



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

---

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR  
COLIFORMES TOTALES Y FECALIS EN BALNEARIOS  
DEL SUR DE QUINTANA ROO EN RELACIÓN AL PERIODO  
VACACIONAL DE PRIMAVERA DEL 2016**

---

**TESIS**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**INGENIERA AMBIENTAL**

**PRESENTA**  
**DAFNE GABRIELA ACEVES ZAYAS**

**DIRECTOR**  
**DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS**

**ASESORES**  
**M. PL. MÓNICA ARIADNA CHARGOY ROSAS**  
**M.I.A. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES**  
**DRA. MARTHA ANGÉLICA GUTIÉRREZ AGUIRRE**  
**DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ**



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, ABRIL DE 2018



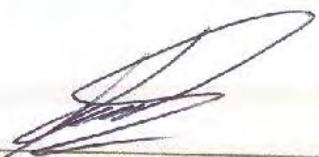
**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

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

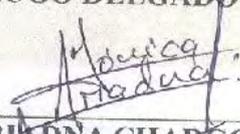
**INGENIERA AMBIENTAL**

**COMITÉ DE TESIS**

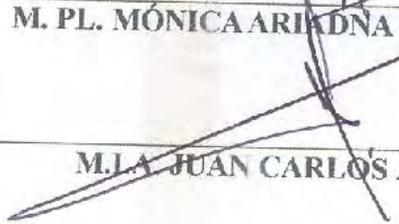
**DIRECTOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**M. PL. MÓNICA ARIADNA CHARGOY ROSAS**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**M. LA. JUAN CARLOS ÁVILA REVELS**



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, ABRIL DE 2019



## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, Gabriela Zayas y Manuel Aceves, por todo el esfuerzo que han hecho por mí y su apoyo incondicional. Los amo. Este es sólo el inicio de mis logros académicos, se los prometo.*

*A Erick Calderón, por todos los años de amor y las cosas buenas que tuvimos la fortuna de vivir juntos, entre ellas el desarrollo de esta investigación.*

*A Víctor Hugo Delgado y los profesores que me asesoraron para la elaboración de la presente tesis. Gracias por la orientación, sus consejos y su tiempo.*

## CONTENIDO

---

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | RESUMEN.....   | 7  |
| 2.     | INTRODUCCIÓN.....  | 8  |
| 3.     | MARCO TEÓRICO.....   | 10 |
| 3.1    | EL TURISMO EN LA ZONA SUR DE QUINTANA ROO Y SUS IMPACTOS EN EL AMBIENTE..... | 10 |
| 3.2    | BACTERIAS COLIFORMES COMO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN.....                  | 12 |
| 4.     | ANTECEDENTES.....  | 14 |
| 4.1.   | BAHÍA DE CHETUMAL.....   | 14 |
| 4.2.   | LAGUNA DE BACALAR.....   | 15 |
| 4.3.   | CENOTE AZUL.....   | 15 |
| 4.4.   | LAGUNA MILAGROS.....   | 16 |
| 4.5.   | INFLUENCIA DE LOS PERIODOS VACACIONALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA.....       | 17 |
| 5.     | ÁREA DE ESTUDIO.....   | 18 |
| 5.1.   | QUINTANA ROO.....  | 18 |
| 5.2.   | BAHÍA DE CHETUMAL.....   | 19 |
| 5.3.   | LAGUNA DE BACALAR.....   | 20 |
| 5.4.   | CENOTE AZUL.....   | 21 |
| 5.5.   | LAGUNA MILAGROS.....   | 21 |
| 6.     | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....  | 22 |
| 6.1.   | PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....  | 22 |
| 6.2.   | OBJETIVOS.....   | 22 |
| 6.2.1. | GENERAL.....   | 22 |
| 6.2.2. | ESPECÍFICOS.....   | 22 |
| 6.3.   | JUSTIFICACIÓN.....   | 23 |
| 6.4.   | HIPÓTESIS.....   | 23 |
| 7.     | MÉTODOS.....   | 24 |
| 8.     | RESULTADOS.....  | 28 |
| 8.1.   | COLIFORMES TOTALES.....  | 28 |
| 8.2.   | COLIFORMES FECALES.....  | 30 |
| 8.3.   | RELACIÓN ENTRE COLIFORMES TOTALES Y FECALES.....                             | 33 |
| 8.4.   | CONCORDANCIA CON LA NORMATIVIDAD.....  | 35 |
| 8.5.   | PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....   | 35 |
| 8.5.1. | TEMPERATURA.....   | 36 |
| 8.5.2. | OXÍGENO DISUELTO.....  | 37 |
| 8.5.3. | SALINIDAD.....   | 37 |

---

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 8.5.4. | POTENCIAL DE HIDRÓGENO.....                       | 38 |
| 8.6.   | VARIACIÓN DE PARÁMETROS .....                     | 39 |
| 8.7.   | CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....                   | 43 |
| 9.     | DISCUSIONES.....                                  | 45 |
| 9.1.   | COLIFORMES TOTALES.....                           | 45 |
| 9.2.   | COLIFORMES FECALES.....                           | 46 |
| 9.3.   | RELACIÓN ENTRE COLIFORMES TOTALES Y FECALES ..... | 49 |
| 9.4.   | CONCORDANCIA CON LA NORMATIVIDAD .....            | 50 |
| 9.5.   | PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS .....                   | 50 |
| 9.6.   | CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....                   | 52 |
| 10.    | CONCLUSIONES.....                                 | 53 |
| 11.    | RECOMENDACIONES .....                             | 54 |
| 12.    | BIBLIOGRAFÍA .....                                | 55 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación de los puntos de muestreo. ....  | 26 |
| <b>Figura 2.</b> Valores de coliformes totales obtenidos por sitio en los tres muestreos. ....  | 29 |
| <b>Figura 3.</b> Comparación de los coliformes totales medidos en cada sitio de muestreo. ....  | 30 |
| <b>Figura 4.</b> Valores de coliformes fecales obtenidos por sitio en los tres muestreos. ....  | 32 |
| <b>Figura 5.</b> Comparación de los coliformes fecales medidos en cada sitio de muestreo. ....  | 33 |
| <b>Figura 6.</b> Valores de la relación CT/CF para cada balneario. ....   | 34 |
| <b>Figura 7.</b> Parámetros fisicoquímicos por sitio registrados en cada muestreo. ....   | 39 |
| <b>Figura 8.</b> Diagrama de sombras de variables fisicoquímicas y bacteriológicas. ....  | 40 |
| <b>Figura 9.</b> Diagrama de componentes principales del Balneario Ejidal ....  | 40 |
| <b>Figura 10.</b> Diagrama de componentes principales del Cenote Azul ....  | 41 |
| <b>Figura 11.</b> Diagrama de componentes principales de Laguna Milagros ....   | 41 |
| <b>Figura 12.</b> Diagrama de componentes principales de Dos Mulas ....   | 42 |
| <b>Figura 13.</b> Diagrama de componentes principales del Calderitas ....   | 42 |
| <b>Figura 14.</b> Comparación de la condición del agua en cada sitio de muestreo<br>antes, durante y después de un periodo vacacional. .... | 44 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Ubicación de los sitios de muestreo en coordenadas geográficas sexagesimales. .... | 25 |
| <b>Tabla 2.</b> Valores obtenidos de coliformes totales en los tres muestreos. ....                | 28 |
| <b>Tabla 3.</b> Valores obtenidos de coliformes fecales en los tres muestreos. ....                | 31 |
| <b>Tabla 4.</b> Relación coliformes totales entre coliformes fecales (CT/CF). ....                 | 34 |
| <b>Tabla 5.</b> Parámetros fisicoquímicos por muestreo en cada sitio. ....                         | 35 |
| <b>Tabla 6.</b> Condiciones meteorológicas en Chetumal durante los muestreos. ....                 | 43 |

## 1. RESUMEN

---

El sur de Quintana Roo cuenta con un gran número de cuerpos de agua dulce y balnearios, los cuales son especialmente concurridos en las temporadas vacacionales. Sin embargo el contacto con aguas microbiológicamente contaminadas derivado de actividades recreativas conlleva un riesgo para la salud. Debido a esto, en la presente investigación se analiza la calidad bacteriológica de cinco balnearios del sur de Quintana Roo antes, durante y después del periodo vacacional de Semana Santa del 2016. Se determinaron los valores de coliformes totales y fecales en el agua superficial conforme al método del número más probable y se compararon con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CA-001/89. El nivel de coliformes totales fue especialmente alto (2400 NMP/100 ml) durante las vacaciones en el Balneario Ejidal y en la Laguna Milagros (920 NMP/100 ml) en el periodo post-vacacional. En tres de los cinco sitios (Balneario Ejidal, Cenote Azul y Calderitas) se observó un incremento de coliformes totales durante las vacaciones. De igual manera se identificó un aumento en la cantidad de coliformes de origen fecal durante vacaciones en tres de los cinco sitios (Balneario Ejidal, Laguna Milagros y Calderitas). En dos sitios se presentaron valores por encima de lo indicado en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, en Laguna Milagros durante las vacaciones (240 NMP/100 ml) y en Dos Mulas en el periodo pre-vacacional (240 NMP/100 ml).

**Palabras clave:** Coliformes totales, coliformes fecales, periodo vacacional, balnearios, calidad bacteriológica.

## 2. INTRODUCCIÓN

---

Actualmente la costa de Quintana Roo se posiciona como la principal región turística del país, recibiendo en el año 2015 a más de 13 millones de turistas nacionales y extranjeros (SECTUR, 2015). Se puede esperar que las variaciones estacionales de visitantes ejerzan presión sobre algunos de los servicios básicos, aumentando por ejemplo la demanda del servicio de saneamiento de aguas residuales.

En México las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) se situaron durante el año 2012 como la segunda causa de morbilidad y la número diecinueve en mortalidad general de la población, siendo los niños menores de cinco años los más afectados. En el mismo año se reportaron un total de 82,869 casos de EDA en el estado de Quintana Roo (Secretaría de Salud, 2014).

Las EDA son ocasionadas muchas veces por agentes como virus, bacterias y parásitos presentes en el agua a consecuencia de una contaminación de origen fecal. De acuerdo con la Secretaría de Salud, Quintana Roo reporta una tasa de incidencia de enfermedades gastrointestinales superior a la media nacional, las enfermedades parasitarias son el principal problema de salud pública de origen hídrico, a causa de altos niveles de contaminación bacteriana (CONAGUA, 2013). La contaminación fecal de los cuerpos de agua superficiales puede ser debido a descargas de aguas residuales deficientemente tratadas o sin tratar, escurrimientos pluviales que acarrear, por ejemplo, heces de animales domésticos o de ganado, o por efluentes de fosas sépticas que no funcionan adecuadamente.

El contacto con aguas microbiológicamente contaminadas derivado de actividades recreativas conlleva un riesgo para la salud, ya que los organismos patógenos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta cuadros graves de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea (Arcos Pulido *et al.*, 2005).

La determinación de coliformes totales y fecales se ha empleado desde hace muchos años como un indicador de contaminación de contaminación fecal en agua debido a que

estas bacterias se encuentran en abundancia en el intestino humano (Glynn y Heinke, 1999).

El presente trabajo de investigación se enfoca en determinar el nivel de contaminación bacteriológica de cinco balnearios cercanos a la capital del Estado, con la finalidad de conocer si la calidad del agua pudiera representar un riesgo para la salud de los bañistas, ya que estos sitios son visitados con frecuencia durante los fines de semana y los calurosos periodos vacacionales.

### 3. MARCO TEÓRICO

---

#### 3.1. EL TURISMO EN LA ZONA SUR DE QUINTANA ROO Y SUS IMPACTOS EN EL AMBIENTE

Se ha observado que en México el sector productivo del turismo se encuentra en permanente crecimiento de manera significativa, restándole importancia a otras actividades productivas como los sectores de la agricultura y el comercio (Romero Martínez, 2011).

La Península de Yucatán es una de las principales regiones con importancia turística para el país, particularmente por la zona costera del Estado de Quintana Roo, la cual cuenta con reconocimiento internacional (Federman, 2013). En los años cincuenta se inicia el desarrollo turístico de Quintana Roo, en Cozumel e Isla Mujeres, mediante un turismo de pequeña escala financiado por capital local. Es en 1967 cuando el programa federal de desarrollo turístico se expande a la península de Yucatán y, en 1974 se crea el Fondo Nacional de Turismo (FONATUR) con la función principal de financiar los programas turísticos e inversión hacia las zonas de interés nacional, siendo Quintana Roo una de las principales. Es entonces cuando se inicia la primera fase del desarrollo del turismo masivo en Cancún, controlado y planificado por el gobierno federal (Cisneros Reyes *et al.*, 2007).

El desarrollo turístico de una zona trae consigo empleos y crecimiento económico, sin embargo la expansión de la infraestructura turística y el desarrollo de las actividades relacionadas genera presión sobre los ecosistemas costeros, lo que muchas veces resulta en el deterioro o destrucción de los recursos naturales que alguna vez le dieron valor ecológico a la zona.

Gran parte de la degradación ambiental de las costas del norte de Quintana Roo, se debe a la sobreexplotación de los ambientes costeros por una actividad turística encausada por una valoración de la naturaleza como elemento de reproducción del capital o generación de ganancias, de parte de inversionistas y del Estado, despojando a la naturaleza del valor de su propia reproducción biológica, e impactando a los ecosistemas y su equilibrio dinámico, disminuyendo su capacidad de resiliencia (Romero Martínez, 2011).

La costa de Quintana Roo se ha mostrado susceptible ante el deterioro propiciado por el desarrollo turístico, con consecuencias como daños al ecosistema arrecifal, desecación de manglares, contaminación de del suelo y cuerpos de agua. Los principales problemas observados son: a) modificación y reducción de ecosistemas costeros y acuáticos por el cambio en la morfología litoral; b) deforestación de amplias zonas de la franja costera para complejos turísticos y ciudades de apoyo especialmente en los humedales y manglares; c) degradación de los recursos naturales, destrucción de los arrecifes, lagunas, dunas y la desaparición de especies; d) degradación de la calidad del agua; e) contaminación de mantos freáticos y sistemas lagunares, entre las más importantes. El crecimiento urbano derivado del crecimiento económico acelerado ha tenido además un impacto en el deterioro de la calidad del agua por un aumento de la descarga de aguas negras domiciliarias hacia los mantos acuíferos de la entidad (Cisneros Reyes *et al.*, 2007).

Debe considerarse también que, en Quintana Roo, la migración inducida por las oportunidades de empleo en la industria turística ha ocasionado un crecimiento urbano desordenado sin los servicios públicos básicos para la población. El crecimiento demográfico ha tenido además un impacto en el deterioro de la calidad del agua por un aumento de la descarga de aguas negras domiciliarias hacia los mantos acuíferos de la entidad. Tal es el caso de numerosos poblados que no cuentan con sistemas adecuados de drenaje y tratamiento de aguas negras. Otro problema en diversas localidades es la falta del manejo adecuado de la basura que ocasiona problemas de salud y agudiza el deterioro ambiental (Cisneros Reyes *et al.*, 2007). Estas acciones encaminadas al desarrollo turístico traen consigo un incremento en la generación de aguas residuales, pluviales y otros tipos de desechos que debido a las características geológicas e hidrológicas de la región constituyen un problema ambiental regional creciente.

