

DL
06
-(2658)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS. Y FARMACIA



“Estudio Paleolimnológico del Lago Petén-Itzá en la región sur-occidente”

Informe final de Tesis

Presentado por

ABNER MARDOQUEO RODAS ARZET

Para optar al título de

QUÍMICO

Guatemala, febrero de 2008

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Cobar Pinto, Ph.D.

Decano

Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto

Secretario

Licda. Lillian Raquel Irving Antillón, M.A.

Vocal I

Licda. Liliana Vides de Urizar

Vocal II

Licda. Beatriz Eugenia Batres de Jiménez

Vocal III

Br. Mariesmeralda Arriaga Monterroso

Vocal IV

Br. José Juan Vega Pérez

Vocal V

Agradecimientos

A Dios por toda su ayuda.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

A Mark Brener por su apoyo y dedicación.

A Bessie Oliva por su confianza y ánimo brindado.

A mi madre y padre quienes me enseñaron que con interés se puede lograr mucho.

A mis hermanos que de una u otra manera me apoyan en lo que quiero.

A mis amistades que hicieron que mi paso por la Universidad fuera un lugar grato y agradable.

A los cuates que siempre están en las mala y en las buenas, Eddy Ramazzini y Edwin Aspuac.

Acto que dedico

A Dios

A mis padres

A mis hermanos

A mis tíos, primos, sobrinos y abuelos

A mis amistades y amigos

Índice

I. Resumen	1
II. Introducción	2
III. Antecedentes	3
3.1 Características Fisicoquímicas de la calidad del agua	3
3.2 Parámetros de Calidad del Agua	6
3.3 Lagos	8
3.4 Investigación del Recurso Agua	22
3.5 El problema del agua en Guatemala	24
3.6 El Lago Petén Itzá	24
3.7 Estudios previos sobre calidad del agua y sus relaciones con la conservación efectuada en el Lago Petén Itzá	26
IV. Justificación	29
IV. Objetivos	30
V. Hipótesis	31
VI. Materiales y Métodos	32
VII. Resultados	54
VIII. Discusión de resultados	75
IX. Conclusiones	95
X. Recomendaciones	98
XI. Referencias	99
XII. Anexos	102

I. Resumen

El lago Peten Itzá se encuentra en las tierras baja de Petén, su origen es carstico-tectónico, este cuerpo de agua es de importancia para los poblados de alrededor ya que es utilizado para el transporte, comercio y servicio doméstico. En el presente estudio realizado se relacionó la contaminación actual con la contaminación en años anteriores.

Para poder realizar esta investigación se inició delimitando el estudio a la región sur-occidente del lago, después se procedió a la construcción de un muestreador de sedimentos en columna, ya colectadas las muestras de agua y sedimentos se procedió a realizar los análisis correspondientes para determinar la calidad fisicoquímica del agua, fechado de sedimentos por medio de radioisótopos estables (Pb^{210}), nutrientes en sedimentos y los perfiles de los sedimentos. Una vez obtenidos los resultados se procedió a su respectiva interpretación, observándose una marcada tendencia hacia el aumento en los niveles de macro nutrientes en el tiempo, pudiéndose concluir que el aumento en la densidad de población que habita en los alrededores del lago da como resultado un aumento en los niveles de macro nutrientes.

Los valores obtenidos reflejan que el lago en la actualidad está entrando en un estado eutrófico. De lo cual se recomendó que para poder hacer obtener datos de mayor profundidad y mayor a 150 años, realizar el fechado de los sedimentos con otro tipo de radioisótopo estable como lo es el carbono 14 (C^{14}).

II. Introducción

El Lago Peten Itzá se encuentra localizado en las tierras bajas de Petén, en la biosfera maya, correspondiente a la vertiente del Golfo de México, a la cuenca del río Usumacinta y a la subcuenca del río San Pedro. No posee efluentes ni descargas notables, por lo que la descarga depende mayoritariamente de las aguas subterráneas y por ser el suelo poco permeable, se producen incrementos en el nivel del lago en años en que la lluvia es excesiva. En la región existe una alta pluviosidad (promedio de 1730 mm/año), siendo la temperatura promedio de 24.3°C, con un rango de 15 – 37°C. El lago es una fuente de ingresos económicos para las comunidades aledañas al mismo, ya que los pobladores lo utilizan como vía de transporte, turismo, pesca y área recreativa. Se han realizado estudios paleo ambientales en la región central del lago y en zonas poco profundas, pero no en las orillas del lago. La importancia de este estudio es poder relacionar la contaminación actual en el lago, por la influencia de las descargas de aguas residuales domésticas, con la contaminación en épocas antiguas. Para determinar la calidad fisicoquímica del agua del lago se realizaron 4 muestreos, en diferentes épocas del año y se compararon y detectaron las variaciones de los contaminantes y la calidad fisicoquímica del agua, en las estaciones tanto seca como húmeda.

La cuantificación de los macro-nutrientes en los sedimentos se realizó por medio de las metodologías propuestas en Standard Methods of The Water and Wastwater. Con la obtención de los macro-nutrientes se hicieron comparaciones de la contaminación en épocas pasadas con los resultados de contaminación actual determinada en muestras de agua y sedimentos superficiales. La importancia del estudio radica en la observación, de cómo es que ha avanzado la contaminación del lago en los últimos 100 años. Este estudio es muy importante ya que este cuerpo de agua es de importancia para las aldeas y comunidades aledañas al lago, pues estas personas se dedican a la pesca artesanal, turismo y transporte. La pérdida del lago afectaría directamente a la población en cuanto a recurso de ingresos económicos

III. Antecedentes

3.1. Caracterización fisicoquímica de la calidad del agua

3.1.1 Morfología

La morfología de los sistemas lacustres esta en función de su origen, la cual determina las relaciones entre contorno y profundidad. Las principales agrupaciones lacustres se encuentran asociadas a cordones montañosos y sus orígenes principales son tectónicos, volcánicos, de glaciación y desplazamiento de tierra, los cuales corresponden a los lagos más grandes y profundos. Los lagos y lagunas naturales de menor profundidad se forman por actividad fluvial, costera, disolución y acción del viento (1).

Los parámetros más importantes a controlar son el área del espejo del agua, la profundidad máxima y las profundidades relativas al contorno de la cuenca, información que se define como la batimetría y cuya relación con el agua permite calcular el volumen del lago. La medición de la morfología de los lagos entrega información importante en relación con el comportamiento lumínico y térmico, y la productividad de los sistemas.

Los lagos profundos (>100m) tienden a presentar baja producción y son oligotróficos. Las lagunas y lagos someros presentan generalmente productividad alta correspondiente a sistemas eutróficos. Los sistemas fluviales, con flujo unidireccional del agua están condicionados en sus características por el caudal (volumen de agua por unidad de tiempo) y la corriente (distancia por unidad de tiempo), los cuales determinan la presencia de sustrato pedregoso o fangoso, factores que a su vez influyen en la composición de las comunidades biológicas (1).

3.1.2 Clima

La latitud y altura sobre el nivel del mar de ríos y lagos determinan el funcionamiento lumínico y térmico de ellos. La cantidad de luz que es absorbida por un cuerpo de agua aumenta exponencialmente con la distancia del paso de la luz por la solución, 90% de la longitud de onda de 750nm es absorbida en un metro de profundidad. El

alto calor específico del agua permite la acumulación de la luz como energía calórica. La producción de calor y su distribución en el lago depende de la morfología, viento y corrientes (1,2).

3.1.3 Química

La composición química del agua natural es dependiente de la cantidad de lluvia, el área de drenaje, la erosión, solubilización e intemperización de los suelos, evaporación y sedimentación. Debido a los cambios climáticos hay ciclos de los componentes biológicos diarios, estacionales y a mayor plazo los que a su vez determinan estacionalidad en la composición química de las aguas. La actividad microbiana del fondo es un factor que modifica la calidad química del agua. La interfase atmósfera-agua representa un equilibrio de los gases O_2 , CO_2 y N_2 a los cuales se agregan en el mundo industrializado el SO_2 (1,3).

Entre los gases disueltos en el agua, el oxígeno es crucial para la sobrevivencia vegetal y animal el cual interacciona en muchas reacciones químicas y biológicas; éste varía continuamente ya que es consumido en forma permanente en la respiración, pero es producido en la fotosíntesis vegetal durante el día. Las aguas naturales contienen entre 8 y 12 mg/L en los lagos y hasta 15 mg/L en los ríos (1,2).

Hay variaciones diurnas y estacionales de O_2 las cuales reflejan el estado trófico del sistema. Así los sistemas oligotróficos experimentan pocas variaciones en los niveles de oxígeno con profundidad y tiempo; en sistemas eutróficos el oxígeno disminuye por respiración y descomposición de la materia orgánica hasta la ausencia o la anoxia en el hipolimnio, mientras que en la superficie muestra valores de sobre saturación. Con la anoxia se produce un cambio en las condiciones de oxidación-reducción en los sedimentos o potencial de oxidación-reducción (Eh) (1,3).

El factor ambiental regulador más importante de la cantidad de O_2 en el agua es la temperatura, y su concentración es inversamente proporcional a ésta. El incremento de la temperatura durante el verano y la primavera de los ecosistemas templados disminuyen la cantidad de O_2 hasta en un 50%. Esta cantidad es modificada por las

Especialmente las cantidades de fósforo y nitratos que ingresan a los sistemas acuáticos determinan el nivel de trofia de los mismos. Estos compuestos son nutrientes que estimulan el crecimiento de fitoplancton y macrofitas acuáticas los cuales son la base de la vida acuática o lo que se conoce como trama trófica (1).

3.2 Parámetros de calidad del agua.

3.2.1 Parámetros de alteraciones físicas.

A continuación se señalan las características fundamentales de los parámetros que se utilizan para determinar las alteraciones físicas de los cuerpos de agua.

3.2.1.1 Color

El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente a los compuestos húmicos, ferricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero en general, no se puede establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminante (1,3).

Por tanto este parámetro de forma aislada no puede ser interpretado, la forma correcta de evaluarlo es a través de la integración con los resultados de los indicadores de la calidad del agua.

3.2.1.2. Olor

Los compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materia orgánica en descomposición o sustancias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones (3).

3.2.1.3. Temperatura

La temperatura en los cuerpos de agua superficial es un parámetro muy importante, debido a los efectos que provoca en las reacciones químicas y la proporción en las reacciones sobre la vida acuática. Por ejemplo, el incremento de la temperatura puede causar un cambio en las especies de peces que pueden existir en un cuerpo de agua.

La temperatura también es importante por el efecto sobre la solubilidad del oxígeno y en general sobre el efecto en las tasas de metabolismo, difusión y reacciones químicas y bioquímicas (3).

3.2.1.4. Materiales en suspensión

Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que solo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente solo precipitan después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas) (1,3). El material en suspensión puede tener un origen orgánico, debido a la descomposición parcial del material que está contenido en el cuerpo de agua o que llega al mismo por distintos procesos entre los cuales se encuentran los vertidos, lixiviación, caída de hojas, etc. En todo caso, el material en suspensión limita la entrada de luz al cuerpo de agua con la siguiente limitación de los procesos fotosintéticos.

3.2.1.5. Conductividad

La conductividad eléctrica de una muestra de agua es la expresión numérica de su capacidad para transportar corriente eléctrica. Esta capacidad depende de los iones en el agua, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición. El contenido de sales disueltas en una muestra de agua, en mg/L, generalmente se halla contenido entre el 60-70% del valor de conductividad eléctrica, en microsimens por centímetro (15).

3.2.1.6. Sólidos disueltos totales

El término sólido hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos no filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poro de 2μ (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas.

El promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo han sido estimados en alrededor de 120 ppm (5,15).

De acuerdo con Rawson y Hoper las concentraciones de sólidos disueltos totales guardan una relación positiva con la productividad. Al mismo tiempo los sólidos disueltos totales afectan la penetración de la luz en la columna de agua y la absorción selectiva de diferentes longitudes de onda que integran el espectro visible (15).

3.2.1.7. Sólidos Filtrables en suspensión

Son sólidos inorgánicos y orgánicos. Pueden ser arenas, grasas, aceites, alquitrán y trozos de restos de animales y vegetales. Sedimentan tarde o temprano. Pueden ser biodegradables lenta o rápidamente. Determinan la turbidez, reducen la penetración de la luz y afectan la actividad fotosintética de las plantas. Conducen al desarrollo de depósitos de lodo y condiciones anaeróbicas (15).

3.2.1.8. Sólidos sedimentables

Son sólidos que están en suspensión pero que tienen una mayor velocidad de sedimentación debido a su mayor densidad (15).

3.2.1.9. Sólidos totales

Índice de toda la materia sólida en una muestra de agua (15). En este indicador de la calidad de agua se encuentran integrados todos los tipos de sólidos anteriormente descritos.

3.2.2 Parámetros de alteraciones químicas del agua

3.2.2.1. pH

La concentración del ion hidrogeno (H^+) es un importante parámetro de calidad de agua superficial y agua residual. El rango de concentración del ion H^+ satisfactorio para

la existencia de la mayor parte de vida biológica, es completamente estrecho y crítico, debe mantenerse dentro de un rango "normal" entre 6.5 a 8.0. El pH no es una medida lineal o directa de la acidez o alcalinidad de un cuerpo de agua, pero esta relacionado con éstas y puede usarse como controlador de acidez o alcalinidad excesiva. El pH se describe como el logaritmo negativo de la concentración del ion H^+ . Los valores extremos de pH pueden causar la muerte rápida de los peces, alteraciones drásticas en la flora y la fauna, y reacciones peligrosas secundarias (cambios en la solubilidad de los nutrientes, forma de precipitados, etc.) (5,15).

3.2.2.2. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es la mezcla del oxígeno acarreado por el viento que queda atrapado en las olas superficiales y el oxígeno liberado por las plantas acuáticas, como producto final de la fotosíntesis.

La solubilidad del oxígeno como la de cualquier gas en el agua, depende de la presión imperante en cada punto, de la temperatura media del cuerpo de agua y de su contenido en sales disueltas. En términos generales la solubilidad del oxígeno es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura y a la salinidad del agua. El oxígeno disuelto es requerido para la respiración de microorganismo aeróbicos así como para otras formas de vida aeróbicas. La reducción del oxígeno disuelto interfiere con la población de peces a través de retrasos en la suelta de huevos, embriones reducidos en tamaño y vigor; deformaciones en jóvenes, interferencias con la digestión, aceleración de coagulación de la sangre, disminución de la tolerancia a tóxicos, del crecimiento y de la velocidad. Otros organismos están afectados igualmente. Aun cuando no existe una concentración mínima de oxígeno que cause efectos fisiológicos adversos sobre la salud humana, sí existe un limitante en cuanto a la cantidad de oxígeno que se requiere para sostener la vida de los peces en los cuerpos de aguas superficiales. En general se acepta que una concentración de 5mg/L es adecuada para estos fines, en tanto que

concentraciones menores a 3mg/L pueden ser letales para la fauna piscícola de un lago o reservorio (15).

3.2.2.3. Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es el parámetro de mayor uso en la medición de contaminación orgánica en el agua residual y agua superficial. Constituye un índice general cualitativo del contenido de materia orgánica presente en la muestra, "que es susceptible a sufrir oxidación biológica", en un corto periodo de tiempo. Este parámetro es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación biológica de las sustancias existentes en el agua en condiciones ambientales o normalizadas. Existen algunos iones que pueden contribuir a un aumento de la DBO₅, a estos se les conoce como materia orgánica carbónica, ya que son oxidados mas no es materia orgánica en descomposición, que pueden ser oxidados por organismos aeróbicos. Entre los cuales se puede mencionar: nitrógeno de nitritos, amonio o compuestos orgánicos, nutrientes para bacterias específicas y algunos compuestos químicamente oxidables como los iones ferroso, sulfuro, sulfito que reaccionan con oxígeno disuelto o son metabolizados por bacterias. En la mayoría de los procesos industriales y aguas residuales, la DBO₅ mide la materia orgánica y el amoniaco (derivado de materia vegetal o animal). Su normalización como DBO₅, se debe a la cantidad de oxígeno requerido en cinco días, a condiciones determinadas, de temperatura para su oxidación. Se utiliza como determinación de la capacidad del contaminante de un agua residual y como elemento control para conocer el grado de depuración o contaminación de los receptores hídricos. La DBO₅, mide la cantidad de oxígeno disuelto utilizado por microorganismos para oxidar y transformar los compuestos presentes en el agua durante un periodo de 5 días, a 20°C de temperatura, normalmente presenta un 30-40% de la demanda total del oxígeno de la mezcla (1,5,14).

3.2.2.4. Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es una medida aproximada del contenido de materia orgánica y todo el material oxidable presente en una muestra de agua, y se expresa como el "oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica", en gramos por miligramos por litro. En condiciones naturales, dicha materia puede ser biodegradada lentamente, oxidada a CO_2 y H_2O , en un proceso lento que puede tardar desde unas pocas semanas hasta unas cuantas décadas, dependiendo del tipo de materia orgánica presente. La DQO es un ensayo de oxidación química que se puede utilizar para hacer una estimación de la demanda total de oxígeno para oxidar los compuestos presentes y se basa en la oxidación de componentes orgánicos. Es más precisa, exacta y rápida que la DBO (6,8).

3.2.2.5. Nitrógeno total

Esta constituido por el nitrógeno que forma parte de los compuestos presentes en una muestra y que puede ser determinado como tal. La diferencia entre el nitrógeno total y el nitrógeno de especies inorgánicas lo constituye el nitrógeno orgánico, el cual presenta una reserva para la conversión mas asequible para la cadena trofica, por lo cual es importante para los procesos de eutrofización. El nitrógeno orgánico puede convertirse en amoníaco por las bacterias saprofitas, siendo por lo tanto una fuente de energía para las bacterias autótrofas que lo transforman en iones nitrito y nitrato. Estas especies requieren 4.5 veces mas oxígeno que el que requiere el amoníaco, por lo cual afecta lo niveles de oxígeno disuelto (1,3).

3.2.2.6. Fósforo total

Es la suma del fósforo contenido en todas las especies químicas presentes en una muestra. La diferencia entre fósforo total y fósforo de ortofosfatos representa la reserva de fósforo que puede ser convertida en su forma mas asequible para la cadena trofica, el ortofosfato, es considerado como uno de los mayores nutrientes del

agua y causante por lo tanto, de eutrofización en cuerpos de agua cuando se encuentra en cantidades elevadas (1,3).

3.2.2.7. Aniones: nitratos, nitritos, fosfatos y sulfatos.

3.2.2.7.1 Nitrógeno de Nitrato y Nitritos

La concentración de nitratos en aguas naturales es normalmente de unos pocos miligramos por litro, observándose incremento en algunos lugares por practicas agrícolas con fertilizantes nitrogenados; el nitrito es el estado intermedio del nitrógeno, tanto en la oxidación de amonio a nitrato, como en la reducción de nitrato. Cuando el ion nitrito es ingerido y llega al estomago, la elevada concentración de acido clorhídrico lo convierte en acido nitroso, el cual puede reaccionar con aminas secundarias en el tracto digestivo produciendo la cancerigena N-nitrosamina (1,3).

3.2.2.7.1 Fósforo de Ortofosfatos

Es la forma asequible del fósforo para intervenir en los procesos bioquímicos en el agua. El fósforo de ortofosfatos es generalmente el factor limitante en la productividad en muchos cuerpos de agua, por lo que su análisis es importante para evaluar los valores de eutrofización y contaminación en aguas naturales. El fosfato es el componente mayor de los fertilizantes, por lo que al aplicarse estos en exceso, se altera el ciclo del fósforo. Los ortofosfatos son fosfatos inorgánicos solubles en agua que pueden ser arrastrados a las aguas superficiales por el agua de escorrentía (1,3).

3.2.2.7.3 Sulfatos

Los sulfatos indican la presencia de acción bacteriológica anaerobia

2.2.2.7 Cationes: Calcio, Magnesio y Amonio

El calcio y el magnesio están relacionados con la dureza total del agua y es a través de este indicador de la calidad de agua que se interpreta su presencia la cual puede resultar positiva o negativa según el uso que se le de al recurso o puede resultar relativa según la composición de los suelos, los sedimentos y distintas interacciones que tenga el cuerpo de agua. Por otra parte, el amonio indica la contaminación con fertilizantes y heces (7,9).

3.3. Lagos

3.3.1 Geología

El origen de las cuencas de los lagos, sus morfologías resultantes y las modificaciones subsecuentes de sus formas, son el resultado de procesos geológicos. Como la erosión y la sedimentación se encuentran dentro del ámbito de la geología, es evidente que el nacimiento, vida y muerte de un lago, así como de su cuenca, sean funciones geológicas (10,11,15).

El sustrato sobre el cual reposa una depresión llena de agua o de la cual recibe sus sales solubles y demás nutrientes depende de su legado geológico. Esta herencia de nutrientes disponibles para el hábitat acuático a través del deslave o lavado de los suelos de su área de drenaje es el factor edáfico. Los materiales aloctonos derivan del exterior de la cuenca del lago y los autóctonos del interior del lago. Las palabras autógenas y endógenas están apareciendo con más frecuencia para describir algo formado en el lugar. La llamada naturaleza trófica de un cuerpo de agua, refiriéndose a los nutrientes solubles y la productividad biótica, resulta de la interacción de tres factores importantes. Primero el factor Edáfico, el cual determina si un lago es rico y productivo o estéril. El segundo son los rasgos morfológicos, definidos por las dimensiones de la cuenca, los cuales dependen de la naturaleza geológica. El tercer factor es el elemento climático, el cual es un asunto meteorológico-climático, en los cuales hay un margen de climas de severo a favorable para el crecimiento y la

productividad, con muchas ramificaciones meteorológicas, las cuales son las que van incluyendo las variables y diferenciación. Hay algunas claramente obvias como la temperatura, duración de la estación climática, radiación solar, tasa de precipitación, tasa de evaporación y viento (10,11,15).

Los sistemas acuáticos en los cuales estos tres factores principales trabajan en armonía, pueden exhibir los extremos de la escala trófica. Por ende, un lago extremadamente pobre, es caracterizado como oligotrófico. Muchos lagos se encuentran entre la oligotrofia y la eutrofia, caracterizados por aguas ricas en nutrientes y alta productividad biótica, y constituyen el resultado de las características edáficas, morfológicas y climáticas trabajando al unísono(10,11).

El impacto en el estado trófico de un lago, ocasionado por el humano, es directamente proporcional al desarrollo industrial, económico y la densidad poblacional de las comunidades aledañas al lago. Se ha notado una marcada tendencia en el aumento del estado eutrófico ya que las comunidades y empresas de las cercanías utilizan el lago como si fuera este un sitio para acumular desechos, sin tomar en cuenta que este un cuerpo de agua que cuenta con dinámica propia.

Limnología (de Griego: limne, "lago"; y el λόγος, las insignias, el "conocimiento") es el estudio de las aguas de tierra adentro (agua dulce), incluyendo sus aspectos biológicos, físicos, químicos, geológicos e hidrológicos. Esto incluye el estudio de los lagos y las lagunas (naturales y artificiales), los ríos y las corrientes, los humedales y las aguas subterráneas.

La limnología es el estudio de aguas interiores de superficie y ecosistemas relacionados, y divide los lagos en tres zonas: zona litoral, que es un área inclinada que está cerca de tierra; zona photic o del abrir-agua, donde está abundante la luz del sol; y zona profunda o béntica profunda, en donde poca luz del sol puede alcanzar. La profundidad que la luz puede alcanzar en los lagos depende de la densidad y del movimiento de partículas. Estas partículas pueden ser sedimentarias o biológicas en

origen y son responsables del color del agua. La materia de las plantas que se pudren, por ejemplo, puede ser responsable de un color amarillo o marrón, mientras que las algas pueden dar lugar a agua verdosa. En cuerpos muy bajos del agua, los óxidos del hierro hacen el agua rojiza. Las partículas biológicas son algas y detritus. Una partícula del sedimento está en la suspensión si su peso es menor que las fuerzas que actúan sobre ella. La turbiedad es un factor decisivo en la transparencia del agua. Los peces detritívoros del fondo son responsables de aguas turbias, porque revuelven el fango en la búsqueda del alimento.

Dentro de la Limnología se encuentra The paleolimnology (Griego: el paleon=old, el limne=lake, logos=study) es la rama de la limnología que estudia las características arqueológicas y geológicas e históricas de los cuerpos de agua dulce y salobres. Estas características incluyen los aspectos de la caracterización de compuestos químicos, ecológicos, geográficos, hidrológicos, zoológicos y biológicos de los corazones extraídos del sedimento. La naturaleza de los sedimentos implica las condiciones pasadas en el lago, así como las respuestas a las influencias externas, ya sean químicas o estructurales. En algunos casos se pueden distinguir y contar las capas laminadas anuales, llamadas láminas. La quitina de los artrópodos acuáticos se conserva, las conchas calcáreas de los moluscos, las estructuras silíceas de las diatomeas y de las esponjas, así como otras estructuras resistentes, nos permiten entrever las comunidades que ocupaban las cuencas en el pasado y qué cambios han ocurrido en la biota. Los estudios de los microfósiles y de los pigmentos de las plantas fueron revisados exhaustivamente por Frey (1974) (11,15).

La palinología está muy relacionada con la paleolimnología, y ésta consiste en el estudio de las esporas y granos de polen. Estas estructuras de las plantas permanecen preservadas en los depósitos de los lagos, brindándonos valiosos datos sobre la vegetación y climas del pasado.

En estudios limnológicos, los compuestos químicos que han sido mayormente estudiados son los compuestos inorgánicos, sin embargo, en la actualidad se sabe mucho más sobre la importancia de los compuestos orgánicos, en la dinámica de las aguas dulces. Los nutrientes como el fósforo pueden estar en concentraciones muy altas (valor de 1mg a 200mg/L), valor que al sobrepasarlo indica que sus aguas se encuentran en un estado eutrófico, pero también se puede encontrar en concentraciones tan bajas que se consideran como oligotróficos (de 5 a 10mg/L) , (Wetzel, pg.197 .1998). La tasa de consumo de oxígeno, por ejemplo, o la cantidad total que desaparece de éste, es una medida de materia orgánica mineralizada por la acción bacteriana o disipada por la respiración de los organismos acuáticos. La concentración de dióxido de carbono se incrementa al disminuir la concentración de oxígeno, de esta manera, típicamente hay una relación inversa en la concentración de estos dos gases. La producción de oxígeno como producto de la fotosíntesis, medido cuantitativamente en el epilimnio (Se puede entender por epilimnio: la capa superficial en un lago termal estratificado, ocurriendo sobre el hypolimnion más profundo. El cuál es más caliente y tiene típicamente un pH más alto y una concentración de oxígeno disuelto mayor que el hypolimnion). Está marcada por una disminución de la concentración del CO₂ (15).

Los sedimentos profundos de cualquier lago están constituidos por granos finos debido al sorteo de talla ocurrido durante el transporte desde las regiones litorales y a la porción significativa del plancton depositado. Estos sedimentos contienen materia orgánica y minerales de dos tipos: aloctona y autóctona. El componente inorgánico autóctono esta constituido en gran parte por frustulas de diatomeas silíceas y quizás especulas de esponjas, junto con carbonatos de calcio, productos de eventos biológicos. En los lagos oligotróficos los sedimentos son escasos y mineralizados. Su contenido de carbono orgánico es bajo porque la abundancia de oxígeno en las aguas que los cubren, favorecen la acción bacteriana, incluyendo la relación entre el flujo de

materia orgánica e inorgánica, la temperatura y la profundidad del agua. El sedimento lacustre común (copropel) de la eutrofia esta constituido comúnmente por una mezcla de material húmico, fragmentos pequeños de plantas, restos de algas, granos de cuarzo y mica, frustulas de diatomeas, fragmentos de exoesqueletos de artrópodos acuáticos y reliquias de esporas y polen. La coprogénesis, refiriéndose a su origen a través de las heces, es un aspecto importante en su formación. Su color varia de gris a café claro y es prácticamente neutro en relación a su pH. En las capas profundas es compacto y gelatinoso (10,11).

