



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

“Limnología y Ficología del arroyo El Salto, en el
Estado de Morelos.”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I Ó L O G O
P R E S E N T A :
GUTIERREZ DELGADO SILVIA ARLAETT



DIRECTORA DE TESIS:
BIÓL. ANGÉLICA ELAINE GONZÁLEZ SCHAFF

LABORATORIO DE BIOLOGÍA ACUÁTICA

MÉXICO, D.F. FEBRERO 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



INDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	8
ANTECEDENTES.....	9
OBJETIVOS.....	14
HIPÓTESIS.....	14
ZONA DE ESTUDIO.....	15
MATERIAL Y METODO.....	19
<i>Campo</i>	15
<i>Laboratorio</i>	16
<i>Gabinete</i>	18
RESULTADOS.....	26
DISCUSION DE RESULTADOS.....	57
CONCLUSIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS.....	76

AGRADECIMIENTOS

A dios por haberme permitido culminar este gran reto en mi vida y por haberme puesto en mis manos 2 vidas que son mis dos grandes metas y lo mas importante en mi vida quienes fueron mi mayor motor durante este tiempo, a mis padres y hermano que siempre han estado a mi lado en las buenas y en las malas y que sin ellos no hubiera sido posible la culminación de este gran sueño, a todos y cada uno de mis profesores que tuve a largo de mi carrera en especial a mis sinodales que me han apoyado durante todo este proyecto gracias por todos sus conocimientos y observaciones M. en C. Ernesto Mendoza Vallejo, Dr. José Luis Gómez Márquez, Dr. Guillermo Artemio Blancas Arroyo, Biol. Eloísa Adriana Guerra Hernández; a mi asesora Biol. Angélica Elaine González Schaff por todo el apoyo que me brindo durante todo el tiempo que llevo de conocerla, por sus conocimientos y recomendaciones para la elaboración de este proyecto. A todos mis compañeros y amigos de la carrera. A mi mejor amigo y esposo.

A todos ustedes que formaron parte de mi formación académica y personal Gracias

DEDICADO A

*A mis padres por todo el esfuerzo, dedicación y amor que siempre me han brindado.
A mi hermano, esposo e hijos.*

Los amo



RESUMEN

El arroyo “El Salto” nace dentro del parque Nacional Izta –Popo y la corriente pertenece al río Amatzinac en la subcuenca del río Nexapa; ésta se ubica en el municipio de Tetela del Volcán en el Estado de Morelos.

El presente estudio tiene la finalidad de contribuir a la limnología y ficología de México así como también al estudio integral que realiza la FES-Zaragoza con el Parque Nacional Izta-Popo.

Se realizaron 7 monitoreos de marzo 2004 a febrero 2005; en donde se estudian a las algas provenientes de diversos hábitats como son las planctónicas y las que se encuentran asociadas al bentos. Se encontró que los parámetros biológicos (presencia y abundancia de la flora algal) se dan como una respuesta a los parámetros morfométricos y limnológicos; en donde se obtuvieron los siguientes resultados para los morfométricos: una profundidad que va de 8.7 a 17 cm, la velocidad de corriente de 25.4 a 74.2 cm/seg y una carga del caudal de 21.653 a 155.034 L/seg, debido a los valores obtenidos durante todo el ciclo de estudio se observó que la época de lluvias es de mayo a noviembre y la época de secas de febrero a marzo. El tipo de partícula que predominó fue arena fina. En cuanto a su limnología presentó los siguientes resultados: temperatura ambiente promedio de 21.4°C, temperatura del agua de 13.7°C, pH promedio de 8.31, conductividad de 119.28µs, oxígeno de 5.08 mg/L y % de saturación de 67.04, bióxido de carbono de 0.73 mg/L, dureza total de 148.07, dureza de calcio de 20.328 mg/L, alcalinidad total 48.74 mg/L y los nutrimentos amonio : 0.031706 mg/L, nitritos 0.0089 mg/L y nitratos 0.0315 mg/L así como los ortofosfatos con 0.1107 mg/L. En cuanto a los parámetros biológicos se registraron 17 especies de algas en donde predominó la división Heterokontophyta con 10 especies en donde las más abundantes fueron: *Fragilaria capucina*, *Navícula cuspidata* y *Rhoicospheia curvata*; 2 de la división Chlorophyta como *Closterium parvulum* y *Ulothrix aequalis*; 5 especies de la división Cyanophyta como: *Spirulina sp* y *Oscillatoria formosa*. En general se observó que los nutrimentos se encuentran en bajas concentraciones, el sistema presentó buena cantidad de oxígeno, lo cual hace posible la existencia de la flora algal encontrada, muchas de las especies corresponden a organismos indicadores de agua limpia. La velocidad, carga del caudal y las turbulencias se encontraron como los principales factores que afectan la presencia o ausencia de las algas en este sistema.

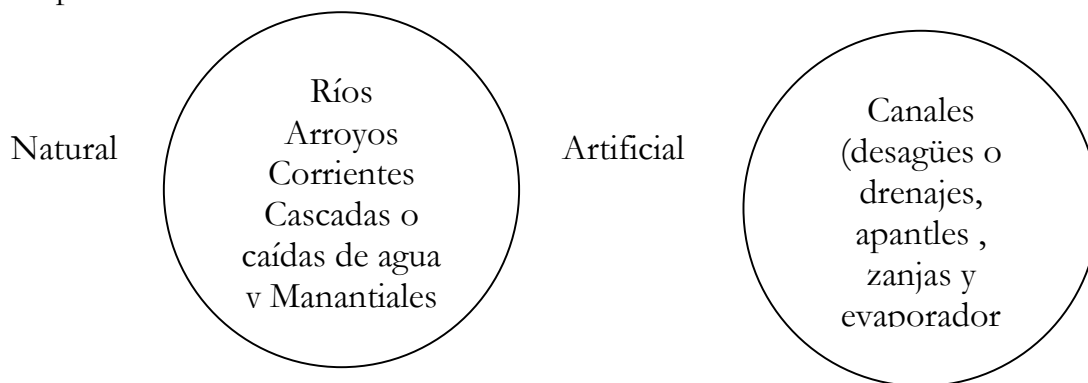


INTRODUCCIÓN

La limnología, como parte de la Ecología, trata la investigación de ambientes acuáticos continentales en lo que se refiere tanto a las condiciones físicas y químicas del entorno como a las relaciones trofodinámicas de las poblaciones que viven en el mismo. (Valentyne, 1978)

De acuerdo con Ortega (1995) los ambientes lóticos corresponden a las aguas corrientes, cuyas moléculas se desplazan en una dirección definida, este flujo se realiza en un canal y así todas las condiciones físicas, químicas y biológicas cambian desde los nacientes hasta las desembocaduras en un gradiente bien definido.

