

# 2011

## MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA EN EL PARQUE NACIONAL TIKAL



Licenciada Mirtha Yolanda Cano Alfaro

Unidad de Biología

15/0201/2011

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
<b>3. ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
<b>3.1 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS NATURALES.</b>	<b>6</b>
3.1.1 Propiedades	6
3.1.2 Estados del agua	6
3.1.3 Aguas de ríos, lagos, lagunas, riachuelos	6
3.1.4 Agua potable	6
3.1.5 Agua subterránea	6
3.1.6 Aguas Lóticas	7
3.1.7 Aguas atmosféricas	7
<b>3.2 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL AGUA.</b>	<b>7</b>
3.2.1 pH.	7
3.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	7
3.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	7
3.2.4 Conductividad.	7
3.2.5 Temperatura	8
3.2.6 Oxigeno Disuelto	8
3.2.7 Color	8
3.2.8 Olor y Sabor	8
3.3 IMPORTANCIA DEL AGUA	9
3.4 FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LAS AGUAS NATURALES	9
3.4.1. Eutrofización	9
3.4.2 Nutrientes que eutrofizan las aguas	9
3.4.3 Fuentes de eutrofización	10
3.4.4 Medida del grado de eutrofización	10
3.4.5 Medidas para evitar la eutrofización	10
<b>3.5 METALES PESADOS</b>	<b>11</b>
<b>3.6 CONTAMINACION POR DESECHOS</b>	<b>12</b>
3.6.1.1 Sustancias químicas	13
3.6.1.2 Características bacteriológicas	13
3.6.1.3 Materia en suspensión y materia disuelta	13
<b>3.7 VEGETACIÓN ACUATICA DE LAS AGUADAS DE TIKAL</b>	<b>14</b>
<b>3.8 FAUNA ASOCIADA A LOS CUERPOS DE AGUA DE TIKAL.</b>	<b>16</b>
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>17</b>
MATERIALES Y EQUIPO	17
<b>4.1 RECURSOS HUMANOS.</b>	<b>17</b>

<b>4.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MUESTREO.</b>	<b>17</b>
4.2.1 AGUADA TIKAL	17
4.2.2 AGUADA DIMIC Y EL REBALSE	17
4.2.3 AGUADA EL NARANJAL.	18
4.2.4 ARROYO NEGRO:	18
4.2.5 AGUA DE POZO:	18
4.2.6 AGUA SALVAVIDAS:	18
4.3 MAPA DE LOS CUERPOS DE AGUA DE TIKAL	19
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>20</b>
5.1 Gráfica 1. Resultados de Potencial de Hidrógeno (pH)	21
5.2 . Gráfica de Resultados de Temperatura	21
5.3 Resultados de Oxígeno Disuelto (DBO)	22
5.4 Resultados de Conductividad	23
<b>6. DISCUSION DE RESULTADOS</b>	<b>24</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>27</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>28</b>
<b>9. ANEXO</b>	<b>29</b>

## 1. INTRODUCCION

---

De acuerdo con el plan maestro 2004-2008 los humedales de Tikal están compuestos por aguadas, arrollos y sibales, su importancia para la conservación se debe tanto a la biodiversidad asociada y a ser fuente esencial de agua para la fauna mayor.

Las aguadas históricamente fueron fuente de abastecimiento de agua para los antiguos Mayas, se considera de gran importancia el Arrollo Negro o río Holmul debido a que existen varios asentamientos a lo largo de su cauce y por lo mismo es vulnerable a la contaminación por desechos humanos y agrícolas. Este río abastece a la aguada el naranjal en la época de invierno y otras aguadas temporales.

El siguiente estudio, nos permitió conocer la calidad de agua de los principales cuerpos de agua de Tikal por medio de parámetros fisicoquímicos (pH, Demanda de oxígeno, conductividad y temperatura). Estos parámetros se compararon con los valores normales establecidos por la COGUANOR y el Ministerio de Medio Ambiente.

Los parámetros utilizados para medir la calidad de agua aunque no son determinantes para medir tipos de contaminación, son indicadores de procesos bioquímicos producto de alteraciones en las propiedades físicas y químicas del agua como procesos de eutrofización, dureza del agua, alcalinidad o acidez que están asociados a fenómenos naturales o antropogénicos.

El monitoreo se realizó en el mes de Octubre del 2010. Se utilizó un equipo portátil de monitoreo prestado por Defensores de la Naturaleza, se tomaron muestras en las aguadas centrales: Tikal1 Tikal2 Tikal 3 y Tikal4, aguada Dimic, el Rebalse, Arroyo Negro, Naranjal, para ello fue necesario reparar la lancha previo a realizar la actividad en las aguadas, también fue necesario el uso de una cuatrimoto para trasladarse a la aguada el Naranjal y Arroyo Negro. También se muestrearon el agua de pozo y una muestra de agua salvavidas como control.

Este estudio permitirá conocer el estado de conservación de las fuentes de agua temporal y permanente que son vitales para la sobrevivencia de la fauna residente y migratorio del Parque Nacional Tikal.

## 2. OBJETIVOS

---

### OBJETIVO GENERAL

Conocer la calidad de agua de las aguadas de Tikal por medio de parámetros fisicoquímicos.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conocer los procesos ecológicos ligados a cambios en las propiedades físico-químicos de las aguadas de Tikal.

## 3. ANTECEDENTES

---

### 3.1 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS NATURALES.

El agua es el más importante de todos los compuestos y uno de los principales constituyentes del mundo en que vivimos y de la materia viva. Es esencial para toda forma de vida, aproximadamente del 60% y 70° del organismo humano se compone de agua. En forma natural el agua puede presentarse en estados físicos, sin embargo, debe tenerse en cuenta que en forma natural casi no existe pura, pues casi siempre contiene sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión.

El agua no debe tener color ni sabor, ni olor, es buen conductor de la electricidad, es buen disolvente, no tiene forma, se presenta en tres estados naturales sólido, líquido y gaseoso.

#### 3.1.1 Propiedades

El agua por ser materia, pesa y ocupa un lugar en el espacio, está conformada por hidrógeno (H) y el oxígeno (O<sub>2</sub>), su fórmula pura en estado puro es H<sub>2</sub>O.

#### 3.1.2 Estados del agua

En los tres estados (sólido, líquido y gaseoso), se encuentra el agua en la naturaleza, en estado líquido en los océanos, mares, ríos, etc, en estado gaseoso en las nubes, la humedad atmosférica, vapores de agua y sólido en forma de hielo.

#### 3.1.3 Aguas de ríos, lagos, lagunas, riachuelos

Por lo general son incoloras y sin sabor. En temporada de lluvias estas aguas se enturbian y contaminan por efectos de la erosión.

#### 3.1.4 Agua potable

No tiene olor, ni color algunas veces de sabor agradable, No contiene gérmenes ni bacterias patógenas, por lo que se le usa para el consumo humano.

#### 3.1.5 Agua subterránea

Representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes. Se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la tierra. El agua del subsuelo es un recurso importante y de este se abastece gran parte de la población mundial pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación.

Según su ubicación en la tierra y según la cantidad de sales disueltas: aguas lentitas, aguas lólicas, aguas atmosféricas y aguas freáticas.

3.1.6 Aguas Lóticas Se encuentra en las superficies de la litosfera, en reposo. Ejemplos: Lagos, estanques, pantanos, charcos, etc.

3.1.7 Aguas atmosféricas Se encuentran en continuo desplazamiento, ya sea lentamente o en forma torrente, como los ríos; estas aguas tienen mayor oxígeno que las anteriores debido al movimiento constante. El agua dulce proveniente de ríos y lagos. El agua salada contiene abundante cantidad de diversas sales (mares: 3,5% de sales disueltas).

## 3.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA.

Los parámetros característicos, mencionados en la Directiva Europea, son:

- Temperatura
- pH
- Sólidos en suspensión totales (SST) o
- Materia orgánica valorada como DQO y DBO (a veces TOC)
- Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)
- Nitrógeno amoniacal y nitratos

También hay otros parámetros a tener en cuenta como fósforo total, nitritos, sulfuros, sólidos disueltos.