Nutrientes tales como el nitrógeno y fósforo son abundantes en el copropel; el fósforo se encuentra comúnmente unido al hierro, al aluminio y en menor cantidad al calcio. Muchas veces la mayor parte del fósforo esta asociada con la fracción orgánica del deposito que es sumamente resistente a las bacterias. Los depósitos profundos bajo los hipolimnios oligotróficos y eutróficos, se diferencian comúnmente por su abundancia, su tasa de deposición y su contenido orgánico relativo. A menudo se utiliza "el término fango lacustre" para describir dichos depósitos, a pesar de que los fondos lacustres se difieren de los lodos terrestres. En cambio el sapropel esta sujeto a periodos extraordinariamente largos de anoxia, en donde prevalecen condiciones reductoras, formándose otro tipo de sedimento orgánico. El sapropel, es un material negro brillante muy humedo y sin la estructura del copropel. Teniendo el olor característico del H_2S , a huevo putrefacto, conteniendo gas metano, el color negro se debe, a la presencia del sulfuro ferroso. En muchos lagos el sapropel cubre el copropel, reflejando el cambio a largo plazo en el régimen anual de oxígeno, debido generalmente a la contaminación orgánica. El sapropel mezclado con las aguas oxigenadas del lago se vuelve café claro, pero no se revela ninguna estructura coprogénica. Generalmente el estrés de las condiciones ambientales que promueven la formación del sapropel impide el desarrollo de la fauna macrobentónica, no formando parte la coprogénesis (10,11,15).

Los sedimentos de la distrofia ó de la zona donde se colapsan, se llaman dy, y fueron descritos originalmente como muy parecidos al copropel de las aguas eutróficas, pero con un contenido alto de ácidos húmicos. Según Hansen (1959), el humus café claro del dy tiene una relación carbono nitrógeno mayor a 10 en tanto que la proporción C/N es menor en el copropel. Basándose en la perdida de peso por ignición con índice de relación de carbono-nitrógeno, el porcentaje de materia orgánica en el dy es mayor (11,15).

Laminas

Son franjas sedimentarias, su formación es por medio de la sedimentación a lo largo de un año; para su formación se requieren circunstancias especiales no solamente un ciclo climático en las aguas superiores sin que nada inhiba el asentamiento de las partículas que marcan la diferencia entre las estaciones, sino que la integridad de las láminas debe ser preservada. Si no son eliminados por las condiciones anaerobias, los microorganismos que viven enterrados en los sedimentos del fondo remueven los depósitos y las burbujas liberadas por los procesos de descomposición en los sedimentos orgánicos destruyen las capas. Además algunos sedimentos ya depositados se pueden resuspender y redistribuir. Lo cual se puede dar por acción del viento en los cambios estacionales. El origen de las láminas de los sedimentos linados varía. Las laminas glaciales, derivadas del deshielo estacional, y la variación subsecuente del transporte de partículas arcillosas por el agua de deshielo, están formadas principalmente por material aloctono (15,16).

Los componentes de las láminas pueden ser de origen orgánico e inorgánico, como es el caso del CaCO_3 , en donde la capa es inorgánica y está compuesta fundamentalmente por el mismo, este es de origen autogénico, la precipitación del carbonato puede deberse al resultado de varios proceso biológicos y fisicoquímicos. Las láminas ricas en hierro muestran capas contrastadas que marcan las cuatro estaciones del año. En los lagos con sedimentación con abundantes componentes del

hierro es común encontrar hidróxido ferrico, rojizo; esto ocurre si existe abundante oxígeno en las capas superficiales del lago. Se pueden observar cuatro capas por cada lamina: una capa vernal coloreada de café claro por el hidróxido de hierro, una capa orgánica negra con FeS de verano; una capa café claro otoñal con hierro oxidado y una delgada capa invernal con materia orgánica muy fina ennegrecida con FeS (15,16).

Las capas de cenizas volcánicas en los sedimentos de los lagos sirven para comparar las tasas de sedimentación en distintos puntos de un mismo lago o en lagos cercanos. Si se conocen la fecha de la erupción, la capa de ceniza puede servir de marcador de un evento histórico. El material magnético en partículas puede ser heredado de la cuenca del lago o puede llegar a la superficie del lago a través de la atmósfera. Las partículas magnéticas provenientes de la atmósfera se deben principalmente a sucesos volcánicos y antropogénicos (16).

La importancia de la actividad humana está demostrada por el dramático incremento de los depósitos magnéticos particulados en algunos sedimentos acuáticos desde la época temprana de la revolución industrial. Estas son grandes esférulas con una composición química cercana a la magnetita Fe_3O_4 , y derivan de la combustión de combustibles fósiles (16).

3.3.2 Carbonatos minerales

Calcita

Es de origen autogénico, la cual precipita en el lago con bajas concentraciones. Se puede dar la sobresaturación de calcita por la acción del fitoplancton. Sus cristales se observan al microscopio de color amarillo-verde, como cristales trigonales, con perfecto clivaje, ver imagen #2 (22).

3.3.3 Cristales de Fosfatos

Vivianita

Se observan cristales de color azul al microscopio, son cristales prismáticos, su composición es de $\text{FeSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, ver imagen #3 (22).

3.3.4 Componentes Biogénicos

Ostrácodos

Se les llaman comúnmente, fósiles de calcita. Son animales que forman concha, como los bivalvos, éstos son animales muy sensibles a los cambios climáticos-ambientales, ya que éstos son capaces de almacenar en sus conchas, polutantes ambientales como Mg, Sr y Ba. Estos animales se pueden utilizar para estudiar la química del agua, ya que también sus conchas formadas de calcitas, pueden almacenar compuestos como Mg-calcita, ver imagen # 4 (22).

Diatomeas

Son del género Bacillariophyta (Phylum Chrysophyta), son conocidas como algas de silicio. Entre los grupos mayoritarios de las diatomeas se pueden mencionar:

Diatomeas céntricas: de forma triangular, circular, cilíndrica.

Diatomeas Penales: bilaterales simétricas y lineales medias.

Ver imagen #5 (22).

3.3.5 Componentes clásticos

Cuarzo

Es el componente mayoritario que se deposita en los lagos (SiO_2), se puede distinguir de su similar, el feldespato de fórmula química, difieren en el clivaje, por carecer de simetría y por fracturas concoidales, ver imagen # 6(22).

Minerales de arcilla

Entre las comunes están la illita y la clorita. Su abundancia esta relacionada con las condiciones climáticas ambientales; en épocas de clima frío predomina la illita, la cual se puede observar al microscópio con el objetivo 60-100x, ver imagen # 7 (22).

La importancia de la identificación de las arcillas, radica en que son derivados del silicio, por lo que al identificar las arcillas podemos pensar en una epoca en la cual la oxidación de la materia organica es muy eficiente, por lo que pueden quedar atrapados restos organicos en las estructuras de las arcillas.

3.3.6 Materia Orgánica

En este apartado se incluyen fragmentos de madera, fibras de plantas, caracoles y materia negra carbonizada.

Caracoles

De estos se distinguen la cutícula celular, para la identificación de éstos se puede realizar por medio de inspección ocular, si se desea se puede realizar con la ayuda de un estereoscopio ver imagen #9 (22)

3.3.7 Cristales Volcánicos

Tefra Volcánica

Estos cristales son productos de las erupciones volcánicas, las cuales son capaces de arrojar estos compuestos a grandes alturas, los cuales son llevados por el viento hasta los lagos en donde se depositan. Estos cristales se pueden utilizar para la datación de eventos importantes como erupciones volcánicas, por ejemplo la erupción del monte Santa Elena en Estados Unidos. El índice de refracción varía de acuerdo al contenido de sílice en el cristal, ver imagen #9 (22).

3.4 Investigación del recurso agua.

La problemática del agua como recurso hídrico no se puede situar como problema local, sino como problema a nivel regional, tomando en cuenta las características que incluye el mismo, como son los problemas económicos, de desarrollo y condiciones del medio ambiente.

El estudio de dicho recurso, se puede delimitar a nivel nacional, el cual tiene un origen complejo pero común en muchos sitios. El uso de este recurso, se ha dividido según las necesidades de uso, el cual tiene un punto de partida para el aprovechamiento y posterior gestión del recurso hídrico. En las Jornadas Iberoamericanas para los Enfoques Integrados de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo; se estableció lo siguiente: "El agua sin duda es un factor estratégico para la generación de las riquezas necesarias para el desarrollo y su importancia para la vida la convierte en factor decisivo de la calidad de vida de los pueblos. Está involucrada en todas las actividades productivas y, por otra parte, las fuentes de captación de agua son también receptoras de efluentes que en muchos países no reciben tratamiento. La problemática del agua integra el conocimiento de una diversidad de sistemas que no son usualmente considerados en forma simultánea. Los recursos hídricos son parte de sistemas funcionales, como las cuencas hidrológicas, y debe tenerse en cuenta las complejas interrelaciones entre los componentes físicos y bióticos que componen este sistema.

La vinculación entre las diferentes disciplinas relacionadas con esta compleja temática, así como la articulación entre la investigación y la gestión, son necesidades evidentes para lograr un manejo integrado y sustentable del agua" (6,7).

3.5 El problema del agua en Guatemala

En Guatemala, existe una problemática debido sobre todo a la demanda del agua generada por las poblaciones en crecimiento y la presión a la que se somete a las fuentes naturales, por la extracción de grandes cantidades del recurso, sin que este tenga una recarga, y debido a los problemas de polución por parte de las comunidades

e industrias, especialmente la industria agropecuaria del país; así también como los procesos naturales de contaminación.

En Guatemala existen centros de investigación y desarrollo que abordan distintas temáticas de la problemática del agua, entre los cuales cabe mencionar el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), la Empresa Municipal del Agua (EMPAGUA), Laboratorios de investigación tales como la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), el Grupo de Investigación Ambiental (GIA) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, ambos en la Universidad San Carlos de Guatemala. Sin embargo, se comparte con Iberoamerica en general, el problema de la fragmentación entre las instituciones de investigación y los generadores de datos y los organismos de planificación y gestión (7).

El trabajo de investigación que se realizo es fundamental, debido a que la única forma de establecer planes verdaderamente integrales para la gestión del agua y el manejo de los recursos hídricos es a través de datos parciales y totales sobre acuíferos y cursos hídricos (7).

Uno de los problemas fundamentales que existe en Guatemala, es la falta de una legislación que se adecue a la problemática real del agua en el país, en cuanto a niveles de contaminación, vertidos domésticos e industriales y conservación. Esto hace que en general exista incoherencia en cuanto a las técnicas, parámetros de caracterización en el planteamiento del problema; incidiendo negativamente en la planificación que tenga que ver con los recursos hídricos.

La investigación en cuanto al cuerpo de agua en Guatemala se ha orientado a la concentración de datos y salvo importantes excepciones, la información no llega a ser interpretada. Y tal como se estableció en las II Jornadas Iberoamericanas para los Enfoques Integrados de la Problemática del agua, realizado en Cartagena de Indias, Colombia en 2003 y de la cual Guatemala fue participante: " es necesario identificar la información, en el tipo de formato de los datos y la precisión aceptable, para responder a las necesidades de la planificación a largo plazo de los recursos hídricos (7).

3.6 El Lago de Petén Itzá

3.6.1 Descripción del cuerpo de agua

El Lago Peten Itzá se encuentra localizado en las tierras bajas de Peten, en la Biosfera Maya, correspondiente a la vertiente del Golfo de México, a la cuenca del río Usumacinta y a la subcuenca del río San Pedro. No posee efluentes ni descargas notables, por lo que la descarga depende mayoritariamente de las aguas subterráneas y por ser el suelo poco permeable, se producen crecimientos en el nivel del lago en años en que la lluvia es excesiva. En la región existe una alta pluviosidad (promedio de 1730 mm/año), siendo la temperatura promedio de 24.3°C, con un rango de 15 – 37°C. El lago presenta una topografía cárstica en que predominan los suelos calizos. El lago se encuentra en una región que predomina la Bioma Selva Tropical Húmeda, con cubierta vegetal semi-caducifolia y bosque primario y secundario. La zona de vida, según Holdridge, es bosque muy húmedo subtropical (Calido) (10).

De acuerdo a Villar, los hábitats de selva Tropical Húmeda contienen gran cantidad de fauna, incluyendo los felinos y aves que no existen en otros lugares de Guatemala. Son comunes los árboles de pimienta, cedro, caoba, ujushte, San Juan y chicozapote. Las asociaciones vegetales más representativas son selva alta, selva baja, sabana, humedales lacustres y llanuras de inundación (10).

El origen del lago Peten Itzá es tectónico cárstico, presentando como características formativas depresiones formadas como consecuencia de levantamiento marino y disolución de material calcáreo (cárstico). Los principales usos del agua del lago son la pesca, el turismo y como agua domestica (10).

En el extremo nororiental del lago, se encuentra el biotopo Cerro Cahuí, administrado por el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON), de la Universidad San Carlos de Guatemala. En la cima del cerro existe un pequeño sitio arqueológico. El objetivo del biotopo es que el mismo sea un área protegida orientada a la investigación (10).

3.6.2 Regiones que abarca

El lago Peten Itzá se encuentra en la mitad de la latitud norte entre 16°54'00" y 17°01'00" y longitud oeste entre 89°41'30" y 89°55'30", y está a una altura de 110 metros sobre el nivel del mar. El lago tiene una superficie 99.6km². Respecto a la batimetría, los reportes sugieren que existen profundidades mayores de 60 metros en algunos casos alcanzando una profundidad de 160 metros (figura X, Hodell et al, 2005). La cuenca del lago Peten Itzá, tiene una extensión de 1,300km² (Curtis, 1998: Basterrechea, 1985), se encuentra dentro de la plataforma de Yucatán, capa tectónica estable y de topografía baja que comprende la península de Yucatán, y la parte central y norte del departamento de El Peten. En su parte sur, la plataforma presenta un amplio pliegue en dirección este-oeste denominado Arco de la Libertad. En el borde norte del área afloran carbonatos, rocas cársticas y evaporitas de los periodos terciario y cuaternario, que constituye un suelo semipermeable que dificulta la circulación del agua subterránea hacia el norte. En la orilla noreste del lago existen abundantes tobas finas de color café claro, que son las rocas de origen calcáreo constituidas por carbonatos de calcio, sobre la formación de un tipo de suelo impermeable por la presencia de la falla geológica de Peten Itzá. En el borde sur no se encuentra afloramiento de rocas de ningún tipo, lo que apoyaría la hipótesis del desagüe subterráneo del lago en dirección noroeste que coincide con la falla Peten Itzá y con el Flanco norte del Arco de la Libertad. Hacia el norte del lago se encuentra la falla Peten Itzá con una topografía poco montañosa, donde la red de drenaje es difícil de definir. Está cubierta de bosques tropicales, presentando cerros entrelazados entre sí. La parte norte del lago se encuentra dentro de la zona amortiguadora de la Reserva de Biosfera Maya (RMN), y es el cuerpo más grande dentro de la reserva. El lago se alimenta principalmente de aguas subterráneas, desde la cuenca que pertenece al drenaje del río San Pedro. No cuenta con desagüe superficial y solamente recibe aguas de los pequeños ríos Ixlú e Ixpop (26).

La situación térmica en la cuenca puede alcanzar valores máximos absolutos de 39°C en las tierras bajas, y los valores mínimos absolutos en las tierras altas hasta 10°C, siendo el valor promedio anual de 25.5°C. Los meses más calurosos son abril y mayo, y los más fríos, diciembre y enero.

La cuenca del Lago Peten Itzá esta enfrentando acelerados procesos de cambio que presionan la existencia de los ecosistemas que tienen una importancia estratégica. Esto incluye la deforestación de la selva tropical, el manejo de potreros y zonas ganaderas, hasta la creación de nuevos asentamientos, los cuales afectan severamente la biodiversidad, la estabilidad de los suelos y la regulación hidrográfica que afecta el sistema lacustre. Es necesario darle una valoración económica al lago, para lo cual se deben aplicar mecanismos de gestión ambiental en el sentido de combinar la prevención del lago con el progreso económico de los habitantes desde una visión de sustentabilidad (26).

3.7 Estudios previos sobre la calidad del agua y relacionados con la conservación efectuados en el Lago de Petén Itzá

Pocos estudios se han realizado sobre la limnología y contaminación del Lago Peten Itzá. Basterrechea realizó un estudio en tres sitios de muestreo en abril de 1985, habiendo analizado los principales cationes y parámetros de campo como pH, conductividad y temperatura. Anteriormente, Bresonik y Fox, en 1969 y Graneli en 1983, habían estudiado los niveles de nutrientes en el lago, en Flores, habiendo encontrado niveles de nitrógeno total inferiores a 1.0 mg/L en 1969 y 1983, y de nitratos de 10 µg/L en 1969. Los niveles de fósforo y fosfato fueron de 4 y 1 µg/L, respectivamente (Basterrechea, 1988) (26).

Según Basterrechea (1988), las relaciones nitrógeno/fósforo encontradas en dichos estudios (mayores de 20), indicaban un estado oligotrófico del Lago Peten Itzá. Se encontraron altas concentraciones de amonio debido posiblemente a las descargas de aguas residuales domésticas. Basterrechea concluyó en su estudio, que debido a los

principales indicadores de la eutrofización como el oxígeno disuelto, transparencia, nutrientes y especies de algas, el Lago Peten Itzá se encontraba en una situación mesotrófica-oligotrófica, existiendo una contaminación puntual proveniente de las descargas de aguas residuales de los poblados.

Rosenmeier et al. (2002, 2004), realizaron un estudio paleolimnológico en la cuenca sur del lago, en la cual se determinó eutrofización reciente en el lago, por medio de la datación de una columna de sedimento con la técnica de plomo-210. Rosenmeier encontró que el incremento de la acumulación de sedimentos inició con el aumento de la población humana en la cuenca. En la columna de sedimento se encontraron diatomeas fósiles, las cuales son indicativas de eutrofización cultural. Se encontró que existe correlación entre los cambios de tasa de sedimentación en la parte sur de la cuenca y el incremento de la densidad de población humana en la cuenca, sugiriendo que los cambios en los registros de sedimentación tienen causa antropogénica. Se encontró que desde los años sesenta para la fecha, esta tasa de sedimentación se multiplicó en un factor de cuatro. El estudio indica también que la descarga de aguas residuales de Flores, Santa Elena y San Benito, ha incrementado la concentración de nutrientes y que a la fecha el estado eutrófico se confina en la cuenca sur del Lago Peten Itzá, pero que se extenderá al irse incrementando la población humana en la cuenca.

Curtis et al. (1998), También utilizaron columnas de sedimentos en el Lago Peten Itzá, para estudiar los cambios climáticos en el periodo que inicio desde la civilización Maya, 3,000 años atrás hasta la actualidad, encontrando evidencia de que han ocurrido diferentes cambios climáticos y que ha existido impacto humano en el ambiente de Peten, mapa batimétrico, ver Mapa #2 (27).

Estudios de la calidad del agua realizados por varias instituciones (CONAP , CONAMA, Basic, y Escobar) indican que la calidad del agua en la cuenca del Lago Peten Itzá no presenta variaciones significativas. A finales de julio de 2000 se presentó en el lago un fenómeno de muerte súbita de peces, principalmente de la especie

Petena Splendida. Debido a que los parámetros fisicoquímicos no tuvieron cambios significativos respecto a estudios previos, se sustenta la idea de que la mortandad de peces se produjo por un fenómeno de inversión de la columna de agua en el lago, fenómeno que es conocido como "bumbancia" y que se da en los lagos de Guatemala.

IV. Justificación

La importancia del estudio de la calidad fisicoquímica del agua y la determinación de macro-nutrientes en sedimentos del lago Petén Itzá, se debe a que estos guardan estrecha relación en cuanto al intercambio de los componentes que forman los sedimentos.

La importancia del estudio de macro-nutrientes en sedimentos es porque es posible determinar el grado de contaminación del lago en la región sur-occidental en épocas pasadas.

Debido a la problemática que causa la contaminación producida por aguas residuales y excretas, que es la principal causa de contaminación por actividades humanas, es adecuado determinar el impacto ambiental de las mismas por medio del análisis fisicoquímico en muestras de agua y el estudio de sedimentos. Esto nos permite establecer cuándo un cuerpo de agua cambia las condiciones normales que su propio ecosistema define.

La determinación de los niveles de los nutrientes y parámetros fisicoquímicos es necesaria para medir el impacto de la descarga directa de aguas residuales procedentes de la isla de Santa Elena, en el lago Peten Itzá, debido que éstas aumentan la concentración de los mismos, lo que provoca una aceleración en el proceso de eutrofización del lago, lo que a su vez afecta la viabilidad económica de diversas actividades.

V. Objetivos

5.1 Objetivo General

Realizar el estudio Paleolimnológico de la región sur-occidental del Lago Peten Itzá.

5.2 Objetivos Especificos

5.2.1 Colectar cinco núcleos de sedimentos en columna de un metro de profundidad, en las comunidades de la parte sur-occidental del lago Petén Itzá, para el estudio de macro-nutrientes y datación por ^{210}Pb .

5.2.2 Cuantificar los Macro-nutrientes y Carbono Total en muestras de sedimento, colectadas en el Lago Petén Itzá

5.2.3 Determinar la calidad fisicoquímica del agua de la región sur-occidente del Lago Peten Itzá.

5.2.4 Implementar la técnica de colección de núcleos de sedimentos en columna de un metro de profundidad, para estudios paleolimnológicos en fuentes de agua del país.

5.2.5 Crear el perfil de composición de los sedimento en un metro de profundidad de la región sur-occidental del Lago Peten Itzá.

VI. Hipótesis

Dada la naturaleza de la investigación, estudio descriptivo de parámetros múltiples, no se planteó hipótesis.

VII Materiales y métodos

7.1 Universo

Región sur-occidental del Lago Peten Itzá.

7.2 Muestra

Agua y sedimentos colectados en los cinco puntos de muestreo establecidos en la región sur-occidental del Lago Peten Itzá.

7.3 Materiales

7.3.1 Equipo

- Aparato de Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS)
- Aparato medidor de humedad y temperatura RadioShack
- Autoclave VWRbrand
- Balanza Analítica Mettler Toledo
- Bomba de vacío Sarvac
- Conductímetro WTW LF 320
- Espectrofotómetro UV-Visible Hach DR/2010
- Estufas con agitación magnética VWRbrand
- Horno VWRbrand
- Oxímetro WTW Multiline P4
- Pipetas volumétricas automáticas
- Potenciómetro Hach Senslon1
- Termoreactor Merck TR 3010
- Vortex VWRbrand
- Conos Imhoff
- Desecadora
- Disco Secci

7.3.2 Reactivos

- Ácido ascórbico (grado analítico)
- Ácido clorhídrico concentrado
- Ácido sulfúrico concentrado
- Agua destilada
- Almidón
- Carbonato de calcio (grado analítico)
- Cloruro de amonio (grado analítico)
- Cloruro de bario (grado reactivo)
- Cloruro de sodio (grado analítico)
- Dicromato de potasio (grado analítico)
- Etilendiamintetraacetato de sodio (grado analítico)
- Fenol (grado analítico)
- Ferroína (grado analítico)
- Fosfato diácido de potasio (grado analítico)
- Fosfato monoácido de potasio (grado analítico)
- Fosfato monoácido de sodio (grado analítico)
- Glicerol (grado analítico)
- Heptamolibdato de amonio (grado analítico)
- Hidróxido de sodio (grado analítico)
- Hipoclorito de sodio (comercial)
- Isopropanol
- Negro de ericromo T (grado analítico)
- Nitra Ver 5
- Nitri Ver 3
- Persulfato de potasio (grado analítico)
- Pirofosfato de sodio decahidratado (grado analítico)
- Sulfanilamida (grado analítico)

- Sulfato de sodio (grado analítico)
- Sulfato ferroso amónico (grado analítico)
- Sulfato de magnesio heptahidratado (grado analítico)
- Tartrato de antimonilpotasio (grado analítico)
- Tiosulfato de sodio (grado analítico)
- Yoduro de sodio (grado analítico)

6.3.3 Cristalería

- Agitador de vidrio
- Agitador magnético
- Balón aforado de 25, 50, 100 y 250 ml
- Beakers de 50, 100, 250, 500 ml y 1 L
- Botellas de vidrio de 250 ml
- Botellas plásticas de polietileno de 1 L
- Bureta de 50 ml
- Bulbos para pipeta
- Cápsulas de porcelana
- Equipo para reflujo
- Filtros de fibra de vidrio y filtros de plástico
- Goteros
- Gradillas
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml
- Pinza para bureta
- Pinza para cápsula de porcelana
- Pipetas volumétricas de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 50 y 100 ml
- Pipetas Pasteur
- Pizetas
- Probetas de 10, 50, 250 ml

- Puntas de pipeta volumétrica
- Termómetro
- Tubos con tapón de rosca de 50 ml.
- Tubos de ensayo de 25 y 50 ml

7.4 Método

7.4.1 Diseño de la investigación

Se realizó la investigación descriptiva de 19 parámetros de medición de la calidad fisicoquímica del agua, con mediciones en época lluviosa, fría, seca y calida; realizando muestreos en cada una de las épocas. En cada muestreo se muestrearon 5 puntos.

7.4.2 Muestreo

En los puntos de muestreo seleccionados, se realizaron los procedimientos internacionales aceptados para la toma de muestra de agua. Las muestras se colectaron en recipientes de polipropileno o polietileno de alta densidad de un litro de capacidad, en cada punto seleccionado se colectará un total de tres litros de agua. Cada botella se trató para eliminar cualquier tipo de contaminación. El recipiente que se utilizó para el muestreo permaneció cerrado hasta el momento de tomar la muestra, posterior al muestreo las muestras fueron almacenadas a una temperatura menor a cuatro grados centígrados, a pH ácido y a pH neutro dependiendo de los análisis posteriores. Para almacenar las muestras de sedimento se usaron tubos de PVC, después se almacenaron a una temperatura menor de cuatro grados centígrados.

7.4.3 Procedimiento

7.4.3.1. Toma de muestra

Las muestras de agua se recolectan de acuerdo al el siguiente procedimiento:

- Cada botella se lava en el laboratorio utilizando detergente no iónico libre de fosfatos, ácido clorhídrico al 3% y agua destilada para eliminar todo tipo de contaminante, se deja secar y permanece cerrada hasta el momento del muestreo.
- Cada botella se acondiciona previamente con tres lavados con el agua del punto de muestreo, se procura no alterar los sedimentos en cada lavado.
- Se llena la botella sumergiendo contra corriente, sin dejar burbujas de aire, exceptuando una botella que se acidifica con 1 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- Se tapa cada botella con su respectivo tapón de seguridad y su tapón de rosca.
- Se almacena cada botella a 4 grados Celcius y se transporta para su análisis en el laboratorio.

7.4.3.2. Mediciones que se efectúan utilizando un electrodo o elemento asociado a una sonda in situ.

- Enjuague el electrodo y las partes que lo rodean con agua destilada utilizando una pizeta.
- Sumerja el electrodo en el agua. Asegúrese de que todo el electrodo está hundido, pero no lo haga más allá de lo estrictamente necesario. Usualmente se recomienda sumergirlo treinta (30) centímetros de profundidad.
- Deje que el valor de la pantalla se estabilice.
- Una vez que la cifra se haya estabilizado, lea el valor obtenido y regístrelo en la Hoja de Datos.
- Enjuague el electrodo con agua destilada, tápelo y apague el instrumento.

7.4.3.3 Toma de muestras de sedimentos

Se debe de bajar el muestreador, con el tubo de PVC en forma vertical, verificando que no este horizontal. Una vez está en posición vertical se martilla, con el sistema fijo en la parte superior del muestreador, hasta alcanzar la profundidad deseada. Se procede a la extracción del muestreador con sedimentos, la extracción debe realizarse con precaución ya que una extracción muy fuerte del muestreador puede provocar que la membrana encargada de sostener el sedimento se doble provocando la perdida de la muestra.