Los cuerpos de agua registrados para México incluyen dentro de la serie lótica a 2 tipos de ambientes al:



(Ortega, 1995)

Dentro de las aguas continentales, los ríos son ambientes con características que los hacen ser muy dinámicos y por tanto interesantes para el estudio biológico de organismos de pequeña talla, ya que los grupos que en éste habitan presentan cambios en sus historias de vida (reproducción, crecimiento, dispersión entre otros) en tiempos muy cortos. Los ríos se definen como sistemas lóticos por tener un flujo unidireccional de agua dentro de un canal (Vannote et al, 1980; citado en Bojorge et al, 2007) y poseen una gran heterogeneidad espacial y temporal, lo que brinda a las comunidades algales que habitan en ellos un gran número de microambientes susceptibles de ser colonizados. Un arroyo, al contrario que los lagos, es un sistema abierto en el que no existe una circulación del agua, sino un transporte de ella. El arroyo no se divide en zonas verticalmente, sino horizontalmente; es considerado como un curso de agua



natural, cuyo ancho es de 1 a 5 m según Ringuelet (1962) citado en Ortega (1995).

Los recursos hídricos de México están constituidos por ríos, arroyos, lagos y lagunas, así como por almacenamientos subterráneos y grandes masas de agua oceánica. Existe una gran cantidad de cuencas hidrológicas, sobre todo en las zonas donde las sierras están en contacto directo con el mar y en el Altiplano seco endorreico, pero el número de grandes cuencas que abarcan amplias zonas del país es reducido (INEGI, 1995b, y UNAM, 1990), citado en www.imacmexico.org/ev

La cuenca es un concepto geográfico e hidrológico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenca endorreica. Cuando sus descargas llegan hasta el mar se les denominan cuencas exorréicas. www.imacmexico.org/ev

En México existen cerca de 42 ríos principales que transcurren en tres vertientes: occidental o del Océano Pacífico, oriental o del Océano Atlántico (Golfo de México y Mar Caribe), y la interior cuyos ríos desembocan en lagunas interiores (INEGI, 1995b) citado en www.imacmexico.org/ev

En la vertiente del Pacífico destacan las cuencas de los ríos Yaqui, Fuerte, Mezquital, Lerma- Santiago y Balsas; en la costa del Golfo de México destacan las cuencas de los ríos Bravo, Pánuco, Papaloapan, Grijalva y Usumacinta. (Rzedowski, 1986) citado en www.imacmexico.org/ev

El río Balsas es la cuenca hidrológica más importante de la vertiente del Pacífico mexicano. Su disponibilidad total anual de aguas superficiales se estima en 24,484 Mm³ de escurrimientos vírgenes y retornos. Constituidos por 6,851 mm³ escurridos del Alto Balsas, 7,463 mm³ del Medio Balsas y 9,959 mm³ del Bajo Balsas, más un volumen de retornos estimado en 211 mm³.

La cuenca del río Balsas se divide en tres subregiones hidrológicas principales: cuenca de los ríos Atoyac y Mixteco o del Alto Balsas, que se subdivide en siete subcuencas: las Cerradas orientales, Alto Atoyac, Bajo Atoyac, Nexapa, Amacuzac, Tlapaneco y Mixteco, cuenca del río Cutzamala y del Medio Balsas y cuenca del Bajo Balsas, que se subdivide, a su vez, en cinco subcuencas:



Tepalcatepec, Cerrada Paracho-Nahuatzen, Cupa-titzio, Tacámbaro y Bajo Balsas. En estas subregiones, se distinguen diez corrientes principales que aportan el mayor volumen de sus escurrimientos totales. www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/402/cuencabalsas.html

La totalidad de los cuerpos de agua del estado de Morelos pertenece a la cuenca del Balsas, que es el río más grande del Sur del país que desemboca en el Océano Pacífico. En el estado de Morelos, el Río Balsas se encuentra dividido en tres subcuencas: la cuenca del río Amacuzac con una superficie de 4,303.39 Km²; la cuenca del río Nexapa o Atoyac con 673.17 Km² y la cuenca del río Balsas-Mezcala con 1.6 Km². <http://www.profepa.gob.mx/PROFEPA/DelegacionesPROFEPA/Morelos/InformacionGeneraldelEstado/Hidrografía>.

Morelos cuenta con dos subcuencas que forman parte del territorio y cuyas aguas fluyen al río Balsas para desembocar después de un largo recorrido al Océano Pacífico. Nos referimos a la cuenca del Amacuzac, que abarca casi la totalidad del estado, y la de Nexapa. A Ocuituco le corresponde la cuenca del río Cuautla. Entre los más importantes afluentes del Amacuzac figuran los ríos Yautepec y Chinameca. Por su parte, el Cuautla se surte del agua de las barrancas y arroyos que descienden de la sierra de San Gabriel.

El río Nexapa nace en las faldas del volcán Iztaccíhuatl (estado de Puebla) con el nombre del río Atoyac; al entrar al territorio morelense se le llama Nexapa, donde se le unen las aguas llevadas por la barranca de Amatzinac (río Tenango en su parte más baja) formando el río Amatzinac que inicia su recorrido en medio de una cañada en territorio de Tetela del Volcán y Hueyapan. Cada uno tiene un lado del río, el cual cae en cascada después de haber avanzado algunos kilómetros desde su nacimiento entre grandes peñascos llenos de vegetación, orquídeas y follajes exóticos y una abundante flora y fauna. Actualmente, este importante caudal se ve afectado por el agua que se sustrae de la cuenca para las huertas de durazno. Los cambios en la hidrografía comienzan a ser evidentes.

La cuenca del río Cuautla nace de los escurrimientos del volcán Popocatepetl con el nombre de Barranca del Volcán. Posteriormente se une a las aguas del río Yecapixtla, las de los manantiales de Agua Hedionda, Ayala y de la Barranca de la Cuera que cruza al sur por los municipios de Ocuituco, Cuautla, Ayala y Tlaquiltenango, hasta unirse al río Amacuzac. www.jornada.unam.mx/2002/10/28/eco-b.html



Debido al régimen climático del país, en casi todos los ríos existe una diferencia notable entre el volumen de agua que llevan en la época de secas y el de lluvia. Esta variación está acentuada por las obras de retención de agua y su uso para irrigación, de tal manera que muchos de los ríos que originalmente eran permanentes, ahora se vuelven intermitentes, por lo menos en algunos tramos de su recorrido.

