo permisible de CF para pescados frescos-refrigerados es de 400 NMP/g, siendo el valor máximo encontrado de menos de 1 NMP/g (0.42 NMP/g), situación que no implica un riesgo, según este estudio, para la población que hace uso de esta especie como consumo humano.

La carretera que divide la laguna en dos partes resultó un limitante para el flujo de agua de al fragmentar la laguna, afectando las variables fisicoquímicas en el estudio realizado por Alpuche (2014) Por consiguiente en el presente estudio se pensó que la carretera de manera similar sería una limitante para el flujo de los coliformes de la parte norte de la laguna hacia la parte sur, lo que nos pudo haber marcado el mayor impacto de la parte norte causado por los aportes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) “El centenario”, sin embargo los valores de CF no indicaron una diferencia entre las estaciones 1 y 2 (las estaciones de la parte central de la laguna) y las demás estaciones (del sur de la laguna), incluso la estación previamente mencionada con el mayor valor de CF (estación 5) es una de las más lejanas del puente, lo que nos indica que no solamente la PTAR está aportando contaminación de origen fecal a la laguna, sino también los domicilios ubicados en la rivera de la laguna.

Este argumento solo contradice parcialmente la hipótesis, ya que no exenta a la PTAR como fuente de contaminación por materia orgánica.

A su vez, los parámetros fisicoquímicos detectados en ambos muestreos, la temperatura siguió un patrón ascendente, mismo que puede ser explicado por las diferencias en las horas del muestreo, el oxígeno disuelto siguió un patrón descendente coincidiendo con el de la temperatura, situación esperada para el comportamiento inverso proporcional del oxígeno disuelto con respecto a la temperatura. El incremento de la intensidad del viento y de las corrientes incrementa la temperatura de los lagos. (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 1992). Al tratarse La Sabana de una laguna somera los efectos en su cambio de temperatura causados por la radiación solar, viento, corrientes es mayor.

En cuanto al pH, salinidad y la conductividad se observó un patrón únicamente entre los dos muestreos, pero no se observó un patrón con respecto a las estaciones, y los cambios entre una y otra fueron prácticamente despreciables.

En el caso del pH apenas hubo diferencias entre cada uno de las estaciones, presentándose valores regulares y dentro de los rangos encontrados igualmente encontrados por Alpuche (2014) para muestras de agua superficial de la laguna. En el segundo muestreo se observa una ligera elevación de los niveles de pH con respecto a los obtenidos en el primero, lo que se podría justificar con las precipitaciones observadas.

La salinidad tuvo valores casi despreciables, medidos con PPT, lo que nos confirma el hecho de que nos encontramos con un cuerpo de agua dulce.

La conductividad, al igual que la temperatura se ve influida por fenómenos fisicoquímicos que afectan a la laguna por ser un cuerpo de agua somero, tales como el viento, las corrientes, la precipitación y la evaporación.

10. CONCLUSIONES

- Los niveles de coliformes fecales encontrados en la laguna “La sabana” rebasaron los límites máximos permisibles en la mayoría de las estaciones por la normatividad vigente en nuestro país (NOM-01-SEMARNAT-1996)
- Los niveles de coliformes fecales encontrados en *Oreochromis niloticus* no rebasan los límites establecidos por las normas, pero no se debe exentar los riesgos para la salud humana, por los niveles de CF encontrados en el agua de la laguna.
- Los coliformes totales no se vieron influenciados por las condiciones ambientales, mientras que los coliformes fecales fueron influenciados por la temperatura y por el escurrimiento ocasionado por las precipitaciones en la laguna.
- El nivel de contaminación de origen antropogénico en la laguna “La sabana” no solamente está asociado con la PTAR de la zona, sino también con las fuentes domiciliarias de aguas negras que se encuentran en su rivera.

11. RECOMENDACIONES

- Realizar un monitoreo continuo de los niveles de coliformes fecales en el agua y los peces de la laguna abarcando todas las épocas de año.
- Realizar más evaluaciones tomando en cuenta distintas profundidades y sedimentos en la laguna.
- Igualmente deben considerarse para su evaluación otros órganos del *Oreochromis niloticus*, y de igual manera realizar estudios microbiológicos más selectivos.
- Aumentar el número de estaciones en la laguna considerando distintas distancias de las posibles fuentes de contaminación y con ello constatar los resultados de esta investigación.
- Dotar de alcantarillado público a las viviendas cercanas a la laguna para evitar el desecho de sus aguas en ella.
- Informar a la población de los posibles riesgos en la salud provocados por el agua de la laguna.

12. REFERENCIAS

- Aguilar Martínez, P. (2011). *Evaluación de coliformes totales y fecales como indicadores de contaminación fecal en la zona conurbada de la bahía de Chetumal (Tesis de licenciatura)*. Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Quintana Roo, México.
- Alpuche, S. L. (2014). *Caracterización Físico-química en la laguna La Sabana, Quintana Roo (Tesis de Licenciatura)*. Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México.
- Arcos Pulido, M. D., Ávila de Navia, S. L., Estupiñán Torres, S. M., y Gómez Prieto, A. C. (2005). Indicadores Microbiológicos de Contaminación de las Fuentes de Aguas. *Nova Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 3(4), 69-79.
- Armas Zebadua J.F., (1998) *Cuantificación de coliformes y determinación de Salmonella en pescados del lago de Amatitlan. (Tesis de licenciatura)* Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Arredondo, F., Campos M. y Garduño A. (1994). Desarrollo científico y tecnológico del banco de genoma de tilapia. SEPESCA-UAM. México.
- Arredondo, F. y Guzmán, M. (1989). Actual situación taxonómica de la especies de la tribu Tilapiini (Peces: Cichlidae) introducidas en México.
- Barrera-Escorcía, G., y Namihira-Santillán, P. E. (2004). Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 27-35.
- Bravo Mendrano, A. A. (2008). *Determinación de nitrógeno inorgánico y coliformes fecales en los efluentes de pluviales y del freático que desembocan en la bahía de Chetumal*. Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México.