Ya obtenida la muestra dentro del muestreador se debe de mantener en forma vertical el tubo de PVC con muestra, esto es para evitar la mezcla del agua superficial con los sedimentos inferiores. Con la ayuda de un pistón se procede a extraer la muestra por la parte superior del tubo de PVC, empujando por la parte inferior del tubo. La extracción de los sedimentos debe de realizarse en intervalos de 2-4 cm, esto depende la tasa de sedimentación y del análisis a realizar, las fracciones deben ser uniformes. Se debe tener cuidado en mantener la cantidad de agua superficial en los sedimentos superficiales. Ya que esta es utilizada en los análisis de datación por ^{210}Pb .

Extraer los sedimentos del núcleo el mismo día que se toma la muestra, ya que si se mezcla el agua de los sedimentos superficiales con los sedimentos mas viejos, puede introducirse errores para el fechado por ^{210}Pb ; dando fechas incorrectas. También se debe de mantener cuidado en conservar la humedad de los sedimentos.

7.4.3.3 Métodos en el laboratorio

7.4.3.3.1. Determinación de demanda bioquímica de oxígeno DBO_5

7.4.3.3.1.1 Reactivos

Los reactivos que a continuación se listan se utilizan para 50 determinaciones.

0.425 g Fosfato diácido de potasio		
1.088 g Fosfato monoácido de potasio		
1.670 g Fosfato monoácido de sodio		
0.085 g Cloruro de amonio	Aforar a 50 ml	Solución A
1.125 g Sulfato de magnesio heptahidratado	Aforar a 50 ml	Solución B
1.375 g Cloruro de Calcio	Aforar a 50 ml	Solución C
0.015 g Cloruro Férrico	Aforar a 50 ml	Solución D

7.4.3.3.1.2. Procedimiento

- En una botella de DBO de 300 ml coloque 30 ml de muestra y un ml de las soluciones A, B, C, y D.
- Complete con agua destilada hasta el cuello de la botella y determine el oxígeno disuelto con la sonda del oxímetro.
- Al sacar el detector complete con agua destilada hasta la mitad del cuello de la botella.
- Taparla de forma tal que no queden burbujas de aire dentro de la botella y colocarla en incubación a 20°C durante 5 días exactos.
- Incubar además una botella que solamente contenga las soluciones A, B, C y D y agua destilada.
- Al terminar el periodo de incubación determine el oxígeno disuelto.

7.4.3.3.1.3. Cálculos

$$DBO = (OD \text{ inicial} - OD \text{ final}) \cdot 10 \text{ ml/L}$$

7.4.3.3.1.2. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

METODO HACH 8000 Manual de procedimientos DR2010, pp. 591-596.

Método de Reactor de Digestión; Aprobado por USEPA para reportar análisis de aguas residuales.

Para: agua, agua residual y agua de mar.

7.4.3.3.1.2.1. Materiales:

Licuada

Viales de digestión para DQO

Pipeta automática 0-10 mL

Papel mayordomo

7.4.3.3.1.2.2. Equipo:

Reactor de 0-150°C

7.4.3.3.1.2.3. Procedimiento:

- Homogeneizar 100 ml de muestra por 30 segundos en una licuadora. Nota: Mezcle la muestra antes de homogenizarla. Para mejorar la precisión y reproducibilidad, ponga la muestra homogenizada dentro de un vaso de precipitados de 250 mL y agite generosamente con un agitador magnético. Para muestras que contengan grandes cantidades de sólidos, incremente el tiempo de homogenización. Nota: Algunos de los químicos y aparatos usados en este procedimiento pueden ser peligrosos para la salud y seguridad del usuario si son manejados inadecuadamente o usados incorrectamente de forma accidental. Por favor lea todas las precauciones y la sección de seguridad del manual. Use apropiadamente los protectores de ojos y vista protección adecuada. Si ocurre contacto, lave el área afectada con agua corriente. Siga las instrucciones cuidadosamente.
- Encienda el reactor para DQO. Precaliente a 150°C. Coloque el protector plástico enfrente del reactor. Nota: Coloque los aparatos en un lugar seguro, para proteger a los analistas de escapes que pudieran ocurrir por los reactivos. Nota: Asegure que todos los dispositivos de seguridad se encuentran en su lugar de tal manera que se proteja al analista de una posible fuga de reactivos.
- Remueva la tapa al Vial de Digestión con Reactivos para DQO, para el rango apropiado:

• Rango de concentración de la muestra (mg/L)	• Vial Tipo DQO digestión con reactivos
• 0 a 150	• Bajo Rango
• 0 a 1,500	• Alto Rango

• 0 a 15,000	• Mas Alto Rango
--------------	---------------------

Nota: La mezcla de reactivos es sensible a la luz. Mantenga los viales sin usar en un contenedor opaco, dentro del refrigerador si es posible. La luz que alcanza los viales durante el análisis no afecta los resultados.

- Coloque el vial a un ángulo de 45°. Pipetee 2.00 mL (0.2 mL para el rango de 2 a 15,000 mg/L) de muestra dentro del vial.
- Nota: Para el rango de 0-15,000, pipetee solamente 0.20 mL de muestra, no 2.00 mL de muestra usando una micropipeta. Para mayor exactitud, un mínimo de tres réplicas deben ser analizados y los resultados promediados.
- Nota: Los derrames de los reactivos afectarán la exactitud del análisis y es peligroso para la piel y otros materiales. No corra estos análisis con viales que se han derramado. Si ocurriera un derrame, lave con agua corriente.
- Coloque apretadamente la tapa al vial. Lave por fuera el vial de DQO con agua desionizada y limpie el vial con una toalla de papel.
- Tome el vial por la tapa y voltée. Invierta varias veces para mezclar el contenido. Ponga en vial en el reactor previamente calentado. Nota: El vial empezará a calentarse durante la mezcla.
- Prepare un blanco repitiendo los pasos del 3 al 6, sustituyendo 2.00 mL (0.2 mL para el rango de 0 a 15,000 mg/L) por agua desionizada en lugar de muestra. Nota: asegúrese de que la pipeta esté limpia. Nota: Un blanco debe ser corrido con cada serie de muestras. Corra las muestras y el blanco con el mismo lote de viales.
- Caliente los viales por 2 horas. Nota: Muchas muestras son digeridas completamente en menos de dos horas. Si es deseado, mida la concentración (mientras esté caliente) a intervalos de 15 minutos hasta que las lecturas permanezcan sin cambios. Enfríe los viales a temperatura ambiente para la medición final.
- Apague el reactor. Espere 20 minutos para que los viales se enfríen a 120°C o menos.
- Invierta cada vial varias veces mientras está tibio. Ponga los viales en una gradilla. Espere hasta que los viales se enfríen a temperatura ambiente. Nota: Si un color verde puro aparece en la muestra de

reacción, mida el DQO, si fuera necesario, repita el análisis con una muestra diluída.

- Use una de las siguientes técnicas analíticas para medir el DQO:
 - Método colorimétrico 0-150 mg/L DQO
 - Método colorimétrico 0-1,500 mg/L DQO
 - Método colorimétrico 0-15,000 mg/L DQO
- Nota: También puede ser utilizado un método tritrimétrico, para el análisis de DQO.

7.4.3.3.1.3. Demanda Química de Oxígeno, DQO. Método Colorimétrico, 0 a 150 mg/L de DQO.

- Ingrese en número de programa almacenado para el análisis de demanda química de oxígeno (DQO) de bajo rango.
- Presione: 430 Enter. La pantalla mostrará: Dial nm to 420
- Rote el dial de longitud de onda hasta que pantalla muestre: 429 nm. Cuando la longitud de onda correcta es colocada, la pantalla mostrará rápidamente: Zero Sample, y: mg/L COD LR. Nota: Ajuste la longitud de onda aproximada desde valores altos o bajos.
- Coloque el adaptador del Vial para DQO dentro del portaceldas con la marca hacia la derecha.
- Limpie la parte externa del vial usado como blanco con una toalla de papel. Nota: Limpie con una toalla húmeda, seguido por una seca, para remover las huellas y otras marcas.
- Coloque el blanco dentro del adaptador con el logo Hach hacia el frente del instrumento. Coloque la tapa sobre el adaptador. Nota: El blanco es estable cuando es almacenado en la oscuridad; vea Blancos para Determinación Colorimétrica siguiendo este procedimiento.
- Presione: Zero. La pantalla mostrará: Zeroing... y 0. mg/L COD LR
- Limpie la parte exterior del vial con la muestra con una toalla de papel.
- Coloque el vial con la muestra dentro del adaptador con el logo Hach hacia el frente del instrumento. Coloque la tapa del adaptador.
- Presione: READ. La pantalla mostrará: Reading... y aparecerá el resultado en mg/L COD. Nota: Para mayor exactitud con muestras cercanas a 150 mg/L de DQO, repita el análisis con una muestra diluida.

7.4.3.3.1.4. Determinación de fósforo de orto fosfatos y fósforo total

7.4.3.3.1.4.1. Determinación de fósforo de orto fosfatos

- Pesar 0.0221 g de fosfato diácido de potasio p.a. de 99.5 % de pureza y aforar a 100 ml. (50.047 ug P/ml). Diluir 1:10 y luego 2-10:100.
- Preparar los siguientes reactivos:
 - A) 14.0 ml de ácido sulfúrico concentrado aforados con agua a 100 ml.
 - B) 0.0274 g de tartrato de antimonil-potasio en 10 ml de agua destilada.
 - C) 1.00 g de heptamolibdato de amonio en 25 ml de agua destilada.
 - D) 0.88 g de ácido ascórbico en 50 ml de agua destilada
- Prepare el reactivo mezclando en el siguiente orden y con agitación: 80 ml de A, 8 ml de B, 24 ml de C y 48 ml de D.
- Agregar 2.0 ml de esta mezcla a 10 ml de muestra filtrada y estándares.
- Leer a 880 nm.

7.4.3.3.1.4.2. Determinación de fósforo total

- Pesar 0.0360 g de pirofosfato de sodio decahidratado p.a. de 100% de pureza y aforar a 100 ml (50.0150 ug P/ml). Diluir 1:10 y luego 2-10:100.
- Colocar 30 ml de muestra, patrones y blancos en tubos de ensayo con tapón de rosca de 50 ml. Agregar 0.06 g de persulfato y digerir en autoclave durante 0.5 horas a 121°C y 1 atm. de presión.
- Enfriar a temperatura ambiente.
- Preparar los siguientes reactivos:
 - A) 14.0 ml de ácido sulfúrico concentrado aforados con agua a 100 ml.
 - B) 0.0274 g de tartrato de antimonil-potasio en 10 ml de agua destilada.
 - C) 1.00 g de heptamolibdato de amonio en 25 ml de agua destilada.
 - D) 0.88 g de ácido ascórbico en 50 ml de agua destilada
- Prepare el reactivo mezclando en el siguiente orden y con agitación: 80 ml de A, 8 ml de B, 24 ml de C y 48 ml de D.

- Agregar 2.0 ml de esta mezcla a 10 ml de muestra filtrada y estándares.
- Leer a 880 nm.

7.4.3.3.1.5. **Determinación de nitrógeno de nitritos**

Este método es apropiado para concentraciones de ion nitrito de 1 a 20 ug de nitrógeno de nitrito por litro.

7.4.3.3.1.5.1 Reactivos:

- Solución de sulfanilamida: disolver 5 gramos de sulfanilamida en 50 mL de HCl concentrado de agua destilada y llevar esta solución a 500 ml. Este reactivo es estable bajo refrigeración por varios meses.
- Solución de N-(1-naftil) etilendiamina: disolver 0.5 g del reactivo en 500 ml de agua destilada. Almacenar la solución en una botella oscura. Si no es mantenida en refrigeración, la solución debe renovarse mensualmente, cuando se desarrolla un intenso color café.
- Solución stock de nitrito: disolver 4.9620 g de nitrito de sodio p.a., exento de agua, en agua destilada y diluir a un litro. Eventualmente preservar esta solución con 1 mL de cloroformo. 1 mL de esta solución contiene 1 mg de nitrógeno de nitrito (esta solución es estable aproximadamente 1-2 meses).
- Solución estándar de nitrito: Diluir 1.0 mL de solución stock a 1 litro. 1 mL de esta solución contiene 1 ug de nitrógeno de nitrito.

7.4.3.3.1.5.2 Procedimiento:

- Agregar 0.5 mL de solución de sulfanilamida a 25 mL de muestra filtrada, dejar reaccionar por 2 a 8 minutos.
- Agregar 0.5 mL de solución de N-(1-naftil)etilendiamina.
- Medir la absorbancia entre 10 minutos y 2 horas a 550 nm en celdas de 25 mL.
- Se determina así mismo la absorbancia de estándares preparados a partir de la solución estándar de nitrito y con estos datos en forma de ecuación de curva de calibración se calcula la concentración de nitrógeno de nitrito en cada muestra.

7.4.3.3.1.5 Determinación de nitrógeno de nitratos

Método de Salicilato de Sodio

El rango de este método se encuentra entre 0.1 y 2 mg de nitrógeno de nitratos por litro. Muestras con mayores concentraciones requieren un volumen inicial menor.

7.4.3.3.1.5.1 Reactivos

- Solución de salicilato de sodio: Disolver 0.5 g de salicilato de sodio p.a. en 100 mL de agua desionizada. La solución debiera prepararse fresca cada vez.
- Acido sulfúrico: Acido sulfúrico concentrado p.a. (densidad específica 1.82).
- Solución de NaOH – Tartrato: Disolver 400 g de NaOH p.a. en menos de 1 litro de agua destilada. Luego de enfriar agregar 50 g de tartrato de sodio potasio p.a. y disolver. Llevar a un litro y almacenar en botella plástica. La solución es estable por largo tiempo.
- Solución stock de nitrato: disolver 0.7220 gramos de nitrato de potasio p.a. en agua destilada y llevar a 1 litro. Es estable por aproximadamente dos meses. La solución contiene 0.1 mg de nitrógeno de nitrato por mL. Diluir la solución stock 10 veces para preparar una solución de trabajo de 10 ug de nitrógeno de nitratos por mL. Se sirven los siguientes volúmenes de la solución de trabajo en capsulas de porcelana: 0.5, 1, 2, 3, 4, y 5 mL. No es necesario agregar agua destilada para completar a 25 mL ya que el próximo paso es la evaporación. La curva de calibración es tratada de la misma manera que las muestras según el procedimiento a continuación.

6.4.3.3.1.5.2 Procedimiento

- 25 mL de muestra y 1 mL de la solución de salicilato de sodio, se evaporan a 100 grados centígrados hasta sequedad (dejar en horno por la noche). La temperatura del horno no debe exceder 110 grados.
- Mientras la capsula de porcelana aun esta caliente, disolver el residuo con 1 mL de acido sulfúrico. Enseguida, agregar cerca de 50 mL de agua desionizada.

- Agregar 7 mL de solución de NaOH-tartrato, llevar a 100 mL con agua desionizada y mezclar. Medir la absorbancia, tan pronto como sea posible, a 420 nm.

7.4.3.3.1.6 Determinación de nitrógeno total

- Pesar 0.0626 g de sulfanilamida p.a. de 99% de pureza y aforar a 100 ml. Esto es equivalente a 100.8152 ug N/ml.
- Diluir 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 ml / 100 para preparar la curva de calibración.
- Preparar los siguientes reactivos para la digestión:
 - 3.00 g de persulfato de potasio
 - 2.00 g de hidróxido de sodio, aforar a 100.0 ml
- En un tubo con tapón de rosca colocar 30 ml de muestra o patrones. Agregar 5.10 ml de hidróxido de sodio y 0.3756 g de persulfato. Digerir en autoclave a 15 psi durante 45 minutos
- Efectuar las lecturas por medio del análisis de nitratos.

7.4.3.3.1.7 Determinación de sulfatos

7.4.3.3.1.7.1 Puntos Críticos

- Se deben diluir las muestras a una concentración de menos de 40 mg de SO_4/L .
- Si la muestra es coloreada o contiene materia suspendida en grandes cantidades, se producirá interferencia en el análisis. La materia suspendida puede ser eliminada por filtración. La interferencia que aún pueda permanecer se corrige con un blanco en el que se omite la adición de BaCl_2 .

- En aguas potables no existen más iones que el SO_4^{2-} con la capacidad de formar compuestos insolubles al reaccionar con el bario bajo condiciones fuertemente ácidas.
- Realizar la determinación a temperatura ambiente; las variaciones de temperatura por encima de $10\text{ }^\circ\text{C}$ no causarán un error apreciable.

7.4.3.3.1.7.2 Reactivos:

- Reactivo acondicionador: Mezclar 50 ml de glicerol con una solución preparada mezclando 30 ml de HCl, 300 ml de H_2O , 100 ml de etanol o isopropanol y 75 g de NaCl.
- Cloruro de bario G.R.
- Solución estándar de sulfato: Disolver 147.9 mg de NaSO_4 en agua destilada a 1 L.

7.4.3.3.1.7.3 Procedimiento:

- Pipetear 2 ml de reactivo acondicionador a 25 ml de muestra o una alícuota diluida a 25 ml, en un tubo de ensayo de 50 mL de capacidad, y mezclar uniformemente con un agitador magnético.
- Mientras se agita, añadir una cucharadita (0.4 ml) de BaCl_2 e iniciar la toma de tiempo. Agitar exactamente 1 min a velocidad constante.
- Inmediatamente transferir 10 ml de solución al espectrofotómetro y medir la absorbancia a intervalos de 1 minuto durante 4 min a 420 nm. Anotar la lectura máxima.
- Efectuar la determinación de un blanco sin BaCl_2 y substrair su valor de las lecturas registradas.
- Prepara una curva estándar a partir de la solución estándar de sulfato, con las siguientes diluciones: 2.0, 5.0, 10.0, 20.0, 25.0, 40.0 ml / 100 ml.

7.4.3.3.1.8. Determinación de sólidos suspendidos filtrables y disueltos totales

7.4.3.3.1.8.1. Determinación de sólidos suspendidos filtrables

7.4.3.3.1.8.1.1. Preparación de Filtros

- Los filtros deben ser de fibra de vidrio y deben estar guardados en desecadora previo a su uso.
- Agarrar con mucho cuidado los filtros de fibra de vidrio, utilizando para ello una pinza plástica o de acero inoxidable (no con los dedos). Estos filtros son muy frágiles por lo que se pueden romper.
- Identificar cada uno de los filtros en el borde del filtro, previo a ser pesados, con la numeración adecuada para cada muestreo.
- Pesar los filtros en balanza analítica.
- Anotar el peso.
- Preparar el sistema de filtración, el cual consiste en botella de 250 ml, filtros plásticos de rosca. Conectar el sistema al vacío utilizando las mangueras de corosil.

7.4.3.3.1.8.1.2. Filtrado de muestras

- Las muestras deben estar preservadas a 4°C. Antes de ser medidas y filtradas deben llevarse a temperatura ambiente.
- Agitar la botella que contiene la muestra por lo menos durante 3 minutos para homogenizarla bien.
- Medir 100 ml y pasarlos por el sistema de filtración.
- Sacar el filtro del sistema de filtración con mucho cuidado, utilizando para ello la pinza plástica o una pinza de acero inoxidable.

- Colocar el filtro de fibra de vidrio en dos vidrios de reloj y colocarlo en una desecadora.
- Los filtros se pueden secar a 80°C.
- Cuando los filtros estén perfectamente secos, se pesan en balanza analítica.
- Anotar el peso del filtro más la muestra.

7.4.3.3.1.8.2. Análisis de sólidos disueltos totales

7.4.3.3.1.8.2.1. Preparación de cápsulas de porcelana

- Identificar la cápsula de porcelana a ser utilizada. Puede utilizarse marcador para identificarla.
- Llevar a peso constante la cápsula de porcelana a utilizar. Esto puede hacerse colocando la cápsula de porcelana dentro de un horno de microondas y calentando por 5 minutos. Luego de calentar la cápsula ya no puede ser tocada con las manos.
- Sacar la cápsula de porcelana del horno de microondas utilizando para ello una pinza.
- Colocar la cápsula de porcelana dentro de una desecadora para esperar que se enfríe y pueda ser pesada en balanza analítica.
- Pesar la cápsula de porcelana en balanza analítica.
- Anotar el peso.
- Verter los 100 ml de agua que fue filtrada en filtro de fibra de vidrio dentro de la cápsula de porcelana, la cápsula no puede ser tomada con la mano, ya que está tarada (pesada).
- Agarrar la cápsula de porcelana con una pinza y colocarla dentro de un horno. Llevar a 85°C y dejar por 24 horas para que el agua se evapore. Si el tiempo no ha sido suficiente se deja la cápsula dentro del horno a la misma temperatura, hasta que esté completamente seca.

- Sacar la cápsula del horno utilizando para ello una pinza (no debe ser tomada con la mano, ya que la grasa que se pueda tener en los dedos altera el peso de la cápsula) y colocarla dentro de una desecadora. Dejar enfriar, permitir que llegue a peso constante y pesar en balanza analítica.
- Anotar el peso y calcular por diferencia.

7.4.3.3.1.8.3. Determinación de sólidos totales

7.4.3.3.1.8.3.1. Preparación de cápsula de porcelana

- Identificar la cápsula de porcelana a ser utilizada. Puede utilizarse marcador para identificarla.
- Llevar a peso constante la cápsula de porcelana a utilizar. Esto puede hacerse colocando la cápsula de porcelana dentro de un horno de microondas y calentando por 5 minutos. Luego de calentar la cápsula ya no puede ser tocada con las manos.
- Sacar la cápsula de porcelana del horno de microondas utilizando para ello una pinza.
- Colocar la cápsula de porcelana dentro de una desecadora para esperar que se enfríe y pueda ser pesada en balanza analítica.
- Pesar la cápsula de porcelana en balanza analítica.
- Anotar el peso.

7.4.3.3.1.8.3.2. Medición de la muestra

Las muestras de agua deben estar preservada a 4°C. Antes de ser medidas deben llevarse a temperatura ambiente.

- Agitar la botella que contiene la muestra por lo menos durante 3 minutos para homogenizarla bien.
- Medir 100 ml de la muestra de agua.
- Verter los 100 ml de agua dentro de la cápsula de porcelana, la cápsula no puede ser tomada con la mano, ya que está tarada (pesada).

- Agarrar la cápsula de porcelana con una pinza y colocarla dentro de un horno. Llevar a 85°C y dejar por 24 horas para que el agua se evapore. Si el tiempo no ha sido suficiente se deja la cápsula dentro del horno a la misma temperatura, hasta que esté completamente seca.
- Sacar la cápsula del horno utilizando para ello una pinza (no debe ser tomada con la mano, ya que la grasa que se pueda tener en los dedos altera el peso de la cápsula) y colocarla dentro de una desecadora. Dejar enfriar, permitir que llegue a peso constante y pesar en balanza analítica.
- Anotar el peso y calcular por diferencia.

7.4.3.3.1.8.4. Determinación de sólidos sedimentables

- Colocar el cono Imhoff en su soporte respectivo.
- Agitar la botella que contiene la muestra por lo menos durante 3 minutos para homogenizarla bien.
- Verter un litro en el cono Imhoff.
- Dejar reposar.
- Transcurridos 20 minutos, raspar las paredes internas del cono con una varilla de vidrio.
- Transcurrida 1 hora, tomar la medición de los sólidos sedimentables en ml/L de muestra.

7.4.3.3.1.9 **Determinación de Carbono Inorgánico en Sedimentos.**

Para realizar la medición del Carbono Inorgánico, se utilizó el instrumento UIC (Coulometrics) 5011 CO₂. Se utiliza un coulometro acoplado a un Sistema de Auto-preparación para la medición de Carbonatos. Se pesan aproximadamente 15mg de muestra preparada, la cual es colocada en la tapa del carrusel en el sistema de auto-preparación para medición de carbonatos. Se utiliza gas de nitrógeno (N₂) para crear una atmósfera artificial, la cual ayuda a purgar la muestra. Después es inyectado Acido Clorhídrico, dentro del vial de la muestra. El

dióxido de carbono liberado es atrapado por una solución de nitrato de plata, esta mezcla es transportada al coulometro, en donde es medido el carbono total.

7.4.3.3.1.10 Determinación Carbono y Nitrógeno Total en Sedimentos

Se pesan en un rango de 3 a 5mg de muestra, la muestra de sedimento debe ser previamente pulverizada y homogeneizada. Las muestras y tratadas son colocadas en el carrusel del auto-muestreador (Carlo Erba NA 1500 CNS, analizador elemental). Después de una rápida combustión, una columna de cuarzo contiene oxido de cromo, cobaltato de plata y oxido de cobalto, la columna se encuentra a una temperatura de 1040~C. Estas es una atmósfera altamente oxidante. La muestra en estado gaseoso, es transportada en Helio (He), esta mezcla es transportada a una columna de menor temperatura (650~C), esta columna contiene cobre elemental el cual sirve para remover el oxígeno. El efluente es pasado a una trampa de perclorato de magnesio, esta trampa es utilizada para eliminar el agua. El gas resultante es pasado a uan columna cromatografica de 1.5mt a 55~C. En esta columna es separado finalmente el Nitrógeno elemental (N₂) y el Dióxido de carbono. Estos gases son transportados a la Terminal de un detector.

7.4.3.3.1.11 Construcción del muestreador de Núcleos de Sedimentos

La construcción del muestreador, se describe en la figura 14.2. Seguir los planos para su construcción.

7.4.3.3.1.12 Construcción de perfiles de sedimentos a través de Smear Slide

Se debe de identificar la lamina de sedimento de interés, tomar una porción de la lamina, disolver la porción de sedimento en unas gotas de agua destilada, sobre un porta objetos de vidrio (boro-silicato), aplicar dos gotas de cemento óptico, colocar el cubre objeto, colocar en una plancha a una temperatura de 60 C, con luz UV durante

2 -3 minutos, dándose la rápida polimerización del cemento. Transcurrido el tiempo la placa ya se encuentra fijada.

Una vez ya obtenida la placa se procede a observar bajo un microscopio óptico, en el lente seco fuerte, para la identificación de los diferentes cristales se debe de ajustar con la ayuda del tornillo micrométrico.

7.4.3.3.13 Fechado en sedimentos por Pb^{210} .

. Después de colectada la muestra, transporte el tubo con sedimento lo mas vertical posible.

. Dividir los tubos de sedimento en secciones de 5cm, aproximadamente. El almacenamiento puede realizarse en recipientes pequeños o en bolsas para sedimentos con capacidad de 250ml.

Tratamiento previo de la muestra:

- Procurar que las muestras no pierdan el agua intersticial en el proceso del transporte.
- Tarar un beacker y anotar su peso seco.
- Antes de destapar la bolsas donde se encuentran los sedimentos, homogeneizar las muestras para que sea de una consistencia homogénea.
- Colocar en beacker una cantidad (75g aprox.) de sedimento a secar en un horno a una temperatura no mayor de los 60 grados centígrados, anotar el peso del beacker con sedimentos.
- Dejar alrededor de dos o tres días las muestras en el horno para que pierdan toda la humedad, anotar el peso.
- Pulverizar el sedimento seco, homogeneizar y almacenar en recipiente de 25ml.

- Colocar 1 gramo de sedimento seco en un tubo y tapar con resina, anotar la fecha en que se realiza el sellado de los tubos.
- Colocar el tubo dentro del detector de partículas alfa durante 24 horas, anotar las lecturas realizadas por el aparato.

7.4.3.3.14 Análisis Estadístico

Debido a la naturaleza descriptiva de la investigación realizada, se grafico la concentración de los distintos nutrientes contra la profundidad a la cual fueron colectadas las muestras, esto se realizo para determinar los cambios y determinar la tendencia de los resultados, esto es para determinar la evolución de la contaminación a medida que transcurre el tiempo.

7.4.3.3.15 Muestreo y Diseño

Se realizaron 4 muestreos, en cada muestreo se colectaron en los puntos de muestreo por triplicado. Esto fue para las muestras de agua.

Para las muestras de sedimentos se colectaron por duplicado, solamente en 2 de los 4 muestreos, esto se realizó así por la poca disponibilidad de recursos con los que se contó para esta investigación, la cual fue financiada por el estudiante tesista.