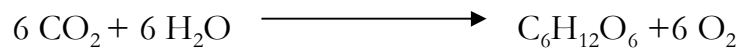
En amplias zonas la deforestación y la erosión del suelo producen un aumento en el escurrimiento superficial y la disminución de la infiltración del agua de lluvia (Rzedowski, 1986) citado en www.imacmexico.org/ev.

Los arroyos son zonas que tienen características muy distintas tanto desde el punto de vista hidrológico como hidrobiológico, presentando diferentes cualidades físicas, químicas y biológicas. La distribución longitudinal en zonas definidas a lo largo de una cuenca responden a la geomorfología del terreno, a las interacciones entre factores físicos, químicos y biológicos desde que nace el curso fluvial hasta su desembocadura como un gran río. En términos biológicos, estas interacciones determinan que las presiones de la selección natural a lo largo de milenios de evolución, condujo a que los organismos vivos hayan desarrollado estrategias adaptativas a cada ambiente en particular, conforme a las condiciones del agua (oxígeno disuelto, pH, conductividad, dureza de las aguas, nutrimentos, etc.) (Ortega, 1995).

Cada organismo está sujeto a la acción de los factores ambientales. La temperatura condiciona dentro del campo fisiológico, la velocidad e intensidad de las reacciones bioquímicas (Schwoerbel, 1975).

Los organismos de los arroyos están adaptados a bajas temperaturas, aguas de corrientes rápidas y bien oxigenadas. Para mantenerse en esa zona y no ser arrastrados por la corriente intensa tienen en su mayoría adaptaciones morfológicas y de comportamiento que les permiten fijarse a las rocas del fondo (Schwoerbel, op cit).

Las algas son los organismos que producen la materia orgánica primaria a partir de la energía luminosa y de las sales de nutrimentos disueltos en el agua; son los productores primarios de este medio. Para la fotosíntesis necesitan, dióxido de carbono como proveedor de carbono, el cual es el sillar más importante para las síntesis orgánicas de las plantas. (Schwoerbel, 1975), según la ecuación:



Las algas tienen como característica más importante la fotosíntesis autotrófica como vía principal de nutrición y síntesis de nueva materia orgánica para el organismo (Hutchinson, 1975; Wetzel, 1981).

En la zona fótica de los cuerpos de agua se distinguen por una parte, los organismos fijos al sustrato o reposando sobre el, si son vegetales forman el fitobentos y por otra parte, se distinguen los organismos del piélago que se encuentran en suspensión en el agua entre ellos, las algas microscópicas unicelulares constituyen el fitoplancton (Ortega, 1995).

La gran diversidad de especies se debe a la considerable variedad y heterogeneidad de los microhábitats que existen en las aguas someras (Darley, 1991).

A pesar de las distintas necesidades fisiológicas y de las variaciones con respecto a los límites de tolerancia a determinados parámetros ambientales de tipo fisicoquímico, en el fitoplancton coexisten poblaciones de distintas especies (Wetzel, 1981).

Algunos factores ambientales de gran importancia interactúan para regular el crecimiento temporal y espacial del fitoplancton. Aparte de los requerimientos fisiológicos básicos como la luz y la temperatura y de acuerdo a las posibilidades existentes dentro del sistema para completar el crecimiento y la reproducción, existen diversos nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos que juegan un papel crítico en la sucesión de las poblaciones algales (Wetzel, 1981).

El fitoplancton consta de un conjunto de pequeñas plantas con capacidad de locomoción restringida o nula, y cuya distribución está más o menos sujeta a los movimientos del agua. Algunas algas planctónicas tienen cierto poder de locomoción, moviéndose mediante flagelos y otros mecanismos que alteran su distribución gracias a los cambios de flotabilidad. Sin embargo, la mayoría “flotan libremente”, término corrientemente utilizado para el plancton en general, aunque obviamente se incluyan algas que en realidad no flotan (Wetzel, 1981).



El término perifiton se utiliza como un término general para referirse a las algas que viven en algún tipo de sustrato sólido, como: rocas, madera, otras plantas o varios objetos hechos por el hombre. Las dos categorías más comunes del perifiton son: algas que viven en rocas (epilíticas, las algas que aquí se encuentran tienen varios mecanismos de fijación bien desarrollados, como la secreción de un cojín, pedúnculo o tubo de material gelatinosos por algunas especies de diatomeas pennadas) y algas que viven sobre plantas vasculares u otras algas llamándose epífitas (Darley, 1991).

En los últimos 20 años los estudios ficológicos han cobrado gran interés en la República Mexicana; sin embargo, la mayoría de ellos se han realizado en ambientes marinos, por lo que en aguas continentales resta mucho por hacer (Valadez *et al*, 1996).

El Estado de Morelos presenta una gran cantidad de manantiales, arroyos y ríos permanentes. Con el fin de aumentar los estudios en cuanto a los ambientes lóticos, el trabajo se enfoca principalmente a un arroyo conocido como “El Salto” que se encuentra en el municipio de Tetela del Volcán.

Tetela del Volcán, se escribía Tetella o Tetetla, cuyas raíces etimológicas vienen de tete plural de te-tl, "piedra", y tla-n "lugar", que denota abundancia, y quiere decir "Donde hay muchas piedras, pedregal".

Está situada en las estribaciones del volcán Popocatepetl donde nace la Barranca profunda de Amatzinak, alimentada con los deshielos de dicho volcán (<http://ant.morelostravel.com/destinos/tetelavolcan.html>).



JUSTIFICACION

Los bienes y servicios ambientales que proporcionan los bosques del Izta-Popo son innumerables y su papel en la economía local es determinante, los recursos hídricos que nacen en dicho parque son originados principalmente por el deshielo de los glaciares y la precipitación pluvial, abundante en la región, por arriba de los 1000 mm anuales (Chavez,1996).

El presente trabajo se enfoca principalmente a una corriente de agua que nace dentro del parque Nacional Izta-Popo y que desemboca en las poblaciones aledañas a esta zona.