En comparación con el impacto generado por descargas de aguas residuales de tipo doméstico, las actividades recreativas y de ocio acuáticas contribuyen de manera mínima a la contaminación de los cuerpos de agua, sin embargo no se puede descartar su influencia sobre la calidad de la misma. La contaminación derivada de estas actividades suele ser por descargas sanitarias, derrames de combustibles, efectos tóxicos para el ambiente ocasionados por el uso de sustancias antiincrustantes y el manejo de los desechos en general (WHO, 2000).

### 3.2. BACTERIAS COLIFORMES COMO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido en 48 horas a 35 °C (APHA, AWWA Y WPCF, 1992). El recuento de coliformes reagrupa un cierto número de especies bacterianas pertenecientes de hecho a la familia de las Enterobacteriaceae, entre ellas se encuentran *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (Carrillo y Lozano, 2008). Debido a esto, conviene añadir a la definición precedente las dos siguientes (Rodier, 1990):

El término coliformes fecales corresponde a los coliformes que presentan las mismas propiedades a  $44 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . En su mayoría están representados por *Escherichia coli*, pero se pueden encontrar de forma menos frecuente las especies *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*. Estas últimas forman parte de los coliformes termotolerantes pero su origen normalmente es ambiental (fuentes de agua, vegetación y suelo) y sólo ocasionalmente forman parte de la microbiota normal (Badgley, Thomas y Harwood, 2011). Por esto algunos autores plantean que el término de coliformes termotolerantes sería más adecuado que coliformes fecales (Chiroles *et al.*, 2007; Narváez, Gómez y Acosta, 2008).

El término *Escherichia coli* corresponde a los coliformes fecales como se ha definido anteriormente, que además producen indol en el agua peptonada que contiene triptófano, que son capaces de utilizar el citrato sódico como única fuente de carbono y de producir metil carbinol. *E. coli* es una bacteria Gram negativa y es la más abundante de las bacterias anaerobias facultativas intestinales. Se excreta diariamente con las heces (entre  $10^8$ - $10^9$  Unidades Formadores de Colonias por gramo de heces) y por sus características, es uno de los indicadores de contaminación fecal más utilizados últimamente (Larrea *et al.*, 2009).

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación fecal debido a que estos forman parte de la microbiota normal del tracto gastrointestinal, tanto del ser humano como de los animales homeotermos y están presentes en grandes cantidades en él (Larrea Murrell *et al.*, 2013).

Los coliformes fecales y *E. coli* en particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras. La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. Por estas razones y por la existencia de bacterias que responden a la definición de coliformes que no son de origen fecal y que incluso pueden ser lactosa-negativas (apareciendo como positivas si se aplica la prueba de B-galactosidasa), el grupo de los coliformes totales tiene actualmente poca utilidad como indicador de contaminación fecal (Campos Pinilla, 2003).

Los microorganismos patógenos que pueden ser encontrados en cuerpos de agua pueden tener un amplio rango de fuentes, como descargas de aguas residuales, organismos que se encuentran de manera natural en el ambiente acuático, agricultura y ganadería e incluso a los mismos usuarios del sitio recreativo. Los riesgos microbiológicos que se pueden encontrar en sitios recreativos acuáticos incluyen virus, bacterias y protozoarios patógenos. La principal preocupación se centra en que se han presentado casos de enfermedades gastrointestinales, enfermedades respiratorias febriles agudas e infecciones en ojos, oídos, nariz y garganta, adquiridas por la realización de actividades recreativas acuáticas (WHO, 2000).

## 4. ANTECEDENTES

---

### 4.1. BAHÍA DE CHETUMAL

En años recientes se han ubicado varias descargas de agua a lo largo de la zona conocida como Boulevard de la Bahía que provienen de casas habitación, comercios, escuelas públicas y privadas e instituciones diversas, esto aunado al crecimiento poblacional en la ciudad ha originado un aumento en la cantidad de agua residual descargada a la Bahía de Chetumal (Gómez Castillo, 2014). Se ha calculado que aproximadamente 200 m<sup>3</sup> de residuos orgánicos por día son descargados a la bahía de Chetumal, principalmente en la zona urbana de Santa Elena, Chetumal y Calderitas que se descargan directa o indirectamente a la bahía de Chetumal (Aguilar Martínez, 2011).

Flores Rodríguez *et al.* (2001) reportan que existen descargas de aguas residuales a la Bahía de Chetumal que aportan altas concentraciones de bacterias coliformes fecales y nutrientes y afectan la calidad del agua en la zona costera de la ciudad de Chetumal. Las concentraciones de estas bacterias fluctúan entre valores no detectables y positivos, y en muchas ocasiones sobrepasan los valores recomendados en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

Bravo Medrano (2008) realizó un estudio en los efluentes pluviales y del manto freático presentes en la línea costera conurbada de la Bahía de Chetumal, y encontró valores tan altos como 150 NMP/100 ml en los efluentes del manto freático y de 469 NMP/100 ml o incluso superiores a los límites de la norma en el caso de efluentes pluviales.

El mismo autor concluye que aunque la Comisión de Alcantarillado y Agua Potable (CAPA) afirma que los desagües presentes en esta zona corresponden a descargas de agua de origen pluvial, el caudal constante y las altas concentraciones de coliformes fecales reportadas en otros estudios sugieren la presencia de aportes de agua residual.

Aguilar Martínez (2011) realizó un análisis bacteriológico en distintos efluentes de descargas pluviales a lo largo de la bahía. Detectó que los coliformes totales y fecales para abril, mayo, julio, agosto y septiembre presentan valores superiores a los 200 NMP/100 ml, recomendado por los límites de los criterios ecológicos de calidad del

agua (CE-CCA-001/89). También observó concentraciones más altas de coliformes en las estaciones más cercanas a la línea de costa, posiblemente debido a la limitada capacidad de dilución en esta zona que es más somera y presenta una dinámica de corrientes menos influyente.

En un estudio realizado por Gómez Castillo (2014) se tomaron muestras en seis descargas de agua de la Bahía de Chetumal durante los años 2013 y 2014. En todas las muestras analizadas se cuantificó la presencia de coliformes fecales atribuido a que una gran parte de la población del municipio de Othón P. Blanco no está conectada a la red de alcantarillado. Los valores más elevados fueron de 2240 NMP/100mL y 3500 NMP/100mL y corresponden a las muestras tomadas en el Muelle Fiscal y la glorieta cercana a la tienda departamental Sams Club. Estos valores superan al valor establecido por la NOM-001-ECOL-1996, que establece un límite máximo permisible de 1000 NMP/100mL.

#### **4.2. LAGUNA DE BACALAR**

Debido a la problemática que ha generado el desarrollo turístico en el municipio de Bacalar, Morales Esparza (1993) realizó un estudio sobre la calidad de agua en la Laguna de Bacalar. En dicho estudio se registró un valor promedio de 15 organismos/100 ml de coliformes fecales, con lo que se estableció que los valores bacteriológicos registrados se encontraron dentro de los límites permisibles para aguas de uso recreativo y vida acuática.

#### **4.3. CENOTE AZUL**

El Cenote Azul, a pesar de su relevancia como un ecosistema peculiar de la Península de Yucatán, ha sido muy poco estudiado. Martínez Cervantes *et al.* (2009) realizaron la caracterización limnológica del sistema, determinaron los perfiles de temperatura, oxígeno y conductividad, y su comportamiento temporal junto con la clorofila. Describieron al Cenote Azul es un sistema monomítico cálido, con un periodo de mezcla durante la temporada de nortes. Las variables asociadas al contenido iónico del sistema mostraron que el agua es dulce.

Por otra parte, en un estudio realizado en cinco cenotes ubicados en el corredor Cancún-Tulum (Alcocer *et al.*, 1998) para determinar su potencial como futuras fuentes de agua potable se midieron diversos parámetros, entre ellos el contenido de coliformes fecales. Las muestras fueron colectadas al final de las temporadas de secas y lluvias esperando la máxima concentración y dilución. Los resultados reflejaron cantidades bajas de coliformes fecales (menos de 500 bacterias por 100 ml), incluso en la mayoría de las muestras fueron tan bajas como 50 bacterias por 100 ml. Se determinó que la contaminación fecal en estas zonas se debía principalmente a las aguas residuales que, por medio de filtración, alcanzaban los cenotes a pesar de ser dispuestas en fosas sépticas y letrinas, además de los aportes de desechos de los animales domésticos y de granja circundantes.

De igual manera se identificó que la cantidad de bacterias fecales en el agua se relaciona de forma directa con el turismo, pues en el Cenote con mayor número de visitantes se encontró la mayor cantidad de bacterias (460 NMP/100 ml).

En otro estudio realizado en cenotes y agua subterránea en la isla de Cozumel en años recientes (Chi Chiclin *et al.*, 2011) se encontraron valores tan altos como 492 UFC/100 ml durante la época de lluvias, temporada que mostró tener una influencia significativa en la cantidad de bacterias en el agua.

#### **4.4. LAGUNA MILAGROS**

El conocimiento sobre las características de las lagunas del sur de Quintana Roo es escaso, y la Laguna Milagros no es una excepción. Hasta el día de hoy se ha realizado un sólo estudio, enfocado a determinar su comportamiento limnológico y morfométrico. Lin (2012) realizó la batimetría y midió parámetros fisicoquímicos como transparencia, temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad, además de nutrimentos como el amonio, nitritos y nitratos, y clasificó el sedimento de la laguna. Por lo tanto, no se cuentan con registros anteriores respecto a la calidad bacteriológica de la misma.

#### **4.5. INFLUENCIA DE LOS PERIODOS VACACIONALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA**

En algunas investigaciones se ha sugerido la posibilidad de que el aumento de población flotante o turistas durante los periodos vacacionales genera un deterioro directo sobre la calidad del agua, tanto en los balnearios donde se desarrollan las actividades recreativas, como en el agua subterránea.

En estudios realizados en otras zonas de México (Ramírez *et al.*, 2006), se detectó que en el acuífero de Zacatepec, Morelos, se observa un aumento en la contaminación fecal de las aguas durante los periodos vacacionales a causa del aumento de la población flotante, la cual incrementa la descarga de aguas residuales en la zona.

Javier Alcocer *et al.* (1998) concluyeron tras un estudio realizado en 5 cenotes de la zona norte de Quintana Roo, que la contaminación bacteriológica del agua aumenta conforme se incrementa el número de visitantes y el uso del cuerpo de agua.

Este comportamiento ha sido observado también para otro tipo de contaminantes. Medina Moreno *et al.* (2014) determinaron que durante los periodos vacacionales, o la “temporada alta” se presenta un aumento en la diversidad y concentración de hidrocarburos en las aguas de varios cenotes del Estado de Quintana Roo, principalmente en aquellos cercanos a los centros urbanos de mayor desarrollo.

## 5. ÁREA DE ESTUDIO

---

### 5.1. QUINTANA ROO

Quintana Roo se localiza en la porción oriental de la Península de Yucatán con una superficie de 50 843 km<sup>2</sup>, que representa 2.2 % del territorio nacional (Tello Taracena y Castellano Martínez, 2011). Al norte limita en 40 km con el Golfo de México, al este, con el Mar Caribe en 860 km, al sur, con Belice en 140 km, al suroeste, en 20.6 km, con Guatemala, al oeste, en 200 km, con el Estado de Campeche, al noreste, en 303.3 km, con el Estado de Yucatán (Escobar Nava, 1986).

Quintana Roo tiene dos regiones hidrológicas: Yucatán Norte (RH 32) y Yucatán Este (RH 33); la primera se localiza en el extremo norte del estado; la segunda es de carácter internacional, ya que se extiende hasta Belice y Guatemala. El área de interés se localiza dentro de la Región Yucatán Este, específicamente en la Cuenca Bahía de Chetumal y otras (33A) (Herrera Sansores *et al.*, 2011).

De acuerdo a Korenfeld (2013) la zona presenta un relieve plano y una altura media de 100 msnm, y cuya localización es entre los 18 y 20° N del Ecuador y la influencia del Mar Caribe ejercen una influencia considerable en las características climáticas de su territorio, que en su mayoría se manifiesta en un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual de 26°C. Las temperaturas máximas oscilan entre los 32 y 34 °C durante abril y mayo, mientras que las temperaturas mínimas registradas en esta zona han sido de 14 a 17°C, las cuales comúnmente se manifiestan durante enero, lo que lo convierte en el mes más frío.

La topografía de la región es muy suave, el suelo es altamente permeable y la existencia de fallas y fracturas en su conjunto, favorecen la infiltración del agua al subsuelo, que aunada a la naturaleza calcárea de las rocas producen el medio kárstico, característico de la región y originan la recarga del acuífero, que es la única fuente de abastecimiento de agua. Las formas kársticas se producen por disolución del carbonato cálcico de las rocas calizas debido a la acción del agua al infiltrarse y desplazarse a través del subsuelo, que van disolviendo la roca y creando oquedades e incluso cuevas o cavernas, en las que si el techo sufre hundimiento parcial se forman dolinas y si el hundimiento o

derrumbe del techo de las cavernas es total, se forman cenotes. Estas geoformas kársticas tienen formas circulares, alargadas e irregulares, y están asociadas al fracturamiento que incrementa la permeabilidad y la capacidad de infiltración, por tanto, el grado de carsticidad (Korenfeld, 2013).

Por otra parte también es posible encontrar lagunas, playas, caletas y otros cuerpos de agua que en conjunto con los cenotes se han convertido en importantes atractivos turísticos durante las temporadas vacacionales debido al desarrollo de actividades recreativas que ahí se realizan, lo que a su vez ha significado una considerable amenaza por el impacto que han generado en la calidad del agua y el deterioro del ecosistema.

El auge turístico que ha tenido el Estado de Quintana Roo ha convertido al sector en la actividad económica de mayor importancia en la zona. La importancia turística del Estado se sustenta en el atractivo de los recursos naturales que lo distinguen a nivel nacional e internacional. El litoral se caracteriza por sus playas con una textura y color de la arena excepcional, un mar cristalino y colorido, de temperatura agradable todo el año y con pocos peligros de fauna marina; el clima es cálido durante casi todo el año, con invierno poco severo y brisa marina; se cuenta con una barrera arrecifal de coral con extraordinarios paisajes submarinos en gran parte de su litoral y existen vestigios importantes de la civilización maya y de la época colonial (Korenfeld, 2013).

## **5.2. BAHÍA DE CHETUMAL**

La Bahía de Chetumal es un cuerpo de agua muy extenso, somero, oligotrófico, y con agua salobre en su parte interna la cual tiene poco intercambio con el agua de mar de su boca. Se localiza entre los paralelos 18°11' y 18°52'N y 87°51' y 88°23'O (Rosas Correa *et al.*, 2008). Se desconoce si en la literatura existe una delimitación física reconocida de la boca de la bahía de Chetumal (denominada bahía Corozal en Belice). Por lo que se ha delimitado por la línea imaginaria entre los puntos geográficos 17°50'45.33"N, 88°04'00.05"O y 17°51'09.38"N, 88°12'43.71"O (Hernández Arana *et al.*, 2009). En el punto de la desembocadura del río en la Bahía se encuentra la ciudad de Chetumal que da nombre a la Bahía y es la ciudad más importante de la región y capital del estado mexicano de Quintana Roo (Bravo Medrano, 2008). De acuerdo con el INEGI (2010), la

ciudad de Chetumal cuenta con 151,243 habitantes, así como un grado de marginación muy bajo.

La Bahía de Chetumal fue declarada área natural protegida el 24 de octubre de 1996 y es considerada santuario del manatí, ya que esta zona de 281,320 ha de superficie, 144,302 ha de superficie costera y 136,918 ha de superficie marina se ha caracterizado por los avistamientos del manatí antillano (*Trichechus manatus*), especie en peligro de extinción y representada en la zona por Daniel, un manatí encontrado abandonado en el año 2003 cuando era un recién nacido.