VIII. Resultados

8.1 Datos Fisicoquímicos Tomados In Situ.

Tabla #1 Valores de pH

pH					
Sitio		Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito		8.38	8.34	7.92	8.44
Santa Elena		8.38	8.3	7.73	8.03
Aeropuerto		8.36	8.25	7.53	8.03
La Chingada		8.28	8.3	8.28	8.01
Sacpuy		8.3	8.25	8.13	8.01

Tabla #2 Valores de Temperatura en °C

Temperatura en °C					
Sitio		Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito		28.9	23.5	27.5	29.5
Santa Elena		28.8	24	27.6	29.8
Aeropuerto		29.6	25	27.9	31.2
La Chingada		30.4	25.5	26.4	28.7
Sacpuy		29.9	25.9	26.6	29

Tabla #3 Valores de Oxígeno Disuelto en mg/L

Oxígeno O ₂ mg/L					
Sitio		Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito		5.9	6.4	6.9	7.08
Santa Elena		6.3	6.6	6.72	8.03
Aeropuerto		7.2	8.15	7.44	8.34
La Chingada		6.7	6.9	6.88	8.05
Sacpuy		5.8	6.9	7.08	7.4

Tabla #4 Valores de Porcentaje de Oxígeno Disuelto

%O ₂				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	95.2	99.5	88.4	94.1
Santa Elena	84.3	97.9	87.1	105.3
Aeropuerto	87.4	100.5	95	112.3
La Chingada	100.3	104.6	85	105.3
Sacpuy	89.7	99.8	89.5	96.8

Tabla #5 Valores de Profundidad del agua en metros

Profundidad en metros				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	2.5	3.8	2.85	1.71
Santa Elena	2	1.7	1.85	1.6
Aeropuerto	1.8	2.3	3.25	2.9
La Chingada	4	6.5	9	8
Sacpuy	2	2	2.2	1.8

Tabla #6 Valores de Visibilidad en metros

Visibilidad en metros				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	2.5	3.8	2.85	1.71
Santa Elena	2	1.5	1	1.6
Aeropuerto	1.5	2	2.4	2.9
La Chingada	3	5	1.3	1
Sacpuy	1	1	4	4

8.2 Parámetros Fisicoquímicos obtenidos en el laboratorio en muestras de agua
colectadas.

Tabla #7 Valores de Nitritos en mg/L

Nitritos mg/L				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	0.001	0.001	0	x
Santa Elena	0.001	0.002	0	x
Aeropuerto	0.001	0.002	0	x
La Chingada	0.003	0.002	0	x
Sacpuy	0.002	0.003	0	X

Tabla #8 Valores de Nitratos en mg/L

Nitratos mg/L				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	0.12	0.18	0.054	0.066
Santa Elena	0.09	0.07	0.052	0.056
Aeropuerto	0.09	0.012	0.04	0.067
La Chingada	0.083	0.067	0.068	0.077
Sacpuy	0.077	0.098	0.059	0.067

Tabla #9 Valores de Nitrogeno Total en mg/L

Nitrógeno Total mg/L				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	0.56	0.66	0.71	0.982
Santa Elena	0.775	0.347	0.527	1.232
Aeropuerto	0.677	0.889	0.493	4.059
La Chingada	0.823	0.983	0.602	1.245
Sacpuy	0.481	0.741	0.472	1.086

Tabla #10 Valores de Fosfatos en mg/L

Fosfatos mg/L				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	0.12	0.02	0	0.0206
Santa Elena	0.09	0.01	0	0.0181
Aeropuerto	0.06	0.02	0	0.0257
La Chingada	0.08	0.02	0	0.0259
Sacpuy	0.07	0.02	0	0.0135

Tabla #11 Valores de Fósforo Total en mg/L

Fósforo Total mg/L				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	0.428	0.234	0.388	ND
Santa Elena	0.875	0.932	1.321	ND
Aeropuerto	0.782	6.983	14.185	ND
La Chingada	0.573	0.879	0.687	ND
Sacpuy	0.688	0.722	0.551	ND

Tabla #12 Valores de Sulfatos en mg/L

Sulfatos mg/L				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	139.92	189.56	130.2	170.1
Santa Elena	199.78	205.87	124.2	1198.3
Aeropuerto	102.67	100.23	129.2	153.7
La Chingada	109.78	112.34	134.5	209.4
Sacpuy	166.99	134.78	137.5	177.8

Tabla #13 Valores de la Demanda Química de Oxígeno

DQO				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	7	6	14	15
Santa Elena	6	8	17	13
Aeropuerto	8	8	10	17
La Chingada	6	7	19	17
Sacpuy	6	4	12	11

Tabla #14 Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

DBO5				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	0.98	1.77	1.91	0.63
Santa Elena	0.67	1.4	1.61	3.03
Aeropuerto	1.4	1.6	1.83	0.44
La Chingada	1.78	1.47	1.83	0.1
Sacpuy	1.57	1.89	1.44	0.87

Tabla #15 Valores de Sólidos Totales en mg/L

Sólidos Totales mg/L				
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007
San Benito	489	782	1452	1820
Santa Elena	488	682	1836	1736
Aeropuerto	823	732	1808	1908
La Chingada	938	923	1780	1740
Sacpuy	923	828	1788	1872

Tabla #16 Valores de Sólidos Suspendidos en mg/L

Sólidos Suspendidos mg/L					
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007	
San Benito	456	396	412	1712	
Santa Elena	396	438	436	1812	
Aeropuerto	385	477	427	1908	
La Chingada	470	397	368	1740	
Sacpuy	386	476	408	1816	

Tabla #17 Valores de Sólidos Filtrables en mg/L

Sólidos Filtrables mg/L					
Sitio	Octubre 2006	Noviembre 2006	Febrero 2007	Mayo 2007	
San Benito	5	9	2	12	
Santa Elena	6	10	3	40	
Aeropuerto	12	9	3	16	
La Chingada	66	38	375	252	
Sacpuy	11	23	166	36	

8.3 Fechas Obtenidas por Pb₂₁₀ y Macronutrientes en Sedimentos

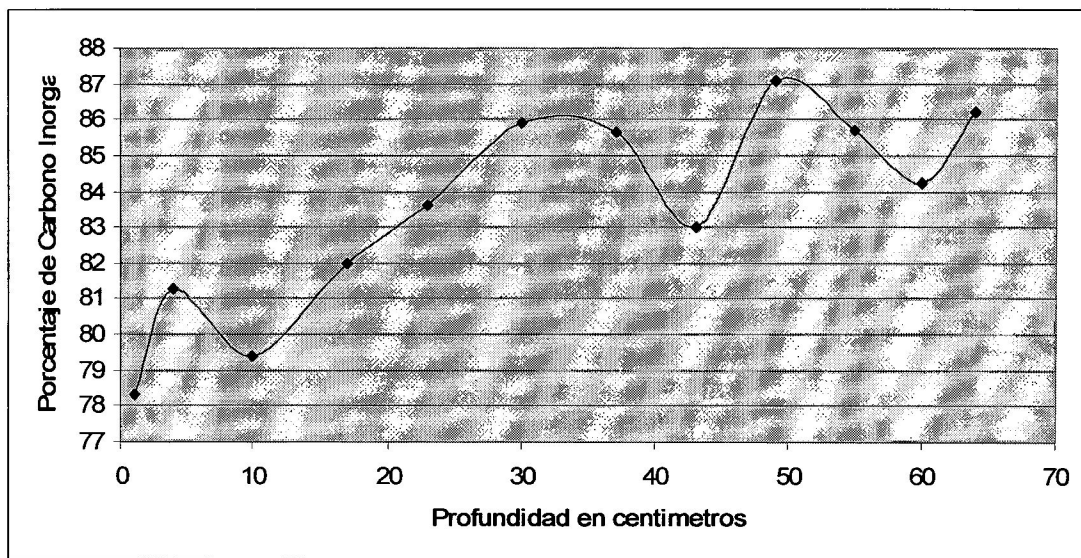
Tabla #18 Valores de Años correspondientes a Profundidad en metros de San Benito

San Benito	
Profundidad en metros	Año
1-4	2001.9
4-10	1994.0
10-17	1982.7
17-23	1957.1
23-30	1949.5
30-37	1916.4
37-43	1877.4

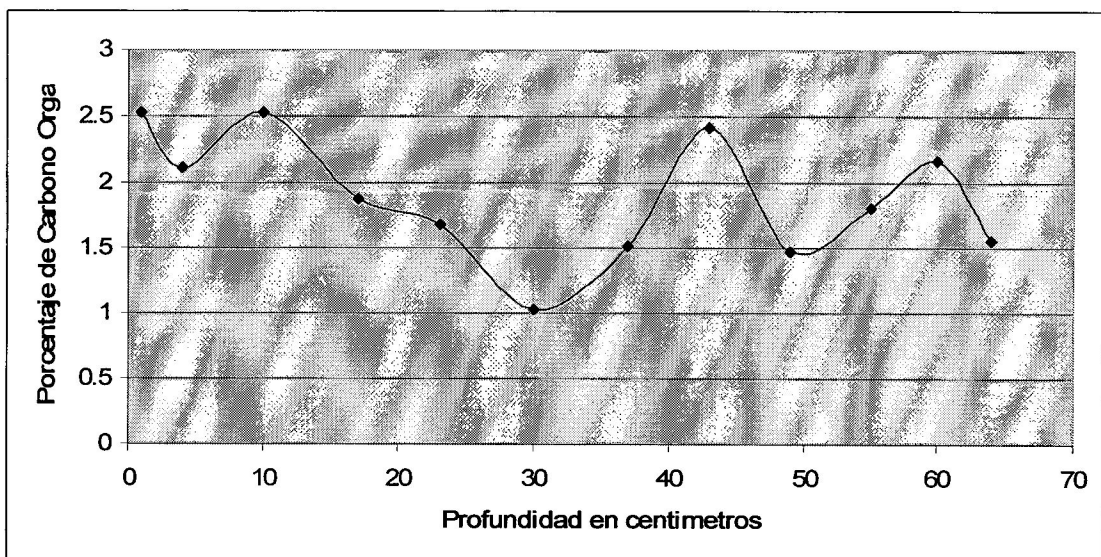
Tabla #19 Valores de Macronutrientes correspondientes a Profundidad en centímetro de San Benito

Profundidad en centímetros	%Carbono Inorgánico	%CaCO ₃ (= % IC * 8.333)	Total %N	Total %C	%C. Orgánico (= %C. total- C. inorgánico)
SBT 1	9.399397598	78.328	0.41	11.93	2.530602402
SBT 4	9.755799023	81.298	0.38	11.86	2.104200977
SBT 10	9.527798111	79.398	0.42	12.06	2.532201889
SBT 17	9.836199345	81.968	0.37	11.71	1.873800655
SBT 23	10.03420014	83.618	0.31	11.71	1.675799863
SBT 30	10.30900124	85.908	0.25	11.34	1.030998764
SBT 37	10.28140113	85.678	0.29	11.8	1.518598874
SBT 43	9.959799839	82.998	0.34	12.37	2.410200161
SBT 49	10.45300181	87.108	0.28	11.93	1.476998188
SBT 55	10.28380114	85.698	0.29	12.09	1.806198865
SBT 60	10.10620042	84.218	0.27	12.27	2.163799575
SBT 64	10.34500138	86.208	0.21	11.9	1.55499862

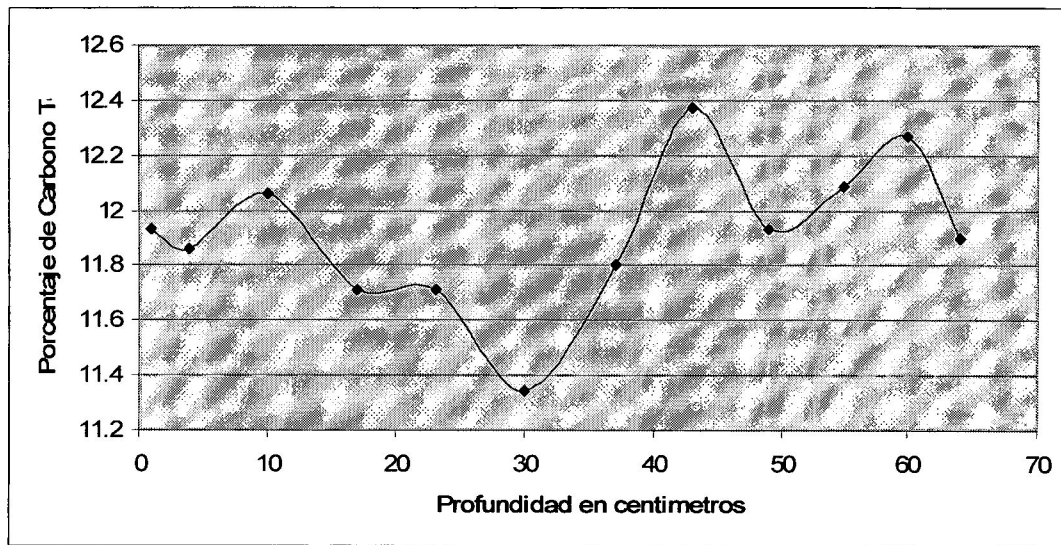
Grafica #1 Porcentaje de Carbono Inorgánico en San Benito



Grafica #2 Porcentaje de Carbono Orgánico en San Benito



Grafica #3 Porcentaje de Carbono Total en San Benito



Grafica #4 Porcentaje de Nitrógeno Total en San Benito

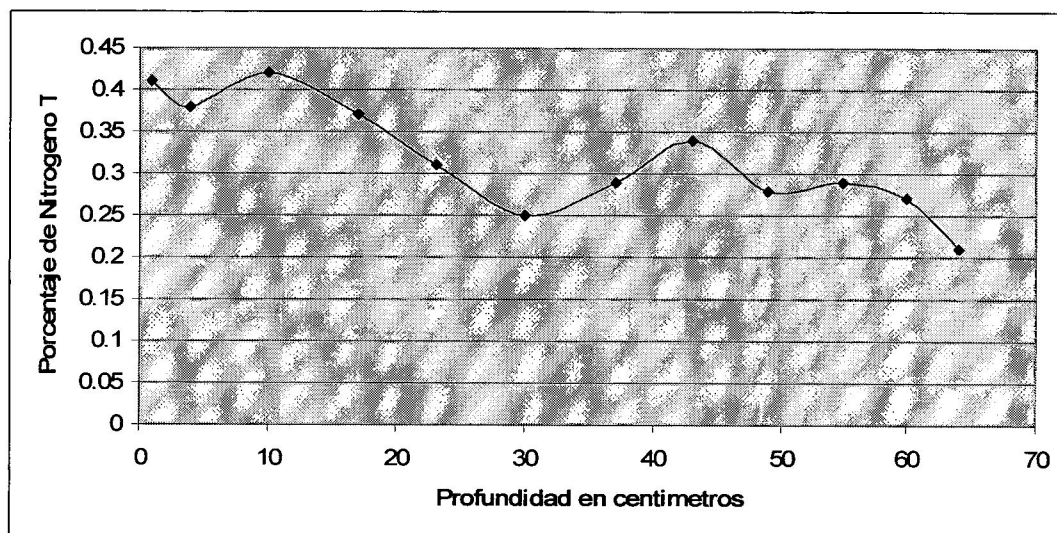


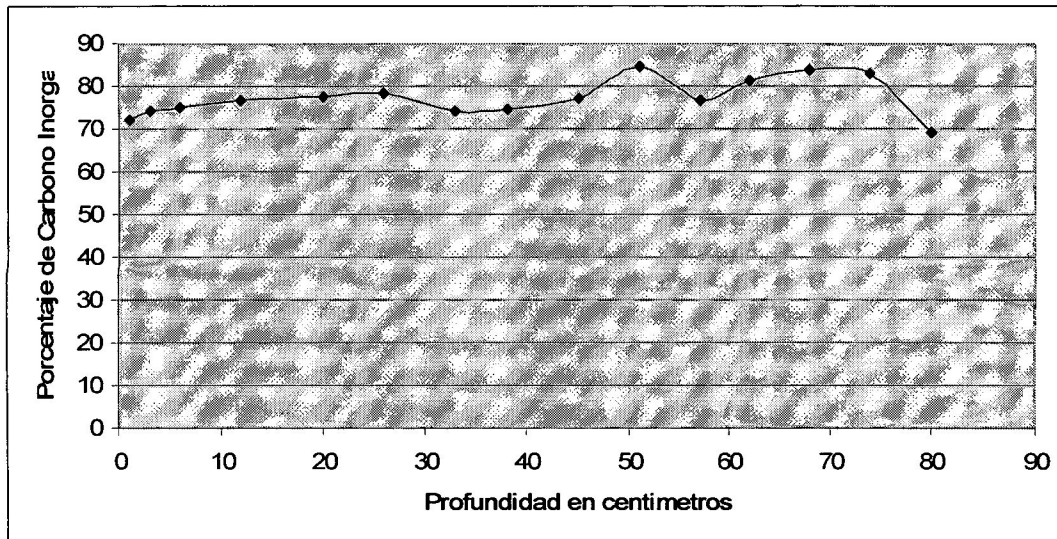
Tabla #20 Valores de Actividad en dmp/g correspondientes a Profundidad en centímetro de Santa Elena

Santa Elena	
Profundidad en centímetros	Pb- ²¹⁰ Actividad (dmp/g)
1-3	2.8
3-6	1.5
6-12	2.5
12-20	1.8
20-26	2.1
26-33	2.2
33-38	2.9
38-45	1.6
57-62	0.8
80-82	0.6

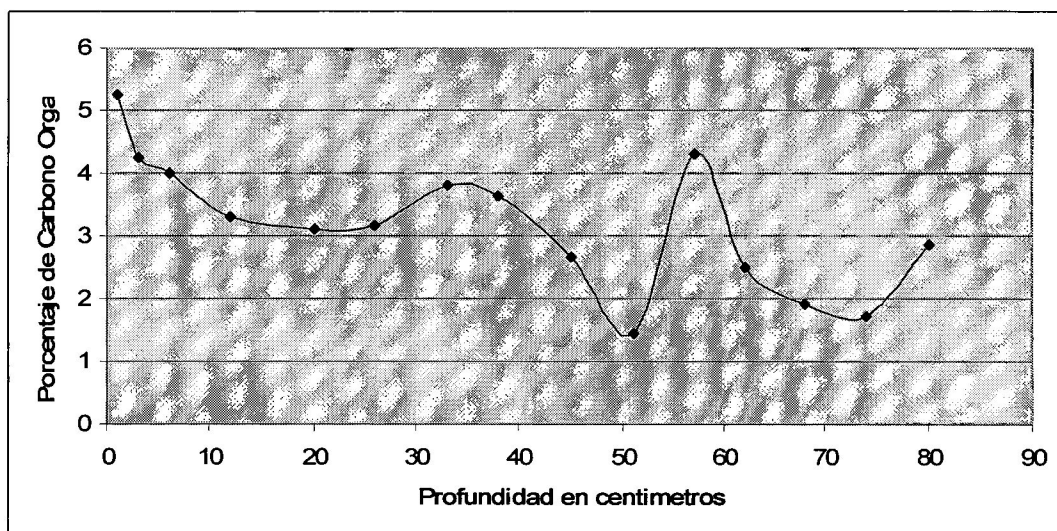
Tabla #21 Valores de Macronutrientes correspondientes a Profundidad en centímetro de Santa Elena

Profundidad en centímetros	%Carbono Inorgánico	%CaCO ₃ (= % IC * 8.333)	Total %N	Total %C	%C. Orgánico (= %C. total- C. inorgánico)
PE-SE 1	8.625394502	71.878	0.7	13.87	5.244605498
PE-SE 3	8.912195649	74.268	0.44	13.15	4.237804351
PE-SE 6	9.014196057	75.118	0.5	13.02	4.005803943
PE-SE 12	9.17739671	76.478	0.44	12.48	3.30260329
PE-SE 20	9.288997156	77.408	0.45	12.41	3.121002844
PE-SE 26	9.390997564	78.258	0.46	12.56	3.169002436
PE-SE 33	8.90499562	74.208	0.53	12.72	3.81500438
PE-SE 38	8.96499586	74.708	0.53	12.59	3.62500414
PE-SE 45	9.250597002	77.088	0.39	11.92	2.669402998
PE-SE 51	10.13020052	84.418	0.25	11.58	1.449799479
PE-SE 57	9.180996724	76.508	0.44	13.49	4.309003276
PE-SE 62	9.740198961	81.168	0.31	12.24	2.499801039
PE-SE 68	10.02700011	83.558	0.28	11.93	1.902999892
PE-SE 74	9.932199729	82.768	0.28	11.65	1.717800271
PE-SE 80	8.318193273	69.318	0.34	11.19	2.871806727

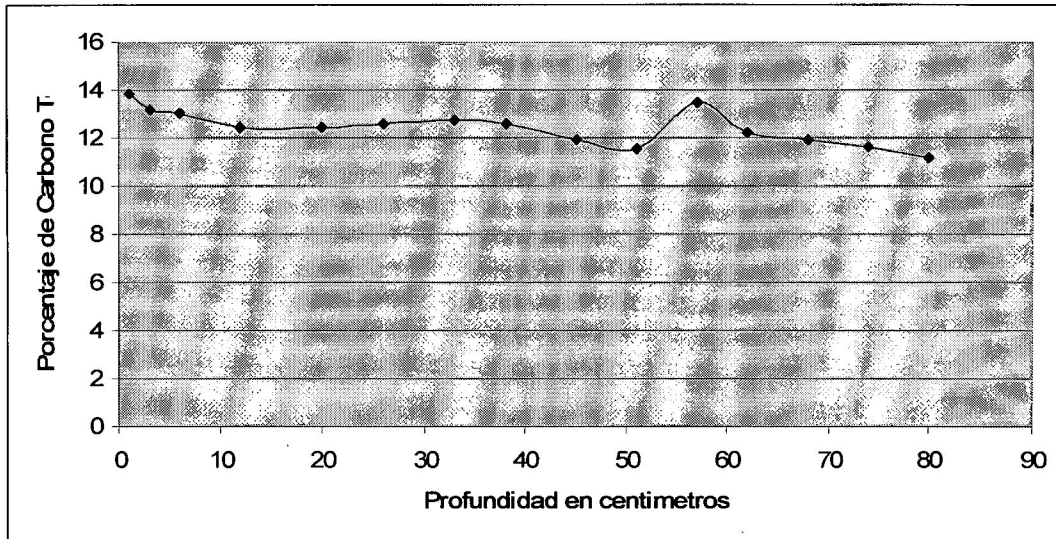
Grafica #5 Porcentaje de Carbono Inorgánico en Santa Elena



Grafica #6 Porcentaje de Carbono Orgánico en Santa Elena



Grafica #7 Porcentaje de Carbono Total en Santa Elena



Grafica #8 Porcentaje de Nitrógeno Total en Santa Elena

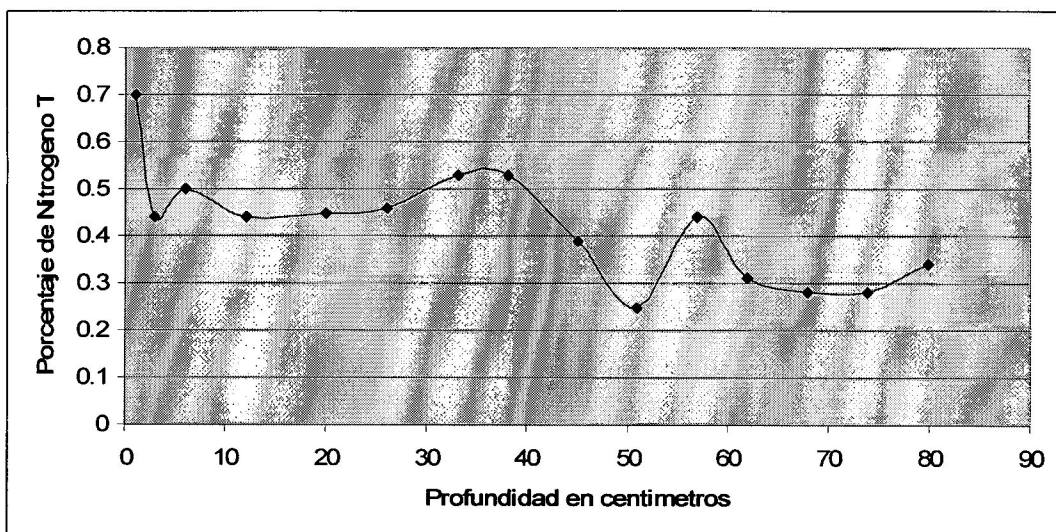


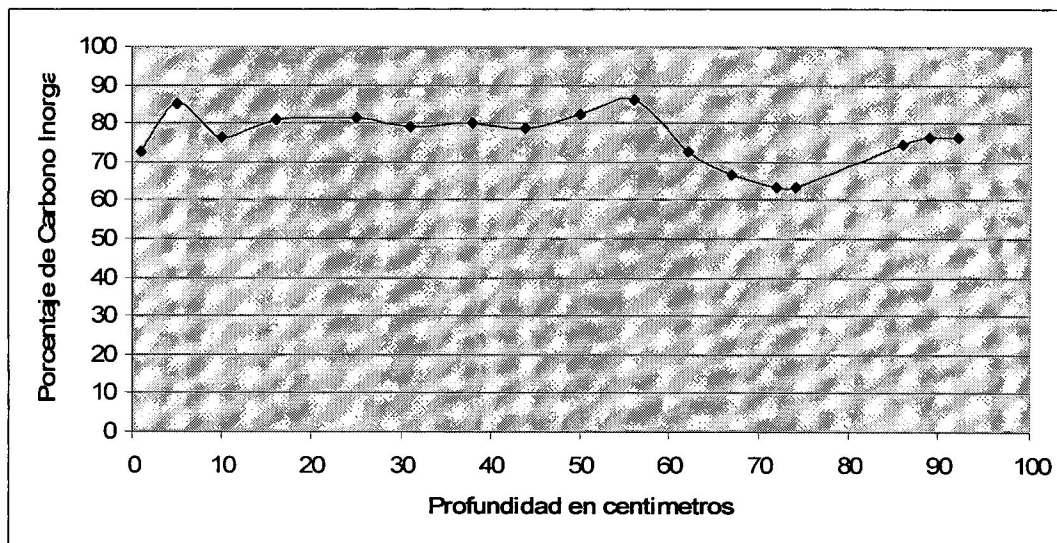
Tabla #22 Valores de Actividad en dmp/g correspondientes a Profundidad en centímetro de Aeropuerto

Aeropuerto	
Profundidad en metros	Pb- ²¹⁰ Actividad (dpm/g)
1-5	2.5
5-10	2.3
10-16	1.2
16-25	1.1
25-31	1.7
31-38	0.3
38-44	1.5
56-62	0.7
72-74	1.8
92-94	1.6

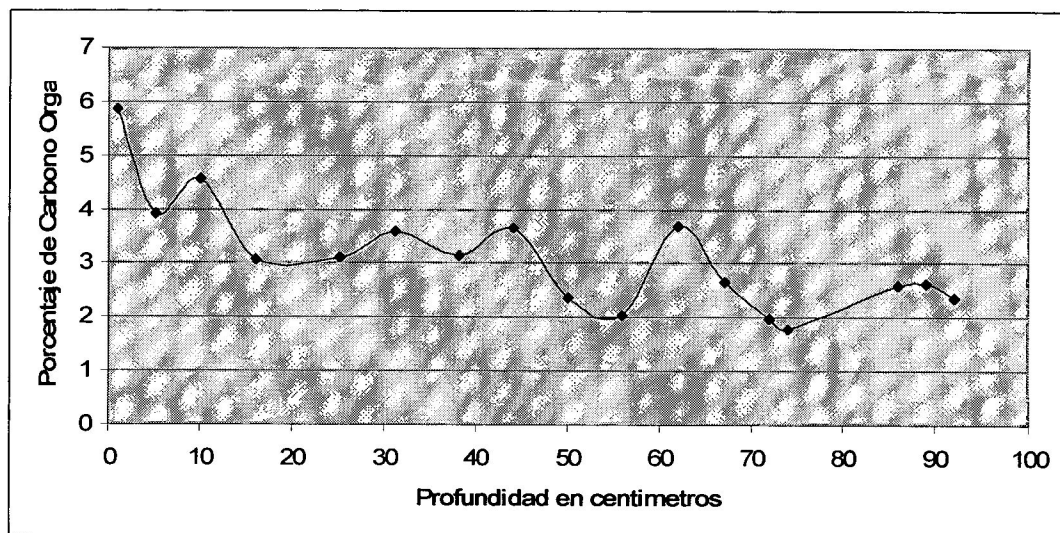
Tabla #23 Valores de Macronutrientes correspondientes a Profundidad en centímetro de Aeropuerto