Los principales acuíferos ubicados en esta región se encuentran sometidos a una explotación intensiva dada la gran demanda de agua de los grandes núcleos poblacionales establecidos en ella. (Arriaga *et al*, 2000)

La preservación y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos epicontinentales dependen de asegurar que la cantidad y calidad del agua sean suficientes y de garantizar la diversidad de especies que los conforman. En este sentido, conservar la biodiversidad es importante para que un ecosistema pueda mantener sus habilidades regenerativas (estabilidad, resistencia, resiliencia) ante agentes estresantes o interferencias externas así como su capacidad para desarrollarse (evolución y madurez) en forma natural sin ser constreñido por las actividades humanas. (Arriaga *et al*, 2000)

Por tales motivos se llevaron a cabo análisis de parámetros que son característicos (morfométricos, limnológicos y biológicos) de estos sistemas a lo largo de un ciclo anual aportando así información que puede servir en un futuro como antecedente de la zona de estudio para darle un manejo sustentable así mismo es importante para la limnología y ficología en México debido a que no hay muchos estudios realizados en sistemas lóticos.



ANTECEDENTES

ANTECEDENTES DE LA FICOLOGÍA Y LA LIMNOLOGÍA EN RIOS DE MÉXICO

- Valadez *et al* (1996), publicaron el artículo “Algas de ambientes lóticos en el estado de Morelos”, el estudio se realizó en tres localidades en el estado de Morelos que corresponden a dos manantiales, las Huertas y Los Manantiales, y a la del río Amacuzac en las cercanías de Xicatlacotla. Se elaboraron claves dicotómicas de las especies registradas y se anexaron descripciones para cada una de ellas, registrando las condiciones ambientales.
- Ramírez *et al* (2001), con el artículo “Estudio de la flora algal de tres localidades del río la Magdalena D.F., México” realizaron un estudio de la flora algal de tres localidades del río Magdalena, en donde describen e ilustran las especies con fotografías, incluyen datos ambientales. Las 72 especies encontradas se dividen con las siguientes proporciones 63 Bacillariophyceae, 6 Cyanophyceae, 1 Chlorophyceae, 1 Ulvophyceae y 1 Charophyceae, encontrando 11 nuevos registros para la flora algal del país.
- Pérez (2002), “Fitoplancton del río Negro Uruguay”, se presentan los resultados del análisis del fitoplancton basado en la observación de 176 muestras obtenidas entre Febrero de 1993 mediante red de plancton, botellas y manguera de integración de la columna de agua en 12 estaciones de colecta. Se identificaron 218 taxa distribuidos en 8 clases. La abundancia del fitoplancton varió entre 300 y 7289 individuos por ml⁻¹ y la mayor riqueza de especies se registró en verano. Del total de taxa identificados, 27 son nuevas citas para Uruguay.
- De Anda-Miranda (2004), con el estudio “Contribución al conocimiento de la calidad del agua en diferentes corrientes superficiales del Parque Nacional Izta-Popo y su zona de influencia” en donde dan a conocer las condiciones actuales de sistemas lóticos en el Parque Nacional Izta –Popo y su zona de influencia. En donde se realizaron muestreos mensuales entre julio del 2001 y septiembre del 2002 y se analizaron 216 puntos de monitoreo. La mayoría de los parámetros físicos y químicos de los escurrimientos en las subcuencas manifestaron un comportamiento en función de la altitud, a mayor altitud los valores de temperatura ambiente, temperatura del agua, alcalinidad total,



dureza total, dureza de calcio, conductividad y sulfatos fueron menores en comparación a altitudes bajas principalmente causadas por la actividad antropogénica.

- Miguel *et al* (2004), con el trabajo “Algas del río Apatlaco en el Parque Nacionl Izta-Popo” realizado con el fin de analizar la ficoflora presente en los manantiales y arroyos del Río Apatlaco (ladera occidental del Iztaccihuatl) en relación con su hidrología. Se trabajaron 5 puntos de muestreo desde los manantiales (3 900 msnm) y a lo largo del arroyo (hasta 3 150 msnm), en cada punto se registraron datos ambientales e hidrológicos, para la búsqueda de algas se tomaron muestras de agua y sedimento, y una colecta directa de filamentos o costras en diferentes sustratos. En general, el sistema presenta una temperatura de 10 a 16°C, pH neutro, oxígeno de 0.6 a 4.4 mg/l, alcalinidad de 30 a 35 mg CaCO₃/l, dureza entre 15 y 25 mg CaCO₃/l, 0.25 – 0.35 mg/l en la concentración de nitritos y ausencia de amonio. Se encontraron 30 especies de algas en diferentes hábitats (epilíticas, epífitas, bentónicas y planctónicas). La composición algal en el Río Apatlaco indica que en su origen, se trata de un sistema oligotrófico, ya que presenta aguas limpias, transparentes y bien oxigenadas donde las diatomeas son el grupo predominante y las especies registradas son además consideradas como indicadoras de estos sistemas.
- Oliva *et al* (2005), elaboraron un estudio llamado “Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México” en donde se representa la caracterización taxonómica y ambiental de las diatomeas, a partir de seis muestreos (enero-octubre de 2001). Se colectaron crecimientos algales bentónicos y planctónicos. Se identificaron 45 especies y 3 variedades de diatomeas distribuidas en 32 géneros. *Aulacoseira granulata*, *Cymbella affinis*, *Gomphonema acuminatum*, *G.angustatum*, *Pinnularia microstauron*, *Synedra ulna* y *Stephanodiscus niagarae* fueron especies dominantes. Por el contrario *Craticula halophila*, *Cymatopleura solea* y *Neidium iridis* fueron raras. *Epithemia túrgida*, *Eunotia curvata* y *Rhopalodia sp.* fueron particulares del charco permanente. *Achnanthes pinnata*, *Cyclostephanos dubius*, *Eunotia faba* y *Planothidium ellipticum* son nuevos registros para la Faja Volcánica Transmexicana. Todas las especies fueron meso-euritermales con afinidad templada. El pH fue ligeramente básico (7.8), el 65% de las especies fueron alcalífilas. *Eunotia faba*, acidófila-circumneutral, *E. curvata* y *Surirella tenera* circumneutral – indiferentes.



Stephanodiscus niagarae en asociación con *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria capucina* y *F. crotonensis*, indican una tendencia a condiciones eutróficas. Todas las especies son características de agua dulce y oligohalobias.