### **5.3. LAGUNA DE BACALAR**

Con cabecera municipal en la ciudad de San Felipe Bacalar, está situado aproximadamente entre los 89°30' y 87°30'N y 19°13' y 18°40' W. Se formó de la parte norte segregada del municipio de Othón P. Blanco, tiene una superficie de 7, 161.5 km<sup>2</sup>, una línea de costa de 20 km en la Costa Maya, y 139 localidades. Limita al norte con el municipio de José María Morelos y Felipe Carrillo Puerto, al sur con el municipio de Othón P. Blanco, al oeste con el Mar Caribe y al este con el estado de Campeche (Flota Medrano, 2011).

Bacalar se encuentra situada a lo largo de una de los márgenes de la laguna de Bacalar y en las proximidades del Cenote Azul, que son los principales atractivos turísticos naturales de la zona (Cab Lugo *et al.*, 2008).

De acuerdo al INEGI (2010), Bacalar cuenta con 11,048 habitantes y posee un grado de marginación medio. Las principales actividades económicas de la población son la agricultura, la ganadería, el comercio y el turismo. El desarrollo de la población durante los últimos 15 años, se debe principalmente al turismo local, nacional y en menor proporción al extranjero. Las temporadas altas de turismo son la semana santa y los meses de julio, agosto y diciembre, predominando el turismo nacional (familiar, con una estancia promedio de un día), mientras que el extranjero se considera sólo “de paso” (Cab Lugo *et al.*, 2008).

Desde el 2 de octubre de 2006 Bacalar forma parte del programa Pueblos Mágicos. Un Pueblo Mágico es una localidad que posee atributos simbólicos, leyendas, historia,

hechos trascendentes, cotidianidad, que se originan en sus manifestaciones socioculturales y por lo tanto es una gran oportunidad para el aprovechamiento turístico (Medina Argueta *et al.*, 2013)

El Balneario Ejidal se localiza en las coordenadas 18°40'48.3" N 88°23' 05.4"O. Es uno de los lugares más concurridos por los habitantes de la región y por los turistas tanto nacionales como extranjeros, quienes asisten mayormente durante las temporadas vacacionales ya que en este lugar se practican distintas actividades recreativas como recorridos en lanchas, motos acuáticas, nado y snorkeling, que en conjunto con las características naturales han hecho de este sitio un importante recurso para el sector turístico de la región.

#### **5.4. CENOTE AZUL**

El Cenote Azul es un cenote abierto de forma circular con un diámetro de 200 m y una profundidad máxima de 65 m (Martínez Cervantes, *et al.*, 2009). Se localiza en las coordenadas 18°38'48"N y 88°24'42"O, aproximadamente a 2.8 km del Pueblo de Bacalar y a 90 m de la Laguna, en el municipio de Bacalar.

Las aguas del Cenote tienen un uso principalmente turístico, de carácter escénico y de aprovechamiento para actividades recreativas como la natación y el buceo (Schimtter Soto, 2002). Además, el Cenote Azul cuenta con un antiguo restaurante instalado en la orilla desde el año 1963.

#### **5.5. LAGUNA MILAGROS**

Es un cuerpo de agua dulce localizado en el municipio de Othón P. Blanco, en las coordenadas 18°30'42.5"N y 88°25'26.5"O, a 8 km de la Ciudad Capital. Se ubica al sur del poblado de Huay-Pix, el cual tiene una población aproximada de 1,649 habitantes con un grado de marginación alto (INEGI, 2010). Tiene una extensión de 3.13 km<sup>2</sup>, una longitud máxima de 3.63m y una anchura de 1.65 m, una profundidad promedio 1.8 m, con una máxima de 3.4 m, mientras que la transparencia promedio es de 1.07 m (Lin, 2012). Su uso es mayormente turístico y recreativo, con actividades como natación y canotaje, siendo gran parte de sus visitantes pobladores de las localidades cercanas.

## 6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

### 6.1. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Hay presencia de coliformes totales y fecales en la columna de agua de los balnearios más visitados de la zona sur del Estado?
- ¿Existe un aumento en la concentración de coliformes totales y fecales durante los periodos vacacionales?
- ¿Disminuye la concentración de Coliformes totales y fecales antes y después de un periodo vacacional?
- ¿Cuál o cuáles son balnearios que exceden los límites de coliformes fecales establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua?
- ¿Cuáles son los valores de los principales parámetros fisicoquímicos en el agua superficial de los balnearios del sur del Estado?
- ¿Existen variaciones en los parámetros fisicoquímicos entre los periodos regulares y vacacionales?

### 6.2. OBJETIVOS

#### 6.2.1. GENERAL

Analizar la calidad bacteriológica del agua de cinco balnearios del sur de Quintana Roo antes, durante y después de un periodo vacacional.

#### 6.2.2. ESPECÍFICOS

- Determinar la presencia de coliformes totales y fecales antes, durante y después de un periodo vacacional en cinco balnearios del sur de Quintana Roo.
- Medir los parámetros fisicoquímicos como temperatura, oxígeno, pH y salinidad en el agua superficial de cinco balnearios del sur de Quintana Roo antes, durante y después de un periodo vacacional.
- Comparar las concentraciones de coliformes totales y fecales entre balnearios y entre periodos (antes, durante y después de las vacaciones).

- Determinar la relación coliformes totales entre coliformes fecales (CT/CF).
- Comparar los niveles de organismos coliformes fecales obtenidos con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

### **6.3. JUSTIFICACIÓN**

El turismo en el Estado de Quintana Roo se ha convertido en la principal actividad económica, basada en el aprovechamiento de atractivos naturales que generan múltiples beneficios económicos. Sin embargo, el desarrollo económico, acompañado del crecimiento urbano acelerado, se ha visto reflejado en la salud de los ecosistemas, afectando principalmente la calidad del agua superficial y subterránea, por factores como las descargas de aguas residuales y pluviales sin tratar.

Debido a que durante los periodos vacacionales cientos de turistas locales, nacionales e internacionales acuden a los balnearios del sur de Quintana Roo es importante conocer la calidad bacteriológica de las aguas antes, durante y después de las vacaciones, con la finalidad de identificar sitios contaminados y evitar posibles brotes de enfermedades que pudieran tener consecuencias graves.

### **6.4. HIPÓTESIS**

- El aumento en la afluencia de visitantes en los principales balnearios de la zona sur de Quintana Roo durante las temporadas vacacionales trae como consecuencia un incremento en la concentración de coliformes totales y fecales en la columna de agua.
- Durante el periodo vacacional se presenta una variación en los parámetros fisicoquímicos como producto del incremento en la afluencia turística.

## 7. MÉTODOS

---

Con la finalidad de obtener información comparativa entre los periodos regulares y el vacacional se llevaron a cabo tres muestreos, todos durante la época de secas del 2016 y con tres semanas de separación: el primero se realizó una semana antes del inicio de las vacaciones de primavera (sábado 12 de marzo), el segundo durante el último fin de semana (sábado 2 de abril), y el tercero, tres semanas después del término de las vacaciones (sábado 23 de abril). El muestreo representativo de las condiciones de la columna del agua durante el transcurso de las vacaciones se planificó para el último sábado de las mismas, esperando la máxima concentración posible de contaminación bacteriológica. Por otra parte, los muestreos anterior y posterior se calendarizaron con tres semanas de separación debido a la posible influencia que la cercanía al inicio de la temporada vacacional pudiera ejercer en la afluencia de visitantes si se realizaran con un menor tiempo de separación y que traería como consecuencia cambios en las condiciones naturales de los sitios de muestreo. Así mismo al calendarizar el tercer muestreo con una separación de tres semanas posteriores al periodo vacacional es posible evitar el efecto que la afluencia turística pudiera ejercer en los resultados del análisis, ya que este periodo permitiría la normalización de las condiciones de estos sitios, entregando resultados más precisos.

Se seleccionaron 5 balnearios como los más representativos de la zona sur del Estado por la afluencia de visitantes que estos reciben normalmente durante las vacaciones de primavera, principalmente debido a su cercanía a la capital del Estado. Estos fueron: Playa Artificial “Dos Mulas”, Playa Artificial 1 de Calderitas, Laguna Milagros, Cenote Azul y Balneario Ejidal (Fig. 1). Los dos primeros se encuentran en la Bahía de Chetumal y el último en la Laguna de Bacalar. La ubicación geográfica de cada sitio de muestreo se presenta en la tabla 1.

**Tabla 1.** Ubicación de los sitios de muestreo en coordenadas geográficas sexagesimales

| Sitio de muestreo | N             | O             |
|-------------------|---------------|---------------|
| Balneario Ejidal  | 18°40'47.69'' | 88°23'06.72'' |
| Cenote Azul       | 18°38'50.44'' | 88°24'45.70'' |
| Laguna Milagros   | 18°30'53.60'' | 88°25'27.06'' |
| Dos Mulas         | 18°31'07.88'' | 88°16'09.66'' |
| Calderitas        | 18°33'18.74'' | 88°15'06.17'' |

El análisis de la calidad bacteriológica del agua consistió en determinar el contenido de coliformes totales y fecales. De igual manera se realizó la medición de los parámetros fisicoquímicos: temperatura, oxígeno disuelto, pH, y salinidad, con la finalidad de conocer las condiciones del agua al momento de los muestreos y poder comparar éstas entre las distintas fechas.

En cada estación de muestreo se recolectó una muestra de agua de 120 ml para el análisis de coliformes totales y fecales, a una distancia de 5 m de la línea de costa y a 0.30 m de la superficie del agua. Se consideró que los visitantes acostumbran realizar sus actividades recreativas alrededor de los 5 m de la línea de costa. Una vez recolectada las muestras de agua se preservaron a baja temperatura en una nevera durante su transporte hacia el laboratorio, donde se iniciaron los análisis dentro de un periodo menor a 24 horas.

Se realizaron las mediciones de coliformes totales y fecales por el método del Número Más Probable (NMP), de acuerdo a la NMX-AA-42-1987. Para cada muestra se cultivaron tubos con tres concentraciones, 10, 1 y 0.1 ml, por quintuplicado, en Caldo Lauril Triptosa (prueba presuntiva) y Caldo EC (prueba confirmativa).



**Figura 1.** Ubicación de los puntos de muestreo: 1) Dos mulas, 2) Calderitas, 3) Laguna Milagros, 4) Cenote Azul, 5) Laguna de Bacalar.

Los parámetros fisicoquímicos fueron medidos *in situ* a una profundidad de 0.30 m, empleando un medidor de pH (con compensación de temperatura) marca Hanna HI-991003 para pH y temperatura, un oxímetro marca Hanna HI-9142 para el oxígeno y un refractómetro para salinidad.

Los resultados obtenidos para coliformes fecales se compararon con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CA-001/89 (SEDUE,1990) para determinar si se encuentra del límite establecido para uso recreativo del agua con contacto primario.

Posteriormente se determinó la relación coliformes totales entre coliformes fecales (CT/CF) a manera de índice auxiliar en la identificación de fuentes fecales o ambientales

de las bacterias, conforme a Goyal *et al.* (1977). Este valor indica, mientras mayor sea el número, una mayor presencia de coliformes de origen ambiental (provenientes de la vegetación y el suelo).

Finalmente se realizó una exploración estadística empleando el software Primer 7 para generar un diagrama de sombras que permitió analizar de manera gráfica la comparación entre sitios de muestreo y periodos y determinar los parámetros que tuvieron variaciones importantes. Para el análisis de datos se aplicó raíz cuadrada a cada valor para mantener las tendencias de cada parámetro y reducir la escala manejada. En el mismo programa se realizaron diagramas del análisis de componentes principales de cada Balneario, como el método empleado por Pino y Muslow (2010), con la finalidad de identificar si la variación entre cada periodo es significativa y cuál es el parámetro o parámetros que genera esa diferencia.

El análisis de componentes principales es una herramienta estadística, que pertenece al grupo de los análisis multivariados. En base a los valores que presentan las observaciones (muestras) en las variables elegidas, este análisis efectúa combinaciones lineales entre variables, definiendo vectores o componentes que explican un determinado porcentaje de la varianza de las observaciones. Dentro de cada componente o vector, el programa asigna “pesos” o “cargas” a cada una de las variables. Este tipo de análisis permite agrupar las observaciones lineales de variables y, por otro lado, permite eliminar variables que no tienen importancia en la agrupación de las observaciones (Pino y Muslow, 2010).

## 8. RESULTADOS

### 8.1. COLIFORMES TOTALES

Los valores promedio de los tres muestreos correspondientes al parámetro de coliformes totales del agua de los balnearios del sur de Quintana Roo dan como resultado que en el Balneario Ejidal se registró la concentración mayor con 853 NMP/100 ml y en el Cenote Azul se presentó la menor con 37 NMP/100 ml (Tabla 2).

El análisis espacio-temporal muestra que el periodo pre-vacacional presentó el valor promedio más bajo a lo largo del periodo de estudio, siendo el balneario Dos Mulas el que mostró el valor más alto con 240 NMP/100 ml y el balneario Cenote Azul se presentó la menor con 33 NMP/100 ml. Durante el periodo vacacional se observó el valor promedio más alto entre los tres muestreos, siendo en el Balneario Ejidal donde se registró la mayor cantidad de organismos con 2400 NMP/100 ml y el balneario Dos Mulas donde se presentó la menor con 34 NMP/100 ml. El promedio de coliformes totales de valor intermedio correspondió al periodo post-vacacional, en el que el valor más alto correspondió al balneario Laguna Milagros con 920 NMP/100 ml y el más bajo al balneario Cenote Azul con 33 NMP/100 ml.

**Tabla 2.** Valores obtenidos de coliformes totales en los tres muestreos

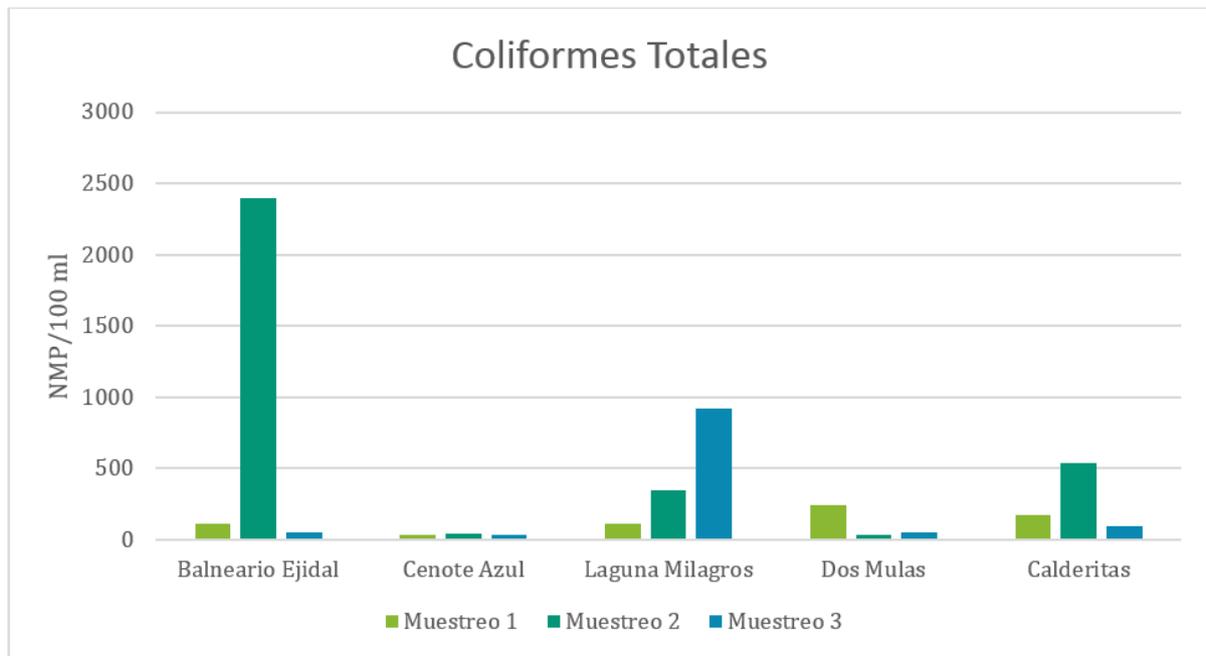
| Sitio            | Coliformes Totales (NMP/100 ml) |            |            |          |
|------------------|---------------------------------|------------|------------|----------|
|                  | Muestreo 1                      | Muestreo 2 | Muestreo 3 | Promedio |
| Balneario Ejidal | 110                             | 2400       | 49         | 853      |
| Cenote Azul      | 33                              | 46         | 33         | 37       |
| Laguna Milagros  | 110                             | 350        | 920        | 460      |
| Dos Mulas        | 240                             | 34         | 49         | 108      |
| Calderitas       | 170                             | 540        | 94         | 268      |
| Promedio         | 133                             | 674        | 229        | -        |

En la figura 2 se observa que en Dos Mulas los valores más altos se presentaron en el periodo pre-vacacional. Los balnearios que presentaron la concentración máxima de coliformes totales durante el periodo vacacional fueron el Balneario Ejidal, el Cenote Azul y Calderitas. Por otra parte, en la Laguna Milagros se observó el máximo en el periodo post-vacacional.