Profundidad en centímetros	%Carbono Inorgánico	%CaCO ₃ (= % IC * 8.333)	Total %N	Total %C	%C. Orgánico (= %C. total- C. inorgánico)
AEP 1	8.729034916	72.74166667	0.68	14.58	5.850965084
AEP 5	10.24104096	85.34166667	0.62	14.16	3.918959036
AEP 10	9.173036692	76.44166667	0.53	13.73	4.556963308
AEP 16	9.744238977	81.20166667	0.33	12.82	3.075761023
AEP-25	9.770639083	81.42166667	0.34	12.89	3.119360917
AEP 31	9.486237945	79.05166667	0.36	13.08	3.593762055
AEP 38	9.602638411	80.02166667	0.33	12.76	3.157361589
AEP 44	9.456237825	78.80166667	0.37	13.11	3.653762175
AEP 50	9.895439582	82.46166667	0.25	12.27	2.374560418
AEP 56	10.31304125	85.94166667	0.24	12.37	2.056958748
AEP 62	8.721834887	72.68166667	0.3	12.41	3.688165113
AEP 67	7.988631955	66.57166667	0.43	10.64	2.651368045
AEP 72	7.62743051	63.56166667	0.13	9.61	1.98256949
AEP 74	7.615430462	63.46166667	0.21	9.4	1.784569538
AEP 86	8.946235785	74.55166667	0.24	11.54	2.593764215
AEP 89	9.176636707	76.47166667	0.22	11.8	2.623363293
AEP 92	9.15503662	76.29166667	0.22	11.51	2.35496338

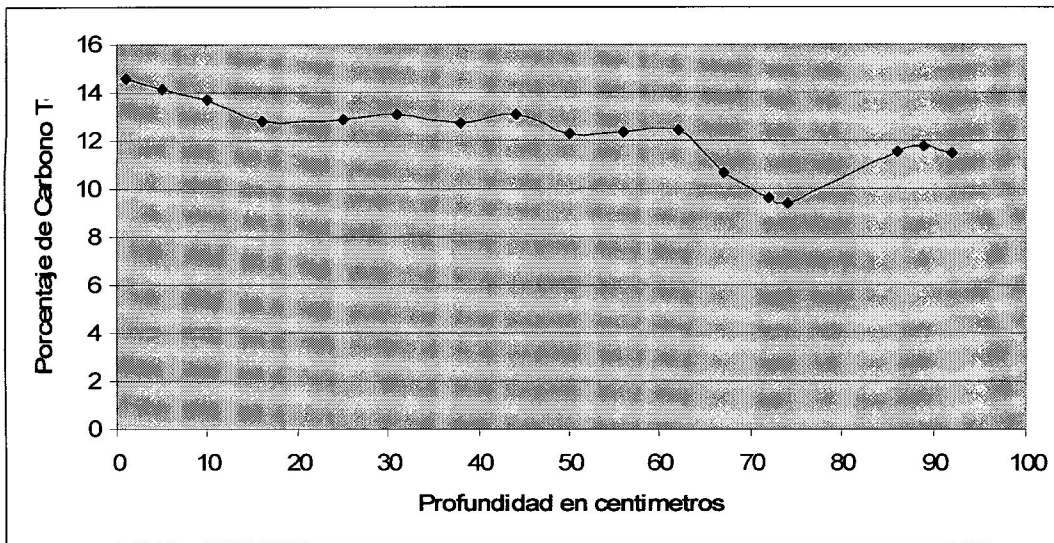
Grafica #9 Porcentaje de Carbono Inorgánico del Aeropuerto



Grafica #10 Porcentaje de Carbono Orgánico del Aeropuerto



Grafica #11 Porcentaje de Carbono Total del Aeropuerto



Grafica #12 Porcentaje de Nitrógeno Total del Aeropuerto

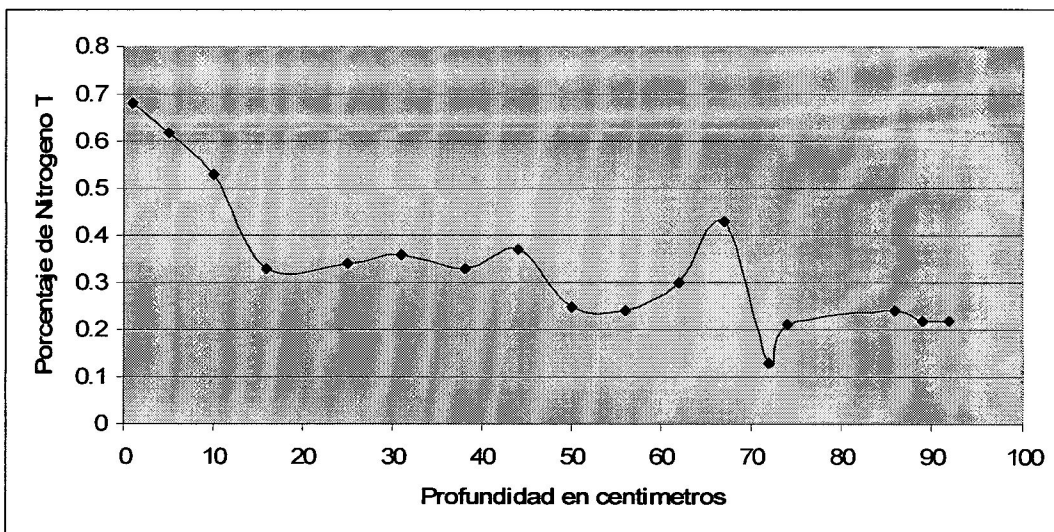


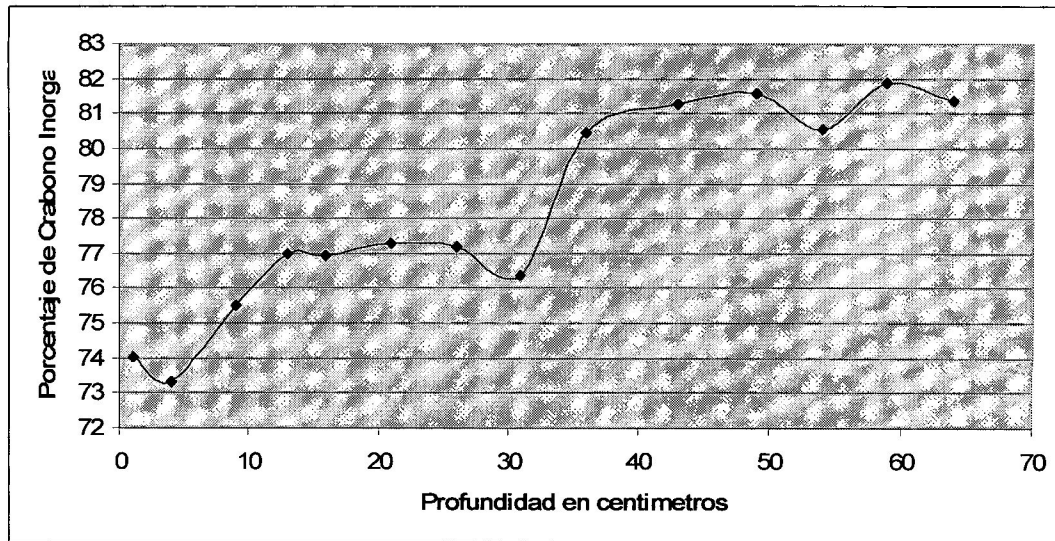
Tabla #24 Valores de Actividad en dmp/g correspondientes a Profundidad en centímetro de La Chingada

La Chingada	
Profundidad en centímetros	Pb- ²¹⁰ Actividad (dpm/g)
1-4	1.6
4-9	0.9
9-13	1.4
13-16	1.0
16-21	1.4
21-26	0.8
26-31	1.4
31-36	0.3
36-43	0.9
43-49	TBD
49-54	TBD
54-59	TBD
59-64	TBD
64-67	0.2

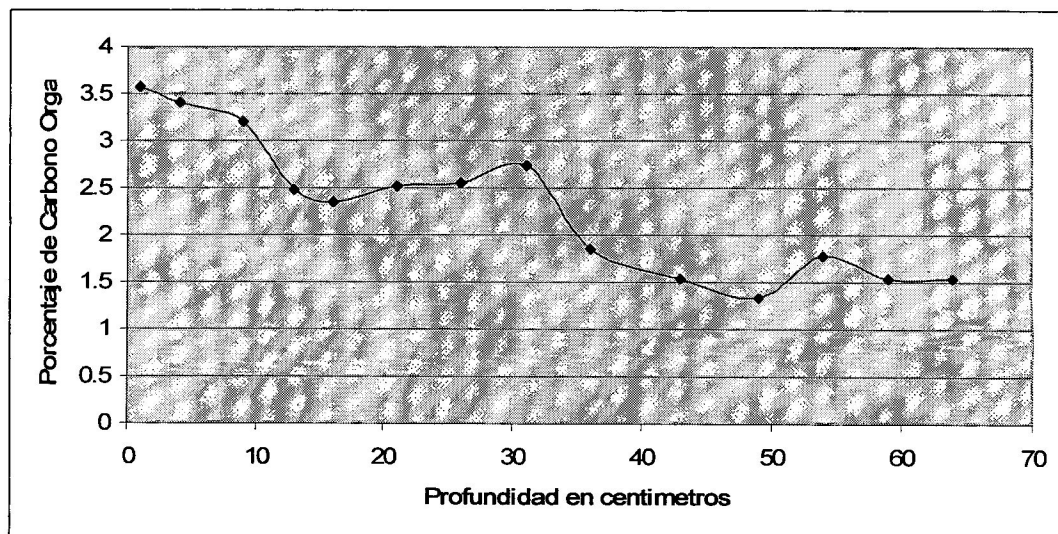
Tabla #25 Valores de Macronutrientes correspondientes a Profundidad en centímetro de La Chingada

Muestra	%Carbono Inorgánico	%CaCO ₃ (= % IC * 8.333)	Total %N	Total %C	%C. Orgánico (= %C. total- C. inorgánico)
CNG 1	8.883395534	74.028	0.42	12.46	3.576604466
CNG 4	8.801795207	73.348	0.41	12.2	3.398204793
CNG 9	9.060996244	75.508	0.38	12.27	3.209003756
CNG 13	9.236196945	76.968	0.31	11.72	2.483803055
CNG 16	9.233796935	76.948	0.3	11.59	2.356203065
CNG 21	9.278197113	77.318	0.33	11.8	2.521802887
CNG 26	9.26259705	77.188	0.33	11.81	2.54740295
CNG 31	9.164196657	76.368	0.32	11.9	2.735803343
CNG 36	9.65499862	80.458	0.25	11.5	1.84500138
CNG 43	9.752199009	81.268	0.24	11.29	1.537800991
CNG 49	9.788199153	81.568	0.23	11.12	1.331800847
CNG 54	9.668138673	80.5675	0.28	11.44	1.771861327
CNG 59	9.824139297	81.8675	0.23	11.36	1.535860703
CNG 64	9.761739047	81.3475	0.23	11.29	1.528260953

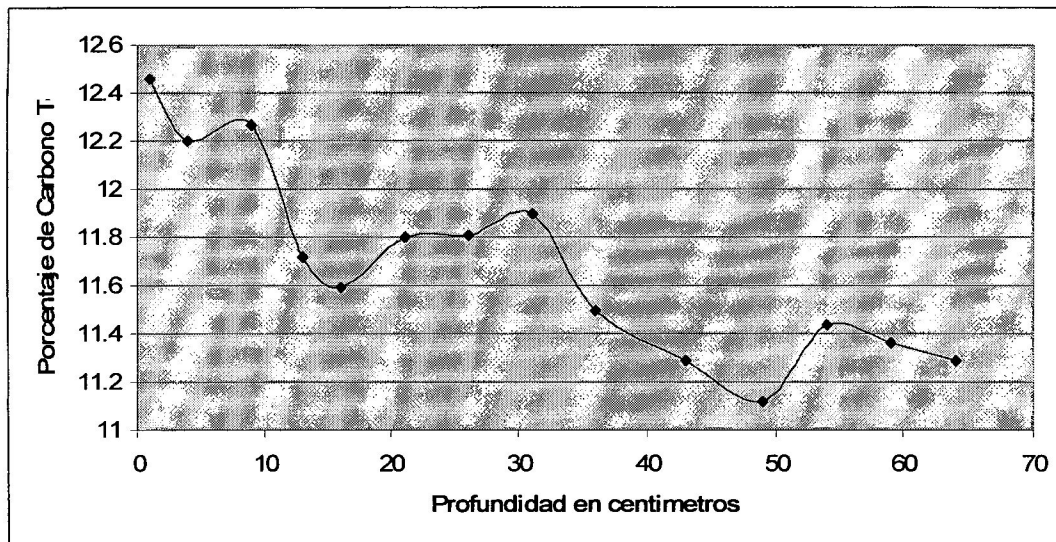
Grafica #13 Porcentaje de Carbono Inorgánico en La Chingada



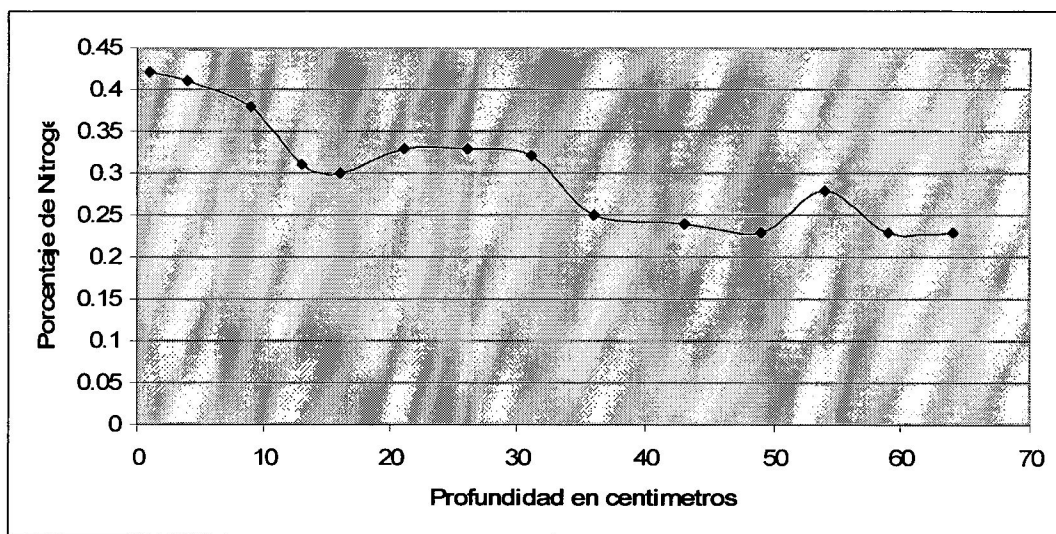
Grafica #14 Porcentaje de Carbono Orgánico en La Chingada



Grafica #15 Porcentaje de Carbono Total en La Chingada



Grafica #16 Porcentaje de Nitrógeno Total en La Chingada



8.4 Resultado de los perfiles en núcleos de sedimentos de cada cinco centímetros

Tabla #26 Compuestos mayoritarios identificados en sedimentos de San Benito

San Benito

Profundidad
en cm

Compuestos Mayoritarios	
0	Materia orgánica adherida a cristales de carbonato, Cuarzo, Fitoplancton, Cuarzo
5	Fitoplancton, Diatomeas (7) (8), Materia organica aderida a cristales de carbonato, Fitoplancton.
10	Materia orgánica adherida a cristales de carbonato, Fitoplancton, Diatomeas (7), Cuarzo.
15	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Diatomeas (7), Cuarzo, Fitoplancton.
20	Materia organica aderida a critales de Carbonato, Fitoplancton, Diatomeas (7), Fitoplancton.
25	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Diatomeas (7), Cuarzo, Fitoplancton, Pigmentos de color café y verde.
30	Diatomeas (9) (4), Fitoplancton, Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato.
35	Materia orgánica adherida a cristales de carbonato, Fitoplancton, Diatomeas (1) (9)
40	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Diatomeas (7) (8), Fitoplancton, Pigmentos azules y verdes en cristales de Carbonato.
45	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Fitoplancton, Diatomeas (9) (7), Pigmentos verdes y café.
50	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (10) (9) (7), Fitoplancton.
55	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (9).
60	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Diatomeas (9) (7) (2), Pigmentos verdes claros en cristales de Carbonato.
65	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Pigmento Café aderido a cristales de Carbonato, Diatomeas (9).
70	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (9) (8), Fitoplancton.
75	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Pigmento verdeentre cristales de Carbonato, Diatomeas (7)
80	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Cuarzo, Fitoplancton.
85	Materia orgánica adheridas a cristales de Carbonato, Pigmentos verdes adherido cristales de Carbonato.

Tabla #27 Compuestos mayoritarios identificados en sedimentos Santa Elena

Santa Elena

Profundidad
en cm

Compuestos Mayoritarios

	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Diatomeas (10) (9),
0	Pigmentos de color verde adherido a cristales de Carbonato, Fitoplancton.
5	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (10) (9) (8) (2), Fitoplancton.
10	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Diatomeas (10) (9) (7) (6), Fitoplancton, Cuarzo
15	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (10) (9) (7), Fitoplancton.
20	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (10) (9) (7) (2), Fitoplancton.
25	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Diatomeas (10) (9) (2), Cuarzo, Cristales color café.
30	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (10) (9) (7) (6), Fitoplancton.
35	Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (10) (9) (7) (1), Fitoplancton.
40	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Fitoplancton, Cuarzo.
45	Materia organica aderida a criateles de Carbonato, Fitoplancton, Diatomeas (9).
50	Materia organica aderida a criateles de Carbonato, Fitoplancton.
55	Materia organica aderida a criateles de Carbonato, Fitoplancton, Diatomeas (2).
60	Materia organica aderida a criateles de Carbonato, Fitoplancton, Diatomeas (9).
65	Materia organica aderida a criateles de Carbonato, Fitoplancton, Diatomeas (9).
70	Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Fitoplancton, Cuarzo.

Tabla #28 Compuestos mayoritarios identificados en sedimentos Aeropuerto

Aeropuerto

Profundidad
en cm

Compuestos Mayoritarios

- | | |
|----|--|
| 0 | Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (9). |
| 5 | Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (9) (7),
Fitoplancton. |
| 10 | Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Fitoplancton. |
| 15 | Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Diatomeas (9).
Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Pigmentos azules y
verdes adheridos |
| 20 | a cristales de Carbonato.
Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Pigmentos azules y
verdes adheridos |
| 25 | a cristales de Carbonato. |
| 30 | Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Fitoplancton, Cuarzo.
Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Fitoplancton, Pigmentos
azules y |
| 35 | verdes adheridos a cristales de Carbonato.
Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Fitoplancton, Diatomeas |
| 40 | (9), Cuarzo, Fitoplancton. |
| 45 | Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Fitoplancton, Diatomeas
(9), Fitoplancton. |
| 50 | Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Fitoplancton, Diatomeas
(9). |
| 55 | Materia organica aderida a cristales de Carbonato. |
| 60 | Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Fitoplancton. |
| 65 | Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Fitoplancton. |
| 70 | Materia organica aderida a cristales de Carbonato, Fitoplancton. |
| 75 | Materia orgánica adherida a cristales de Carbonato, Cuarzo. |

IX. Discusión de Resultados

Parámetros estudiados en muestras de agua

Los resultados obtenidos fueron evaluados en función de las condiciones climáticas que prevalecieron durante cada muestreo y en cada uno de los sitios en los cuales se efectuaron.

El primer muestreo fue programado para el mes de octubre, época lluviosa y clima templado, en este periodo hubo mucha lluvia, con el consiguiente aumento en el nivel del agua del lago, con efecto de la dilución del material disuelto y suspendido en el lago.

El segundo muestreo se realizó en el mes de noviembre, durante este mes las condiciones climáticas que prevalecieron fueron: clima con mucha lluvia, temperaturas bajas ocasionadas por frente frío proveniente del norte de la península de Yucatán. Ocurriendo el mismo efecto sobre la disolución del material suspendido y disuelto en el agua del lago.

El tercer muestreo se realizó en el mes de febrero, para este mes las condiciones climáticas que prevalecieron fueron: poca lluvia y levemente caliente (templado). Durante esta época la temperatura y el porcentaje de humedad empezaron a aumentar significativamente comparando con los valores que se registraron hacia el mes de noviembre. Debe de mencionarse el efecto que tuvieron estos factores sobre las condiciones internas del lago, ya que se produjo una disminución en el nivel del agua y un proceso de reconcentración de las especies disueltas y suspendidas.

El cuarto muestreo se realizó en el mes de mayo, durante este mes las condiciones climáticas que prevalecieron fueron: clima caluroso y total sequía. Es importante señalar el efecto que causaron estos factores sobre las condiciones del lago, como lo es una disminución significativa en el nivel del agua del lago, dándose procesos de reconcentración de las especies disueltas y suspendidas en el mismo. Obteniéndose los resultados en algunos parámetros un aumento y en otros un descenso.

9.1 Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH en aguas superficiales de los cuerpos de agua debe de encontrarse en el intervalo de 6.0 a 9.0 unidades de pH. Como puede observarse en la tabla de resultados No.1, el rango en el que se encuentran los resultados de los 4 muestreos realizados es de 7.73 a 8.44 unidades de pH.

El valor de pH mas bajo de los cuatro muestreos se encuentra en el tercer muestreo que corresponde al mes de febrero, en el sitio localizado en Santa Elena. El valor de pH más alto corresponde al cuarto muestreo correspondiente el mes de mayo, en el sitio localizado en San Benito.

Es importante señalar que el pH del agua se encuentra en relación directa con el equilibrio carbónico y la actividad de los microorganismos acuáticos. Así también se debe de tomar en cuenta que la actividad fotosintética disminuye la cantidad de dióxido de carbono, así también la respiración de organismos heterotróficos aumenta su contenido, con lo cual se compensa el efecto de la disminución del pH en el agua. La disminución del valor de pH en este caso se debe posiblemente a la cantidad de materia orgánica disuelta en forma de ácidos orgánicos derivados de compuestos humicos. Estos compuestos tienen una gran variedad de estructuras que poseen una gran variedad de complejos ligandos que tiene distintos valores de pKa y esto explica las variaciones de los valores dentro de cada uno de los muestreos, en regiones que son ricas en materia orgánica en descomposición tales como Sacpuy, Santa Elena y La chingada.

Cabe mencionar que el sitio de muestreo en donde se reportó el valor mas bajo de pH fue en Santa Elena, en este sitio se observo la presencia de bastante vegetación (Polol, Nape), con lo cual se da la disminución del valor del pH.

El valor de pH más alto corresponde la sitio llamado San Benito, correspondiente al cuarto muestreo. El cual se realizo en época seca, así también este sitio de muestreo presenta una baja cantidad de materia orgánica en descomposición.

Los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores establecidos como normativa por La Environmental Protection Agency (EPA), el cual lo ha establecido dentro del rango de 6.5 a 9 unidades de valor para pH.

9.2 Temperatura

Es importante considerar que la temperatura es un factor determinante en muchos sentidos. Los valores de temperatura se encuentran reportados en tabla d resultados No.2 dentro del rango 23.5 a 31.2 ~C.

El valor mas bajo reportado de temperatura corresponde la sitio localizado como San Benito, correspondiente el tercer muestreo realizado en el mes de noviembre. Cabe mencionar que este muestreo coincidió con el frente frío que paso por el norte del país, proveniente del norte de la península de Yucatán.

El valor más alto de temperatura reportado corresponde al sitio llamado Aeropuerto correspondiente al cuarto muestreo realizado en el mes de Mayo. Es importante mencionar que en este mes es en donde se alcanzan los valores mas altos de temperatura ya que esta es una época de mucho calor y baja precipitación pluvial.

Es importante mencionar que la temperatura afecta directamente proporcional la solubilidad de las sales e inversamente proporcional a la solubilidad de los gases en el agua. En general la temperatura afecta todas las propiedades tanto químicas como componentes microbiológicos que redundan en la presencia o ausencia de sustancias como nutrientes tales como los fosfatos y los nitritos.

La temperatura en los cuerpos de agua como es el caso de los lagos, es reflejo del contenido de calor que depende del balance instantáneo entre la entrada, almacenamiento y salida de este. Wetzel (15) recalca el hecho de que la temperatura dependerá de las entradas de calor que incluyen radiación solar de onda corta y radiación de onda larga que tiene origen atmosférico y forestal proveniente de la condensación y de la precipitación, junto con el calor que se genera en los encuentros de afluentes. Las salidas se dan por reflexión de la radiación solar, atmosférica, forestal y por evaporación. Si bien en los sitios muestreados predomina las zonas descubiertas (sin sombra), lo cual deja completamente expuesto a la radiación.

La Environmental Protection Agency (EPA) tiene como normado que la temperatura de los cuerpos de agua debe de estar dentro un rango de 29.4 a 32.2°C. Este rango es dependiente de la ubicación del cuerpo de agua. Como puede observarse el valor mas bajo de temperatura sale por debajo del valor normado, pero debe de tomarse en cuenta que en la fecha que se realizo el segundo muestreo, la península de Yucatán esta pasando por un frente frío, lo cual dio como resultado una disminución del valor de la temperatura en el cuerpo de agua. Así mismo el valor más alto de temperatura no pasa el límite superior normado.

9.3 Oxigeno Disuelto

La importancia que tiene el oxígeno en los cuerpos de agua es innegable, ya que este gas guarda una relación muy estrecha con la capacidad para sostener la vida de los organismos que viven dentro del cuerpo de agua, además se relaciona con el metabolismo de todos los organismos aeróbicos.

La cantidad de oxígeno que se puede medir en un momento determinado en el cuerpo de agua, dependerá de el resultado de la interacción de dos procesos definidos: el primer proceso es el suministro de oxígeno proveniente de la atmósfera y

de los procesos fotosintéticos que se llevan a cabo con la consecuente distribución del mismo. El otro proceso, que es inverso al primero es el consumo del oxígeno por parte de la biota aeróbica que habita dentro del cuerpo de agua y las reacciones químicas que se llevan a cabo.

También se deben de evaluar otros factores que afectan la solubilidad de cualquier gas dentro, como lo es la temperatura. Un aspecto importante a considerar es la tendencia de las aguas superficiales, es a estar bien oxigenadas, Marin (14) señala que inclusive se presentan sobresaturaciones, debido al intercambio gaseoso atmósfera-agua, esto aunado a los procesos de fotosíntesis. Este último factor es importante puesto que la oxigenación es más profusa en el día que en la noche cuando cesa la fotosíntesis pero los procesos de respiración no cesan. En todo caso la medición del oxígeno disuelto se realizó en el día.

Los resultados reportados en tabla No.3 de oxígeno disuelto se encuentra dentro del rango de 5.8 a 8.34mg/lt. El valor de oxígeno disuelto mas pequeño corresponde al sitio con nombre Sacpuy, correspondiente al primer muestreo realizado en el mes de octubre. Cabe resaltar que durante este mes predominaron las lluvias, clima nublado. Ya que en época lluviosa existe una mayor precipitación pluvial, ocurriendo el procesos de dilución de las especies, aumentando así también el material disuelto y suspendido, que es arrastrado por la escorrentía, estos materiales lo que ocasionan es un incremento en la demanda de oxígeno por procesos oxidativos. Se debe de mencionar que en Sacpuy existe una gran cantidad de vegetación en descomposición, lo que incrementa la demanda de oxígeno. Ocasionando una disminución del mismo.