### 3.2.1 pH.

Expresión de la acidez o alcalinidad de un líquido en términos de pH, el cual se define como el logaritmo del recíproco de la concentración de hidrogeniones. El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9. Las aguas de pH menor de 6,5 son corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución (Chirinos Et al. 2010).

### 3.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la medida indirecta del contenido de material orgánico e inorgánico que se determina por la cantidad equivalente al oxígeno utilizado en la oxidación química.

### 3.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Medida indirecta del contenido del material orgánico biodegradable que se determina por la cantidad equivalente al oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica a los 5 días y a una temperatura de 20 °C.

### 3.2.4 Conductividad.

La conductividad eléctrica se utiliza para determinar la salinidad (contenido de sales) de suelos y substratos de cultivo, ya que se disuelven éstos en agua y se mide la conductividad del medio líquido resultante. Suele estar referenciada a 25 °C. y el valor obtenido debe

corregirse en función de la temperatura. De acuerdo con las normas COGUANOR los límites permisibles para el agua potable son de 750-100 US/cm.

### 3.2.5 Temperatura

Medida de calor específico del agua expresada en grados centígrados.

### 3.2.6 Oxígeno Disuelto

Las diferencias en la concentración de oxígeno disuelto entre diferentes hábitats acuáticos, puede explicarse a base de los siguientes criterios:

- a. diferencias en la magnitud de la actividad respiratoria de plantas, animales y microorganismos.
- b. influencia de la morfología del fondo en el perfil vertical de oxígeno (mientras mayor es la irregularidad del fondo, mayor es el área superficial de los sedimentos ricos en materia orgánica que demandan oxígeno).
- c. diferencias en la penetración de luz y por ende, en la actividad fotosintética.
- d. diferencias en la temperatura del agua.
- e. entrada de minerales solubles (aumento en salinidad).
- f. aumento en concentración de minerales a consecuencia de evaporación de agua.
- g. entrada de grandes cantidades de materia orgánica oxidable.

Los valores del Porcentaje de Saturación del OD de 80-120% se consideran excelentes y los valores menores al 60% o superiores a 125% se consideran malos.

### 3.2.7 Color

De acuerdo con el manual sobre sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano, el color es la capacidad del agua para absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color natural en el agua existe debido al efecto de partículas coloidales cargadas negativamente. En general, el agua presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos como el color amarillento debido a los ácidos húmicos. La presencia de hierro puede darle un color rojizo y la del manganeso, un color negro.

### 3.2.8 Olor y Sabor

Estos parámetros son determinaciones organolépticas y subjetivas, para dichas observaciones no existen instrumentos de observación, ni registros, ni unidades de medida. Tienen un interés evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano.



Las aguas adquieren un sabor salado a partir de 300 ppm de Cl<sup>-</sup> y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de SO<sub>4</sub><sup>-</sup>. EL CO<sub>2</sub> libre en el agua le da un gusto “picante”. Trazas de fenoles u otros compuestos le confiere un olor y sabor desagradable.

### 3.3 IMPORTANCIA DEL AGUA

El agua es muy importante por las siguientes razones:

- Interviene en la composición de los seres vivos (hasta el 95% en peso).
- Constituye el alimento indispensable para la vida.
- Interviene en la fotosíntesis.
- Disuelve sustancias nutritivas para ser transformados dentro del organismo
- Sirve como ambiente de gran cantidad de organismos: peces, algas, etc.
- Actúan como vehículo transporte de sustancias en el interior de los seres vivos.
- Es una fuente de energía,
- Tiene múltiples aplicaciones en la vida diaria.

### 3.4 FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LAS AGUAS NATURALES

#### 3.4.1. Eutrofización

Los sistemas hídricos sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes. Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén bien repletas de nutrientes, porque así podrían vivir más fácilmente los seres vivos. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad.

El proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. El resultado final es un ecosistema casi destruido.

#### 3.4.2 Nutrientes que eutrofizan las aguas

Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, pero en muchos mares el factor limitante es el nitrógeno para la mayoría de las especies de plantas.

En los últimos 20 o 30 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en muchos mares y lagos casi se han duplicado. La mayor parte les llega por los ríos. En el caso del nitrógeno, una elevada proporción (alrededor del 30%) llega a través de la contaminación atmosférica.

El nitrógeno es más móvil que el fósforo y puede ser lavado a través del suelo o saltar al aire por evaporación del amoníaco o por desnitrificación. El fósforo es absorbido con más facilidad por las partículas del suelo y es arrastrado por la erosión o disuelto por las aguas de escorrentía superficiales.

En condiciones naturales entra a un sistema acuático menos de 1Kg de fosfato por hectárea y año. Con los vertidos humanos esta cantidad sube mucho. Durante muchos años los jabones y detergentes fueron los principales causantes de este problema. En las décadas de los 60 y 70 el 65% del peso de los detergentes era un compuesto de fósforo, el tripolifosfato sódico, que se usaba para "sujetar" (quelar) a los iones Ca, Mg, Fe y Mn. De esta forma se conseguía que estos iones no impidieran el trabajo de las moléculas surfactantes que son las que hacen el lavado. Estos detergentes tenían alrededor de un 16% en peso de fósforo.

El resultado era que los vertidos domésticos y de lavanderías contenían una gran proporción de ion fosfato. A partir de 1973 Canadá primero y luego otros países, prohibieron el uso de detergentes que tuvieran más de un 2,2% de fósforo, obligando así a usar otros quelantes con menor contenido de este elemento. Algunas legislaciones han llegado a prohibir los detergentes con más de 0,5% de fósforo.

### 3.4.3 Fuentes de eutrofización

a) Eutrofización natural.- La eutrofización es un proceso que se va produciendo lentamente de forma natural en todos los lagos del mundo, porque todos van recibiendo nutrientes.

b) Eutrofización de origen humano.- Los vertidos humanos aceleran el proceso hasta convertirlo, muchas veces, en un grave problema de contaminación. Las principales fuentes de eutrofización son:

- los vertidos urbanos, que llevan detergentes y desechos orgánicos
- los vertidos ganaderos y agrícolas, que aportan fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos.

### 3.4.4 Medida del grado de eutrofización

Para conocer el nivel de eutrofización de un agua determinada se suele medir el contenido de clorofila de algas en la columna de agua y este valor se combina con otros parámetros como el contenido de fósforo y de nitrógeno y el valor de penetración de la luz.

### 3.4.5 Medidas para evitar la eutrofización

Lo más eficaz para luchar contra este tipo de contaminación es disminuir la cantidad de fosfatos y nitratos en los vertidos, usando detergentes con baja proporción de fosfatos, empleando menor cantidad de detergentes, no abonando en exceso los campos, usando los desechos agrícolas y ganaderos como fertilizantes, en vez de verterlos, etc.

### 3.5 METALES PESADOS

A pesar del hecho de que se han encontrado significativos hongos de diversos grupos taxonómicos en ambientes altamente infectados con metales pesados, la diversidad de especies resulta muy reducida; de éstas se seleccionan sólo aquellas poblaciones tolerantes y resistentes capaces de sobrevivir y crecer en tales condiciones (Babich y Stotzky, 1982; Gadd, 1986). El efecto venenoso de los metales sobre la comunidad microbiana en ambientes naturales varía de acuerdo a la especiación y la concentración del metal, con los organismos presentes y con diversos factores ambientales (Gadd y Griffiths, 1977). Sin embargo, no se ha llegado a establecer el umbral toxicológico, tal como la concentración que origina el 50% de letalidad entre los microorganismos afectados a una cierta concentración de un metal dentro en un tiempo de exposición determinado y bajo condiciones ambientales específicas. Estos umbrales de la toxicidad de un metal sólo se han determinado en especies aisladas y únicamente bajo condiciones de laboratorio. Varios estudios han demostrado que los cationes metálicos como Cd, Cu, Zn, Pb, y Ni, entre otros, se absorben y son retenidos en suelos y aguas, dependiendo en gran medida de su composición y propiedades fisicoquímicas (Gadd y Griffiths, 1978; Brunzl y Schimmack, 1991).