**Figura 2.** Valores de coliformes totales obtenidos por sitio en los tres muestreos.

De manera general, como se aprecia en la figura 3, los valores más altos se presentaron en el Balneario Ejidal, seguido por la Laguna Milagros y Calderitas, mientras que los más bajos correspondieron a Dos Mulas y el Cenote Azul.



**Figura 3.** Comparación de los coliformes totales medidos en cada sitio de muestreo.

## 8.2. COLIFORMES FECALES

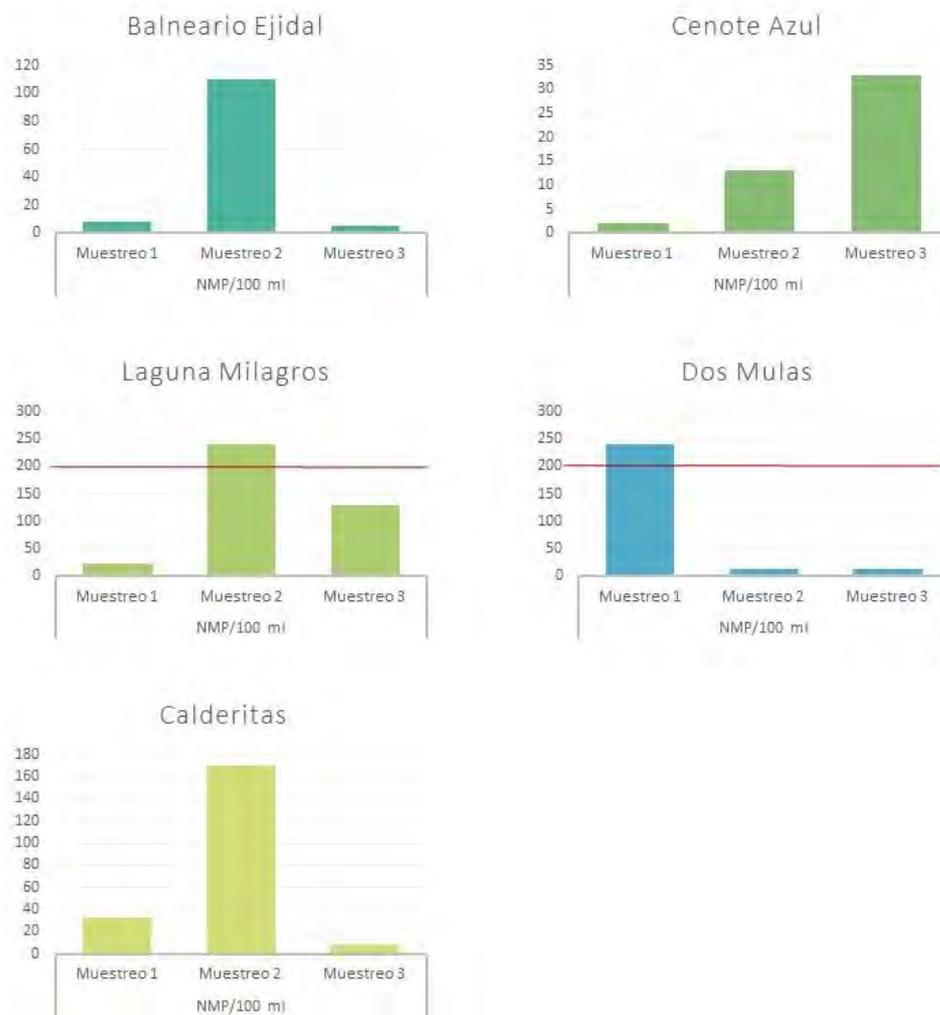
Los valores promedio de los tres muestreos correspondientes al parámetro de coliformes fecales del agua de los balnearios del sur de Quintana Roo dan como resultado que en el Balneario Laguna Milagros se registró la concentración mayor con 131 NMP/100 ml y en el Cenote Azul se presentó la menor con 16 NMP/100 ml (Tabla 3).

El análisis espacio-temporal muestra que el periodo pre-vacacional presentó el valor promedio intermedio del periodo de estudio, siendo el balneario Dos Mulas el que mostró el valor más alto con 240 NMP/100 ml y el balneario Cenote Azul se presentó la menor con 2 NMP/100 ml. Durante el periodo vacacional se observó el valor promedio más alto entre los tres muestreos, siendo el Balneario Laguna Milagros donde se registró la mayor densidad de organismos con 240 NMP/100 ml y los balnearios Dos Mulas y Cenote Azul donde se presentó la menor con 13 NMP/100 ml. En el periodo post-vacacional se presentó el valor promedio más bajo del periodo de estudio, en el que el valor más alto correspondió al balneario Laguna Milagros con 130 NMP/100 ml y el más bajo al Balneario Ejidal con 5 NMP/100 ml.

**Tabla 3.** Valores obtenidos de coliformes fecales en los tres muestreos

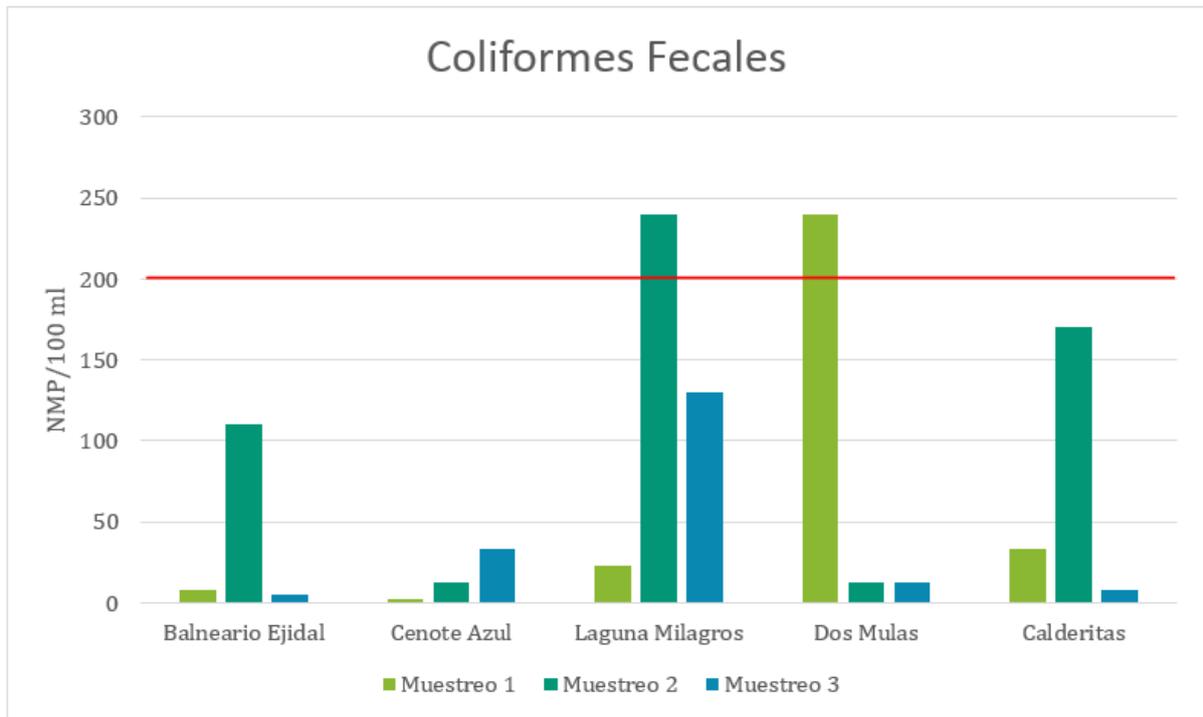
| Sitio            | Coliformes Fecales (NMP/100 ml) |            |            |          |
|------------------|---------------------------------|------------|------------|----------|
|                  | Muestreo 1                      | Muestreo 2 | Muestreo 3 | Promedio |
| Balneario Ejidal | 8                               | 110        | 5          | 41       |
| Cenote Azul      | 2                               | 13         | 33         | 16       |
| Laguna Milagros  | 23                              | 240        | 130        | 131      |
| Dos Mulas        | 240                             | 13         | 13         | 89       |
| Calderitas       | 33                              | 170        | 8          | 70       |
| Promedio         | 61                              | 109        | 38         | -        |

En la figura 4 se observa que en Dos Mulas los valores más altos se presentaron en el periodo pre-vacacional. Los balnearios que presentaron la concentración máxima de coliformes fecales durante el periodo vacacional fueron el Balneario Ejidal, la Laguna Milagros y Calderitas. Por otra parte, en el Cenote Azul se observó el máximo en el periodo post-vacacional.



**Figura 4.** Valores de coliformes fecales obtenidos por sitio en los tres muestreos. La línea roja indica el límite máximo establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (1990)

De manera general, como se observa en la figura 5, los valores más altos se presentaron en la Laguna Milagros, Dos Mulas y Calderitas, mientras que los más bajos correspondieron al Balneario Ejidal y al Cenote Azul.



**Figura 5.** Comparación de los coliformes fecales medidos en cada sitio de muestreo. La línea roja indica el límite máximo establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (1990)

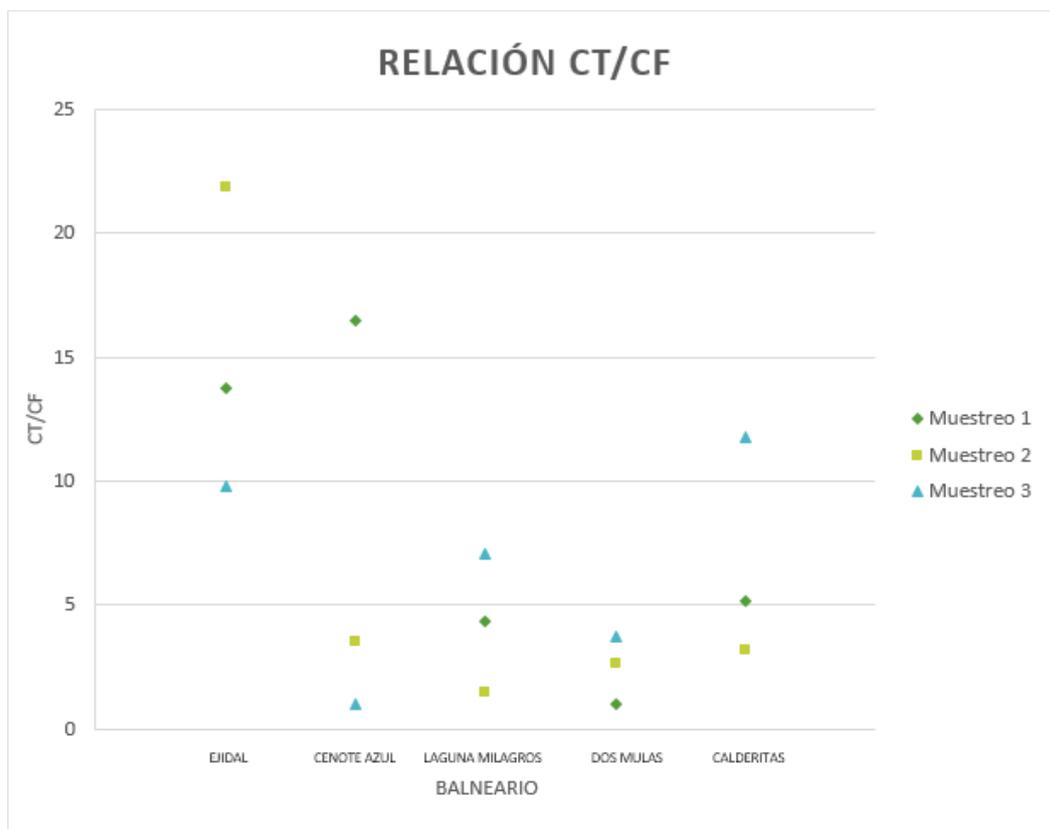
### 8.3. RELACIÓN ENTRE COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Los índices CT/CF calculados se encuentran representados en la tabla 4. Los valores del periodo pre-vacacional oscilaron entre 1.00 y 16.50, correspondientes a los balnearios Dos Mulas y Cenote Azul respectivamente. Durante el periodo vacacional el valor más bajo de este índice se registró en la Laguna Milagros con 1.46 y el más alto en el Balneario Ejidal con 21.82. En el último periodo, se observó el valor mínimo ahora en el Cenote Azul con 1.0 y el máximo en el Balneario Calderitas con 11.75.

**Tabla 4.** Relación coliformes totales entre coliformes fecales (CT/CF).

| Muestreo | Sitio            |             |                 |           |            |
|----------|------------------|-------------|-----------------|-----------|------------|
|          | Balneario Ejidal | Cenote Azul | Laguna Milagros | Dos Mulas | Calderitas |
| 1        | 13.75            | 16.50       | 4.35            | 1.00      | 5.15       |
| 2        | 21.82            | 3.54        | 1.46            | 2.62      | 3.18       |
| 3        | 9.80             | 1.00        | 7.08            | 3.77      | 11.75      |

Como se puede observar en la figura 6, los valores más altos se observaron en el Balneario Ejidal y Cenote Azul antes de las vacaciones y en Calderitas al final de las mismas. Por otra parte, los más bajos corresponden a los últimos dos periodos en el Cenote Azul, Laguna Milagros y Dos Mulas.



**Figura 6.** Valores de la relación CT/CF para cada balneario.

#### 8.4. CONCORDANCIA CON LA NORMATIVIDAD

Por otra parte, los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 indican que el contenido de coliformes fecales no deberá exceder 200 NMP/100 ml para ser considerada agua apta para uso recreativo con contacto primario y protección de la vida acuática. Como se puede apreciar en las figuras 4 y 5, este límite se vio superado en dos ocasiones: en el balneario Dos Mulas antes del periodo vacacional y en la Laguna Milagros durante las vacaciones. En ambos casos se registraron valores de 240 NMP/100 ml.