El valor más alto reportado se encuentra en el sitio Aeropuerto, correspondiente al cuarto muestreo realizado en el mes de mayo. Se debe de mencionar que en este mes es donde predomina el clima soleado, dando un mayor proceso de fotosíntesis en el cuerpo, aunque se encuentre en una época seca con temperaturas altas.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha señalado que la cantidad que requiere como normativa para el oxígeno disuelto depende de las especies que se desarrollan en el cuerpo de agua. Aunque en términos generales ha establecido un valor mínimo de 3.0mg/L. Puede observarse que el rango obtenido de los cuatro muestreos no sale del valor normado.

9.4 Visibilidad y Profundidad

La visibilidad es un parámetro que se midió para establecer el nivel de turbidez en el lago. Este es debido a que el material en suspensión puede tener un efecto directo sobre el equilibrio que mantiene un medio acuático. La importancia de este parámetro radica en que un exceso de material disuelto impide la fotosíntesis, favoreciendo la disminución del oxígeno disuelto aumentando la demanda del mismo, favoreciendo así un medio reductor, dando como resultado final un pantano.

Los resultados reportados en tabla No.5, para profundidad están en el rango de 1.6 a 8mts. El valor más bajo obtenido corresponde a el sitio llamado Santa Elena, correspondiente al cuarto muestreo en el mes de mayo, cabe mencionar que en este mes las condiciones climáticas que predominaron fueron sequía, dándose una disminución en el nivel del agua de lago. El valor más alto de profundidad corresponde al sitio La chingada correspondiente al tercer muestreo realizado en el mes de febrero a finales de la época lluviosa.

Los valores de visibilidad reportados en tabla No.6 se encuentran dentro del rango 1.0 a 5.0mts. El valor más bajo de visibilidad corresponde al sitio Sacpuy correspondiente al primer muestreo realizado en el mes de octubre. Es importante mencionar que en este mes predominan las condiciones climáticas lluviosa, con lo cual aumenta el material disuelto por la escorrentía, también se debe de tomar en cuenta la fauna que rodea a Sacpuy, este sitio cuenta con una alta cantidad de material en descomposición el cual se encuentra disuelto, aumentando la turbidez del mismo. El valor más alto para la visibilidad se encuentra en el sitio La chingada correspondiente al segundo muestreo realizado en el mes de noviembre. Las condiciones climáticas que predominaron fueron bajas temperaturas, bastante precipitación pluvial, dando un aumento en el nivel del agua, es importante notar que en este sitio la vegetación es moderada por lo que no se encuentra mucha materia orgánica en descomposición, la cual está en suspensión.

9.5 Nutrientes

9.5.1 Nitrógeno

El nitrógeno como tal debe de considerarse como elemento fundamental para el ecosistema estuario que constituye el cuerpo de agua, como lo es en este caso el lago. Es un componente esencial de cada organismo que se desarrolla en el mismo puesto que es un elemento biogénico que se encuentra sobre todo en proteínas. El nitrógeno se encuentra en el lago en tres estados inorgánicos importantes, estos son

los nitratos, nitritos y amonio. Cualquiera de estas formas tiene su origen en toda materia orgánica, ya sea vertida por actividades antropogénicas y también de origen vegetal que accede al medio acuático ya sea por deposición o por descomposición dentro del mismo. Otra fuente importante es el agua de escorrentía que se vierte en el lago, en el cual reincluyen las formas anteriores, además el producto de la disolución de minerales que contribuye significativamente con la cantidad de nitratos que se vierte en el lago.

En cuanto a la actividad antropogénica es importante señalar que las formas que predominan en las aguas servidas domésticas son la urea y amonio, estos son indicadores de contaminación reciente.

9.5.1.1 Nitritos

Los nitritos son una especie químicamente poco estable, ya que constituyen un estadio intermedio entre el amonio y nitrato, dentro del proceso de oxidación-reducción.

Tomando en cuenta el carácter predominantemente básico que presenta el lago, debido a su geoquímica, este medio es altamente oxidante, por lo que predomina con mucha facilidad la especie química más estable que será el nitrato.

La presencia de nitritos es indicio de contaminación de carácter fecal reciente. Marin (14) señala que en aguas superficiales bien oxigenadas, las concentraciones de nitrógeno de nitritos no supera 0.100 mg/L, puede observarse en la tabla No.7, las concentraciones de nitrógeno de nitrito se encuentran dentro de un rango 0.000 a 0.003 mg/L. Concentración que no supera lo indicado por Marin.

Los datos obtenidos con valores iguales o muy similares a cero, no debe de interpretarse como si no existe contaminación con nitrógeno de nitritos, por el contrario las concentraciones presentes en las muestras son muy bajas que salen de los valores de la curva de calibración. Es importante señalar que los valores más altos se encuentran en los muestreos tercero y cuarto, en donde las condiciones climáticas que predominaron fueron: clima caluroso y sequía.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido como recomendación un valor máximo de 1.0 mg/L de nitrógeno de nitritos. Como puede observarse, en ningún momento los valores obtenidos se aproximan a dicho valor máximo recomendado.

9.5.1.2 Nitratos

La presencia de nitratos en el agua del lago puede explicarse de distintas formas, según las características propias de cada sitio de muestreo. El agua de escorrentía es una fuente importante de nitratos al depositar en el lago nitratos provenientes de la disolución de rocas y minerales, por otro lado también provienen del lixiviado de tierras de cultivo en los cuales se utilizan abonos nitrogenados que contienen nitratos.

Debe de tomarse en cuenta que en sitios en donde no existe poblados como lo es La chingada y Sacpuy, que son fincas de crianza de ganado, el agua de escorrentía arrastra consigo los desechos fecales del ganado. Así también como en los sitios de muestreo que presentan actividad antropogénica profusa como lo es San Benito y Santa Elena, la procedencia de los nitratos dependerá en su mayoría de la oxidación del amonio. Por las condiciones oxidantes que predominan en el agua del lago.

Según Marin (14) las aguas naturales superficiales no suelen contener mas de 10 mg/L de nitrógeno de nitratos y con frecuencia no sobrepasan de 1.0 mg/L. Existe la recomendación para aguas destinadas a conservación que sugiere un máximo de 10 mg/L de nitrógeno de nitratos. Como se puede observar en la tabla No.8, el rango de valores esta dentro de 0.052 a 0.12 mg/L nitratos. Valores que no superan el máximo establecido.

El valor mas alto corresponde al sitio de muestreo llamado San Benito, correspondiente al primer muestreo realizado en el mes de octubre, mes en el cual predominan las lluvias y las temperaturas bajas, debe de tomarse en cuenta que el agua de escorrentía arrastra material vegetal y animal el cual se encuentra en descomposición, sin olvidar el aporte realizado por la oxidación del amonio procedente de desechos fecales.

La Enviromental Protection Agency (EPA) ha normado que la cantidad de nitrógeno de nitratos depende de las especies tanto animales, de macrofitas y de fitoplancton que contenga el cuerpo de agua en cuestión. Pero ha fijado como limite máximo el valor de 10 mg/L de nitrógeno de nitratos. Como puede observarse los valores obtenidos no superan dicho valor máximo establecido.

9.5.1.3 Nitrógeno Total

Este valor es el reflejo de la actividad que se desarrolla dentro del cuerpo de agua, el cual incluye el metabolismo biológico que es bastante complejo, ya que contiene distintas formas nitrogenadas con determinados estados de oxido-reducción, y procesos fisicoquímicos- microbiológicos que se interrelacionan entre si. Todo el

nitrógeno que se encuentra en cada una de las etapas mencionadas anteriormente tiene como destino final la forma de nitrato, el cual puede ser asimilado por algas y macrohidrofitas como un nutriente esencial, el cual puede establecerse como un factor clave en el proceso de eutrofización.

Dada esta importancia en el proceso de eutrofización, se ha fijado una recomendación para aguas destinadas a conservación de especies la cual señala que los valores no deben de superar los 10 mg/L en nitrógeno total. Como puede observarse en la tabla No.9, los valores se encuentran dentro del rango 0.347 a 4.059 mg/L de nitrógeno total, valores que no supera el valor señalado.

Los valores mas altos se encuentran registrados en la época seca, que corresponden al cuarto muestreo, en el sitio de muestreo llamado el Aeropuerto, es importante mencionar que en este sitio en particular presenta los valores mas altos de temperatura y oxígeno disuelto, así también es uno de los sitios con menor profundidad. Dándose la reconcentración de las especies y aumentando el medio oxidante, prevaleciendo la forma mas estable en este medio, que es el nitrato. La Environmental Protection Agency (EPA) no posee una normativa para el nitrógeno total.

9.5.2 Fósforo

El fósforo es un elemento que en los sistemas acuáticos se considera esencial para el mantenimiento de la vida, Marin (14) recalca su importancia en el complejo ciclo bioquímico en el cual esta involucrado tanto en estado inorgánico como orgánico y en los cuales las transformaciones se verifican sobre todo gracias al metabolismo microbiano.

El fósforo en general debe de considerarse como un factor limitante para el crecimiento del fitoplancton y de los organismos vegetales acuáticos en el agua del lago, un aumento del mismo producirá un aumento del metabolismo, dando como resultado un aumento excesivo de organismos, lo cual aumenta la demanda bioquímica de oxígeno y aumenta la producción de material orgánico que produce el fenómeno de eutrofización.

9.5.2.1 Fósforo de Orto-fosfatos

No existe una reglamentación del valor máximo para el fósforo de orto-fosfatos en ningún listado de valores guía, sin embargo existen recomendaciones sobre el valor de fósforo total que debe contener agua destinada a la preservación, en las cuales se incluye el valor de fósforo de orto-fosfatos. Este valor recomendado es de

0.025 mg/L de fósforo. Sin embargo Marin (14) señala que los contenidos de fósforo total de aguas naturales no contaminadas son del orden de 0.100mg/L a 1.0 mg/L aunque en esta ultima condición según Wetzel (15), ya se encuentra en un estado eutrófico.

Como puede observarse en la tabla No.10, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de 0.00 a 0.12 mg/L. Como puede observarse en la tabla No. 10 la mayoría de los datos obtenidos supera el valor recomendado. No debe entenderse los valores de 0.00 mg/L como total ausencia de fósforo de orto-fosfatos, sino que las concentraciones son mas bajas que el límite de detección del método.

Es importante mencionar que los valores mas altos obtenidos corresponden al primer muestreo realizado en el mes de octubre, el cual es lluvioso, cave mencionar que el valor mas alto obtenido corresponde al sitio llamado San Benito, este punto de muestreo se encuentra frente a una comunidad de gran tamaño, en donde la densidad poblacional es grande, arrojando todos los desechos domésticos y aguas servidas al lago aumentando de esta manera las concentraciones de contaminantes.

Es importante mencionar que la escorrentía lava los suelos en los cuales el fósforo de orto-fosfatos se encuentra como residuo de actividad ganadera o agrícola y por vertidos domestico en los cuales se incluyen cantidades significativas de polifosfatos utilizados en los detergentes y que se intensifican como producto de las inundaciones de las poblaciones. Es significativo el hecho de que los valores mas altos se encentren en las áreas en las que se encuentran poblaciones como San Benito y Santa Elena en donde usualmente se ubican lavaderos comunales. También es importante mencionar las áreas que no presentan poblaciones como lo son Sacpuy y La chingada, en donde las concentraciones de fósforo de orto-fosfato reportado se debe en gran medida a la actividad de la escorrentía, que lleva el fósforo del suelo circundante al agua del lago.

Considerando que los valores obtenidos sobrepasan el valor recomendado, pero se encuentran dentro de los valores normales de aguas naturales no contaminadas y no llegan en ningún momento a alcanzar los valores característicos de aguas residuales domesticas donde el valor es de 15 mg/L. La enviromental Protection Agency (EPA) no ha normado la cantidad de fósforo de orto-fosfatos en aguas superficiales, pero señala que a partir de 0.05 mg/L se encuentra en un estado de eutrofización.

9.5.2.2 Fósforo Total

El valor recomendado para fósforo total ya se mencionó con anterioridad. La medición efectuada permite evaluar las cantidades totales de fósforo presente, el cual se encuentra en formas orgánicas e inorgánicas que debido a los complejos ciclos bioquímicos y fisicoquímicos en los que se involucra el fósforo tienen la potencialidad de convertirse en orto-fosfatos que representan la forma utilizable del mismo.

En la tabla No.11 puede observarse que los valores de fósforo total reportado se encuentran dentro del rango de 0.234 a 14.185 mg/L de fósforo. Como puede observarse en la tabla de resultados la mayoría de los datos se encuentran dentro del rango establecido, tomando en cuenta los datos del sitio el Aeropuerto que sobrepasa el valor recomendado, pudiéndose observar que el valor más alto reportado corresponde al tercer muestreo en el cual las lluvias son bajas entrando en una temporada seca, dándose la reconcentración de las especies y sustancias arrastradas por el agua de escorrentía.

Es importante mencionar que los sitios poblados los valores de fósforo total son relativamente altos, cercanos al valor máximo recomendado, que corresponden a un medio eutrofizado, tal como Santa Elena que presenta su valor máximo en el tercer muestreo. Esta medición hace evidente que existe vertido de aguas domésticas y que son significativas por el hecho de que las orillas del lago están siendo utilizadas como lavaderos comunales. La Environmental Protection Agency (EPA) ha normado como límite máximo un valor de 0.10 mg/L para aguas estuarinas, este no es el caso para un cuerpo de agua como lo es el lago, simplemente es para tener una idea del valor por donde deberían de estar los datos obtenidos, como puede observarse los valores obtenidos superan dicho valor.

9.6 Sulfatos

Las concentraciones de sulfato se utilizan para caracterizar las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua y su relación con las cuencas hidrológicas en las que se ubican. Según Marin (14) la concentración de sulfatos es variable y oscila entre 20 y 50 mg/L en cuerpos de agua natural. Los datos reportados en la tabla No.12, se encuentran dentro del rango de 100.23 a 1198.3 mg/L de sulfatos.

Estas concentraciones tienen su origen en la disolución de minerales que son arrastrados por escorrentía, por la oxidación de los sulfuros que son producto de la descomposición de material orgánico y de la geoquímica del lago. Es de suma importancia mencionar el origen de este lago que es tectónico-cárstico. Este cuerpo de

agua se encuentra localizado dentro de la plataforma de Yucatán, capa tectónica estable y topografía baja que comprende la península de Yucatán, y la parte central y norte del departamento de Petén. En su parte sur, la plataforma presenta un amplio pliegue en dirección este-oeste denominada Arco de la libertad. En el borde norte del área afloran carbonatos, rocas cársticas y evaporitas.

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado no se deben de interpretar las altas concentraciones de sulfatos como contaminación del tipo industrial, por el contrario se debe de entender que parte de este valor corresponde a la materia orgánica en descomposición. El valor más alto se encuentra en Santa Elena, correspondiente al cuarto muestreo realizado en el mes de mayo, mes de sequía temporada calurosa donde se da la reconcentración de las especies. La Environmental Protection Agency (EPA) no ha establecido una normativa con respecto a este parámetro.

9.7 Demanda Química de Oxígeno

Esta determinación da una medida de la cantidad de materia oxidable presente en la muestra de agua tanto orgánica como inorgánica. La cantidad de material vegetal que se deposita en el lago constituye una fuente muy importante de este material. Los valores más altos se encontraron en sitios en donde la actividad antropogénica no es alta como lo es en el sitio La Chingada, pero presenta mucha vegetación en temporada de baja lluvia en donde se da el arrastre de las especies vegetales por la poca agua de escorrentía, incorporando material oxidable al lago procedente de las orillas.

Al comparar los datos, se podrá observar que en época lluviosa los valores son bajos pero a medida que va pasando la temporada de lluvia y va ingresando la época seca, se da el aumento de los valores, como se puede observar los resultados obtenidos en la tabla No.13, el promedio de los resultados obtenidos en el cuarto muestreo son mayores a los resultados obtenidos en el tercer muestreo.

Es interesante observar que la cantidad de oxígeno disuelto corresponde en cierta medida con la demanda química de oxígeno, y en los muestreos donde hubo una fuerte demanda de que en promedio hay mayor cantidad de gas disuelto, lo que expresa la capacidad del ecosistema en general de compensar los desbalances que ocurren y que se hacen evidentes sobre todo en las mediciones que se realizaron en el tercer y cuarto muestreo. La Environmental Protection Agency (EPA) no ha establecido norma alguna para la medición de este parámetro.

9.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅

Esta medición tiene un fundamento mas biológico que químico, debido a que se refiere a la cantidad de oxígeno que la biota presente en la muestra de agua requiere para consumir la materia orgánica presente en un intervalo de cinco días a 20°C, potenciando su acción a través de nutrientes.

Desde el punto de vista químico debe interpretarse como la cantidad de material orgánico y nutrientes inorgánicos presentes en la muestra que se oxidan en condiciones favorables y que depende de la mayor o menor cantidad de material depositado en el agua del lago. En los datos reportados en el la tabla No.14, los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de 0.1 a 3.03 mg/L de oxígeno. El valor mas alto corresponde al sitio llamado Santa Elena correspondiente al cuarto muestreo realizado en el mes de mayo, este mes presenta las temperaturas mas altas y sequía, dándose la reconcentración de las especies presentes. Este sitio en el cual se encuentra el valor mas alto de demanda bioquímica de oxígeno, corresponde a sitios habitado en donde la actividad antropogénica es profusa , en temporada seca presenta una leve tendencia a aumentar, en temporada lluviosa tienden a disminuir.

Esta disminución puede entenderse por un acusado proceso de dilución, sin embargo no debe de obviarse el factor biológico ya que el metabolismo microbiano se ve afectado por una disminución de la temperatura, de pH y de la cantidad de oxígeno disuelto, factores que ya se mencionaron y que son determinantes en este caso. La Enviromental Protection Agency (EPA) no ha establecido una normativa para los valores obtenidos de la medición de este parámetro.

9.9 Sólidos Totales

Los sólidos totales como tales son un indicador de la cantidad total de materia orgánica e inorgánica presente en aguas superficiales de fuentes naturales. En aguas provenientes de fuentes naturales es usual encontrar valores de 300 a 400 mg/L. En la tabla de resultados No.15, se puede observar que los datos obtenidos se encuentran dentro del rango de 488 a 1872 mg/L. Los datos en todo momento se encuentran por arriba de los valores normales.

En términos generales los resultados obtenidos reflejan la cantidad de materia que esta contenida en el agua del lago y refuerza el hecho de que es un ecosistema altamente complejo puesto que las sustancias presentes se involucran en distintos procesos fisicoquímicos-microbiológicos que le dan las características particulares al

agua del lago. Sin embargo en cuanto a las épocas de lo muestreos, puede observarse en la tabla de resultados No.15 que existe un aumento en la concentración en época seca, si se compara con los datos obtenidos en época lluviosa, dándose el proceso de dilución.

La Environmental Protection Agency (EPA) no tiene establecida una norma para este parámetro.

9.10 Sólidos Suspendidos

Esta determinación muestra la cantidad de material suspendido que se encuentra presente en el agua del lago. Usualmente valores altos se relacionan con un nivel alto de salinidad. Como puede verse en la tabla de resultados No.16, los valores se encuentran dentro del rango de 368 a 1908 mg/L.

Esto es significativo en el sentido que el lago hay una gran cantidad de vegetación que deposita material en el lago, este material se descompone en ácidos húmicos con agentes complejantes significativos. Estos se encargan de atrapar los iones y los enmascaran al momento de hacer la medición. Los valores obtenidos deberían de corresponderse con valores elevados de salinidad, como lo es este caso del lago que presenta una gran cantidad de iones disueltos. El parámetro no puede distinguir el origen del material y la medición, al igual que en los sólidos totales, resulta ser de valores muy altos, en los cuales no es significativo evaluar uno por uno sino como tendencia en grupo.

En este sentido, el comportamiento es el mismo que tienen los sólidos totales, puesto que un porcentaje de sólidos totales esta formado por sólidos disueltos. Los valores mas altos se reportan en la temporada de mayor sequía que es en el cuatro muestreo. La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido un máximo de 250 mg/L para agua de consumo, los valores obtenidos se encuentran muy por encima de este valor. Sin embargo es necesario mencionar que este valor no esta normado para cuerpos de agua sino para aguas de uso domestico.

9.11 Sólidos Filtrables

Estos sólidos son de sumo interés para el mantenimiento del ecosistema que se desarrolla en el agua del lago. El principal efecto que tiene es sobre la actividad fotosintética puesto que si se produce una disminución de un 10% de la misma, favorece un proceso de degradación del medio acuático con la siguiente disminución

del oxígeno disuelto total que redundan en condiciones reductoras severas que deterioran el ecosistema.

La vida animal en el agua también se ve afectada puesto que hay determinadas especies que no pueden desarrollarse adecuadamente en presencia de gran cantidad de sólidos suspendidos. Como puede observarse en la tabla de resultados No.17, el rango de datos obtenidos se encuentra dentro del rango de valores de 2 a 375 mg/L. En cuanto al comportamiento estacional, se registran concentraciones elevadas en la época seca, por disminución del nivel del agua y reconcentración del material. En época húmeda se da la disminución de las concentraciones por efecto de la dilución.

El valor más alto reportado corresponde al sitio La Chingada, correspondiente al tercer muestreo realizado en el mes de febrero, mes en el que se dan las últimas lluvias y es inicio de la temporada de sequía. Aunque el valor más alto corresponde al tercer muestreo, el promedio de los resultados obtenidos para el cuarto muestreo es mayor, siendo evidente el efecto de la reconcentración de las especies. Se puede observar que en los muestreos realizados en temporada seca el sitio La Chingada presenta los valores más altos, siendo evidente la presencia de materia orgánica en descomposición. La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido como normativa el valor de 80 mg/L como máximo para la concentración de sólidos suspendidos, como puede observarse en general los resultados no superan dicho valor, excluyendo los resultados correspondientes a los sitios en donde la presencia de material orgánico existe como lo son La Chingada y Sacpuy, superan dicho valor.

9.12 Resultados del estudio de Sedimentos

El estudio de los sedimentos en columna debe de estudiarse en cuanto a tendencias, ya que no se puede tomar centímetro por centímetro, o capa por capa, ya que esto llevaría a realizar un estudio mucho más extenso y profundo. Por el contrario debe de relacionarse los datos obtenidos de profundidades correspondientes a años obtenidos con Pb^{210} , con los datos de macronutrientes obtenidos como lo son: nitrógeno total, carbono total, carbono inorgánico y orgánico.

También debe hacerse la relación de contaminación en años anteriores con años recientes, para lo cual se utilizarán como valores guía los macronutrientes, que es el caso del Nitrógeno Total, Fósforo Total y Carbono Total. Esto será para poder evaluar el cambio en las concentraciones de los mismos con el paso del tiempo y evaluar el impacto del humano en el lago.

Ahora se debe de relacionar el grado de contaminación en épocas recientes, con épocas antiguas. Para realizar la comparación se debe de tomar en cuenta que con los análisis en el agua se determinó la concentración de macronutrientes en una solución, pero al momento de realizar la determinación de macronutrientes en sedimentos, se realizó en una matriz sólida. Por lo que no se podrá realizar la comparación dato a dato, sino se limitara a realizar la comparación de la calidad fisicoquímica del agua del lago, con la tendencia que presentan los resultados de las concentraciones de macronutrientes en sedimentos en columna.

En cuanto a los perfiles no se realizaron interpretaciones de las variaciones climáticas, tomando en cuenta la identificación de los compuestos mayoritarios cada cinco centímetros en la columna de sedimento. La construcción de los perfiles de sedimentos se realizó para tener la idea de los compuestos mayoritarios en los sedimentos, tal como lo son los cristales de carbonatos, siendo estos los cristales que se presentan en alta proporción, tomando en cuenta la geoquímica del lago. Otros componentes identificados en mayor proporción fueron los de diatomeas y fitoplancton, los cuales varían las proporciones y tipos de cada uno en relación al sitio de muestreo. Además no se pueden relacionar directamente los años obtenidos en cuanto a profundidades con los perfiles, ya que las columnas de sedimentos para crear los perfiles no es la misma que se utilizó para realizar la medición de años relacionados con la profundidad. Pero si se puede hacer una aproximación.

Para poder realizar la medición de actividad radioquímica debe presentar una actividad mayor a 2.8 dmp/g. Ya que si encuentran por debajo de este valor no podrá realizarse la estimación de los años con la profundidad. Esto puede deberse a que el sitio en donde fue colectada la columna de sedimentos no presentó una profundidad mayor a 10 metros, se recomienda que la profundidad a la que debe colectarse la columna de sedimentos debe de ser mayor diez metros de profundidad, ya que con este valor de profundidad se asegura que esta parte haya estado cubierta con agua, por lo menos cien años atrás.

9.12.1 San Benito:

En la tabla No.18 se observan los datos en años que corresponde a la profundidad. Como puede observarse en dicha tabla, el método ya no es eficiente para profundidades en las cuales los años correspondientes pasan de los 150 años. Esto se debe a que la actividad que presenta el plomo²¹⁰, es muy baja para poder ser

detectado. Por lo que debería de utilizarse otro método de radio isótopos estables como sería el carbono¹⁴.

Los datos obtenidos correspondientes a años se encuentran dentro del rango del año 2002 a año 1877.

En la grafica de resultados #1, se presentan los resultados correspondientes a Carbono Inorgánico de San Benito, se puede observar la tendencia de los resultados, que la concentración de carbonatos incrementa a medida que se aumenta la profundidad y por consiguiente se disminuye en los años. Este incremento conforme se va retrocediendo en el tiempo, se debe a que la densidad poblacional incrementa con el tiempo, por lo que los valores mas bajos para carbonatos en una cantidad de muestra determinada disminuirá debido al incremento de la actividad antropogénica, y los valores mas altos de carbonatos se encontraran en los años mas antiguos, este carbonato se debe en gran medida a la geoquímica del lago. No se debe de olvidar que el origen del lago es tectónico con suelo carstico.

La diferencia entre el valor correspondiente al año mas nuevo con el valor correspondiente al año de valor mas viejo, es de casi una unidad. Diferencia no muy marcada.

En la grafica de resultados #2, se presentan los resultados correspondientes Carbono Orgánico. Se puede observar en dicha grafica la tendencia de aumentar a medida que disminuye la profundidad. La diferencia entre el dato correspondiente al año reciente con el dato correspondiente al año mas antiguo, es de casi una unidad. La tendencia a aumentar la concentración de carbono orgánico, a medida que se va acercando a la superficie o años recientes, se debe en su mayoría al incremento en la actividad antropogénica, ya que a medida que se van pasando los años ha incrementado la densidad poblacional, no debe de olvidarse que una parte aunque pequeña, se debe a la biota del lago.

En la grafica de resultados #3, se presentan los resultados obtenidos correspondientes a Carbono Total. En dicha grafica se denota una leve tendencia al incremento en el carbono total, a medida que disminuye la profundidad y los años se van haciendo más antiguos. No debe de obviarse el hecho de que el carbono total es la suma del carbono inorgánico y del carbono orgánico. Por lo que puede entenderse

el incremento en el carbono total se ve afectado por el incremento del carbono inorgánico, el cual en su mayoría se debe a la geoquímica del lago.

Relacionando la tendencia a aumentar los valores de carbono orgánico a medida que se acercan a épocas recientes, con la calidad fisicoquímica del agua del lago, se puede observar que el lago esta avanzando hacia un estado de eutrofización.

9.12.2 Santa Elena

En la tabla de resultados #20, se presentan los valores de actividad radioquímica relacionada con la profundidad, esto se hizo ya que presentaron valores quienes de actividad muy bajos como para poder realizar la medición y así poder obtener datos en años. Esto se debe a la causa mencionada con anterioridad. En la grafica de resultados #5, se observan los resultados obtenidos para carbono inorgánico, presentando una muy leve tendencia hacia el aumento a medida que va bajando en la profundidad. En la grafica de resultados #6, se presentan los resultados obtenidos para carbono orgánico, el cual presenta una marcada tendencia hacia el aumento, a medida se va acercando a la superficie. Esto se debe en gran manera al incremento en la actividad antropogénica, ya que esta aumenta a media que incrementa la densidad poblacional con el tiempo.