Esta capacidad de absorción es regulada por los elementos del medio incluyendo a las arcillas minerales de silicatos de Al (montmorilonita y kaolita) y a la materia orgánica (humus, biomasa de plantas y microorganismos). Entre los factores fisicoquímicos del medio que afectan la toxicidad de los metales hacia los microorganismos se encuentran: el pH, el potencial de óxido-reducción y los aniones y cationes inorgánicos. El pH del medio puede intervenir en la toxicidad de los metales en dos sentidos: (1) cambiando el estado fisiológico y las actividades bioquímicas de los microorganismos y, por tanto, sus reacciones hacia las sustancias tóxicas y; (2) en la especiación de metal, lo cual afecta su habilidad para combinarse con la superficie celular.

Cuando se aumenta el pH de una solución, éste puede formar diferentes especies hidroxiladas, siendo diferente a su vez la toxicidad de estas especies. A pH bajo aumenta la concentración de H<sup>+</sup>, el cual puede competir con los metales pesados por los sitios iónicos de los componentes celulares. La especiación de los ligandos orgánicos que pueden interactuar con los metales, y de este modo variar su toxicidad, depende asimismo del pH del medio; por ejemplo, cuando el Cd forma Cd(OH)<sup>+</sup> y complejos con compuestos orgánicos a pH alcalino, se vuelve más venenoso que en su forma libre para *A. niger*, *P. vermiculatum*, *P. asperum* y *C. echinulata* (Babich y Stotzky, 1977).

Por el contrario, la toxicidad del Ni hacia los microorganismos se reduce con el pH alcalino (Babich y Stotzky, 1982); los hongos crecen de forma menos acelerada en un suelo naturalmente ácido (pH 4.9) complementado con 1000 ppm de Ni, que a pH más alto. De forma general, se ha analizado que el pH alto incrementa la toxicidad de los metales debido a que cambia los sistemas de captación y de transporte en los microorganismos.

El potencial de óxido-reducción (Eh) del medio ambiente puede afectar la disponibilidad de los metales de manera directa, y de este modo sus valores de toxicidad. En un ambiente altamente reductor (Eh negativo), los metales pueden combinarse con S<sub>2</sub> y formar sales

derivadas de sulfuros insolubles, que los microorganismos no captan. El Eh también afecta la valencia del metal; por ejemplo, es más dañino el Cr (VI) que el Cr (III) para el aumento micelial y para la germinación de las esporas de diferentes hongos (Babich et al., 1982).

Los aniones y cationes inorgánicos del ambiente también determinan en la especiación del metal y así en su nivel tóxico. Los metales pesados forman módulos de coordinación con aniones inorgánicos (OH<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>).

La diferente especiación de los metales pesados que ocurre en vista de acumulaciones variables de los ligandos aniónicos, puede provocar variados efectos tóxicos en los organismos. Por ejemplo, concentraciones altas de Cl<sup>-</sup> en el medio reducen la contaminación del Cd hacia *A. niger*, *R. stolonifer*, *Aspergillus conoides* y *Oospora* spp. (Babich y Stotzky, 1982).

En el caso de los cationes inorgánicos, estos pueden cambiar la toxicidad de los metales como resultado de la competencia con las formas catiónicas de los metales pesados por los sitios aniónicos de los componentes de la superficie celular; por ejemplo, el Mg puede disminuir los efectos tóxicos del Ni en varios hongos filamentosos (Babich y Stotzky, 1982).

Las arcillas minerales también modifican la biodisponibilidad de los metales pesados haciendo que también cambie su toxicidad hacia los microorganismos ya que aquellos son intercambiados por los cationes absorbidos a las arcillas que de forma natural están compensando sus cargas eléctricas. En resumen, se ha descubierto que lo más efectivo para limitar la toxicidad de los metales son las arcillas que tienen una gran habilidad de realizar un intercambio catiónico.

El pH puede afectar la interacción de los metales pesados con la materia orgánica soluble (Farrah y Pickering, 1977). Por otra parte, la materia orgánica particulada (ácidos húmicos) en medios sintéticos, protege de los efectos del Pb y Ni a diferentes especies de hongos (Babich y Stotzky, 1982). La temperatura modifica la toxicidad de los metales pesados como un resultado directo sobre el estado fisiológico de la célula más que sobre la especiación o disponibilidad.

### 3.6 CONTAMINACION POR DESECHOS

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín *cloaca*, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

### 3.6.1 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

#### 3.6.1.1 Sustancias químicas

Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Esos sólidos pueden clasificarse en sólidos inorgánicos, formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones. La concentración de orgánicos en el agua se determina a través de la DBO5, la cual mide material orgánico carbonáceo principalmente, mientras que la DBO20 mide material orgánico carbonáceo y nitrogenado DBO2.

#### 3.6.1.2 Características bacteriológicas

Una de las razones más importantes para tratar las aguas residuales o servidas es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. Estos son, entre otros:

- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Salmonellas
- Virus

#### 3.6.1.3 Materia en suspensión y materia disuelta

- La materia en suspensión se separa por tratamientos físicoquímicos, variantes de la sedimentación y filtración. En el caso de la materia suspendida sólida se trata de separaciones sólido - líquido por gravedad o medios filtrantes y, en el caso de la materia aceitosa, se emplea la separación L-L, habitualmente por flotación.
- La materia disuelta puede ser orgánica, en cuyo caso el método más extendido es su insolubilización como material celular (y se convierte en un caso de separación S-L) o inorgánica, en cuyo caso se deben emplear caros tratamientos físicoquímicos como la ósmosis inversa.

Los diferentes métodos de tratamiento atienden al tipo de contaminación: para la materia en suspensión, tanto orgánica como inorgánica, se emplea la sedimentación y la filtración en todas sus variantes. Para la materia disuelta se emplean los tratamientos biológicos (a veces la oxidación química) si es orgánica, o los métodos de membranas, como la ósmosis, si es inorgánica.

### 3.7 VEGETACIÓN ACUÁTICA DE LAS AGUADAS DE TIKAL

Las interacciones ecológicas de las plantas acuáticas han sido escasamente estudiadas, sin embargo la presencia de plantas flotantes puede afectar fuertemente la red trófica a través de efectos directos e indirectos sobre distintas comunidades (macro invertebrados, peces, plancton).

Las plantas acuáticas sirven como elementos indicadores de la calidad del agua y de las condiciones de salud, de un ambiente acuático. (Anon, 1972).

El exceso de materia orgánica puede incrementar la cantidad de nutrientes presentes en los lagos, sin embargo, a pesar de que el nitrógeno estimula el crecimiento tanto de las plantas acuáticas como las terrestres el exceso produce un incremento intensivo de plantas acuáticas, lo cual incrementa la eutrofización de los cuerpos de agua y pueden dañar la salud de estos ecosistemas (Reyes et al, 2009).

La vegetación petenera ha sido estudiada con anterioridad por Lundel (1937), Lot y Novelo (1988) en los pantanos de Tabasco y Campeche, en 1999, Schulze y Witacre estudiaron la distribución de árboles y arbustos del Parque Nacional Tikal.

En el Parque Nacional Laguna del Tigre, Leon y Morales (2000) estudiaron la composición florística de diferentes hábitats acuáticos.

Morales y Flores estudiaron la vegetación acuática de los cenotes del Parque Nacional de Sierra del Lacandón en el 2001 y Morales y Reyes investigaron la calidad de agua de los cuerpos de agua de la región Maya – Tikal-Yaxhá.