#### 8.5. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

La determinación de los parámetros fisicoquímicos de temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y pH arrojó como resultados los valores de la tabla 5 y representados en la figura 7.

**Tabla 5.** Parámetros fisicoquímicos por muestreo en cada sitio. El guion señala las celdas en blanco.

| Parámetro               | Muestreo | Sitio            |             |                 |           |            | Promedio |
|-------------------------|----------|------------------|-------------|-----------------|-----------|------------|----------|
|                         |          | Balneario Ejidal | Cenote Azul | Laguna Milagros | Dos Mulas | Calderitas |          |
| Temperatura (°C)        | 1        | 26.7             | 28.4        | 27.3            | 27.6      | 27.9       | 27.5     |
|                         | 2        | 29.3             | 30.1        | 30.5            | 31.0      | 31.2       | 30.4     |
|                         | 3        | 29.7             | 30.6        | 31.4            | 31.8      | 31.8       | 31.0     |
|                         | Promedio | 28.5             | 29.7        | 29.7            | 30.1      | 30.3       | -        |
| Oxígeno Disuelto (mg/L) | 1        | 9.4              | 9.5         | 15.8            | 11.5      | 12.1       | 11.6     |
|                         | 2        | 7.2              | 8.5         | 6.7             | 9.5       | 9.5        | 8.2      |
|                         | 3        | 7.0              | 10.3        | 9.6             | 12.2      | 14.2       | 10.6     |
|                         | Promedio | 7.8              | 9.4         | 10.7            | 11.0      | 11.9       | -        |

|               |          |      |      |      |      |      |     |
|---------------|----------|------|------|------|------|------|-----|
| Salinidad (‰) | 1        | 7    | 7    | 7    | 12   | 12   | 9.0 |
|               | 2        | 7    | 7    | 7    | 10   | 12   | 8.6 |
|               | 3        | 7    | 5    | 5    | 10   | 10   | 7.4 |
|               | Promedio | 7    | 6.3  | 6.3  | 10.6 | 11.3 | -   |
| pH            | 1        | 7.24 | 7.14 | 7.25 | 7.25 | 7.23 | 7.2 |
|               | 2        | 6.32 | 6.00 | 6.77 | 6.87 | 6.85 | 6.5 |
|               | 3        | 7.18 | 6.76 | 7.01 | 7.90 | 7.30 | 7.2 |
|               | Promedio | 6.9  | 6.6  | 7.0  | 7.3  | 7.1  | -   |

### 8.5.1. TEMPERATURA

Los valores promedio de los tres muestreos correspondientes al parámetro de temperatura del agua de los balnearios del sur de Quintana Roo dan como resultado que en el Balneario Calderitas se registró la máxima temperatura con 30.1 °C y en el Balneario Ejidal se presentó la menor con 28.5 °C (Tabla 5).

El análisis espacio-temporal muestra que el periodo pre-vacacional presentó el valor promedio más bajo de temperatura del periodo estudiado, siendo el Cenote Azul el que mostró el valor más alto con 28.4 °C y el Balneario Ejidal presentó la menor con 26.7 °C. Durante el periodo vacacional se observó el valor promedio intermedio de los tres muestreos, siendo el Balneario Calderitas donde se registró la mayor temperatura con 31.2 °C y el Balneario Ejidal donde se presentó la menor con 29.3 °C. En el periodo post-vacacional se presentó el valor promedio máximo del periodo de estudio, en el que el valor más alto correspondió a los balnearios Dos Mulas y Calderitas con 31.8 °C y el más bajo al Balneario Ejidal con 29.7 °C.

En la figura 7 se presenta de manera gráfica los valores de temperatura registrados en la superficie del agua. Es fácil distinguir que, en todos los sitios, la temperatura fue menor en el primer muestreo y que fueron similares entre sí los valores del segundo y tercer muestreo.

### 8.5.2. OXÍGENO DISUELTO

En lo que respecta a este parámetro, el promedio correspondiente a los tres periodos muestreados da como resultado que en el Balneario Calderitas se registró la mayor cantidad de oxígeno disuelto con 11.9 mg/l y en el Balneario Ejidal se presentó la menor con 7.8 mg/l (Tabla 5).

Analizando la temporalidad en los resultados se observa que durante el periodo pre-vacacional se presentó el máximo de oxígeno disuelto en comparación con los otros dos sitios de muestreo, particularmente el sitio que presentó mayor concentración fue Laguna Milagros con 15.8 mg/l y el de menor concentración fue el Balneario Ejidal con 9.4 mg/l. Caso contrario fue el periodo vacacional, en el que se observó el menor promedio de concentración de oxígeno disuelto, los valores más altos de registraron en Dos Mulas y Calderitas con 9.5 mg/l y el más bajo en Laguna Milagros con 6.7 mg/l. Durante el periodo post-vacacional se observó la concentración intermedia de oxígeno disuelto entre los tres muestreos, los valores más altos se presentaron en el Balneario Calderitas con 14.2 mg/l y los más bajos en el Balneario Ejidal con 7 mg/l.

En la gráfica de la figura 7 correspondiente al oxígeno disuelto se observa que las concentraciones presentaron su valor mínimo en el periodo vacacional, con excepción del Balneario Ejidal.

### 8.5.3. SALINIDAD

Los valores promedio de los tres muestreos correspondientes al parámetro de salinidad del agua de los balnearios dan como resultado que en el Balneario Calderitas se registró la máxima concentración con 11.3 ‰ y en los Balnearios Cenote Azul y Laguna Milagros se presentó la menor con 6.3‰ (Tabla 5).

El análisis espacio-temporal muestra que el periodo pre-vacacional presentó el valor promedio más alto de salinidad del periodo estudiado, siendo los balnearios Dos Mulas y Calderitas los que mostraron el valor más alto con 12 ‰ y los Balnearios Ejidal, Cenote Azul y Laguna Milagros presentaron el valor más bajo con 7‰. Durante el periodo vacacional se observó el valor promedio intermedio de los tres muestreos, siendo el Balneario Calderitas donde se registró la mayor salinidad con 12 ‰ y de

nuevo los Balnearios Ejidal, Cenote Azul y Laguna Milagros donde se presentó la menor con 7‰. En el periodo post-vacacional se presentó el valor promedio mínimo del periodo de estudio, en el que el valor más alto correspondió a los balnearios Dos Mulas y Calderitas con 10‰ y los más bajos a los balnearios Cenote Azul y Laguna Milagros con 5‰ (Figura 7).

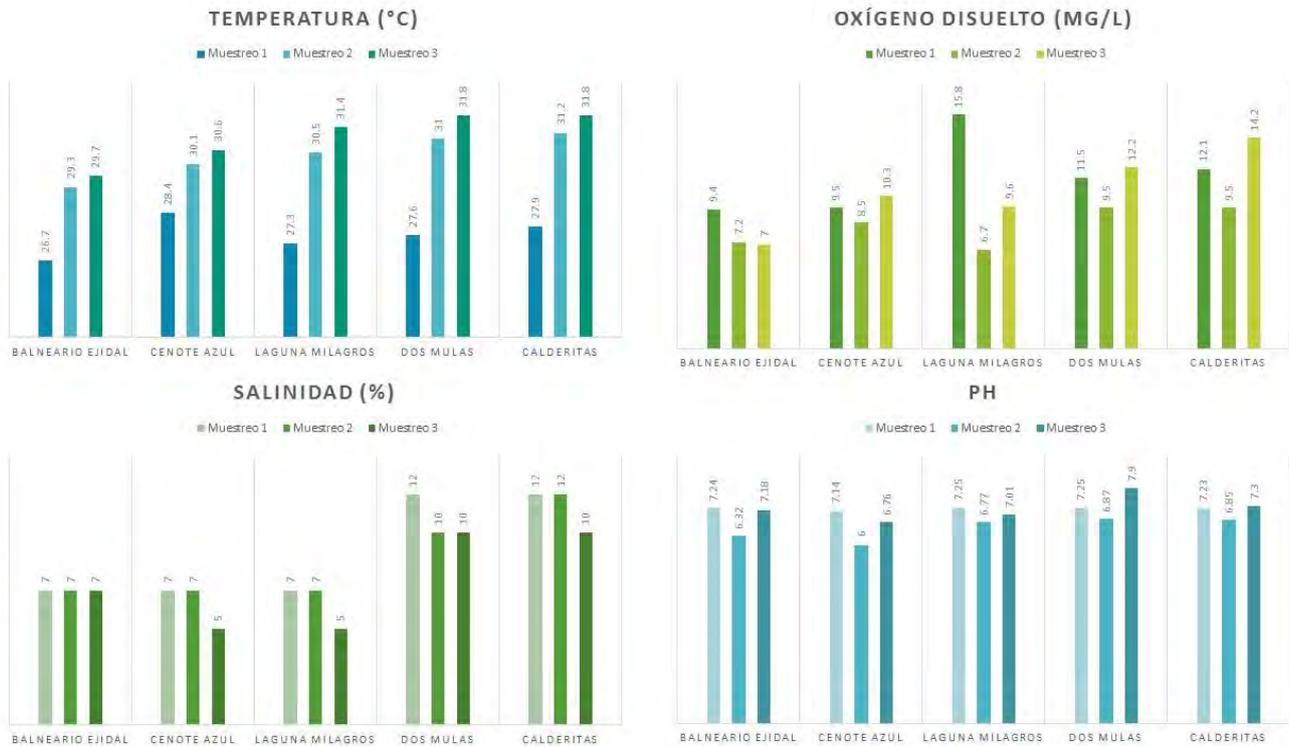
#### **8.5.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO**

En lo que respecta a este parámetro, el promedio correspondiente a los tres periodos muestreados da como resultado que en el balneario Dos Mulas se registró el mayor valor de pH con 7.3 y en el Cenote Azul se presentó el menor con 6.6 (Tabla 5).

Analizando la temporalidad en los resultados se observa que durante el periodo pre-vacacional (junto con el post-vacacional) se presentó el valor máximo de pH con 7.2 en comparación con el otro sitio de muestreo, particularmente los balnearios que presentaron los valores más altos en el primer periodo fueron la Laguna Milagros y Dos Mulas con 7.25 y el del valor más bajo fue el Cenote Azul con 7.14. Por otra parte, en el periodo vacacional se observó el menor promedio de pH en comparación con los demás sitios. En esta época el valor más alto se presentó en Dos Mulas con 6.87 y el más bajo en el Cenote Azul con 6. Durante el periodo post-vacacional el valor más alto se presentó en Dos Mulas con 7.9 y el más bajo en el Cenote Azul con 6.76.

En la figura 7 correspondiente al pH se observa que en todos los casos los valores fueron los mínimos durante el periodo vacacional.

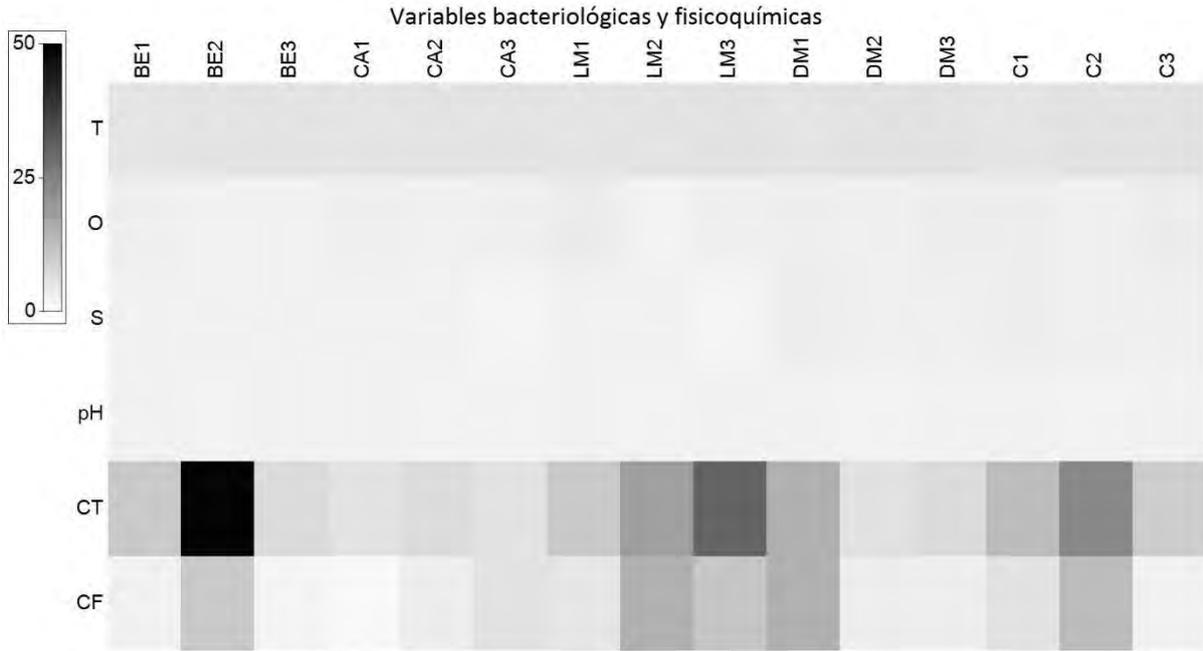
## Evaluación de la Contaminación por Coliformes Totales y Fecales en Balnearios del Sur de Quintana Roo en Relación al Periodo Vacacional de Primavera del 2016



**Figura 7.** Parámetros fisicoquímicos por sitio registrados en cada muestreo.

### 8.6. VARIACIÓN DE PARÁMETROS

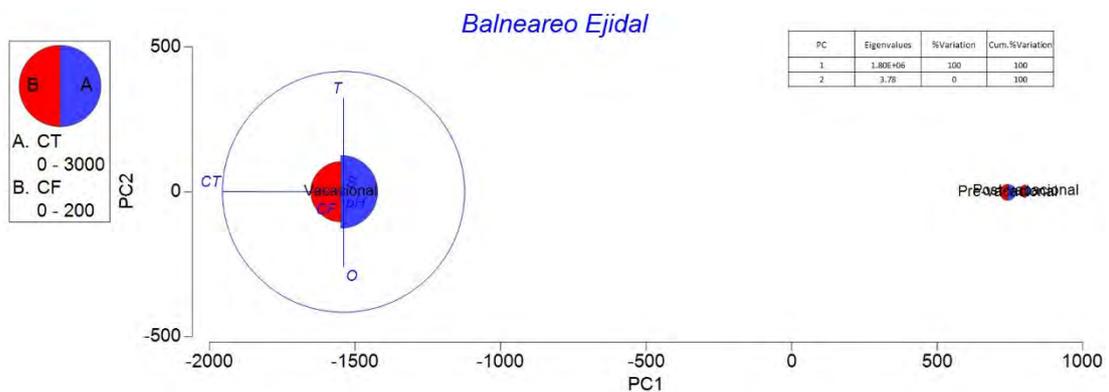
Con la finalidad de realizar una exploración estadística de los datos se elaboró el diagrama de sombras que se observa en la figura 8. Los colores claros representan valores bajos y los oscuros, los más altos. Al comparar sitios de muestreo y periodos resulta evidente la variación casi inapreciable entre los parámetros fisicoquímicos, mientras que los parámetros de coliformes totales y fecales presentan una variación más importante y un comportamiento más complejo.