En la grafica de resultados #7, se presentan los resultados obtenidos para carbono total, el cual presenta una muy leve tendencia hacia el aumento, conforme disminuye la profundidad. Esta leve tendencia se ve afectada por la presencia del carbono orgánico el cual presenta una marcada tendencia hacia el aumento, la diferencia entre el dato correspondiente al año mas reciente, con el valor correspondiente hacia el año mas antiguo es de casi 2.5 unidades.

No debe de olvidarse que el carbono total es la sumatoria del carbono orgánico e inorgánico. En la grafica de resultados #8, se presentan los valores de nitrógeno total, el cual presenta una tendencia hacia el aumento, este aumento se debe, que a medida que se van acercando los valores hacia la superficie, el grado de la actividad antropogénica aumenta, con la densidad poblacional.

Relacionando la tendencia a aumentar los valores de carbono orgánico y nitrógeno total a medida que se acercan a épocas recientes, con la calidad

fisicoquímica del agua del lago, se puede observar que el lago esta avanzando hacia un estado de eutrofización.

9.12.3 Aeropuerto

En la tabla de resultados #22, se presentan los valores de actividad radioquímica relacionada con la profundidad, esto se hizo ya que se obtuvieron valores de actividad muy bajos como para poder realizar la medición y así poder obtener datos en años. Esto se debe a la causa mencionada con anterioridad. En grafica de resultados #9, se observan los resultados obtenidos para carbono inorgánico, en esta grafica se puede observar una leve tendencia a la disminución a medida que se va bajando en la profundidad. Esta leve tendencia se puede deber a que esta zona en donde fue colectada la columna de sedimento, posiblemente ha presentado una vegetación estable y no ha sido perturbada con el paso del tiempo.

En la grafica de resultados #10, se presentan los resultados obtenidos de carbono orgánico, el cual presenta un tendencia aunque moderada, hacia el aumento conforme se van acercando los valores de profundidad hacia la superficie. Es importante mencionar que en esta zona la presencia de poblados es baja, por lo que la presencia de carbono orgánico, en su mayoría se debe a la vegetación que existió en este sitio en temporadas anteriores.

En la grafica de resultados #11, se presentan los resultados obtenidos de carbono total, estos resultados obtenidos presentan una tendencia, aunque baja pero la presenta, hacia el aumento en la concentración del carbono total. No debe de olvidarse que el carbono total es la sumatoria del carbono inorgánico mas el carbono orgánico. Como se pudo observar en las graficas 9 y 10, las tendencias del carbono orgánico e inorgánico, el que presenta una tendencia mucho mayor, es el carbono orgánico por lo que es de esperar que predomine al momento de graficar los datos obtenidos. Esto es una aclaración del impacto que ha tenido el humano en el lago.

En la grafica de resultados No.12, se presentan los resultados de nitrógeno total. En esta grafica se observa la marcada tendencia hacia el incremento a medida que va disminuyendo la profundidad (épocas recientes), como se ha mencionado con anterioridad, se hace manifiesto que la actividad antropogénica ha ido en aumento con el tiempo, por lo que el grado de contaminación ha ido en aumento.

Si se toma en cuenta la tendencia hacia el aumento en la concentración de los macronutrientes en años anteriores y se compara o se toma en cuenta las concentraciones de los macronutrientes obtenidos en la época actual se puede apreciar, que todo indica que el lago podrá entrar en un estado de eutrofización.

9.12.4 La Chingada

En la tabla de resultados #24, se presentan los valores de actividad radioquímica relacionada con la profundidad, esto se hizo ya que se obtuvieron valores de actividad muy bajos como para poder realizar la medición y así poder obtener datos en años. Esto se debe a la causa mencionada con anterioridad. En la grafica de resultados No.13, se presentan los resultados obtenidos para carbono inorgánico, en esta grafica se puede observar la marcada tendencia hacia el aumento en la concentración de carbono inorgánico a medida que van aumentando los valores de profundidad y por consiguiente en épocas antiguas. Y denotando la disminución a medida que la profundidad disminuye.

Tomando en cuenta la geoquímica del lago, se puede pensar que la mayoría del carbonato que se encuentra presente se debe origen cárstico del lago. Ya que conforme pasa el tiempo la concentración de carbonato aumenta, éste va precipitando en forma de cristales de carbonato y yeso. El aumento en la concentración de carbonato a medida que se va disminuyendo la época nueva a vieja, demuestra que la contaminación antropogénica ha ido en aumento a medida que pasa el tiempo. Caso contrario con el carbono orgánico presentado en la grafica de resultados # 14, la concentración del mismo ha ido en aumento a medida que se acerca hacia épocas recientes. La diferencia entre el valor inicial y el valor final para el carbono total es de casi dos unidades, por lo que se piensa que es una tendencia hacia el aumento muy marcada.

El carbono total presenta una tendencia muy similar a la del carbono orgánico, esta tendencia se puede observar en la grafica de resultados #15. La diferencia entre los valores iniciales y finales para el carbono total es de casi una unidad, por lo cual no es tan evidente el cambio.

En la grafica de resultados #16, se presentan los resultados de nitrógeno total, el cual presenta la tendencia hacia aumentar a medida que se van acercando hacia la superficie. Esto se debe a los factores mencionados anteriormente como lo son las actividades antropogénicas, estas actividades aumentan con forme va pasando el tiempo. Relacionando los resultados obtenidos de macronutrientes en épocas anteriores con los valores obtenidos de calidad fisicoquímica, se puede espera que el lago este entrando en un estado de eutrofización.

Nota: no se presentaran resultados de fechado por plomo ²¹⁰ y macronutrientes, correspondientes a el sitio Sacpuy, ya que al momento de colectar la muestra sufrió contaminación con tubo PVC, el cual altera de manera dramática los resultados, por lo que se decidió no realizar la medición de macronutrientes y fechado por plomo ²¹⁰.

No se presentaran resultados de los perfiles o compuestos mayoritarios en la columna de sedimentos de Sacpuy, ya que no fue posible realizar la extracción de la columna de sedimentos, esto pudo deberse principalmente por efectos de la profundidad ya que sino es lo suficientemente profundo (10 mts), es probable que en épocas anteriores la zona haya estado descubierta al aire, siendo playa y no conteniendo agua que ayude a la colección de sedimentos.

No se presentaran resultados de perfiles o compuestos mayoritarios en sedimentos de La Chingada, ya que al momento de realizar la colecta de la muestra, esta fue colectada de una mala manera en la cual se dio el volteo de los perfiles mezclándose las capas de sedimentación. Por lo que no es conveniente realizar la identificación de los perfiles si la muestra se encuentra contaminada o perturbada.

X. Conclusiones

10.1 Los valores de pH en el agua del lago presentan una leve variación en cuanto a los cambios climático-estacional que sufre, presentando un pH ligeramente básico, predominando un medio básico, el cual esta determinado en su mayoría por la geoquímica del lago, los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores establecidos por la Environmental Protection Agency (EPA).

10.2 Los valores de temperatura para el lago se encuentran de los valores normados por la Environmental Protection Agency (EPA), pero el valor mas bajo sale del rango establecido, tomando en cuenta la influencia de la onda fría proveniente de la península de Yucatán en el mes de noviembre del año 2006.

10.3 Los valores de oxígeno disuelto se encuentran dentro del valor mínimo normado por La Environmental Protection Agency (EPA).

10.4 Los niveles de visibilidad y profundidad obtenidos, permiten establecer que la relación entre ambos favorece una adecuada penetración de la luz en términos generales, lo cual favorece el proceso fotosintético de las macrofitas y las algas que crecen en el medio acuático. No hay una limitación en cuanto al nivel de visibilidad que haga evidente el nivel de turbidez.

10.5 Los valores obtenidos de Nitrógeno de Nitritos, Nitratos y Nitrógeno Total, no pasan de los valores normados por la Environmental Protection Agency (EPA).

10.6 Los valores obtenidos de Fosfatos se encuentra muy por debajo del valor recomendado, por el contrario el fosforo total se sale del valor normado por la Environmental Protection Agency (EPA).

10.7 Los valores tan altos obtenidos de sulfatos se deben en su mayoría a la geoquímica del lago.

10.8 Los valores obtenidos en la determinación de la demanda química de oxígeno, que son relativamente bajos, reflejan las cantidades de material oxidable tanto de origen orgánico como inorgánico y ya que se mencionó que condicionan las características fisicoquímicas que determinan el nivel de la calidad del agua en el lago. Siendo estos valores que corresponden a los niveles de oxígeno disuelto, puesto que la demanda de oxígeno no es elevada.

10.9 Los valores obtenidos a la demanda bioquímica de oxígeno, confirma el hecho de que existe una cantidad considerable de material orgánico biodegradable que se deposita en el agua del lago. Siendo los valores más altos los que se dan en la temporada seca.

10.10 En términos generales y debido a la cantidad de sólidos totales, suspendidos y filtrables que se determinaron, se puede concluir que el agua del lago contiene niveles altos de sales disueltas lo cual se debe en su mayoría a la geoquímica del lago siendo el carbonato el compuesto mayoritario, y un bajo valor de material orgánico disuelto, siendo éste afectado por la época seca, debido a la reconcentración de las especies.

10.11 En términos generales los niveles de nutrientes (nitritos, nitratos y fosfatos) encontrados en el lago Peten Itzá, aunque no corresponden a cuerpos de agua en estado eutrófico, por lo que de continuar la tendencia de la contaminación del agua del lago, en pocos años el lago Peten Itzá se encontrara en un estado eutrófico.

10.12 De seguir en esta dirección de contaminación, dentro de poco tiempo los cuerpos de agua como lo son los lagos, serán pantanos, sitios en los que ya no puede crecer organismos de utilidad para la comunidad y para el lago.

10.13 Económicamente es factible la construcción de un muestreador de sedimentos en columna.

10.14 Los bajos niveles de agua en donde fueron colectadas las muestras de Santa Elena, Aeropuerto y La Chingada, favoreció la redisolución del sedimento por lo que estos sitios presentaron una baja actividad isotópica para poder determinar la fecha de los sedimentos.

10.15 El método de fechado por Pb^{210} es de utilidad hasta profundidades que son menores a ciento cincuenta años, ya que pierde linealidad después de años de mayor antigüedad.

10.16 La tendencia que muestran los macronutrientes en los sedimentos es hacia el aumento en el nivel de concentración de macronutrientes debido a la actividad antropogénica que va en aumento.

10.17 Relacionando la calidad fisicoquímica del agua con las concentraciones de macronutrientes en sedimentos, es evidente que la calidad del agua en el lago ha venido en deterioro a medida que va aumentando la densidad poblacional y por consiguiente la actividad antropogénica.

10.18 Las concentraciones de carbono total y nitrógeno total, en San Benito, Santa Elena y el Aeropuerto muestran una marcada tendencia hacia el aumento en su concentración a medida que se van acercando a la época actual.

10.18 Los compuestos identificados presentes en mayor proporción en las columnas de sedimentos son los cristales de carbonatos y diatomeas las cuales varían según el sitio de muestreo.

XI. Recomendaciones

11.1 Seguir realizando muestreos periódicos al Lago Peten Itzá, para poder observar la tendencia del mismo con el paso del tiempo.

11.2 Colectar la columna de sedimento por triplicado; 1 columna será para realizar los análisis de macro-nutrientes y fechado por plomo 210 (Pb_{210}); 2 columnas serán para realizar la construcción de los perfiles de los sedimentos, esto será para aumentar la representatividad de las columnas de sedimentos al momento de crear los perfiles.

11.3 Cambiar la tubería de PVC (interna), de 2.0 pulgadas a 2^{1/2} pulgadas, para aumentar el diámetro de la columna de sedimento.

11.4 Al momento de colectar la muestra, bajar el muestreador lo mas despacio posible, esto será para evitar perturbaciones dentro de la columna de sedimentos.

11.5 Para poder realizar dataciones mas antiguas, utilizar otro radio isótopo estable como lo es el carbono 14 (C^{14}).

XII. Referencias

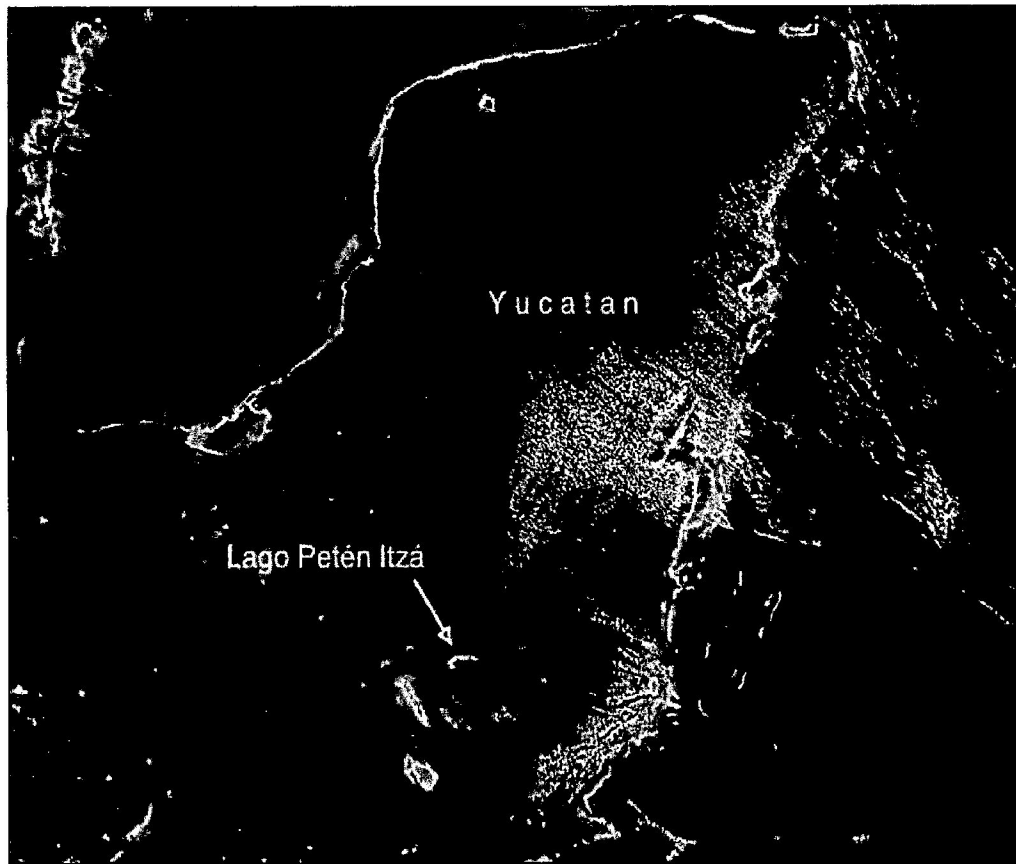
1. FERNÁNDEZ, A. 2003. Cooperación iberoamericana para un enfoque integrado en el aprovechamiento y gestión del agua: CYTED-XVII. En: Jornadas Iberoamericanas, Enfoques integrados de la problemática del agua. (2., 2003, Cartagena de Indias, Colombia). Ed. por Alicia Fernández. Cartagena de Indias, Colombia, Print and Service. 9-16 pp.
2. VILA, I. 2003. Caracterización de ecosistemas acuáticos. Interacciones sedimento- agua. En: Jornadas Iberoamericanas, Enfoques integrados de la problemática del agua. (2., 2003, Cartagena de Indias, Colombia). Ed. por Alicia Fernández. Cartagena de Indias, Colombia, Print and Service. 17-23 pp.
3. FERNÁNDEZ, A. 2003. Calidad de agua y contaminación química. En: Jornadas Iberoamericanas, Enfoques integrados de la problemática del agua. (2., 2003, Cartagena de Indias, Colombia). Ed. por Alicia Fernández. Cartagena de Indias, Colombia, Print and Service. 31-37.
4. MILLS, W. Et al. 1985. Water Quality Assesment: A screening procedure for toxic and conventional pollutants in surface and ground water. 1st. edition. Athens, Georgia, USA; EPA. 609 pp.
5. MANAHAN, S. 2000. Environmental Chemistry. 7th edition. USA; Lewis Publishers. 55-97 pp.
6. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1986. Gold Book of Quality Criteria for Water. Washington, USA; Office of Water Regulations and Standards. 477 pp.
7. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INSIVUMEH) Y SECCIÓN DE

- INVESTIGACIÓN DE CALIDAD DE AGUA DEL MINISTERIO DE COMUNICACIONES Y OBRAS PUBLICAS. 1976. Calidad del Agua en la cuenca del río María Linda y características fisicoquímicas del agua de mar. 1era edición. Guatemala, Guatemala. 159 pp.
8. MOSS, B. 1988. Ecology of fresh waters. Man and medium. 2nd. Edition. Boston, USA; Blackwell scientific publications. 393 pp.
9. CAPÓ, M. 2002. Principios de ecotoxicología. Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. 1era edición. Madrid, España; Mc Graw Hill. 234 pp.
10. ANGELIER, E. 2002. Ecología de las Aguas Corrientes. 1era. edición. Zaragoza, España; Editorial Acribia S.A. 218 pp.
11. COLE, G. 1888. Manual de Limnología. 3era edición. Montevideo, Uruguay; Editorial Hemisferio Sur. 405 pp.
12. MITSCH, W. Et al. 2000. Wetlands. 3rd. Edition. New York, USA; John Wiley and Sons. 920 pp.
13. ROBERTS, E. 2000. Water Quality Control Handbook. 1st. edition. New York, USA; McGraw Hill. G-145 pp.
14. MARÍN, R. 2003. Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos. Tratamiento y Control de Calidad de Aguas. 1era. Edición. Madrid, España; Ediciones Díaz de Santos, S.A. 311 pp.
15. WETZEL, R. 2001. Limnology, Lake and River Ecosystems. 3rd. edition. San Diego, USA; Elsevier Academic Press. 1006 pp.
16. Ali, A., 1984. A simple and efficient sediment corer for shallow lakes. J. Envir. Qual. 13: 63-66.
17. Brown, S. R., 1956. A piston sampler for surface sediments of lake deposits. Ecology 37:611-613.

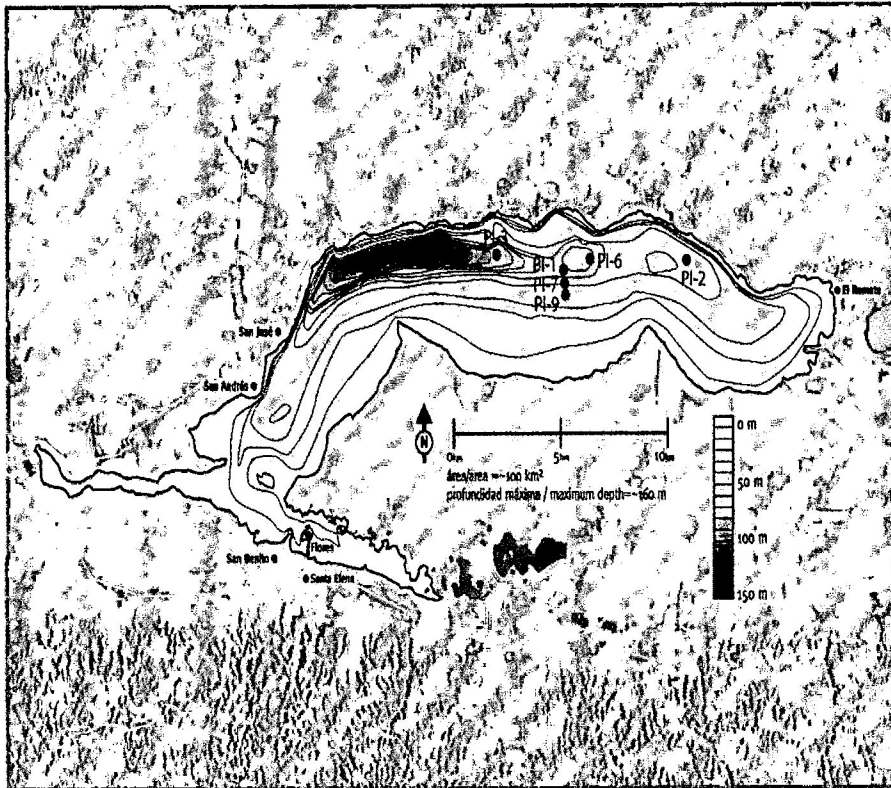
18. Cooper, C. M., F. R. Schiebe & J. C. Ritchie, 1991. An inexpensive sampler for obtaining bulk sediment cores. *Envir. Geol. War. Sci.* 18: 115-117.
19. Glew, J. R., 1991. Miniature gravity corer for recovering short sediment cores. *J. Paleolim.* 5: 285-287.
20. Renberg, I., 1991. The HON-Kajak sediment corer. *J. Paleolim.* 6: 167-170.
21. Ali, A., 1984. A simple and efficient sediment corer for shallow lakes. *J. Envir. Qual.* 13: 63-66.
22. Brown, S. R., 1956. A piston sampler for surface sediments of lake deposits. *Ecology* 37:611-613.
23. Cooper, C. M., F. R. Schiebe & J. C. Ritchie, 1991. An inexpensive sampler for obtaining bulk sediment cores. *Envir. Geol. War. Sci.* 18: 115-117.
24. Glew, J. R., 1991. Miniature gravity corer for recovering short sediment cores. *J. Paleolim.* 5: 285-287.
25. Renberg, I., 1991. The HON-Kajak sediment corer. *J. Paleolim.* 6: 167-170
26. Basterrechea, M. 1991. Evaluación del Impacto Ambiental de la Exploración Sísmica en la Cuenca del Lago de Izabal, Guatemala. Guatemala. 88pp.
27. www.iodp.org/scientific-drilling

XIII . Anexos

13.1 Mapas

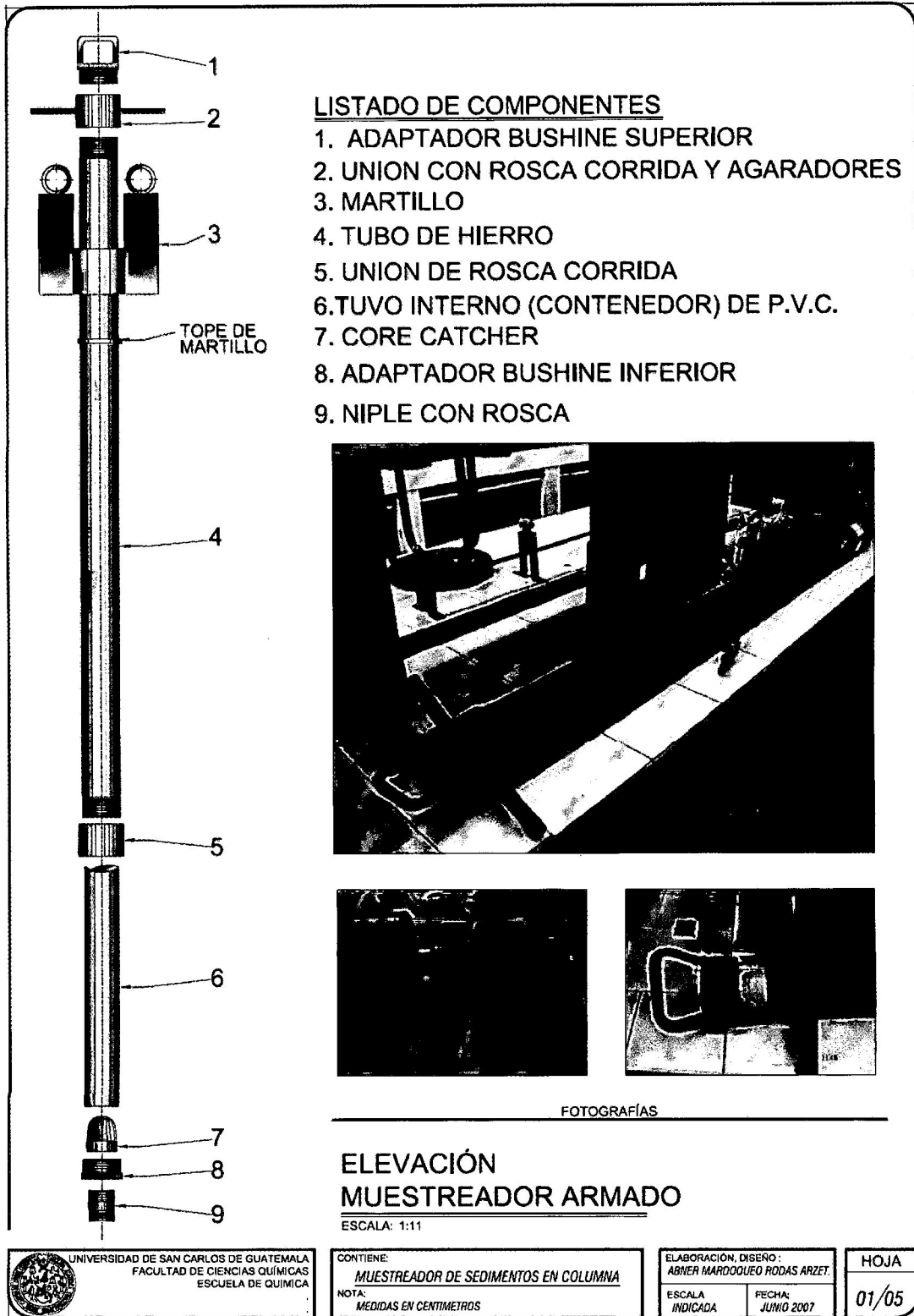


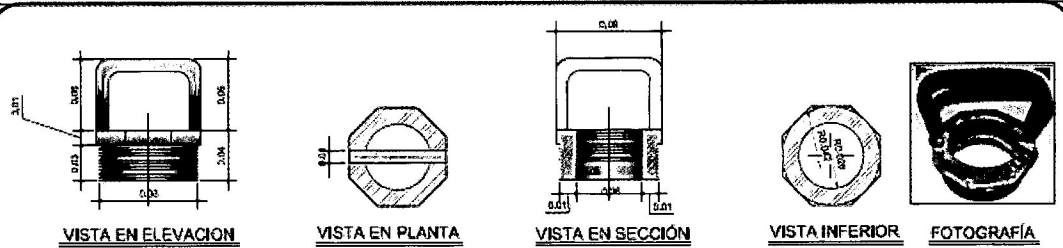
Mapa #1 Foto satelital de la Península de Yucatán, localizado el Lago Peten Itzá al norte de Guatemala. Fuente: www.iodp.org/scientific-drilling



Mapa #2 Mapa de profundidades del Lago Peten Itzá, señalando los puntos de perforación realizados en febrero y marzo del año 2006. Fuente: www.iodp.org/scientific-drilling

13.2 Figuras



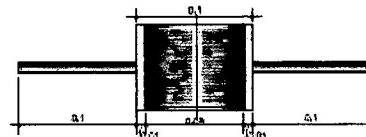


1. ADAPTADOR BUSHINE SUPERIOR

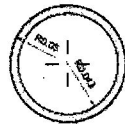
ESCALA: 1:5



VISTA EN ELEVACION



VISTA EN SECCION VERTICAL



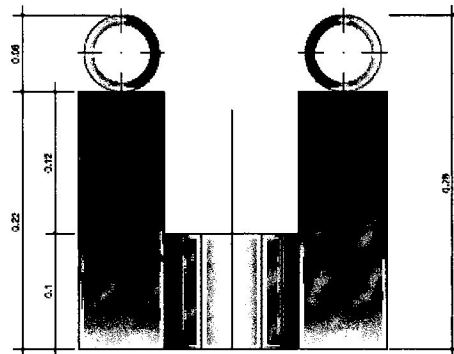
VISTA EN PLANTA



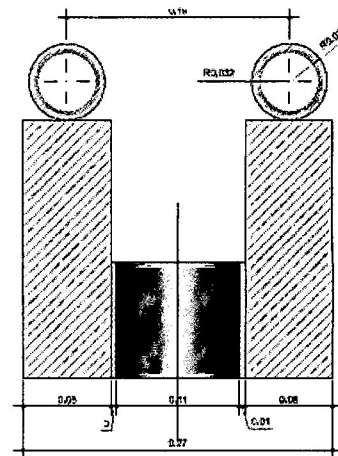
FOTOGRAFIA

2. UNIÓN CON ROSCA CORRIDA Y AGARRADORES

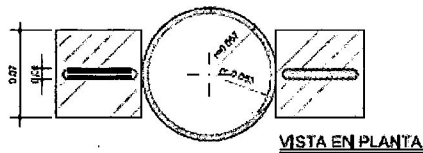
ESCALA: 1:5



VISTA EN ELEVACION



VISTA EN SECCION VERTICAL



VISTA EN PLANTA



FOTOGRAFIA

3. MARTILLO (20 Kg.)

ESCALA: 1:5



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE QUIMICA

CONTIENE:

MUESTREADOR DE SEDIMENTOS EN COLUMNA

NOTA:

MEDIDAS EN CENTIMETROS

ELABORACIÓN, DISEÑO:

ARNER MARROQUITO ROSAS ARZET.