Reyes et. 24 especies de plantas acuáticas representadas en 17 familias. Siendo las más importantes en cuanto a la frecuencia de ocurrencia y características las descritas a continuación:

- Cyperaceae: compuesta por plantas emergentes,
- Potamogetonaceae: plantas sumergidas,
- Pontederiaceae: plantas flotantes,
- Poaceae y Fabaceae: familias de plantas emergentes

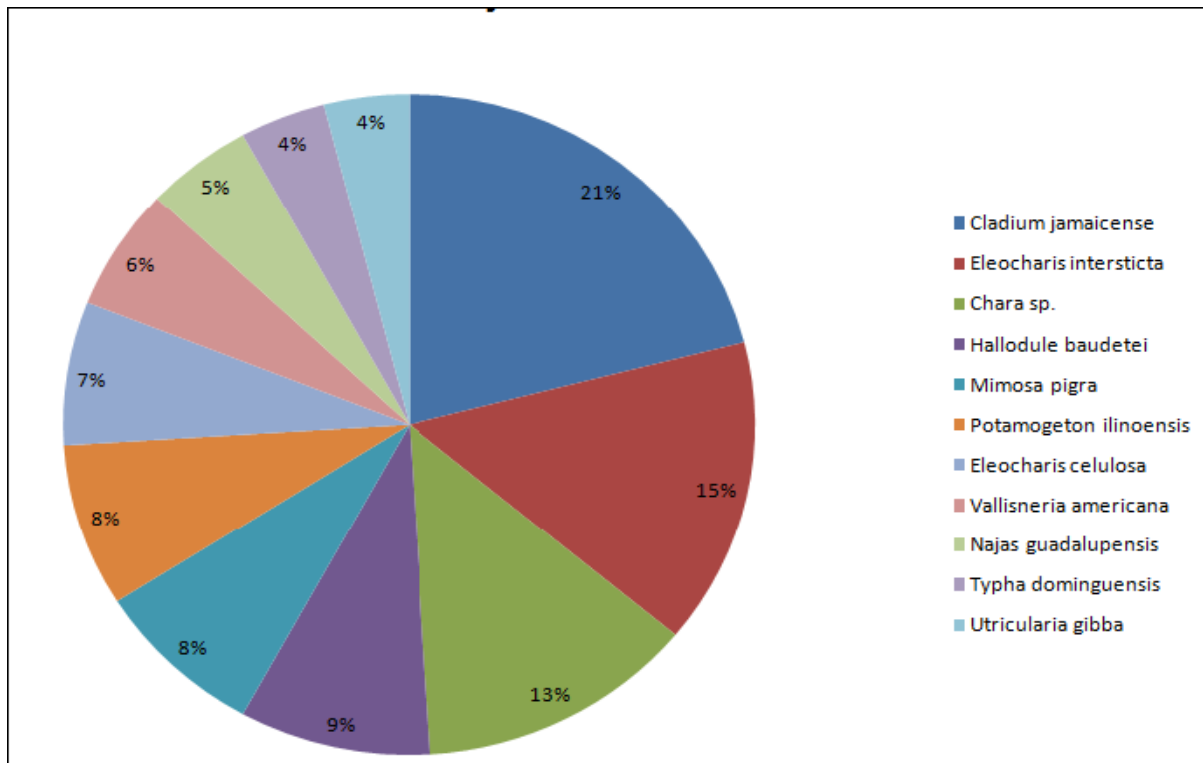


Fig. 1. Especies de plantas acuáticas de la región Maya-Tikal –Yaxhá. Fuente: Reyes F., Morales J. CECON, LICA, IIQB (2009).

Géneros como *Eichornia*, *Potamogeton* y *Vallisneria*, son indicadoras perturbaciones de calidad de agua, ya que su crecimiento se ve favorecido por la presencia de altas concentraciones de nutrientes, por consiguiente indican alto grado de eutrofización (Palma, 1986).

*Eichornia crassipes* es considerada una de las peores malezas acuáticas del mundo, así como *Pistia stratiotes*, *Potamogeton ilinoensis* y *Salvinia minim*, Estas especies por su carácter de introducidas y/o malezas acuáticas pueden desplazar a otras hidrófitas nativas y por consiguiente cambiar y alterar la estructura y las condiciones naturales de los ambientes acuáticos representando pérdidas de diversidad biológica. Fueron pocos los sitios en donde se registraron estas especies, los registros fueron sobre todo en lugares donde hay presencia de poblaciones humanas. (Acosta – Arce, 2006; Ramos *et al.*, 2004; Martin, *et al.*, 2003).

Peralta y Morero - Casasola, (2007) concluyen que la presencia de malezas acuáticas no implican necesariamente una eutrofización de las lagunas dado que la cobertura dentro de cada laguna exceptuando el Lago Petén Itzá fue baja, sin embargo, pueden estar evidenciando una alteración del ambiente

### 3.8 FAUNA ASOCIADA A LOS CUERPOS DE AGUA DE TIKAL.

Las aguadas de Tikal son el principal punto de abastecimiento de agua para la fauna local residente, de acuerdo con el Plan Maestro 2004-2008) se reportan 105 especies de reptiles, 25 de anfibios y 50 de serpientes, de las cuales se destacan la barba amarilla (*Bothrops asper*) por su alta incidencia de mordeduras, iguanas y salamandras, cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreleti*), Tortuga (*Trachemys scryta*), entre los anfibios se encuentra la rana arborícola de ojos rojos (*Agalychnis callidryas*) y el sapo Moi (*Rhinophrynus dorsalis*).

Se reportan entre 100 y 105 especies en el Parque, entre los que destacan las 5 especies de felinos -jaguar (*Panthera onca*), ocelote (*Felis pardalis*), margay-tigrillo (*Felis wiedii*), puma (*Felis concolor*) y onza (*Herpailurus yaguaroundi*)-, 60 especies de murciélagos de las 94 que existen en Guatemala, y especies mayores como el danto o tapir (*Tapirus bairdii*), el jabalí (*Tayassu pecari*) y el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*).

Muy visibles y admirados por los visitantes son los monos araña (*Ateles geoffroyi*) y aulladores (*Alouatta pigra*), que se pueden ver en grandes tropas sobre las ramas de los árboles y 352 especies, entre ellas 50 especies de rapaces y más de 60 especies raras entre ellas el pavo ocelado (*Meleagris ocellata*), el halcón pechirrojo (*Falco deiroleucus*), la codorniz moteada (*Odontophorus guttatus*), el conoto de Moctezuma (*Psarocolius montezuma*), la aninga americana (*Anhinga anhinga*), la jacana centroamericana (*Jacana spinosa*), el martinete cucharón (*Cochlearius cochlearius*), el carrao (*Aramus guarauna*), la avetigre mexicana (*Tigrisoma mexicanum*), el lorito encapuchado (*Pionopsitta haematotis*), el loro senil (*Pionus senilis*), la amazona frentialba (*Amazona albifrons*), la amazona frentirroja (*Amazona autumnalis*), la amazona burrona (*Amazona farinosa*) y el periquito pechisucio (*Aratinga nana*), así como diversas especies de colibríes (Trochilidae), tucanes (Ramphastidae), carpinteros (Picidae), momotos (Momotidae) y crácidos.

Entre los insectos, abundan las hormigas cortadoras de hojas. También se encuentran en el parque la machaca (*Fulgora laternaria*), el escarabajo hércules (*Dynastes hercules*) y muchas otras especies.



## 4. METODOLOGIA

---

### MATERIALES Y EQUIPO

- Equipo portátil de monitoreo de la calidad de Agua.
- Cuatrimoto
- 2 galones de combustible.
- Lancha
- Libreta de campo
- Equipo de oficina (Computadora, internet)

### 4.1 RECURSOS HUMANOS.

El equipo de monitoreo fué conformado por la Lic. Mirtha Cano, coordinadora de la Unidad de Biología, se contó con la Lic. Rebeca Escobar Bióloga de Defensores de la Naturaleza, Mirna Escobar, Ever Pérez, Ramiro Bac, Regino Arévalo y Blas Ochaeta como operativos de campo del PANAT.