**Figura 8.** Diagrama de sombras de variables fisicoquímicas y bacteriológicas

Eje vertical: T=temperatura, O=oxígeno disuelto, S=salinidad, pH=potencial de hidrógeno, CT=coliformes totales, CF=coliformes fecales. Eje horizontal: BE=Balneario Ejidal, CA=Cenote Azul, LM=Laguna Milagros, DM=Dos Mulas, C=Calderitas, 1=periodo pre-vacacional, 2=periodo vacacional, 3=periodo post-vacacional.

De igual manera se realizó un análisis de componentes por sitio para identificar aquellas muestras que fueron diferentes a otras. En la figura 9 se presenta el diagrama correspondiente al Balneario Ejidal, en el que se puede apreciar que el muestreo correspondiente al periodo vacacional es considerablemente diferente a los otros dos, siendo el contenido de coliformes totales el factor que determina esta diferencia. Además durante las vacaciones la presencia de bacterias es considerablemente más alta que en los otros dos periodos.



**Figura 9.** Diagrama de componentes principales del Balneario Ejidal

La figura 10 contiene el análisis de componentes principales del Cenote Azul. Se observa que los parámetros que tuvieron mayor influencia sobre las muestras fueron los coliformes totales y fecales, estando más relacionados los primeros al periodo post-vacacional y los segundos al vacacional. El periodo pre-vacacional se observó con un comportamiento diferente a los otros dos periodos y no se identificó a qué factor se asoció esta diferencia. Los coliformes totales se encontraron en valores similares en los tres periodos, mientras que los fecales si mostraron mayor variación con el tiempo.

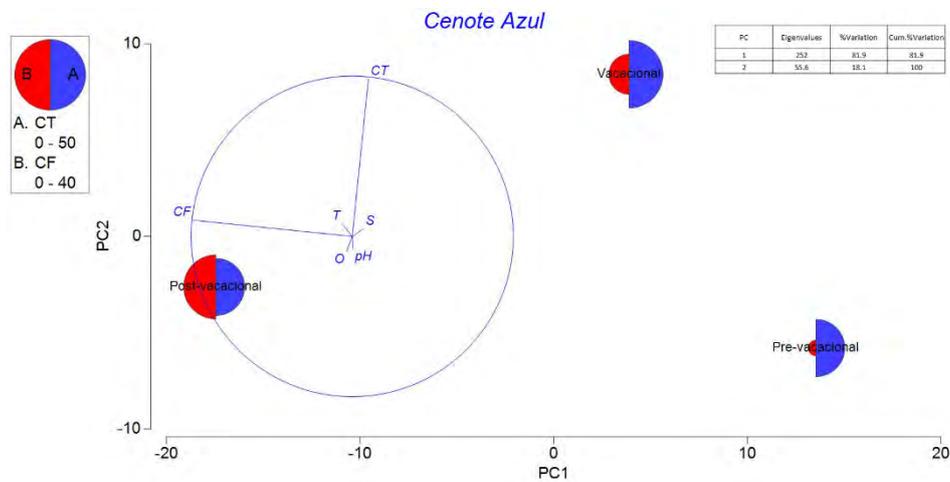


Figura 10. Diagrama de componentes principales del Cenote Azul

En la Laguna Milagros los periodos vacacional y pre-vacacional resultaron ser diferentes al post-vacacional, y no se encontraron relaciones de estas diferencias con alguno de los parámetros fisicoquímicos o bacteriológicos medidos, como se aprecia en la figura 11. En el periodo post-vacacional existe una relación con el contenido de coliformes totales.

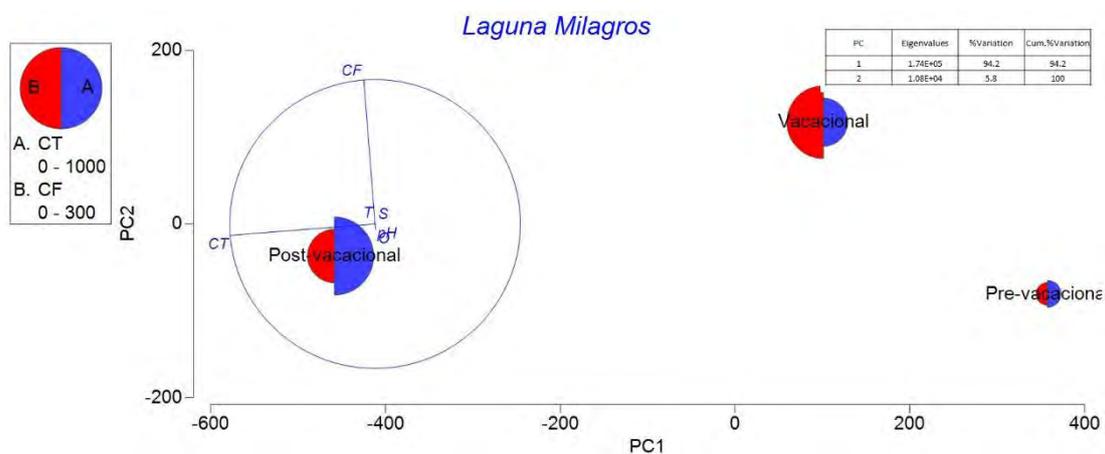


Figura 11. Diagrama de componentes principales de la Laguna Milagros

En el Balneario Dos Mulas fue evidente la diferencia entre la muestra pre-vacacional, con mayor presencia de bacterias y relación con los coliformes totales y fecales, y las muestras vacacional y post-vacacional, las cuales son muy similares entre ellas pero no se las encontró relacionadas a los parámetros registrados (figura 12).

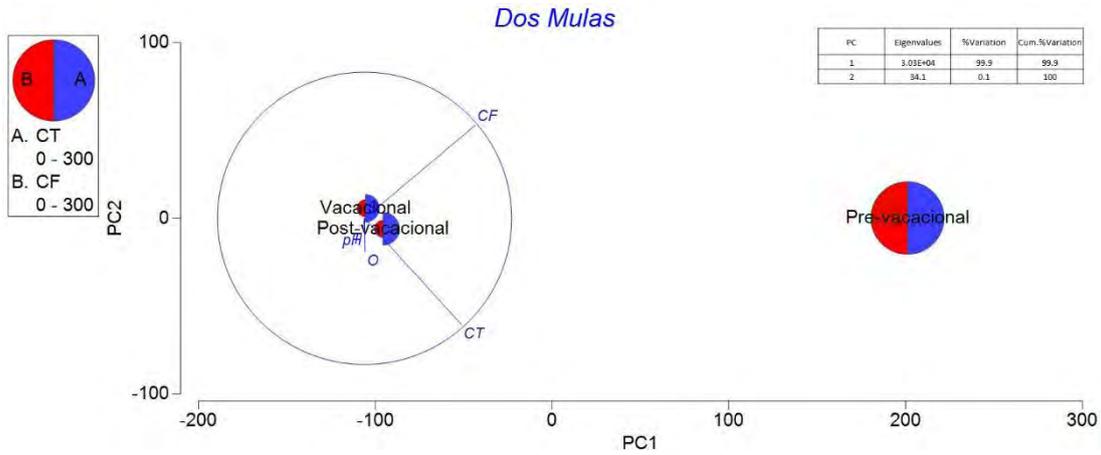


Figura 12. Diagrama de componentes principales de Dos Mulas

Finalmente, en el Balneario Calderitas se observa un comportamiento de marcada diferencia durante el periodo vacacional, en el que se registraron cantidades mayores de bacterias y se encontró una relación con los coliformes totales. Los otros dos periodos resultaron ser muy similares entre ellos, como se observa en la figura 13.

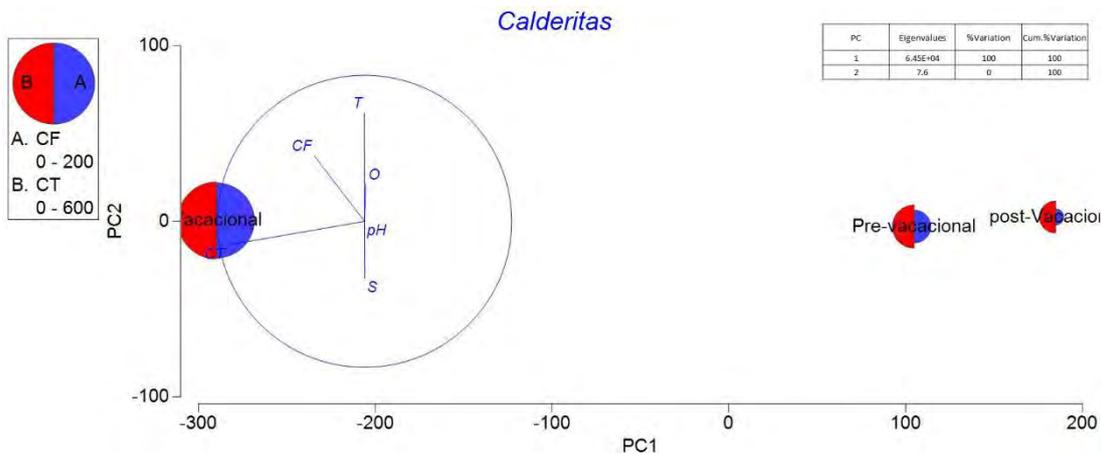


Figura 13. Diagrama de componentes principales de Calderitas

## 8.7. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Se observaron algunas diferencias en las condiciones meteorológicas entre las fechas de muestreo. Las principales variables meteorológicas registradas en la ciudad de Chetumal se presentan en la tabla 6. El día del primer muestreo la temperatura osciló entre 25.1 y 31.9°C con una media de 26.6°C, se registró una atmósfera nublada, precipitación inapreciable y viento con una velocidad de 3.5 m/s. El día del segundo muestro las temperaturas se mostraron más elevadas, entre 26.4 y 36.4°C con una media de 27.5 °C, la cobertura se registró como medio nublado, con precipitación nula y una menor velocidad de viento con 1.5 m/s. Finalmente, en el último muestreo la temperatura del aire registrada fue ligeramente menor que en el anterior, entre 23.1 y 34.5°C con una media de 26.7, la cobertura se reportó como nublado, con precipitación de 0.1 mm y velocidad de viento de 3.0 m/s (Tabla 6).

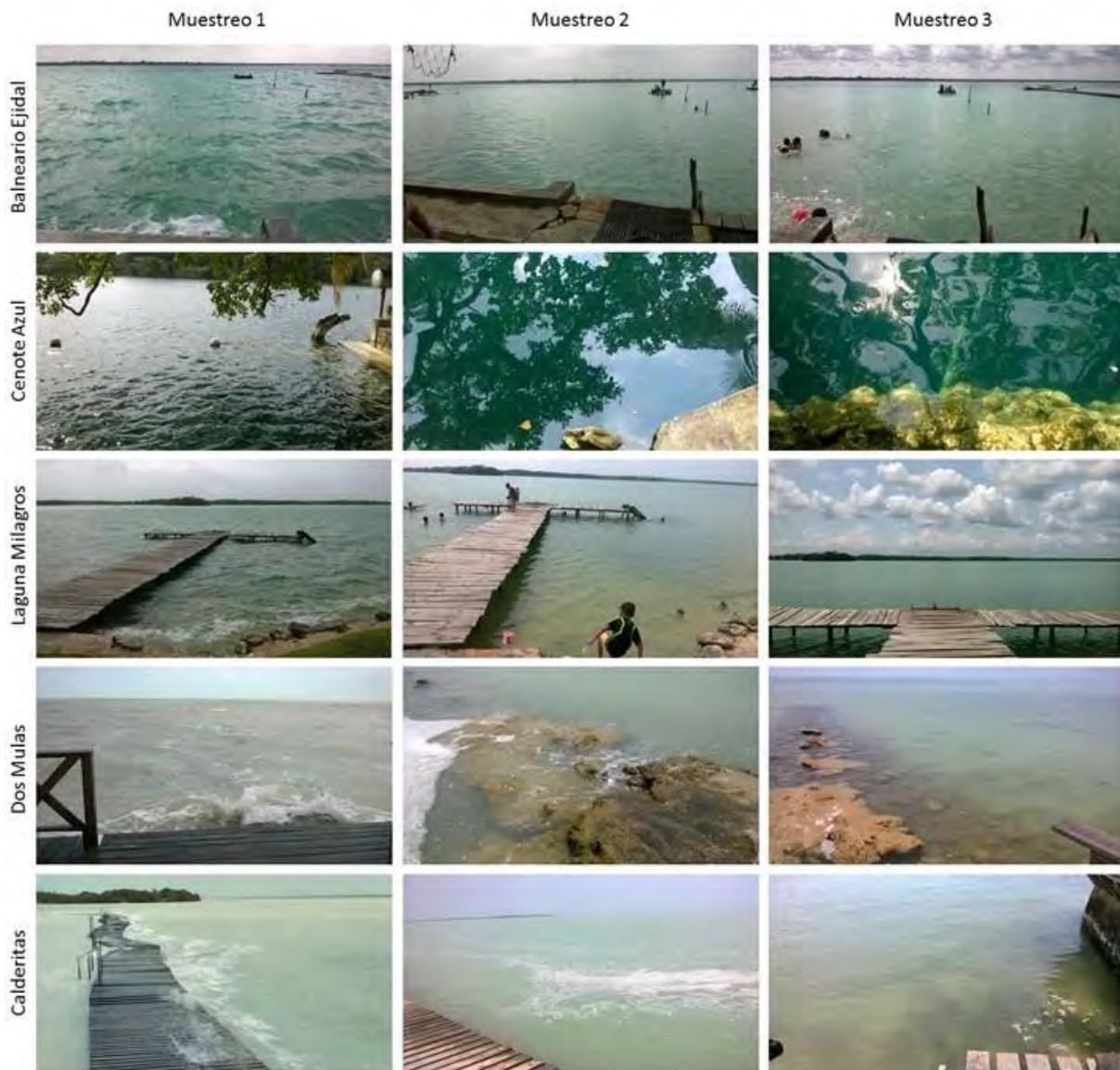
**Tabla 6.** Condiciones meteorológicas en Chetumal durante los muestreos

| Fecha              | Temperatura máxima (°C) | Temperatura media (°C) | Temperatura mínima (°C) | Precipitación (mm) | Nubosidad     | Viento (m/s) |
|--------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|---------------|--------------|
| <b>12 de marzo</b> | 31.9                    | 26.6                   | 25.1                    | Inapreciable       | Nublado       | 3.5          |
| <b>02 de abril</b> | 36.4                    | 27.5                   | 26.4                    | 0                  | Medio nublado | 1.5          |
| <b>23 de abril</b> | 34.5                    | 26.7                   | 23.1                    | 0.1                | Nublado       | 3.0          |

*Fuente: Datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, registrados en la estación Chetumal (DGE) 00023032 ubicada entre 18°30'02"N y 088°19'39"O.*

En la figura 14 se presentan fotografías tomadas al momento del muestreo en cada sitio, en ellas se observan algunos efectos de las condiciones meteorológicas sobre la superficie del agua, manifestándose a manera de turbulencia con mayor intensidad durante el muestreo pre-vacacional.

Evaluación de la Contaminación por Coliformes Totales y Fecales en Balnearios del Sur de Quintana Roo en Relación al Periodo Vacacional de Primavera del 2016



**Figura 14.** Comparación de la condición del agua en cada sitio de muestreo antes, durante y después de un periodo vacacional.

## 9. DISCUSIONES

---

### 9.1. COLIFORMES TOTALES

En los balnearios Ejidal, Cenote Azul y Calderitas las concentraciones más altas de coliformes totales en la superficie del agua coinciden con el periodo vacacional, lo que puede indicar la existencia de una relación entre este parámetro y el aumento de la afluencia turística. Esta afirmación coincide con lo planteado en la primera hipótesis de esta investigación. En la figura 8 se observa claramente que en estos sitios la coloración de la celda intermedia, representativa del periodo vacacional, se encuentra con una tonalidad más oscura (con énfasis en el Balneario Ejidal) lo que indica una mayor presencia de estos organismos en el periodo indicado.