- Amado *et al* (2006), realizaron un estudio llamado “Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y predicción”, en el cual se desarrolló el índice de calidad del agua como método estandarizado para comparar la categoría de manera integral, entre localidades y a través del tiempo, de los distintos almacenamientos de agua, ríos y arroyos de la cuenca del Amajac. Además, se puede predecir el grado de contaminación y establecer estrategias de planeación en el manejo de los recursos hídricos para la cuenca en cuestión. La metodología utilizada se basó en la expresión cuantitativa de calidad del agua. Se hicieron tres muestreos (2005-2006) y se determinó: Oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, Nitratos, Fósforo total, Turbidez y sólidos totales disueltos. Para predecir la calidad integral del agua (ICA), se hizo un análisis de regresión múltiple entre el ICA y los ocho parámetros analizados.
- Franco *et al* (2006), con el “Estudio limnológico y ficológico en el río Apatlaco, Puebla”. Se registran los cambios de profundidad, velocidad de corriente y volumen del caudal a lo largo del estudio, así mismo se determinaron los organismos algales presentes. Se detecta influencia humana en la zona que aumenta gradualmente los niveles de nutrimentos en la zona y alterando por consiguiente la calidad del agua.
- Higuera *et al* (2006), “Estudio limnológico y de algas en el arroyo el Salto, Municipio de Tetela del Volcán, Morelos”. Los puntos de colecta se seleccionaron tomando en cuenta las fuentes de contaminación, el caudal, la velocidad de corriente, etc. Las especies más representativas fueron *Cocconeis placentula*, *Cymbella sp*, *Fragilaria sp*, *Mougeotiopsis calospora*, *Navicula sp*, *Prasiola mexicana*, *Pinnularia sp*, *Rhoicosphenia curvata*, *Denticula elegans*, *Anomoeoneis sphaerophora* y *spirogyra micropuntata*. En la identificación de algas se encontraron de entre los organismos más abundantes: *Cocconeis placentula*, *Diatoma hiemale*, *Fragilaria sp*, *Cymbella minuta*, *Pinnularia brevicostata*, *Navicula sp*, *Spirogyra micropuntata* y *Oscillatoria tenuis*. Siendo el género *Navicula* el más abundante con 4640 organismos por litro. En los parámetros físicos y químicos la temperatura ambiente se mantuvo entre los 10 – 23 °C, la temperatura del agua se mantuvo entre los 10- 18° C, el pH fluctuó entre los



4.81-8.76, la concentración de oxígeno disuelto se mantuvo entre los 4.9 – 8 mg /L. En el caso de los nutrimentos, la dureza total y de calcio, así como la concentración de O_2 y CO_2 disueltos en el agua se mantuvieron en concentraciones muy pequeñas las cuales no afectan la calidad del agua del arroyo estudiado.

- Juárez *et al* (2006), “Estudio limnológico y de algas en el arroyo el Salto, Municipio de Tetela del Volcán, Morelos”, este evaluó la hidrología a través de parámetros físico – químicos y se obtuvo una lista de macroalgas presentes en el arroyo como *Spirogyra micropuntata*, *Prasiola mexicana*, *Mougeotiopsis calospora*, *Rhizoclonium crassipeitum*, *Oscillatoria tenuis*, *Ulothrix aequalis*, *Lyngbya aestuarii*, *Cladophora glomerata*, *Mougeotia scalaris* y *Stigeoclonium lubricum*. Las condiciones que tuvo el cuerpo de agua durante su estudio fueron , temperatura ambiente de 15 a 24 ° C, la temperatura del agua de 10 a 15 °C, pH de 5.5 a 8.8, y el oxígeno disuelto de 2.2 a 13.8 mg /l.
- Balbuena (2007), con el trabajo “Análisis de la composición y densidad de la microflora ficológica en manantiales y arroyos del Parque Nacional Izta-Popo” reporta que las características hidrológicas los ubican como cuerpos acuáticos oligotróficos en las partes a mayor altitud (dentro del parque) y con una mayor abundancia de diatomeas; conforme se acercan a las partes bajas y por consiguiente a los poblados, las características cambian y aparecen otros grupos de algas como Clorofitas y Cianofitas .
- Bojorge *et al* (2007), realizaron el estudio “Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a Talos de *Prasiola mexicana* J.Agardh (Chlorophyta) en el río Magdalena D.F.” con la finalidad de analizar las especies de diatomeas asociadas a éstos. Se seleccionaron dos puntos de recolecta contrastantes. El análisis taxonómico permitió la identificación de 31 especies de diatomeas (7 registros nuevos para la región), donde el 19% son reportadas como afines a zonas templadas y nórdico-alpinas. Las diatomeas abundantes y frecuentes en las dos comunidades fueron *Achnanthes lanceolata*, *Cocconeis placentula*, *Navicula cryptocephala* y *Cymbella silesiaca*. Observaciones directas de campo y de laboratorio permiten señalar que la dinámica de la comunidad diatomológica de cada uno de los puntos de recolecta estuvo relacionada con la expresión de *Prasiola mexicana*: en P1 talos lisos y con poco sedimento, principalmente con especies epífitas y en P2 talos rugosos con mucho sedimento, con



especies epífitas, epipsámicas y edáficas como *Achnanthes exigua*, *Navicula radiosa*, *Navicula rhynchocephala*, *Pinnularia borealis* y *Rhoicosphenia abbreviata*.

- García y López (2007), “Estudio Limnológico y Ficológico del arroyo La compañía, Estado de México”. El trabajo toma en cuenta 2 grandes grupos ecológicos: El fitobentos y el fitoplancton en donde se encontró que la flora ficológica del sistema lótico estudiado se presenta como una respuesta a ciertos parámetros morfométricos, hidrológicos y climáticos. Se evaluaron algunos parámetros limnológicos así como la composición de especies y densidad de la flora ficológica. Se registraron 26 especies de algas, 17 de la división Heterokontophyta como: *Cocconeis placentula*, *Diatoma hiemale*, *Fragilaria capucina*, *Navicula sp* y *Rhoicosphenia curvata*, 6 de la división Chlorophyta como: *Ulothrix aequalis*, *Spirogyra micropuntata* y *Closterium sp*, y 3 de Cyanophyta como: *Spirulina sp* y *Oscillatoria formosa*.
- Gómez *et al* (2007), “Calidad de recursos hídricos en los parques Izta –Popo, Zoquiapan y Areas Anexas” El estudio tuvo la finalidad de conocer la calidad del agua, donde la mayoría de los parámetros físicos y químicos del agua de los escurrimientos en las cuatro subcuencas presentaron un comportamiento en función de la altitud; esto es que a mayor altitud los valores de concentraciones o unidades de la temperatura ambiente y del agua, potencial hidrógeno (pH), alcalinidad y dureza total, potencial Oxido-Reducción (PQR), conductividad, demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), coliformes totales y fecales fueron menores en comparación a los registros a menores altitudes. Esto se debe a una disminución en el gasto de los escurrimientos por la desviación del caudal para actividades agrícolas o industriales.



OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar la composición de especies y densidad de la flora fitoplanctónica, así como algunos parámetros limnológicos del arroyo “El Salto”, en el estado de Morelos.

Objetivos específicos:

1. -Describir morfométricamente al arroyo “El Salto”, a través de su ancho y perfil de profundidad, además de su velocidad de corriente, volumen del caudal y sus cambios a través de un ciclo anual.
2. -Estimar y analizar algunos parámetros limnológicos como: pH, temperatura, oxígeno disuelto y bióxido de carbono disuelto, alcalinidad, dureza total; nutrimentos (Amonio, Nitritos, Nitratos y Ortofosfatos).
- 3.- Elaborar un listado de las algas presentes del arroyo estudiado (epifitas, planctónicas, epilíticas, etc.); y determinar su densidad en agua y en sedimento.
4. -Relacionar las especies vegetales registradas con la hidrología del arroyo estudiado.

HIPÓTESIS

Con base a estudios realizados anteriormente en esta zona y de acuerdo con el clima, algunos parámetros físicos como la temperatura, la profundidad, el volumen del caudal y la velocidad de corriente así como características químicas como la cantidad del oxígeno disuelto, el pH y los nutrimentos, la flora algal de los sistemas se encuentra adaptada a ciertos tipos de habitats. Si el arroyo “El Salto” no presenta evidencias importantes de contaminación, entonces la flora algal determinada será compuesta principalmente de diatomeas como: *Fragilaria capucina*, *Navicula cuspidata*, *Rhoicosphenia curvata*; clorofitas y cianofitas propias de sistemas con una buena calidad de agua.



ZONA DE ESTUDIO

Localización:

El municipio de Tetela del Volcán se localiza al noreste del Estado de Morelos, limita al norte con el Estado de México; al sur con Zacualpan; al este con el estado de Puebla y al oeste con Ocuítuco. Tiene una superficie de 98.518 Km², cifra que representa el 1.99 por ciento del total del Estado.

(www.teteladelvolcan.gob.mx/historia.htm), (Fig. 1).

Actualmente el Parque Nacional Izta- Popo se conoce como Reserva de la Biósfera “Los Volcanes”, se decreto reserva a partir del mes de Junio del 2010.

Ubicación Geográfica:

El municipio de Tetela del Volcán se ubica geográficamente entre los paralelos 18°57' 48'' de latitud norte y los 99°15'12'' de longitud oeste, a una altura de 2,040 metros sobre el nivel del mar. (www.e-morelos.gob.mx/e-gobierno/DirMunicipios/Tetela_del_Volcan)

Clima

El clima de Tetela del Volcán es C (E)(w₂) semifrío subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (www.inegi.gob.mx) con cociente P/T (precipitación /temperatura) mayor de 55.3, (García, 2004).

La temperatura promedio fue de 16.6 con una temperatura mínima de 2 grados para el mes de febrero y 33.5 en abril y mayo como máximo para el periodo de 1999, con clima templado húmedo con invierno seco y fresco. INEGI Carta climática (1999).

Se caracteriza por frecuentes precipitaciones nublosas y de carácter tempestuoso, generalmente acompañados de granizo; con una temperatura anual de 18 ° C. La precipitación pluvial es de 1,384 milímetros por año y el periodo de lluvias es de junio a octubre. (www.sagarpa.gob.mx/dlg/morelos/ddr/climatologia)



Hidrografía

En cuanto a la hidrografía del municipio se encuentra la corriente de la barranca de Amatzinac, que nace en las faldas del volcán Popocatepetl, ésta lleva un caudal permanente todo el año y su cuenca hidrológica abarca todo el municipio.

Tipo de suelos

Andosoles.- se ubican en la parte norte de la entidad particularmente en los municipios de Yecapixtla, Ocuituco y Tétela del Volcán. Ocupan una línea ininterrumpida de oeste a este. Sustentan todo el bosque de pino, encino, la combinación de éstos, oyamel y pastos inducidos.

Litsoles.- Tienen una amplia distribución geográfica en el estado de Morelos; en el caso de valle de Amilpas se ubican en el municipio de Tétela del Volcán, al sur de Cuautla, al noroeste y sur de Jonacatepec y al sur en el municipio de Tlaquiltenango; le corresponden diversos climas y están asociados a los ecosistemas presentes (bosque y selva); en lo general no son aptos a la agricultura.

Regosoles.- Suelos que se localizan en una franja que se extiende en la parte oriente del estado, desde Tlayacapan hasta Axochiapan, y al norte de Tetela del Volcán. Son sustratos de vegetación natural, de selva baja caducifolia, utilizados para agricultura de temporal.

<http://132.248.35.1/bibliovirtual/Libros/Delgadillo/Morelos/Morales.htm>

Orografía

La orografía del municipio pertenece al sistema formado por la cordillera del volcán Popocatepetl, cuya cima llega a los 5,452 metros. Las alturas más importantes localizadas en el municipio son: el cerro del Zempoaltépetl, que tiene 5,250 metros; le siguen en importancia el cerro del Gallo con 2,750 metros y el de la Mina, al norte de la cabecera municipal. Las zonas accidentadas abarcan aproximadamente el 70 por ciento de la superficie municipal, éstas se encuentran en la parte sur y sureste, así como en la parte oeste y noroeste del municipio.

Las zonas planas se localizan en la parte suroeste, así como en la parte oeste y noroeste del municipio.



Flora

La flora esta constituida principalmente por: bosque de pino-encino las combinaciones de las especies, tanto de pino como de encino, varían de acuerdo al suelo y altitud de la región. Las especies más importantes de este tipo de bosque son: *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. lawsoni*, *P. leiophylla*, *P. michoacana*, *P. oocarpa*, *P. pátula*, *P. pringlei*, *P. rudis*, *P. teocote* y en el caso de los encinos son: *Quercus mexicana*, *Q. crassipes*, *Q. macrophylla*, *Q. rugosa*, *Q. crassifolia* y bosque de pino, las especies que se encuentran con mas frecuencia son: *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. hartwegii*, *P. michoacana*, *P. oocarpa*, *P. leiophylla*, *P. pringlei* y en menor frecuencia *P. teocote* y *P. ayacahuite*.