El monitoreo consistió en muestrear diferentes puntos en las aguadas centrales: Tikal1 Tikal2 Tikal 3 y Tikal4, Aguada Dimic, el Rebalse, Arroyo Negro, Naranjal, agua de pozo y agua pura salvavidas. Se tomaron los siguientes parámetros como variables DQO, DBO, Conductividad, pH y temperatura y se tomaron las referencias geográficas correspondientes para cada uno de los puntos de muestreo.

Los datos se compararon con las tablas de Normas COGUANOR.

Esta actividad tuvo una duración de 2 días, muestreando en el primer día las aguadas Tikal 1,2,3 Arrollo negro y el Naranjal y el día dos se tomaron los datos del resto de aguadas.

### 4.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MUESTREO.

#### 4.2.1 Aguada Tikal

Se ubica frente al centro de visitantes, se considera una aguada temporal ya que durante la época seca ha llegado a secarse totalmente debido a los problemas de eutroficación, azolvamiento y extracción masiva de agua para consumo humano. Se encuentra dividida en 4 secciones, en época de invierno se convierte en una sola, su punto máximo de profundidad se calcula aproximadamente 4.5 metros.

#### 4.2.2 Aguada Dimic y El Rebalse

Se ubica al final de la antigua pista de aterrizaje, también se considera aguada temporal se abastece en la época de invierno y puede llegar a alcanzar los 3 metros de profundidad.

Esta llena la aguada de El rebalse la cual en época de invierno alcanza los 2.70 metros de profundidad, tiene características de un cono, con un diámetro de aproximadamente 500 metros. Se caracteriza por ubicarse en bosque bajo por las características de la vegetación.

4.2.3 Aguada El Naranjal. Se localiza rumbo a la ruta a Zocotzal, sobre el kilómetro 62 y medio esta está conectada a un sistema de riachuelos desde el Río el Naranjo hasta llegar a Belice y durante la época lluviosa se conectan dando lugar al flujo de especies. Se ubica en bosque alto. Se le conoce por ser una aguada visitada por tapires. Su nombre se debe a que en la antigüedad se encontraban árboles de naranja.

4.2.4 Arroyo Negro: Este arrollo permanente, se considera parte de la cuenca del río Holmúl que finaliza en Belice y al sur se conectan con una red de riachuelos del bajo de Santa Fe (Vilma Fialco, 2000) Este cuerpo de agua es fuente de vida para la fauna de Tikal pues durante la época seca es uno de los pocos cuerpos que mantienen agua para el sustento de la biodiversidad del área.

4.2.5 Agua de pozo: Se tomaron datos del agua de pozo para saber si las condiciones fisicoquímicas del agua se encuentran dentro de los estándares normales para el consumo humano, debido a que muchos de los trabajadores del Parque utilizan esta fuente para beber.

4.2.6 Agua Salvavidas: Se tomó la muestra de agua salvavidas para tomarse como control ya que cuenta con las características adecuadas y permisibles para consumo humano. Estas características permitirán comparar los resultados obtenidos con los cuerpos de agua antes mencionados.