Los valores observados en el Balneario Calderitas (110, 2400 y 49 NMP/100 ml) son en su mayoría diferentes a los obtenidos por Aguilar Martínez (2011) para el mes de abril (43 NMP/100 ml). Posiblemente, esto se deba a que las muestras de la presente investigación fueron tomadas 45 metros más cerca de la línea de costa, donde existe una menor influencia de la dilución. Por el contrario, los resultados correspondientes al Balneario Dos Mulas (240, 34 y 49 NMP/100 ml) son, en los periodos vacacional y post-vacacional, menores a los obtenidos por Aguilar Martínez (2011) para el mes de abril (93 NMP/100 ml).

Por otra parte, en la Laguna Milagros se presentó un aumento gradual de coliformes totales con el paso del tiempo, mientras que en Dos Mulas el máximo se observó previo a las vacaciones.

Cuando se analiza el contenido de coliformes totales es importante considerar que estos organismos no son todos indicadores de contaminación fecal y, por lo tanto, no reflejan ciertamente la calidad sanitaria de un cuerpo de agua. Los coliformes totales pueden tener como origen el aporte de materia orgánica a través del suelo o la vegetación hacia el cuerpo de agua, donde algunos de ellos incluso pueden encontrar condiciones adecuadas y reproducirse (Goyal *et al.*, 1977). Por el contrario, por su simple presencia

los coliformes fecales representan de manera casi directa la contaminación fecal de un cuerpo de agua.

## 9.2. COLIFORMES FECALES

Los sitios que presentaron un comportamiento compatible con la primera hipótesis planteada, que menciona que durante el periodo vacacional incrementa la concentración de coliformes en el agua, fueron tres: el Balneario Ejidal, la Laguna Milagros y Calderitas. Diferentes autores (Chiroles Rubalcaba *et al.*, 2003; Haile *et al.*, 1999; Hazen y Toranzos, 1990; WHO, 2000) han reportado de igual manera valores de indicadores microbianos más elevados en las temporadas de mayor afluencia turística en diferentes cuerpos de agua.

El aumento en la concentración de coliformes fecales durante las vacaciones en Balneario Ejidal, Laguna Milagros y Calderitas indica que su presencia se encuentra relacionada con la intensidad de la actividad turística en los establecimientos que circundan los cuerpos de agua, en su mayoría restaurantes. Este comportamiento se puede observar en la figura 8, donde las celdas de estos sitios correspondientes al periodo vacacional se encuentran coloreadas con tonalidades más oscuras que las celdas adyacentes.

Por otra parte, a pesar de que Dos Mulas y Calderitas son balnearios de la misma Bahía, se observan diferencias en la calidad sanitaria del agua, posiblemente debido a que el entorno de los balnearios difiere de un sitio a otro. Alrededor de Dos Mulas no se observan asentamientos humanos cercanos, si no algunos comercios y la mayoría de ellos ambulantes, un hospital y un área verde, mientras que alrededor de la playa artificial uno de Calderitas se encuentran múltiples restaurantes, hoteles y unidades habitacionales, que representan un riesgo de contaminación fecal. Para Bravo Medrano (2008), el hecho de que uno de los efluentes del manto freático haya mostrado presencia de coliformes fecales, pone en evidencia que es posible que exista infiltración al manto freático debido a las condiciones del suelo de la región de la Península de Yucatán, así como la defectuosa construcción de algunas fosas sépticas y pozos de absorción.

En lo que refiere a los aportes del Río Hondo Carrillo *et al.* (2009) señalan que existe un desconocimiento de la influencia que el Río Hondo tiene sobre la Bahía de Chetumal, considerando que su dinámica pudiera tener efectos locales importantes. Debido a esto, no se conoce si el aporte de agua dulce y los arrastres del Río Hondo pudieran tener un efecto importante sobre las características físicas y bacteriológicas de la Bahía, y por lo tanto qué tanto pudiera esto influenciar las condiciones del agua en los sitios de muestro.

Los valores determinados por Aguilar Martínez (2011) en la Playa Artificial Dos Mulas y en una zona cercana a la Playa Artificial 1 de Calderitas correspondientes al mes de abril fueron 93 NMP/100 ml y 43 NMP/100 ml respectivamente, los cuales se encuentran dentro del rango pero debajo del promedio de las mediciones realizadas en esta investigación (entre 13 y 240 en Dos Mulas, y 8 y 170 NMP/100 ml en Calderitas).

Se puede suponer que los valores registrados en la Bahía de Chetumal sean cercanos al máximo de bacterias que podría esperarse en el año, ya que de acuerdo a Bravo Medrano (2008) y Aguilar Martínez (2011) la escasa o nula precipitación inherente a la época de secas propicia la concentración de los coliformes fecales en este sistema acuático.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la presencia de coliformes indica una contaminación reciente y continua debido a que son organismos de vida corta y tienen dificultades para desarrollarse en ambientes acuáticos salinos (Flores Rodríguez *et al.*, 2001), por lo que no se puede descartar la posibilidad de que se presenten altas concentraciones en otras épocas del año relacionadas al aumento de población flotante ocasionado por festividades u otros periodos vacacionales.

En el Balneario Dos Mulas el valor máximo de coliformes fecales se registró durante el periodo pre-vacacional, lo que podría indicar que en este lugar los niveles de contaminación fecal están relacionados a variables diferentes a la afluencia turística o que la afluencia turística de Dos Mulas no coincide con el resto de los sitios, debido a que el turismo local podría tender a migrar a otros sitios de recreación durante las vacaciones. Otra posibilidad consiste en la resuspensión de los organismos presentes en el sedimento debido al viento y al intenso oleaje presentado el día del muestro.

Morales Vela *et al.* (1996) reportan corrientes promedio débiles de  $0.16 \pm 0.1$  m/s en la Bahía, razón por la cual se supone que las corrientes más intensas sean capaces de producir transporte, oleaje local, turbulencia, resuspensión del sedimento y mezcla de la columna de agua.

En estudios realizados por Goyal *et al.* (1977) y Barrera Escocia *et al.* (2013) se observó una presencia de coliformes totales considerablemente más elevada en sedimentos que en la columna de agua, debido probablemente a la protección que proporcionan las partículas del mismo, permitiéndoles sobrevivir durante un periodo más largo.

En condiciones normales, la vida media de una bacteria del grupo de los coliformes fecales es de 17 horas (Mc Feters *et al.*, 1974), razón por la que se descarta el acumulamiento y concentración de bacterias provenientes de días anteriores y se considera que las mediciones representan la calidad sanitaria de unas pocas horas antes de la toma de muestra.

En el Cenote Azul se registró un aumento gradual de coliformes fecales, y para este sitio resulta menos posible la influencia de los organismos presentes en el sedimento debido a la profundidad del cuerpo de agua y a que la época del muestreo no corresponde con su periodo de mezcla completa (Martínez Cervantes *et al.*, 2009). Los niveles de coliformes fecales observados en este sitio (2 - 33 NMP/100 ml) resultaron ser menores que los observados en otros cenotes del Estado en la misma época del año (0 - 460 NMP/100 ml) (Alcocer *et al.*, 1998) y (0 - 148 NMP/100 ml) (Chi Chiclín *et al.*, 2011).

Existen dos principales fuentes posibles de contaminación fecal en este balneario, la primera es el agua subterránea que alimenta al cuerpo de agua y la segunda, el restaurante establecido a un costado del mismo. Debido a que la población de Bacalar no cuenta con cobertura total en el servicio de drenaje, es posible que las aguas residuales tengan acceso al acuífero a través de fosas sépticas con filtraciones o pozos de absorción, y que lleguen de esta manera hasta el Cenote Azul y la Laguna de Bacalar. Aunado a esto, la geología y el clima favorecen la sobrevivencia y desarrollo de organismos patógenos en el agua subterránea (Schmitter Soto, *et al.*, 2002) y Perry *et al.* (2003) afirman que la composición del agua del Cenote es un claro reflejo del agua subterránea que se descarga en la costa.

Además, la Laguna de Bacalar es susceptible ante la contaminación debido a los escurrimientos que son arrastrados principalmente a sitios como el Balneario Ejidal, Cocalitos y el Cenote Azul (Cab Lugo *et al.*, 1998). Sin embargo, el muestreo se realizó durante época de secas y los registros de precipitación fueron nulos o muy cercanos a cero, por lo que se descarta la influencia de la precipitación sobre los sistemas.

El restaurante mencionado anteriormente cuenta con un tanque de almacenamiento temporal para el agua residual situado a un costado del mismo, la cual es periódicamente bombeada a un segundo tanque localizado a mayor altura y distancia del Cenote, donde es extraída con pipas por un servicio de recolección de aguas negras.

El comportamiento observado del contenido de coliformes fecales podría estar indicando una filtración en alguno de los tanques de almacenamiento, por lo que la presencia de estos en la columna de agua no estaría en función del número de visitantes, si no del manejo de las aguas residuales a cargo del restaurante.

### **9.3. RELACIÓN ENTRE COLIFORMES TOTALES Y FECALES**

Los balnearios en los que se observaron los valores más altos de este índice (CT/CF) correspondientes al Balneario Ejidal (9.80 – 21.82), el Cenote azul en el periodo pre-vacacional (16.50) y Calderitas en el periodo post-vacacional (11.75) presentan indicios de que el origen de las bacterias posiblemente sea debido a un aporte ambiental, como el suelo o la vegetación. Por el contrario, los sitios con valores bajos indican una fuente de contaminación fecal, destacándose el tercer muestreo en el Cenote Azul (1.00) y el primero de Dos Mulas (1.00).

En un análisis realizado por Barrera Escorcía *et al.* (2013) se identificó que uno de los cuatro cuerpos de agua analizados, el Lago Metztitlán presentó un valor elevado en el índice CT/CF (30.5) en comparación con los demás lagos, lo que indicó una mayor influencia ambiental generada por escorrentías provenientes de las áreas agrícolas circundantes.

Sin embargo, debido a que los muestreos se realizaron en la temporada de secas, para este caso es muy poco probable que las escorrentías a causa de la precipitación sean la

causa de la influencia del ambiente sobre el contenido de bacterias de los sistemas mencionados.

#### **9.4. CONCORDANCIA CON LA NORMATIVIDAD**

La recomendación establecida de coliformes fecales para este caso por los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua (200 NMP/100 ml) se superó únicamente en dos ocasiones, en el Balneario Dos Mulas durante el periodo pre-vacacional y en la Laguna Milagros durante las vacaciones (Fig. 5). A pesar de que este límite no se excedió en gran medida (240 NMP/100 ml para ambos casos), existe un cierto riesgo a la salud humana para el desarrollo de actividades recreativas.

En contraste, existen otros lagos mexicanos de importante uso recreativo que sí representan un riesgo sanitario importante para la población, como es el caso de los lagos Pátzcuaro y Xochimilco en los que han registraron valores de coliformes fecales con medias geométricas mayores a 3,800 NMP/100 ml (Barrera Escorcía *et al.*, 2013).

#### **9.5. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS**

En lo que respecta a la temperatura, en ninguno de los sitios se observó el comportamiento esperado. La temperatura del agua fue más baja durante el primer muestreo (26.7 – 28.4 °C), y aumentó en los dos siguientes con poca variación entre estos, con valores entre 29.3 y 31.2 °C en el periodo vacacional, y entre 29.7 y 31.8 °C en el periodo post-vacacional.

Con excepción del Balneario Ejidal, las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua se mostraron más bajas durante las vacaciones en todos los sitios (Fig. 7) coincidiendo con la segunda hipótesis planteada, la cual menciona que durante las vacaciones es de esperarse un cambio en los parámetros fisicoquímicos del agua por el cambio en la afluencia turística.

Los valores determinados oscilaron entre 6.7 y 15.8 mg/l de oxígeno disuelto, encontrándose algunos de ellos por encima del oxígeno de saturación esperado en función de la temperatura del agua, siendo este entre 7.5 y 8.1mg/l para agua dulce

entre los 26 y 31 °C a presión atmosférica. Sin embargo, la temperatura y la presión no son los únicos factores que influyen sobre la disolución de oxígeno en el agua, también tienen importancia factores como la salinidad, la fotosíntesis, la respiración y el contenido mineral (California Environmental Protection Agency, s.f.). Existen condiciones que pueden llevar a una sobresaturación de oxígeno, como en el caso de las algas que crecen a un ritmo acelerado y producen oxígeno más rápido del que puede ser consumido o liberado a la atmósfera. Este fenómeno es el que podría haber ocurrido en este caso, sin embargo, no se cuenta con registros del contenido de clorofila para las mismas fechas por lo que no es posible confirmar dicha relación.

Las mediciones de salinidad no reflejaron ningún patrón coincidente en todos los sitios. En tres de ellos, el Cenote Azul, la Laguna Milagros y Calderitas, se observó que en los primeros dos muestreos los valores de salinidad fueron los mismos (7, 7 y 12 ‰ respectivamente) y el último más bajo en los tres sitios (5, 5 y 10 ‰ respectivamente). Observando la figura 7 es posible distinguir dos grupos: los cuerpos de agua salobre (Balneario Ejidal, Cenote Azul y Laguna Milagros) con un valor de entre 5 y 7, y las aguas influenciadas por agua de mar con una salinidad de entre 10 y 12, correspondientes a Dos Mulas y Calderitas. Los valores registrados coinciden con los valores promedio indicados para la Laguna de Bacalar, de Ocho, Xul-Ha, Mariscal, cenotes, humedales, pantanos y bahías de la zona sur de Quintana Roo, que es entre 2 y 17 g/l (2 – 17 ‰) (CONABIO, s.f.).

En lo que refiere al potencial de hidrógeno, el mínimo de pH en todos los Balnearios se registró durante las vacaciones (Fig. 7) por lo que coincide con la segunda hipótesis planteada.

Es importante mencionar que a pesar de que se encontraron y describieron variaciones en los parámetros fisicoquímicos, se determinó que estas diferencias entre estaciones y entre periodos fueron estadísticamente poco significativas, como se puede apreciar en la uniformidad de tonalidades entre estos parámetros en la figura 8. También en los diagramas de componentes principales (Figuras 9 a 13) se puede observar que los ejes más largos en todos los casos corresponden a los parámetros de coliformes totales y fecales, lo que quiere decir que la variación entre las muestras se encuentra más relacionada a las variables bacteriológicas que a las fisicoquímicas. Además, considerando que no se encontró un patrón coincidente en todos los casos de variación

en el periodo vacacional, se rechaza la segunda hipótesis, la cual señala que durante el periodo vacacional se presenta una variación en los parámetros fisicoquímicos como producto del incremento en la afluencia turística.

## 9.6. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

La temperatura media de la atmósfera varió en un rango muy pequeño, pues se mantuvo entre 26.6 y 27.5 °C. El estudio se realizó durante el periodo de secas y se manifiesta a través de una cantidad casi inexistente de precipitación, que varió entre 0 y 0.1 mm entre los tres periodos. Debido a esto se desestima la influencia que las escorrentías pluviales pudieran haber tenido sobre las condiciones de los sistemas acuáticos analizados. Por otra parte, se considera que quizás una variable meteorológica influyente sobre la concentración de coliformes sea el viento al momento del muestreo. Carrillo *et al.*, (2009) sugieren que la fuerza del viento tiene un efecto directo sobre la columna de agua de la Bahía de Chetumal, generando en ocasiones su mezcla completa. Es de esperarse que la circulación vertical del agua tenga efectos sobre las características fisicoquímicas y el contenido bacteriológico del agua, como efecto de la mezcla y resuspensión de sedimentos. En el muestreo pre-vacacional las condiciones meteorológicas se presentaron con una mayor nubosidad e intensidad de viento que en los siguientes dos periodos. El día con mayor viento se observó de igual manera un mayor oleaje y turbiedad en la columna de agua de los cuatro sistemas analizados.