ESCALA:

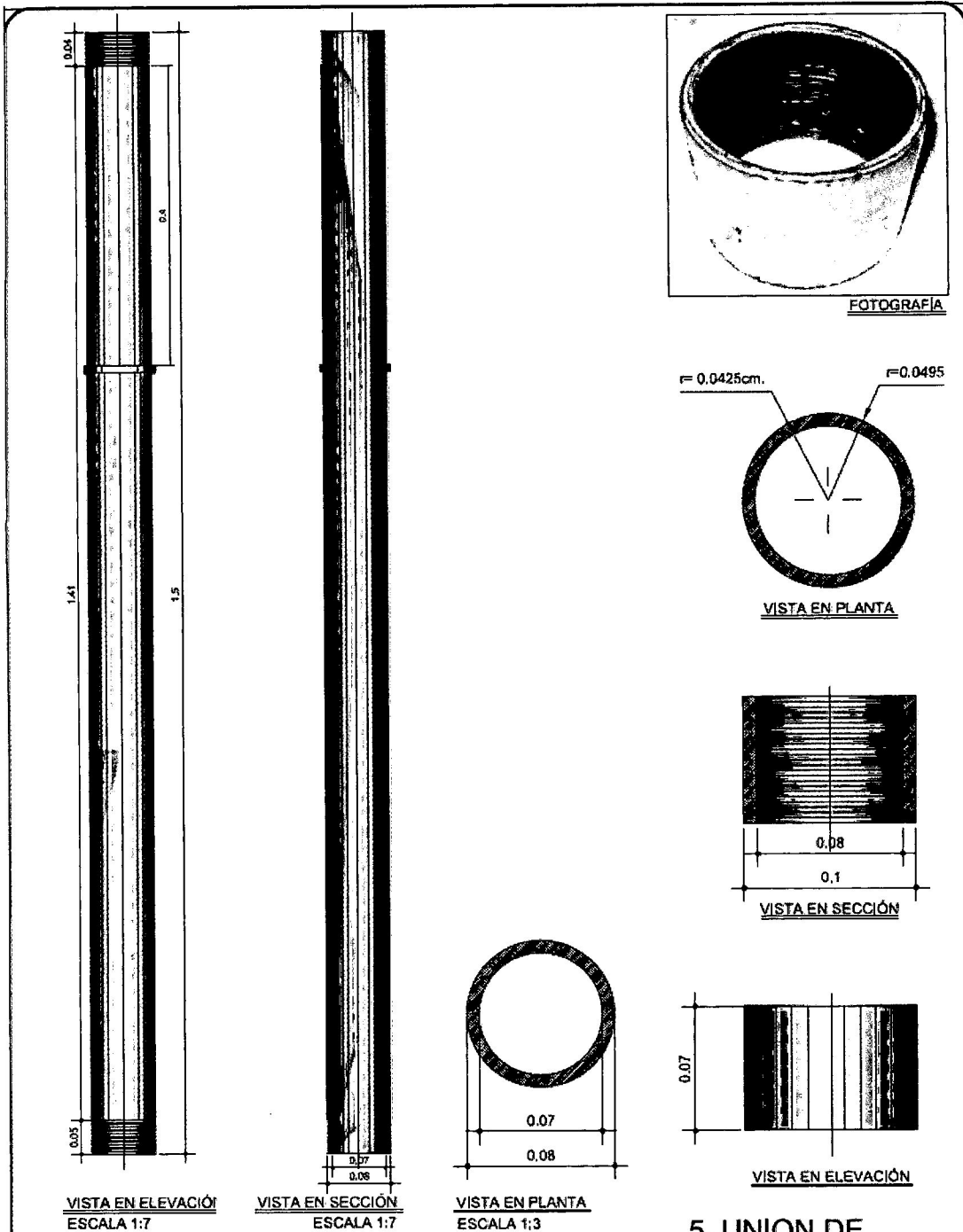
REDUCIDA:

FECHA:

JUNIO 2007

HOJA

02/05

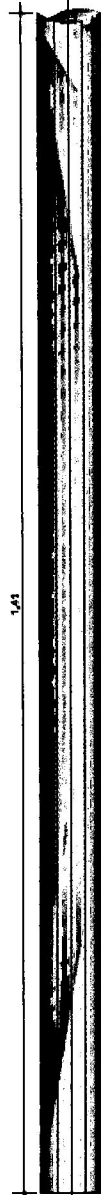


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 ESCUELA DE QUÍMICA

CONTIENE:
MUESTREADOR DE SEDIMENTOS EN COLUMNA
 NOTA:
 MEDIDAS EN CENTIMETROS

ELABORACIÓN DISEÑO:
ABNER MARDQUEO RODAS ARZET.
 ESCALA: INDIACADA FECHA: JUNIO 2007

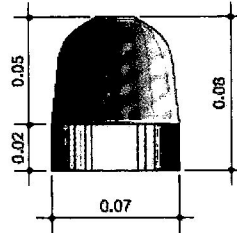
HOJA
03/05



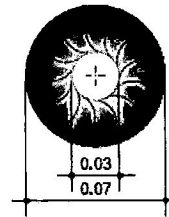
VISTA EN SECCIÓN
ESCALA 1:7

**6. TUBO
CONTENEDOR DE
SEDIMENTOS DE
HIERRO**

ESCALA: 1:7



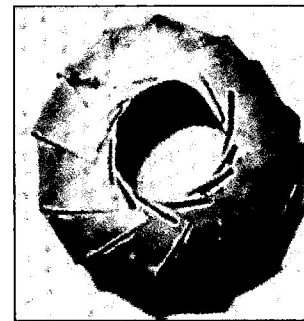
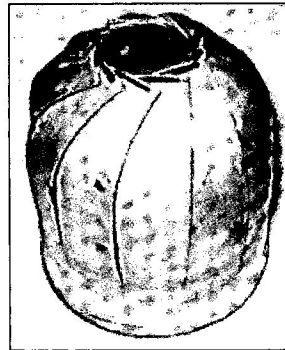
VISTA EN ELEVACIÓN



VISTA EN PLANTA

7. CORE CATCHER

ESCALA: 1:3



FOTOGRAFÍAS



FOTOGRAFÍAS



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE QUÍMICA

CONTIENE:

MUESTREADOR DE SEDIMENTOS EN COLUMNA

NOTA:

MEDIDAS EN CENTÍMETROS

ELABORACIÓN, DISEÑO:

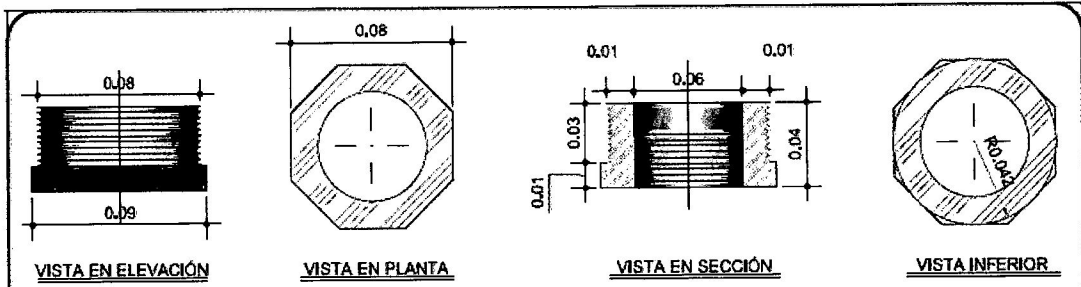
ABNER MARDOLFO ROSAS ARZET.

ESCALA
INDICADA

FECHA:
JUNIO 2007

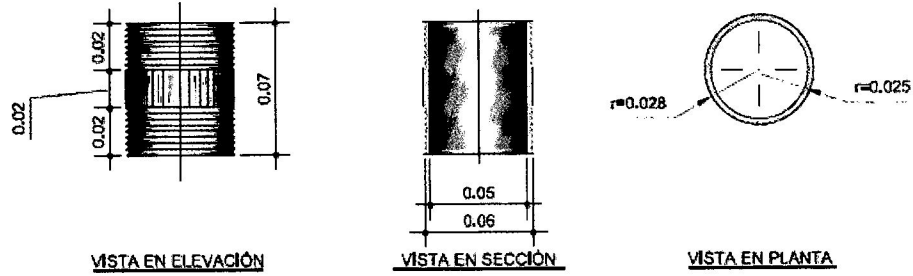
HOJA

04/05



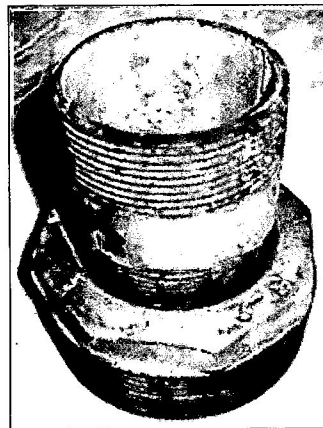
8. ADAPTADOR BUSHINE INFERIOR

ESCALA: 1:3



9. NIPLE CON ROSCA

ESCALA: 1:3



FOTOGRAFÍAS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS ESCUELA DE QUÍMICA	CONTIENE: MUESTREADOR DE SEDIMENTOS EN COLUMNA	ELABORACIÓN, DISEÑO: ABNER MARDOLFO ROSAS ARZU		HOJA
	NOTAS: MEDIDAS EN CENTÍMETROS	ESCALA INDICADA	FECHA: JUNIO 2007	05/05

Figura #2 Planos para la construcción del muestreador utilizado en la colecta de los sedimentos.

13.3 Imágenes de las columnas de sedimento

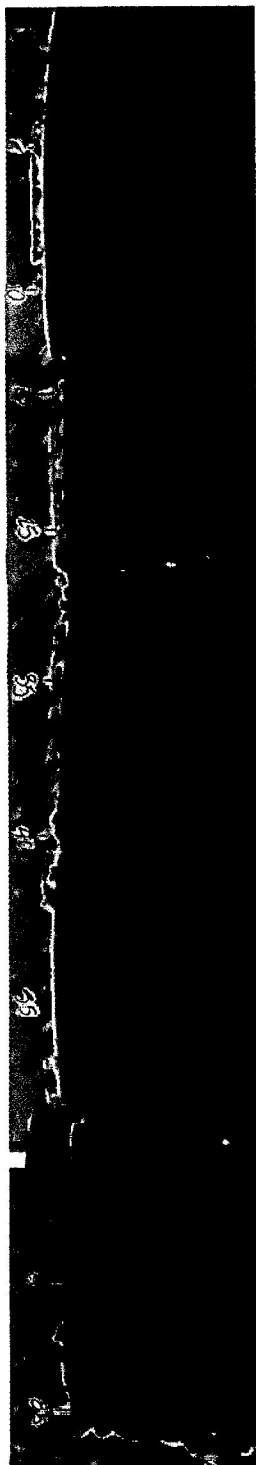


Imagen #1 Columna de sedimento colectada en San Benito, la columna tiene un largo de ochenta y cinco centímetros, en la imagen se puede observar las diferencias entre las laminas de sedimentación a medida que va pasando el tiempo y ocurren variaciones climáticas.

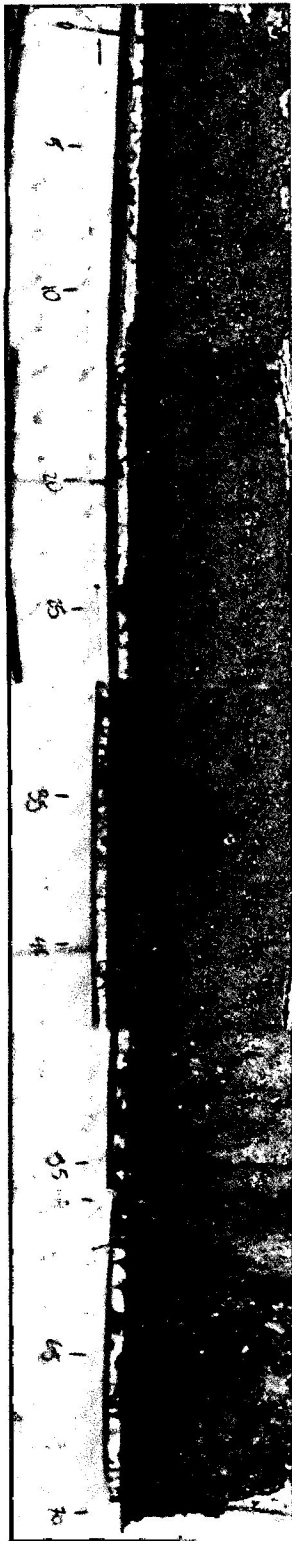


Imagen #2 Columba de sedimento colectada en Santa Elena, la columna tiene un largo de setenta centímetros, las diferencias entre las laminas de sedimentación no son muy marcadas en los primeros centímetros sino hasta en los últimos centímetros como lo es desde el centímetro cincuenta y cinco hasta el centímetro setenta.

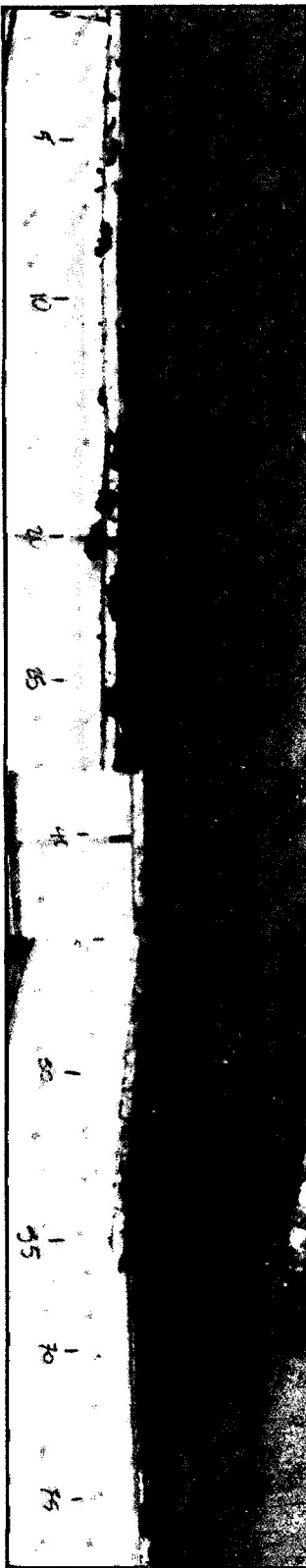


Imagen #3 Columna de sedimento colectada en el Aeropuerto, tiene un largo de setenta y cinco centímetros, las diferencias entre las capas de sedimentación no son muy marcadas pero se pueden apreciar con facilidad los cambios en la coloración a lo largo de toda la columna.

13.4 Imágenes de microorganismos y compuestos identificados

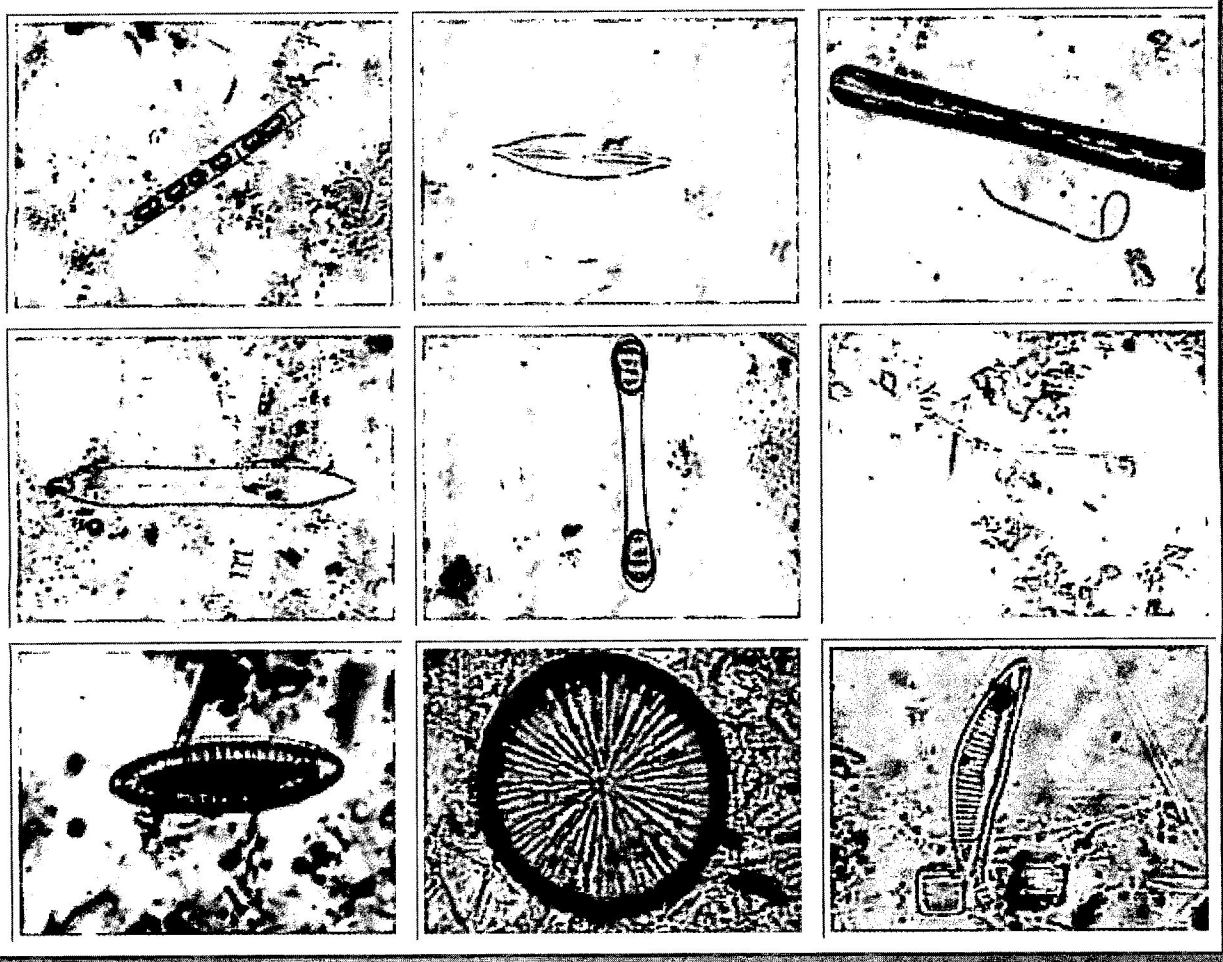


Imagen #1. Cuadro aquí utilizado en la identificación de las distintas especies de Diatomeas, nombrando de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo con números de uno a nueve.

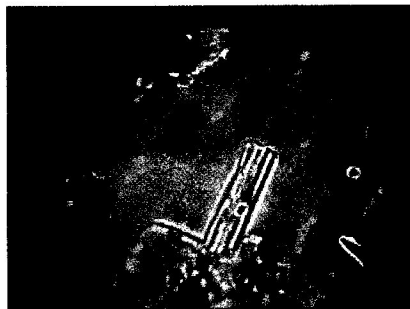


Imagen # 2. Imagen ampliación 850x de Fitoplancton en sedimento, alrededor se observa materia orgánica adherida a cristales de carbonato.



Imagen #3. En esta imagen se muestra el cuerpo de una especie de Fitoplancto, ampliación 850x, se puede observar que el esqueleto se encuentra quebrado, pero esto se debe a que se deseco la muestra de sedimento para poder realizar la fijación.

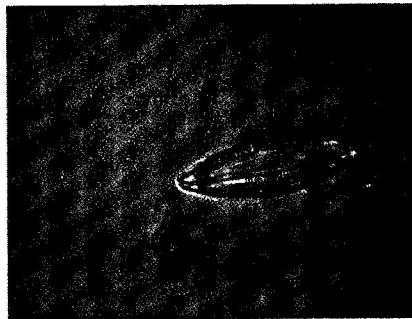


Imagen #4. En esta imagen se puede observar una Diatomea (9) ampliación 850x, se catalogo con el número 3, correspondiente a la Imagen # 1

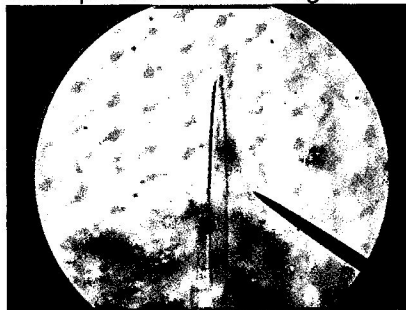


Imagen #5. Imagen de Fitoplancton ampliación 850x, se puede observar como un tubo de color morado bajo el microscopio.



Imagen #6. Imagen de Fitoplancton observado con ampliación 850x, se puede distinguir claramente su esqueleto y su vacuola.

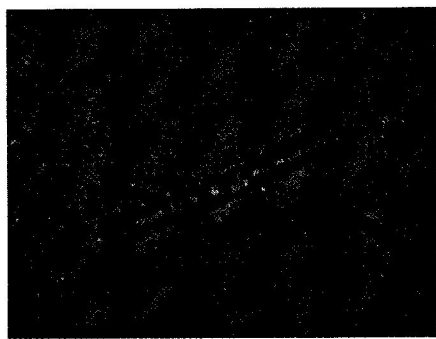


Imagen #7. Imagen de una Diatomea, ampliación 850x, este tipo de Diatomeas no se encuentra listada en el cuadro, pero por se diferente se le dio el numero 10 en la lista para su identificación. Puede distinguirse que es una unión de varias Diatomeas. Bajo el microscopio se observa de color morado.

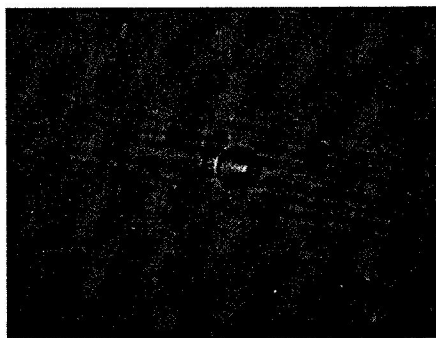


Imagen #8. Imagen de Fitoplancton, ampliación 850x. Puede observarse al centro presenta su vacuola de color lila.

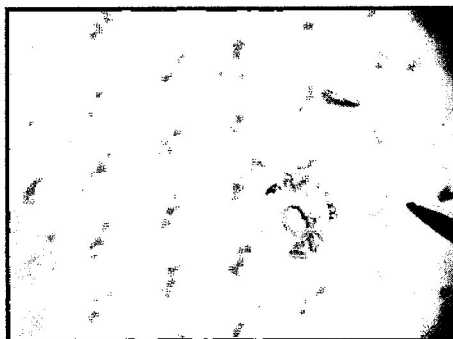


Imagen #9. Imagen de Diatomea (8), ampliación 850x.

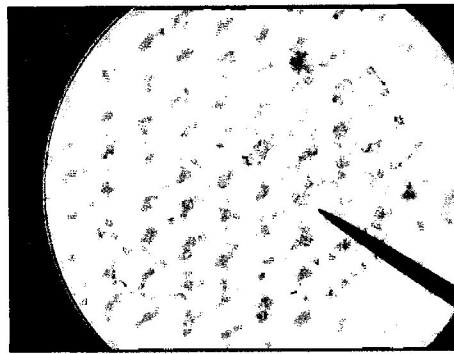


Imagen #10. Imagen de un cristal de cuarzo, ampliación 850x. Puede observarse que presenta impregnado levemente materia orgánica.

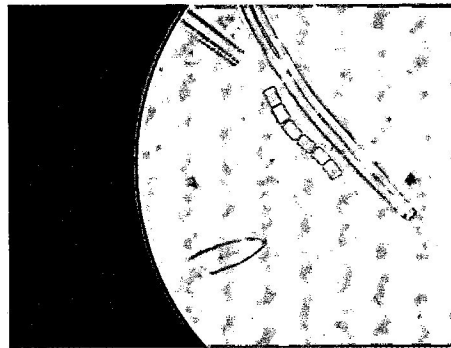


Imagen #10. Esta imagen presenta dos diferentes tipos de diatomea (2) y (10), así también de fitoplancton.

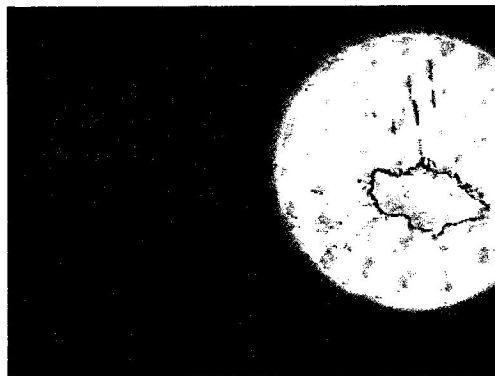


Imagen #11. En esta imagen se puede observar los pigmentos azules con verde impregnado en cristales de carbonato, ampliación 850x.

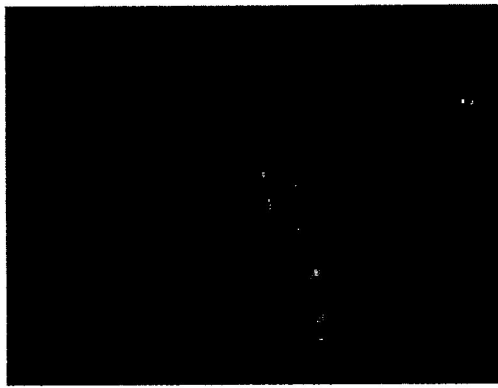


Imagen #12. En esta imagen se puede observar el esqueleto de una diatomea (3), ampliación 850x.



Imagen #13. En esta imagen se puede observar el esqueleto de una diatomea (2), ampliación 850x.

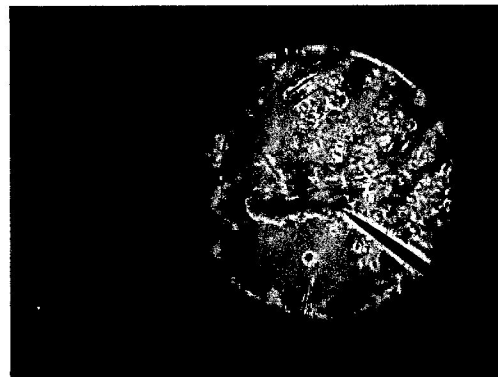



Imagen #14. En esta imagen se puede observar los cristales de carbonato impregnado de materia orgánica, ampliación 850x.



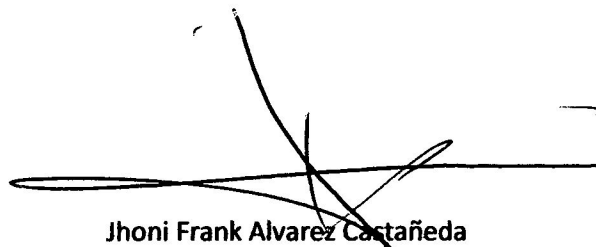
Abner Mardoqueo Rodas Arzét

Autor



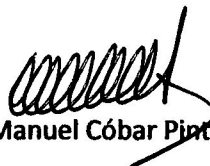
Bessie Evelyn Oliva Hernández

Asesora



Jhoni Frank Alvarez Castañeda

Director



Oscar Manuel Cobar Pinto

Decano