### 4.3 MAPA DE LOS CUERPOS DE AGUA DE TIKAL

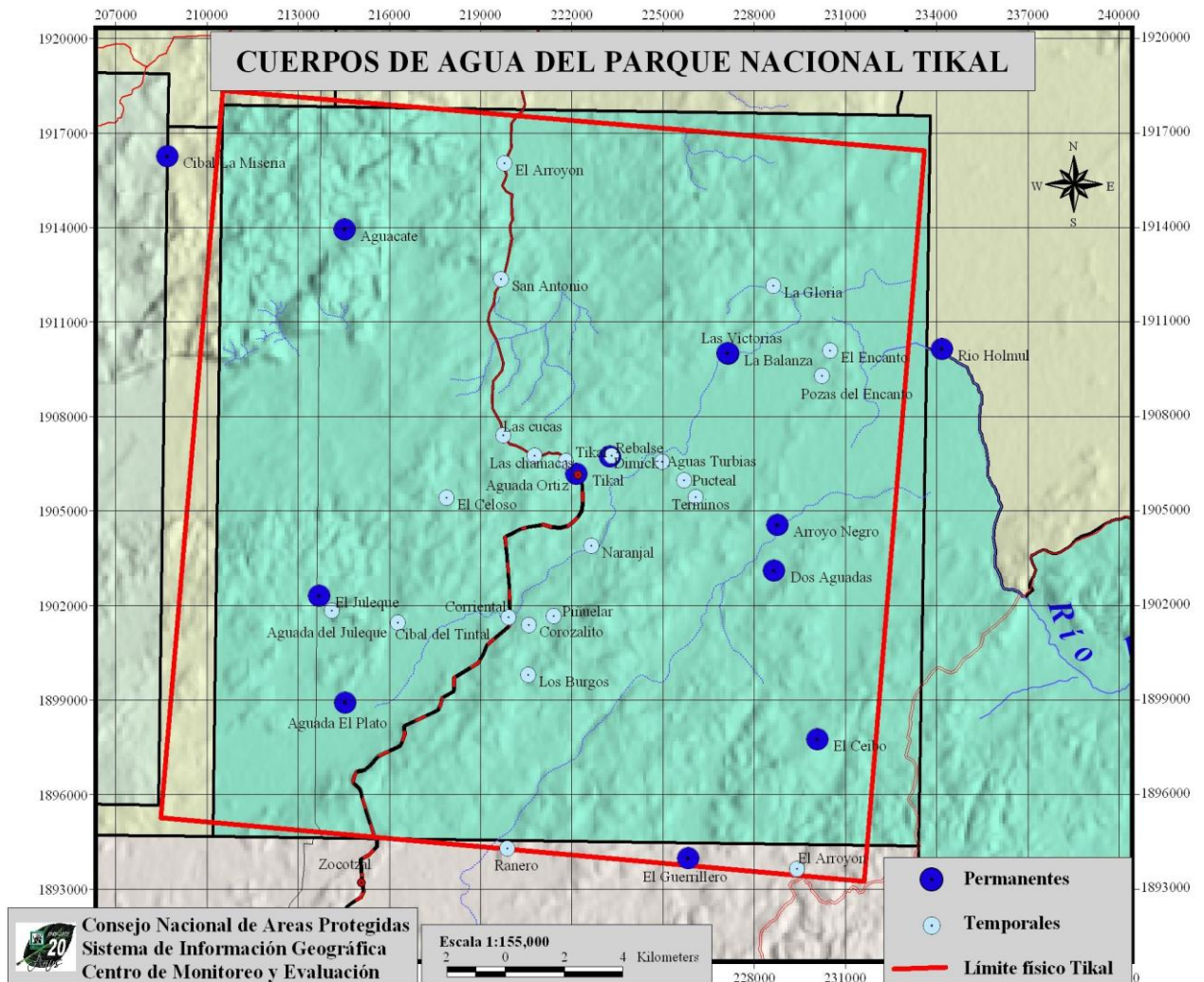


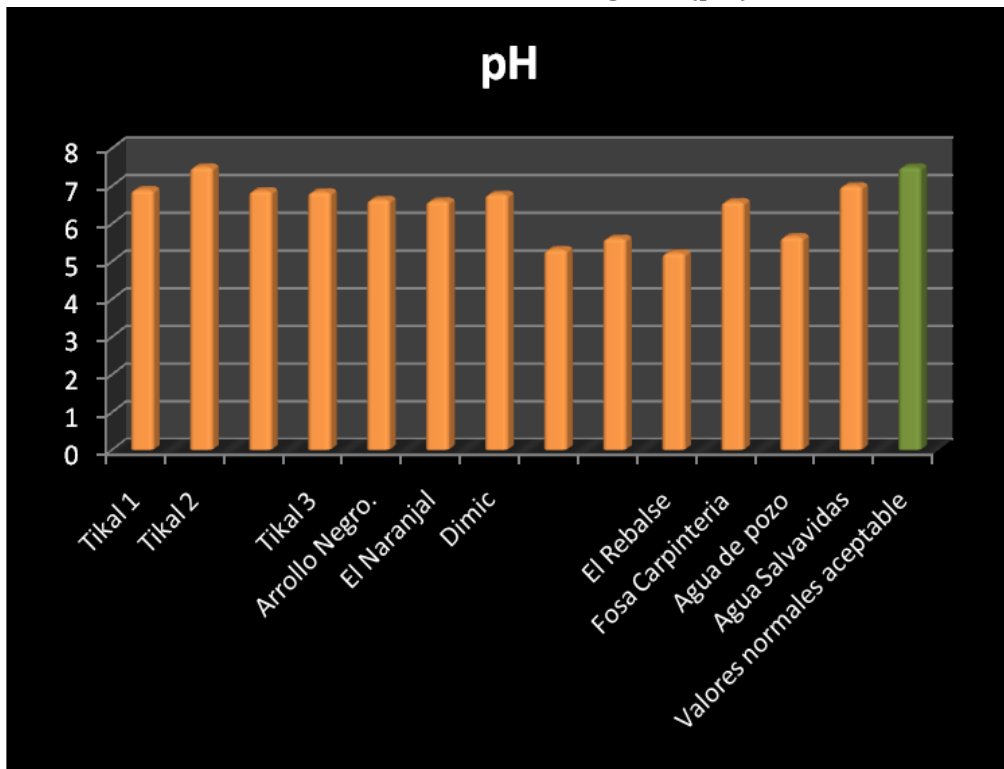
Fig. 2 Aguadas Muestreadas: Arrollo Negro, Dimic, El Rebalse, El Naranjal, Tikal. Fuente Unidad Biológica. PANAT 2010.

## 5. RESULTADOS

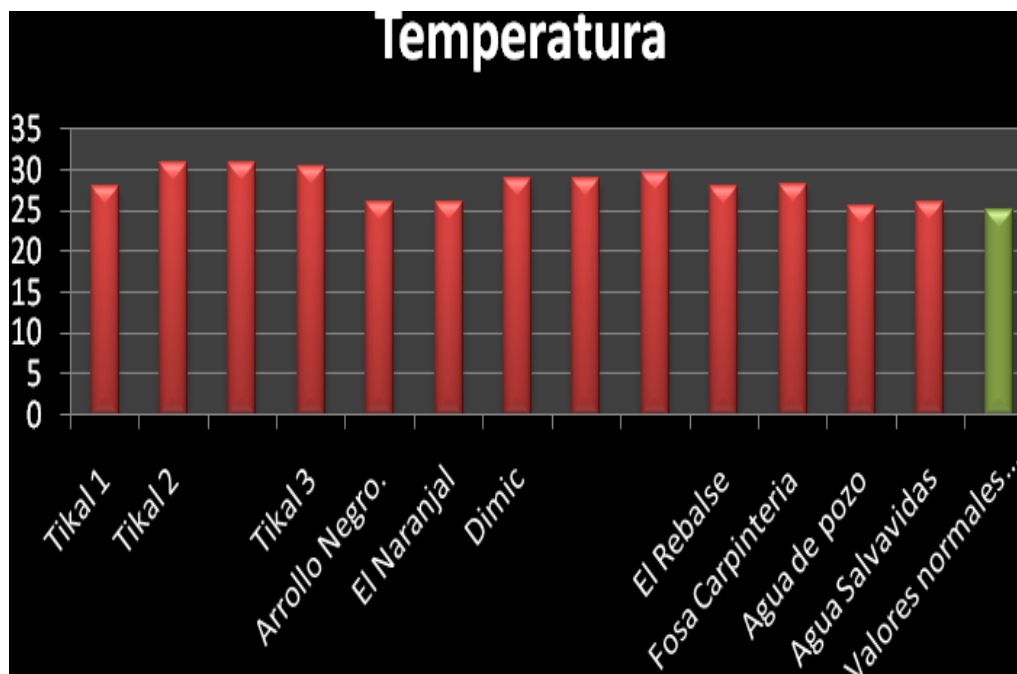
Muestra	pH	Temperatura	Oxígeno Disuelto Mg/lts	Oxígeno disuelto %	Conductividad US/cm	Conductividad mg/lts	Georeferencia	Altura
Tikal 1	6.9	28	1.24	16.4	235	112.6	171326.4 0893648.8	236
Tikal 2	7.5	30.8	5.9	82.2	230	110.4	171328.2 0893646.8	247
	6.87	30.7	6.88	95.9	170	81.3	171327.0 0893646.8	247
Tikal 3	6.84	30.3	6.04	83.4	172.9	82.6	171326.3 0893646.6	247
Arrollo Negro.	6.64	26	2.11	26.9	205	98	171059.1 0893802.6	227
El Naranjal	6.6	26	0.98	12.6	163.4	78	171209.9 0893629.4	246
Dimic	6.78	28.8	6.1	81.9	183	87.7	171344.4 0893608.6	220
	5.31	29	6.36	84.2	184	88.1	171343.1 0893608.6	225
	5.61	29.5	9.69	135.3	186.7	89.3	171344.1 0893607.4	229
El Rebalse	5.22	27.9	1.3	13.6	217	104.1	171345.5 0893606.6	231
Fosa Carpintería	6.58	28.1	2.23	29.9	277	133.2	171337.3 0893641.5	238
Agua de pozo	5.65	25.6	9.48	120	982	482	171338.3 0893645.2	236
Agua Salvavidas	7	26	6.38	81.04	92.7	43.9		
Valores normales aceptable	7.5	25	12.00		750			

Tabla 1. Resultados del Monitoreo de la Calidad de Agua en el Parque Nacional Tikal, Elaborado por la Unidad de Biología 2010. Fuente: Unidad Técnica. Unidad de Biología. PANAT 2010.

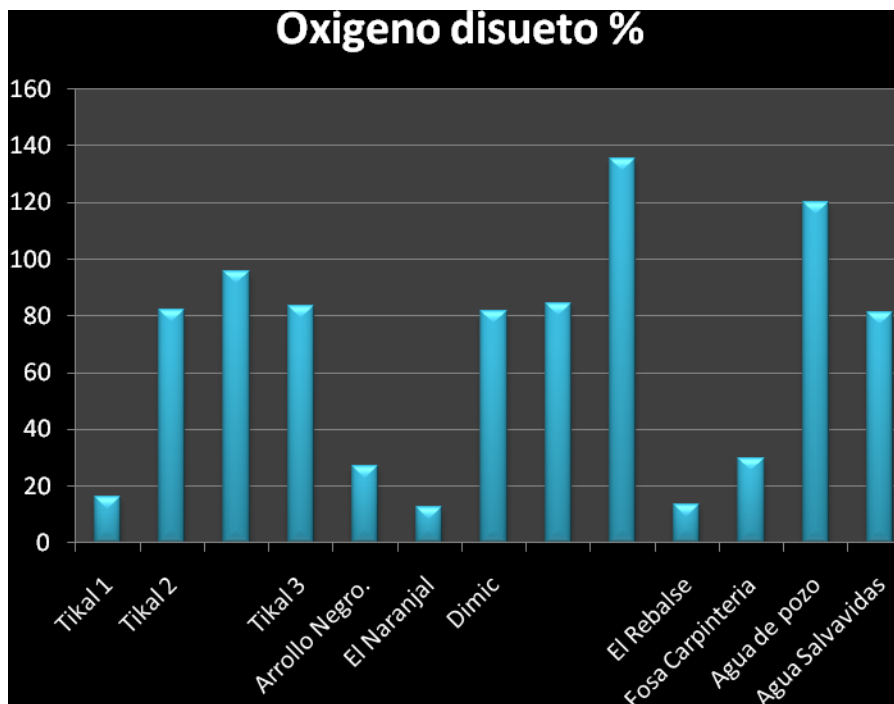
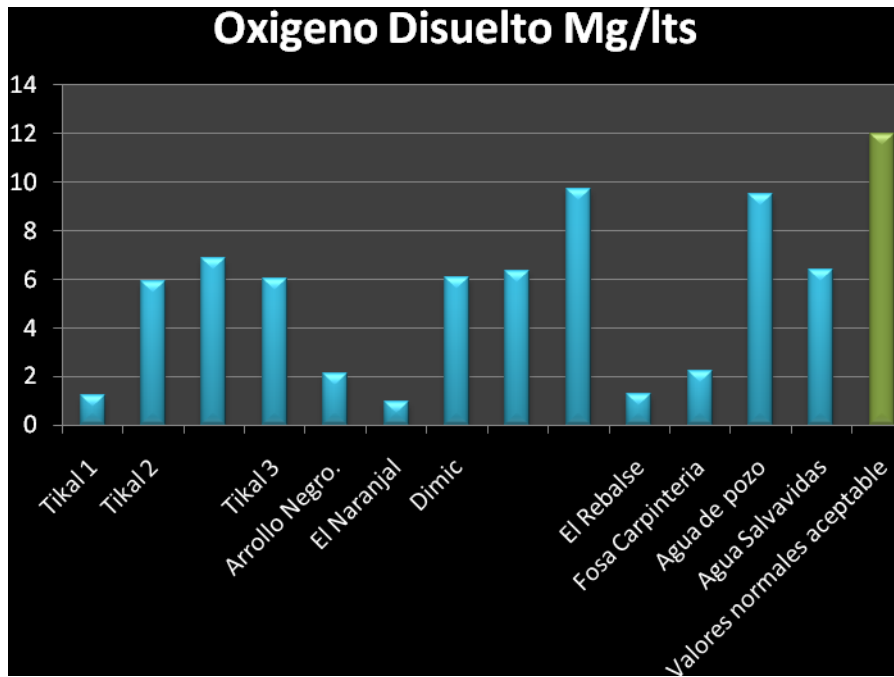
5.1 Gráfica 1. Resultados de Potencial de Hidrógeno (pH)