Fauna

La fauna la constituyen: venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), mapache(*Porción lotor*), zorrillos(*Mephitis macroura*), ardillas(*Sciurus aureogaster*), ratón de los volcanes(*Neotomodon alstoni*) puma o león americano(*Felis concolor*), codorniz moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*), gallinita del monte(*Dendrortyx macroura*), paloma bellotera, urraca azul(*Cyanocorax caeruleus*), jilguero(*Myadestes obscurus*), mulato floricano, primavera roja, víbora de cascabel (*Crotalus spp*) y víbora ratonera, ranas y lagartijas. (www.teteladelvolcan.gob.mx/index1.html)



Mapa

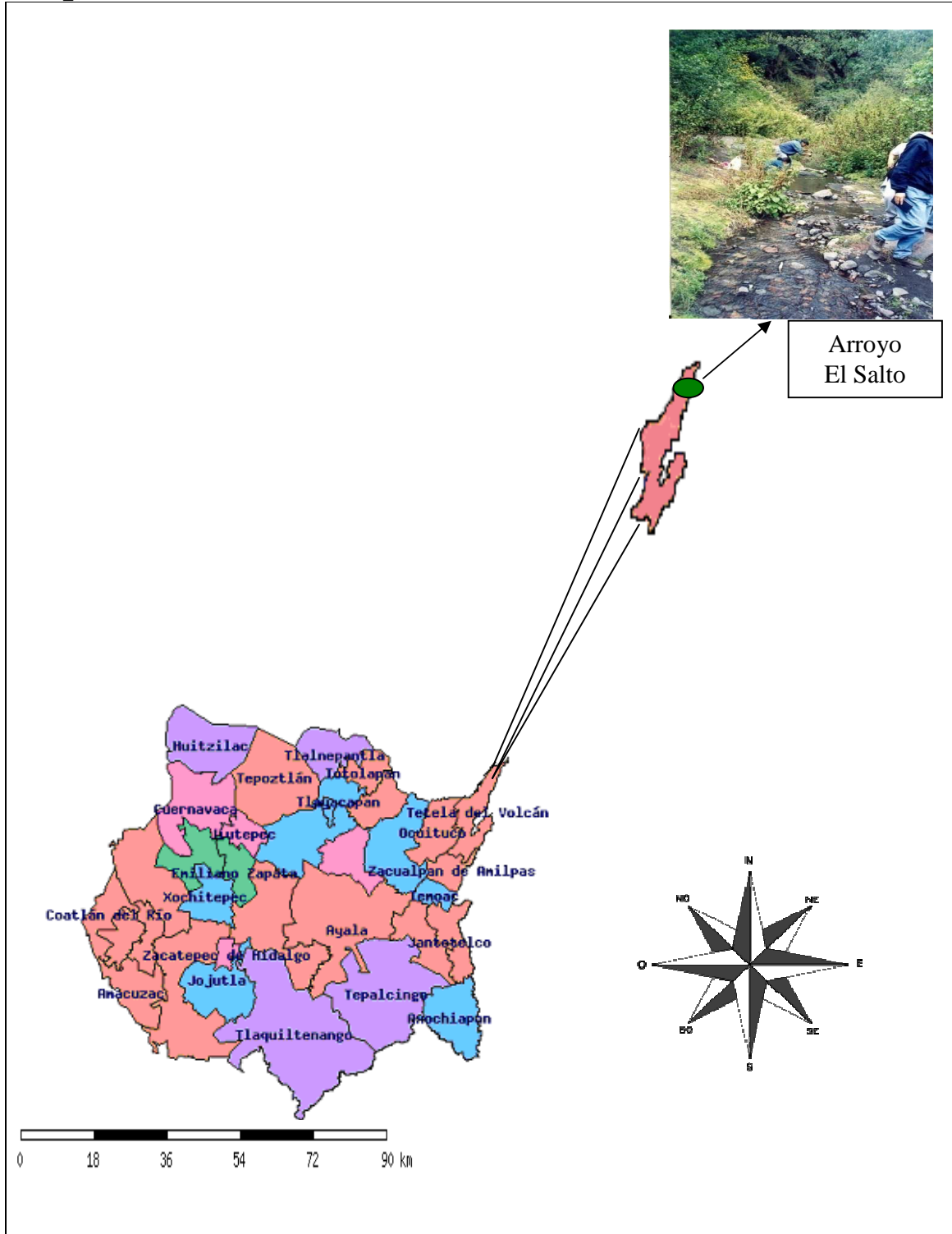


Figura.1.-Ubicación de Tétela del volcán en el Estado de Morelos (www.antares.inegi.gob.mx)



El arroyo “El Salto” se ubica en el Estado de Morelos a 20°94’85.8” Latitud Norte y 53°41’87” Longitud Oeste con una altitud de 2639 m.s.n.m. La corriente pertenece al río Amatzinac en la subcuenca del río Nexapa (INEGI, 1999).

MATERIAL Y METODO

La zona de estudio es una corriente que nace dentro del parque Nacional Iztapalapa a causa del deshielo de los volcanes y se localiza en el Estado de Morelos, la corriente como ya se mencionó pertenece al río Amatzinac en la subcuenca del río Nexapa, y esta a su vez a la cuenca del río balsas que corresponde a la vertiente del pacífico.

Se realizaron 7 visitas a campo repartidas y abarcando un ciclo anual en las siguientes fechas.

26- Marzo-2004
28-Mayo- 2004
26 Agosto- 2004
24-Septiembre-2004
22-Octubre -2004
19-Noviembre-2004
17-Febrero- 2005

Los criterios para la selección de éste sitio fueron:

-El fácil acceso a éste punto de la corriente.

-Es un arroyo permanente.

-La presencia de algas está comprobada con base en estudios realizados anteriormente en esta zona como: Miguel *et al*, (2004); Higuera *et al*, (2006); García y López, (2007).

La colecta de muestras se realizó sólo en una estación y se realizó entre las 12:00 y las 3:00 p.m. del día.



Fase 1 - CAMPO:

1. -Morfométricos:

a) Perfil de profundidad:

- Se midió el ancho del cauce de orilla a orilla con ayuda de una cinta métrica y con ésta, se tomó la medida de la profundidad cada 10 cm con una regla de 30 cm; posteriormente se realizó el mismo procedimiento 10 cm debajo de la primera medida del ancho del caudal (Wetzel y Likens, 1995).

b) Velocidad de corriente:

- Se dejó un objeto flotante en la superficie de la corriente en la parte media del cauce y la velocidad de transporte equivaldrá a la velocidad del agua, registrando 5 veces el tiempo de transporte entre dos puntos y calculando un promedio (Schwoerbel, 1975).

c) Muestreo de sedimento:

Se tomó una muestra de 1 Kg de sedimento del fondo del cauce con la ayuda de una pala pequeña (para obtener el % de tamaño de partículas) en una bolsa de plástico, el sedimento se recogió de una zona representativa del área delimitada.
(Schwoerbell, 1975).