## 10. CONCLUSIONES

---

El incremento en la afluencia turística en los sitios analizados tuvo un efecto de aumento en la cantidad de coliformes totales en los Balnearios Ejidal, Cenote Azul y Calderitas, y en la cantidad de coliformes fecales en los Balnearios Ejidal, Laguna Milagros y Calderitas. A través de la relación de coliformes totales entre fecales destacaron los Balnearios Cenote Azul y Dos Mulas, durante el muestreo post-vacacional y pre-vacacional respectivamente, por contar con una fuente de contaminación de origen fecal mientras que el Balneario Ejidal, el Cenote Azul y Calderitas, en los periodos pre-vacacional para los dos primeros y post-vacacional para el tercero, se caracterizaron por una fuente de bacterias de origen ambiental.

La recomendación establecida de coliformes fecales para este caso por los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua se superó únicamente en dos ocasiones, en el Balneario Dos Mulas durante el periodo pre-vacacional y en la Laguna Milagros durante las vacaciones.

No se encontró una relación directa entre los parámetros fisicoquímicos y el incremento de afluencia turística en los sitios recreativos, posiblemente porque estos dependen en mayor medida de las condiciones ambientales y del tiempo atmosférico que de cuestiones de origen antropogénico, como es el caso de los coliformes fecales.

## **11. RECOMENDACIONES**

---

1. Monitorear la calidad microbiológica del agua de los principales balnearios de la zona sur del Estado en las demás temporadas vacacionales o cada mes para identificar periodos en los que posiblemente los niveles rebasen los valores permitidos y, por lo tanto, representen un riesgo sanitario para los bañistas.
2. Aumentar el número de estaciones por sitio de muestro para que sea posible realizar análisis estadísticos y obtener información más completa.
3. Determinar el contenido de coliformes fecales en los sedimentos de los balnearios para identificar si existe el riesgo de que en los días con mayor mezcla de la columna éstos puedan resuspenderse y disminuir la calidad sanitaria del agua.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

---

Aguilar Martínez, P. (2011). Evaluación de Coliformes Totales y Fecales como Indicadores de Contaminación Fecal en la Zona Conurbada de la Bahía de Chetumal. Chetumal, Quintana Roo, México. Tesis para obtener el título de Licenciada en Ingeniería Ambiental, Universidad de Quintana Roo, 123 pp.

Alcocer, J., Lugo, A., Marín, L. E., & Escobar, E. (1998). Hydrochemistry of Waters from Five Cenotes and Evaluation of their Suitability for Drinking-Water supplies, Northeastern Yucatan, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 6, 293-301.

APHA, AWWA y WPCF. (1992). Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (17 ed.). New York: American Public Health Association.

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.

Badgley, B. D., Thomas, F. I., & Harwood, V. J. (2011). Quantifying Environmental Reservoirs of Fecal Indicator Bacteria Associated with Sediment and Submerged Aquatic Vegetation. *Environmental Microbiology*, 13 (4), 932-942.

Barrera Escorcia, G., Fernández Rendón, C. L., Wong Chang, I., y Ramírez Romero, P. (2013). La Sensibilidad del Grupo Coliforme como Indicador de la Presencia de Enterobacterias Patógenas en Cuatro Cuerpos Acuáticos de México. *Hidrobiológica*, 23 (1), 87 - 96.

Bravo Medrano, A. A. (2008). Determinación de Nitrógeno Inorgánico y Coliformes Fecales en los Efluentes Pluviales y del Manto Freático que Desembocan en la Bahía de Chetumal. Chetumal, Quintana Roo, México. Tesis para obtener el título de Licenciado en Ingeniería Ambiental, Universidad de Quintana Roo, 117 pp.

C. Apella, M., y Z. Araujo, P. (s.f). *Microbiología del Agua. Conceptos Básicos*. Solar Safe Water, 33-50.

Cab Lugo, J. V., Castillo Galindo, M. A., León Negrete, R., Pucheta Romero, J. L., y Vargas Marzuca, J. M. (1998). Evaluación Social del Proyecto de Construcción del Alcantarillado Sanitario de Bacalar, Quintana Roo. Distrito Federal, México: Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP).

California Environmental Protection Agency (s.f.), Folleto Informativo: Oxígeno Disuelto (OD), en *Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment*. California. Obtenido de [https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/cwt\\_guidance.shtml](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/cwt_guidance.shtml).

Campos Pinilla, Claudia (2003). Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas. En Díaz Delgado, Carlos, *Agua Potable para Comunidades Rurales, Reuso y Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Domésticas* (224-229). Toluca: RIPDA-CYTED.

Carrillo, L., Palacios, E., Ramírez, A. M., y Morales, J. B. (2009). Características hidrometeorológicas y batimétricas. In J. Espinoza Ávalos, G. Islebe, & H. A. Hernández Arana, *El Sistema Ecológico de la Bahía de Chetumal/Corozal: Costa Occidental del Mar Caribe* (pp. 12 - 20). México: ECOSUR.

Carrillo, E. M., y Lozano, A. M. (2008). Validación del Método de Detección de Coliformes Totales y Fecales en Agua Potable Utilizando Agar Chromocult. (Trabajo de grado). Bogotá, Colombia.: Facultad de Ciencias. Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana.

Chiroles Rubalcaba, S., González González, M. I., Torres Rojas, T., Valdés Águila, M., y Domínguez Martínez, I. (2003). Evaluación de Indicadores Microbiológicos de Contaminación Fecal en Aguas de Uso Recreativo. *Medio Ambiente y Desarrollo; Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* (4).

Chiroles, S. R., González, M. I., Torres, T., Valdés, M., y Domínguez, I. (2007). Bacterias Indicadoras de Contaminación Fecal en aguas del Río Almendares (Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 7, 222-227.

Chi Chiclín, J. J., López Mejía, M., Téllez Díaz, G., y Quiñones Campos, S. (2011). Estudio Comparativo de la Calidad Bacteriológica del Agua de la Isla de Cozumel, Quintana Roo, México. *Foro de Investigación Científica, de Desarrollo Tecnológico y Exposición Cultural del Sistema Hidrológico de la Cuenca Península de Yucatán*. Mérida, Yucatán.

Cisneros Reyes, H. B., Daltabuit Godás, M., y Valenzuela Valdivieso, E. (2007). *Globalización y Sustentabilidad. El Turismo en el Sur de Quintana Roo*. Cuernavaca, Morelos, México.

CONABIO. (sf.). *Humedales y Lagunas de la Bahía de Chetumal*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Obtenido de [Http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp\\_109.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_109.html)

CONAGUA. (04 de Septiembre de 2013). Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales del acuífero Península de Yucatán, Clave 3105, estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. *Diario Oficial de la Federación*.

Díaz Delgado, C. (2003). Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas. In *Agua Potable para Comunidades Rurales, Reuso y Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Domésticas* (pp. 224-229). Toluca: RIPDA-CYTED.

Escobar Nava, A. (1986). *Geografía General del Estado de Quintana Roo*. Chetumal, Quintana Roo: Impresiones Gales, S.A.

Flores Domínguez, J., y García Domínguez, J. D. (2001). *Resumen de la Calidad del Agua de la Bahía de Chetumal Quintana Roo, México 1988-2000*. Chetumal, Quintana Roo, México.

Flota Medrano, F. A. (2011). *Municipio de Bacalar*. Chetumal, Quintana Roo, México: Gobierno del Estado de Quintana Roo.

Glynn Henry, J. y W. Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental* (Segunda ed.). México: Pearson Educación. 273 - 275.

Gómez Castillo, A. A. (2014). *Estudio de Contaminación por Materia Orgánica, Coliformes Fecales y Nutrientes en 6 Descargas de Agua en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo*. Chetumal, Quintana Roo, México. Tesis para obtener el título de Licenciada en Ingeniería Ambiental, Universidad de Quintana Roo. 29 pp.

Gorjas García, J., Gardiel López, N., y Zamorano Calvo, J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencia*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.

Goyal, S. M., Gerba, C. P., & Melnick, J. L. (1977). Occurrence and Distribution of Bacterial Indicators and Pathogens in Canal Communities Along Texas Coast. *Applied and Environmental Microbiology*, 34 (2), 139 - 149.

Haile, R. W., Witte, J. S., Gold, M., Cressey, R., & McGee, C. H. (1999). The Health Effects of Swimming in Ocean Water Contaminated by storm Drain Runoff. *Epidemiol*, 10, 355 - 363.

Hazen, T. C., & Toranzos, G. A. (1990). Tropical Source Water. In G. A. McFeters, *Drinking Water Microbiology* (pp. 33 - 53). New York: Springer-Verlag.

Herrera Sansores, J. C., y Heredia Escobedo, J. D. (2011). Recursos Hídricos. Hidrología Superficial. En C. Pozo, N. Armijo Canto, y S. Calme, *Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un Análisis para su Conservación* (págs. 42-49). México, D.F.: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Quintana Roo, Programa de Pequeñas Donaciones (PPD).

INEGI. (2010). Localidad de Bacalar. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de Catálogo de Localidades INEGI: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=230040011>

INEGI. (2010). Localidad de Chetumal. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de Catálogo de Localidades INEGI: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=230040011>

INEGI. (2010). Localidad de Huay-Pix. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de Catálogo de Localidades: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=230040037>.

Korenfeld Federman, D. (2013). Acuerdo por el que se dan a Conocer los Estudios Técnicos de Aguas Nacionales Subterráneas del Acuífero Península de Yucatán, Clave 3105, Estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. Distrito Federal, México.

Larrea Murrell, J. A., Rojas badía, M. M., Romeu Álvarez, B., Rojas Hernández, N. M., y Heydrich Pérez, M. (2013). Bacterias Indicadoras de Contaminación Fecal en la Evaluación de la Calidad de las Aguas. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 44 (3), 24-34.

Larrea, J., Rojas, M., Heydrich, M., Romeu, B., Rojas, N., & Lugo, D. (2009). Evaluación de la Calidad Microbiológica de las Aguas del Complejo Turístico Las Terrazas, Pinar del Río

(Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 9, 492-504. McFeters, G. A., Bissonnette, G. K., Jezeski, J. J., Thompson, C. A., & Stuart, D. G. (1974). Comparative Survival of Indicator Bacteria and Enteric Pathogen in Well Water. (A. S. Microbiology, Ed.) *Applied and Environmental Microbiology*, 27, 823-829.

Lin, Y.L. (2012). Caracterización Limnológica y Morfométrica de la Laguna Milagros, Quintana Roo, México. Chetumal, Quintana Roo, México: Universidad de Quintana Roo.

Martínez Cervantes, A., Mezeta Barrera, M., y Gutiérrez Aguirre, M. A. (2009). Limnología Básica del Lago Cárstico Turístico Cenote Azul en Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 19(2), 177-180.

McFeters, G. A., Bissonnette, G. K., Jezeski, J. J., Thompson, C. A., & Stuart, D. G. (Mayo de 1974). Comparative Survival of Indicator Bacteria and Enteric Pathogen in Well Water. (A. S. Microbiology, Ed.) *Applied and Environmental Microbiology*, 27, 823-829.

Medina Argueta, G., y Rosado Varela, Á. A. (15 de Diciembre de 2013). Ciclo de Vida Turístico de Bacalar, Pueblo Mágico, Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo, Quintana Roo.

Medina Moreno, S. A., Jiménez González, A., Gutiérrez Rojas, M., & Lizardi Jiménez, M. (21 de Mayo de 2014). Hydrocarbon Pollution Studies of Underwater Sinkholes Along Quintana Roo as Function of Tourism Development in the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(2), págs. 509-516.

Morales Esparza, J. L. (1993). Estudio de la Calidad del Sistema Lagunar Bacalar. Quintana Roo, México.

Narváez, S., Gómez, M., y Acosta, J. (2008). Coliformes Termotolerantes en aguas de las Poblaciones Costeras y Palafíticas de la Ciénega Grande de Santa Martha, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 13 (3), 110-120.

Perry, E., Velázquez Oliman, G., & Socki, R. A. (2003). Hidrogeology of the Yucatán Peninsula. En A. Gómez Pompa, M. F. Allen, S. L. Fedick, & J. J. Jiménez Osornio, *The Lowland Maya Area: Three Millennia at the Human-Wildland Interface* (págs. 115-138). CRC Press.

Pino Q., M. y Muslow F., S., 2010, Distribución de Facies Granulométricas en el Estuario del Rio Queule, IX Región: Un Análisis de Componentes Principales.: *Revista Geológica de Chile* v. 0, no. 18. Obtenido de <http://www.andeangeology.cl/index.php/revista1/article/view/V10n1-a05/pdf>.

Potch, M. (1999). *Las Calidades del Agua, Cuadernos del Medio Ambiente* (Primera ed.). Barcelona, España: RUBES.

Ramírez, E., Robles, E., Sainz, M. G., Ayala, R., y Campoy, E. (2006). Calidad Microbiológica del Acuífero de Zacatepec, Morelos, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(4), págs. 247-255.

Rodier, J. (1990). *Análisis de las Aguas*. Barcelona, España: Ediciones Omega S.A.

Romero Martínez, I. (2011). Hacia una Propuesta Urbano Ambiental de Turismo Sustentable, para la Región Costera de Tulúm, Quintana Roo, México. Quintana Roo, México.

Rosas Correa, C. O., y Navarrete, A. d. (2008). Parámetros Poblacionales de la Jaiba Azul *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896 en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43, 247-253.

Santiago Rodríguez, T. M., Tremblay, R. L., Toledo Hernández, C., González Nieves, J. E., Ryu, H., Santo Domingo, J. W., et al. (2012). Microbial Quality of Tropical Inland Waters and Effects of Rainfall events. *Applied and Environmental Microbiology* , 78 (15), 5160-5169.

Schmitter Soto, J. J., Escobar Briones, E., Alcocer, J., Suárez Morales, E., Elías Guitérrez, M., y Marín, L. E. (2002). Los Cenotes de la Península de Yucatán. En G. de la Lanza Espino, y J. L. García Calderón, Lagos y Presas de México (págs. 337-381). México, D.F.: AGT Editor S.A.

Secretaría de Salud. (2014). Programa de Acción Específico: prevención de Enfermedades Diarreicas Agudas y Cólera 2013-2106. México, D.F.: Secretaría de Salud.

SECTUR. (2015). Compendio Estadístico del Turismo en México. México: DATATUR. Obtenido de <http://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/CompendioEstadistico.aspx>

SEDUE. (1990). Acuerdo por el que se Establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CA-001/89. En *Gaceta Ecológica* (págs. 38-45). Ciudad de México: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

Tello Taracena, H. A., y Castellanos Martínez, E. O. (2011). Características Geográficas. In C. Pozo, N. Armijo Canto, & S. Calmé, *Riqueza Biológica de Quintana Roo, Un Análisis para su Conservación* (pp. 24 - 33). México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (PPD).

World Health Organization (WHO). (2000). *Monitorpin Bathing Waters. A Practical Guide to the Design and Inmplementation of Assessments and Monitoring Programs*. London, Great Britain: CEC, EPA y WHO.