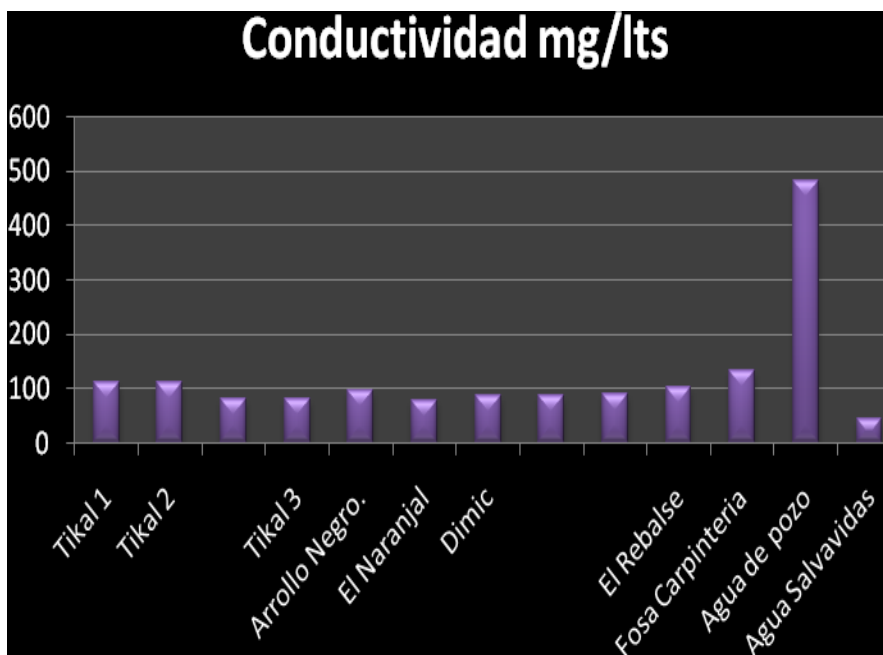
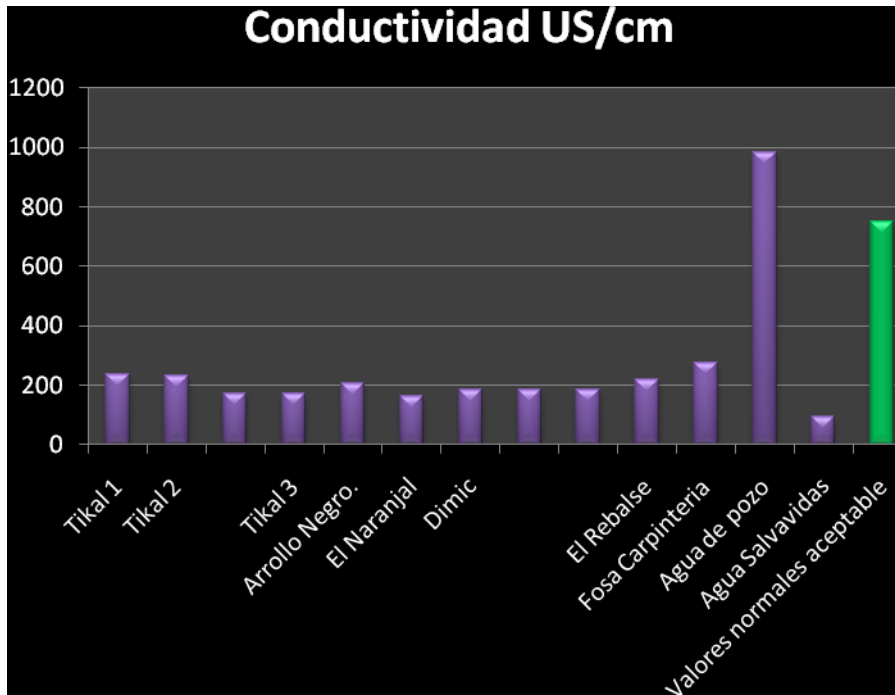
5.2 . Gráfica de Resultados de Temperatura



### 5.3 Resultados de Oxígeno Disuelto (DBO)



## 5.4 Resultados de Conductividad



## 6. DISCUSION DE RESULTADOS

---

La gráfica 5.1 muestra que las aguadas Tikal 1, T2, T3, fosa carpintería, Arrollo negro y aguada EL naranjal y el primer punto tomado de la aguada Dimic comparten valores de pH aceptables tomando como punto de referencia el agua salvavidas, la cual cumple con todas las normas establecidas por la COGUANOR mostrada en la gráfica como barra de color verde. Esto no significa que sea potable sino que en términos de acidez o alcalinidad los valores se encuentran dentro de lo aceptable.

El agua de pozo, Aguada Dimic, y El Rebalse mostraron valores de pH menores a los límites aceptables (6.5 - 8.5). El nivel de acidez presentado por estos cuerpos de agua se consideran corrosivas debido al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ácidos o sales ácidas que tienen en disolución, (Chirinos Et al. 2010). La característica de las aguas con exceso de ( $\text{CO}_2$ ) es la presencia de un olor a huevo podrido.

En cuerpos lóticos, la falta de oxígeno y gran cantidad de materia orgánica en descomposición provocan la producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) produciendo mal olor y sabor amargo en el agua.

La temperatura juega un papel importante en los procesos físicos y bioquímicos de los cuerpos de agua, especialmente en la solubilidad del oxígeno a ciertas profundidades. Ya que de éste dependerá la vida acuática, exceptuando aquellas que funcionan anaeróbicamente (bacterias, hongos, etc).

La gráfica 5.2 ilustra que los puntos muestreados presentan valores aceptables (29.6 – 34 °C) y en barra color verde se muestra la temperatura ideal a 25°C. Los cuerpos de agua que presentan este valor son El Naranjal y Arrollo Negro debido que se encuentran bajo la sombra; mientras que el agua salvavidas y agua de pozo no están expuestos al sol, contrario al resto de aguadas.

Respecto a los valores de oxígeno disuelto se muestra en la gráfica 5.3 en términos de Mg/lit en barra color verde, que el valor máximo es de 12, siendo el valor ideal de 4-8 mg/lit. El oxígeno es el elemento de mayor importancia para la supervivencia de los seres vivos por lo que a menores cantidades de este elemento, la biodiversidad dependiente de valores entre 4 a 12 mg/lit se verá afectada.