- Camacho, A. (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos* (Manual). Facultad de Química, UNAM. México.
- Carrillo L., Palacios-Hernández E., Ramírez A. M. Y Morales-Vela J. B. (2009) *Características hidrometeorológicas y batimétricas*. El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / corozal: costa occidental del mar caribe. El Colegio de la Frontera Sur. Chetumal, México
- CONAPESCA. (2011). *Guía empresarial para el cultivo, engorda y comercialización de la tilapia* (Manual). Sinaloa, México
- CONAPESCA. (2015). Aumenta México en 2.5 kilos per cápita de pescados y mariscos. Reporte técnico. 3-5 p.
- Delgado-Blas V. H., Hernández H. A. Y Kuk J. G. (2011) *Distribución espacial y temporal de poliquetos (polychaeta: annelida) de la bahía de Chetumal, Quintana Roo*. Avances de ciencia y tecnología en Quintana Roo. Universidad de Quintana Roo. Quintana Roo, México.
- Dirección General de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. (2012) *Diagnóstico preliminar para el proyecto Preservación ecosistémica de la Región Lagunar Norponiente de la ciudad de Chetumal, municipio de Othón P. Blanco*. Reporte técnico. 27 p.
- Escobar Nava, A. (1986). Geografía General del Estado de Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo: Impresiones Gales, S.A.páginas
- Emiliani F., y Suñé N. (1990) Relaciones entre coliformes fecales, lluvias y nivel hidrométrico (Río salado, Sto Tome, Santa Fe). Revista de la asociación de ciencias naturales del litoral. 99-102
- FAO (1997) Aseguramiento de la calidad de los productos pesqueros. Documento técnico de pesca. Roma, Italia: Laboratorio tecnológico, Ministerio de pesca.

- FAO (2015). *Cultured Aquatic Species Information Programme Oreochromis niloticus*. Programa de información de especies acuáticas. Consultado en Nov. 2015 en http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/es#tcNA002B
- Fuentes, F., y Massol-Deyá, A. (2002). *Ecología de Microorganismos*. Puerto Rico: Recinto Universitario de Mayaguez, Universidad de Puerto Rico.
- Goyal S.M., Gerba C.P., y Melnick J.L. (1977) *Occurrence and Distribution of Bacterial Indicators and Pathogens in Canal Communities Along the Texas Coast*. American Society for Microbiology. Department of Virology and Epidemiology, Baylor College of Medicine, Houston, Texas. 139-149
- Herrera Sansores, J. C. (2011). *Recursos Hídricos: Hidrología Subterránea*. Riqueza Biológica de Quintana Roo: Un Análisis para su Conservación (Vol. I). México, DF: ECOSUR, CONABIO, Gobierno del Estado de Quintana Roo & PPD. 34-41
- Maas Vargas, M. G. (2009). *Laguna de bacalar research*. Colegio de Bachilleres del Estado de Quintana Roo, Plantel Bacalar. Consultado en nov. 2015 en http://www.lagunabacalarinstitute.com/Maas-Bacalar_Research.pdf
- Marcano, J. E. (2010) *Ecología de las Aguas Dulces*. Obtenido de Educación Ambiental en la República Dominicana. Consultado en Nov 2015 en: <http://www.jmarcano.com/>
- Marín, C., Fonseca, C., Arias, S., Villegas, I., García, A., y Ishihara, H. (2008). Carga bacteriana de los peces *Cynoscion squamipinnis* (Perciformes: Scianidae) y *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) en la cadena de comercialización, Costa Rica. *Estación de Biología Marina, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional*.

- Méndez Montaña, B. A. (2007). *Contaminación costera en la zona de Xcalak, Quintana Roo, México*. Proyecto del Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Quintana Roo.
- Norma Oficial Mexicana (1987). NMX-AA-42-1987: Calidad del agua determinación del número más probable (nmp) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva
- Norma Oficial Mexicana (2009) NOM-242-SSA1-2009: Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.
- Ortiz-Hernandez, M. C., y Sáenz-Morales, R. (1999). Effects of Organic Material and Distribution of Fecal Coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Environmental Monitoring and Assessment*, 423.
- Rendón Von Ostén J., y Lara Flores M. (2011) Coliformes fecales y totales en agua de tres sistemas acuáticos de la zona costera de Campeche. *De Chiapas a la Península de Yucatán: intersticios hídricos*. 183-194
- Roldán Pérez G. A., y Ramírez Restrepo J. J. (1992) Fundamentos de limnología neotropical. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. 187
- Romero-Jarero, J. M., y Negrete-Redondo, M. P. (2011). Presence of Gram negative bacteria in fish muscle of commercial importance in the Mexican Caribbean zone. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 599-606.
- SAGARPA. (2010). *Anuario estadístico de acuacultura y pesca*. Sinaloa, México.
- SEDUE. (1990). Acuerdo por el que se Establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CA-001/89. En *Gaceta Ecológica*. Ciudad de México: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 38-45

Determinación de coliformes totales y fecales en el pez *Oreochromis niloticus* y en el agua superficial del sistema lagunar “La Sabana” en la ciudad de Chetumal Quintana Roo

Servicio Meteorológico Nacional. Resúmenes mensuales de temperatura y lluvia.

Obtenido de Comisión Nacional del Agua. Consultado en Nov 2016 en:

<http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>