La aguada Tikal 1, Arrollo negro, el Naranjal y la fosa contigua a carpintería presentan valores menores a los normales menores a 2.5

En el caso de la fosa de carpintería se debe al exceso de materia orgánica generada por desechos sanitarios, al estar expuesta a la luz del sol se favorece la fotosíntesis en las cianobacterias y algas que producen una coloración verde en el agua, por lo tanto el exceso de éstas consumirá mayor cantidad de oxígeno disuelto.



En el caso de la aguada Tikal 1, Arrollo negro y el Naranjal, se cree que este valor se debe a que corresponde al punto donde existe mayor cantidad de materia orgánica a poca profundidad donde el proceso de descomposición consume el oxígeno disuelto en el agua y producirá bióxido de carbono, como se explicó anteriormente.

Los siguientes 2 puntos muestreados en la aguada Tikal 1 presentan valores aceptables, así como sucede en la Dimic con los tres puntos muestreados, debido a que no hay materia en descomposición en el sustrato. Tanto el agua de pozo como el agua salvavidas presentaron los valores ideales (06-08 mg/lit).

La presencia de mayores niveles de oxígeno se deberá a la solubilidad del gas en el agua a una temperatura y profundidad determinada. Sin embargo si no hay intercambio gaseoso que permita la oxigenación del agua, contrario al aumento significativo de consumidores bióticos y abióticos a través de sus procesos bioquímicos y químicos de oxígeno en el agua, éste tenderá a disminuir y por ende la biodiversidad acuática.

Se puede observar que los datos de disponibilidad de oxígeno disuelto en mg/lit coinciden con los valores en % como se observa en la gráfica 5.3 abajo.

En la gráfica 5.4 arriba, se observa que únicamente el agua de pozo presentó un valor significativamente alto respecto a los demás cuerpos de agua, el valor normal como se observa en la barra de color verde se encuentra entre 750 a 100 Us/cm.

En soluciones acuosas la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto cuanto mayor es la concentración de estos sólidos mayor será la conductividad. Esto puede ser un indicador de dureza de agua.

Para la laguna Petén Itzá, Oliva Hernández, en su estudio sobre la Contaminación de 5 Lagos de Guatemala y su Efecto en la Salud reporta un valor de 592 US/cm.

Los valores de conductividad del agua están ligados a los cambios de temperatura, sin embargo a una temperatura de 25 grados centígrados y a un pH ácido y por las características de olor y sabor el agua de pozo se considera corrosiva y puede ser dañina para la salud, por el alto contenido de sales inorgánicas disueltas.

De todas las lagunas muestreadas la Aguada Tikal 1 contiene mayor cantidad de vegetación dentro del perímetro lacustre, formando pequeñas islas especialmente de gramas de la familia Poaceae, Fabaceae y Cyperaceae del tipo emergente y en la periferia son dominantes los árboles de la Familia Bombacaceae como el Zapote bobo, ceiba.

Todas las especies desde insectos hasta mamíferos mayores dependen de estos cuerpos de agua para su supervivencia especialmente durante la época seca pues son los pocos remanentes de agua del área protegida, aunque existen organismos que pueden ser más sensibles a los cambios en la calidad de agua entre ellos plantas y animales.

El agua juega un factor importante en el ciclo reproductivo del Danto (*Tapirus bairdii*), Jabali (*Tayasu pecari*), cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletti*) y muchas especies más por lo que la conservación de los cuerpos de agua es fundamental para la conservación de estas especies las cuales se encuentran en peligro debido a la degradación de su hábitat.

## 7. CONCLUSIONES

---

Los parámetros utilizados para medir la calidad de agua aunque no son determinantes para medir tipos de contaminación, son indicadores de procesos bioquímicos producto de alteraciones en las propiedades físicas y químicas del agua.

De los cuerpos de agua muestreados, la eutroficación por exceso de materia orgánica es la fuente principal de la falta de oxígeno en el agua y esto afecta directa e indirectamente a la fauna local.

Tal es el caso de aguada Tikal 1 y la fosa carpintería. Por lo tanto se recomienda reducir el exceso de plantas invasoras de tipo emergente y flotante para evitar la pérdida de agua y avance de vegetación dentro del perímetro de la aguada evitando la formación de islas.

Los resultados para el agua de pozo indican que se trata de agua con características corrosivas por la alta cantidad de sales disueltas y puede ser dañina para la salud y se recomienda realizar estudios de suelo para determinar la existencia de metales pesados que puedan afectar la calidad de agua, ya que esta se utiliza en bebederos y también es utilizada para el consumo humano por operativos del área.

La Aguada Dimic es la aguada que se encuentra en buen estado de conservación ya que conforme a los resultados es la que presenta valores más cercanos a los valores normales reportados.

Se recomienda realizar nuevamente el monitoreo en época seca, pues debido a que la temperatura ambiente puede afectar las propiedades del agua.

Se recomienda realizar un monitoreo de agua más amplio utilizando equipo portátil más completo para conocer a fondo los procesos ecológicos asociados a los cambios en las propiedades físicas y químicas del agua ya que la biodiversidad depende de ésta.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

---

1. Babich H, Schiffenbauer M, Stotzky G (1982). Comparative toxicity of trivalent and hexavalent chromium to fungi. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 28, 452-457.
2. Babich H, Stotzky G (1977). Sensitivity of various bacteria and fungi to cadmium and the influence of pH on sensitivity. *App. Environ. Microbiol.* 33, 681-695.
3. Brunzl K, Schimmack W (1991). Kinetics of the sorption of <sup>137</sup>Cs, <sup>85</sup>Sr, <sup>37</sup>Co, <sup>65</sup>Zn, and <sup>109</sup>Cd by the organic horizons of a forest soil. *Radiochimica Acta* 54, 97-102.
4. Carlos Cervantes, R. M. (1999). *Contaminación Ambiental por metales pesados*. México, D.F.: AGT EDITOR, S.A.
5. Chirinos a., Guareñas A.M, Sánchez Díaz M. (2000). *Oxígeno Disuelto*. Laboratorio de Análisis de Agua. Departamento de Química. Instituto Universitario de Tecnología Alonso Gamero. Coro-Falcón Venezuela
6. Gadd GM (1986a). The responses of fungi towards heavy metals. En: *Microbes in Extreme Environments*. (Herbert RA, Codd, GA, Eds.) Academic Press, Londres. p. 83-110.
7. Gadd GM (1986b). The uptake of heavy metals by fungi and yeasts: the chemistry and physiology of the process and applications for biotechnology. En: *Immobilisation of Ions by Bio-sorption* (Eccles, H, Hunt S, Eds.) Chichester: Ellis Horwood Ltd, p. 135-147.
8. Gadd GM, Griffiths AJ (1978). Microorganisms and heavy metal toxicity. *Microb. Ecol.* 4, 303-317.
9. OLIVA Hernández B., Pérez Sabino J. *La Contaminación del Agua y su Impacto en la Salud en Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
10. *Plan Maestro del Parque Nacional Tikal (2004-2008)* Ministerio de Cultura y Deportes. Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural. Guatemala.
11. Ramamoorthy S, Kushner DJ (1975). Binding of mercuric and other heavy metals ions by microbial growth media. *Microb. Ecol.* 2, 162-175.
12. Reyes Fátima., Morales J., (2009) *Los Cuerpos de Agua de la Región Maya-Tikal-Yaxhá. Importancia de la Vegetación Acuática Asociada, Calidad de Agua y conservación*. Centro de Estudios Conservacionistas –CECON-, Laboratorio de Investigaciones Químicas y Ambientales –LIQA-, Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas.

## 9. ANEXO

---



Aguada Dimic



Fosa Carpintería



Aguada El Naranjal



Aguada Tikal



Arrollo Negro.



Equipo de Monitoreo



*Sapo (Bufo marinus)*



*Tortuga de casquito (Kinosternon acutum)*



*Serpiente de bejuco (Oxibelus fulgidus)*