2. - Limnológicos:

a) Muestra de agua:

- Se colectó una muestra de 1 litro de agua directamente de la corriente, se preservó la muestra en una hielera para ser transportada al laboratorio, para lo que fueron muy apropiadas las botellas de polietileno, (debido a que la poca profundidad del sistema nos impide utilizar botellas tomamuestras) (Schwoerbell, 1975).



b) Determinación de los siguientes parámetros:

- Se midió la temperatura del agua con un termómetro (Brannan de -10 a 120° con una precisión de 0.1 directamente dentro del cauce, de igual forma se debe registrar la temperatura ambiental (Schwoerbel, 1975).
- El oxígeno se midió con un oxímetro (YSI Incorporated, con un rango de 0-20 mg/l) con precisión de 0.1
- La Conductividad con un conductímetro (Conductronic PCI8) con 0.1 de precisión.
- El pH con un Potenciómetro (PCI8) con 0.1 de precisión
- Oxígeno, Bióxido de carbono (Método titrimétrico), Alcalinidad total (Método de indicadores) y Dureza total (Método complejométrico, APHA – AWWA – WPCF, 1998).

3.-Biológicos

a) Recolecta en frascos:

- Se colectó una muestra de agua directamente del sistema en frascos de plástico de 250ml que se fijó con acetato de lugol para el análisis microscópico con el fin de encontrar algas microscópicas (Schwoerbel, 1975).
- Vegetación circundante, sedimento, costras, rocas, natas y filamentos visibles se recolectó en frascos con ayuda de espátulas, cepillo de alambre y se fijó con formol al 4 %.



Fase 2 – LABORATORIO:

1.-Morfométricos:

a) Análisis de sedimento

- El sustrato recolectado se dejó secar totalmente en charolas al aire libre. Con la ayuda de un juego de cribas de diferentes tamaños de malla normalizada (Tabla 2) que se colocaron unos sobre otros, se separaron las partículas según su tamaño. La muestra se agregó en la criba superior (la de malla más separada) y todo el juego de cribas se cierra con una tapadera y se agita. Después de 15 minutos de agitar constantemente se separaron las partículas y se pesaron por separado. (Schwoerbel,1975)

Número de Tamiz	Tamaño de la malla
6	3.36mm
8	2.38mm
20	0.84mm
123	0.125mm

Tabla 2. Tamaño de la malla dependiendo del número de tamiz

2.-Limnológicos:

a) Nutrientes:

- Para el análisis de los nutrientes se utilizaron las siguientes técnicas :

<u>TECNICA</u>	<u>METODO</u>
Amonio	Fenato
Nitratos	Ácidofenoldisulfónico
Nitritos	Ácido sulfanílico
Ortofosfatos	Fosfomolibdato

Tabla 3. Técnica y método utilizados para el análisis de nutrientes (APHA – AWWA – WPCF ,1998; Cervantes, 1985)



3.-Biológicos:

a) Observaciones al microscopio

- Se analizaron las muestras de algas al microscopio invertido (Olympus 1x 70 a 40x) para determinar las especies presentes por medio de claves como: Prescott, (1981) para nivel de género ; Palmer, (1962); Smith, (1950) y el catálogo de Ortega (1984) y para el nivel de especie: Gilbert, (1950); Patrick-Reimer (1975) y Jairo (2004).

Se realizaron recuentos de microalgas por medio de cámaras de sedimentación que permitieron obtener su densidad (Método de Uthermohl; Schwoerbel, 1975) . Ambas muestras (sedimento y agua) se analizaron por medio del método de conteo de campos (Secretaría de Pesca, 1975).

- Para las muestras de agua: **1.-** se colocaron 2ml de muestra en la cámara de sedimentación, se dejó reposar la muestra por lo menos 24 horas para que los microorganismos se sedimentaran. **2.-**Se colocó la cámara de sedimentación bajo el microscopio invertido y se enfocó con el objetivo a 40x para la observación de los microorganismos. **3.-**Se analizaron de 10 a 20 campos, registrándolos en una libreta.
- Para las muestras de sedimento:**1.-**Se pesó la cámara de sedimentación vacía. **2.-**Se colocó 1mg de muestra en la cámara. **3.-**Se dejó reposar la muestra hasta que estuviera casi seca.**4.-**Se pesó la cámara con la muestra. **5.-**Se colocó la cámara de sedimentación bajo el microscopio invertido y se observó con el objetivo a 40x en busca de algas bentónicas. **6.-**Se analizaron de 10 a 20 campos, registrándolos en una libreta.(Ramírez, 2004)



Fase 3 - GABINETE:

1.-Morfométricos:

Calculos

- Al registrar todos los resultados de los procedimientos mencionados (velocidad, perfil de profundidad y ancho del caudal); se pudo calcular la carga del caudal por medio de la siguiente fórmula:

$$Q = A \times V$$

En donde: Q = carga cm^3/seg

A = área cm^2 (área de la base del cuadrángulo: B X h)

V = velocidad cm/seg

(Wetzel y Likens, 1995)

b) Gráficas

- Se realizaron gráficas de los siguientes parámetros morfométricos a lo largo del estudio: Perfil de profundidad, velocidad de corriente, volumen del caudal, sedimento (por tipo de partícula).

2.-Limnológicos:

a) Gráficas

- Se graficaron los datos obtenidos a lo largo del estudio de los siguientes parámetros: temperatura, pH, oxígeno, bióxido de carbono, alcalinidad, dureza, amonio, nitratos, nitritos, fosfatos.

3.-Biológicos:

a) Se realizó un listado de las algas utilizando las claves ya citadas llegando hasta nivel de especie así como la lista de presencia y ausencia durante todo el ciclo de estudio de cada especie.

b) Para obtener la densidad de las algas se calculó el número de células por unidad de volumen por el método de conteo de campos:



Cálculos:

1.-Área de sedimentación de la cámara:

$$A = \pi r^2$$

2.-Número de campos para cada cámara las cuales tenían un volumen de 3ml

$$A \text{ en mm}^2 \text{ ----- } X$$

$$1 \text{ mm}^2 \text{ ----- } 6.25 \text{ campos a } 40x$$

$$X = \# \text{ de campos de cada cámara}$$

3.-Extrapolación

No. De organismos observados -----	No. De campos observados al microscopio
x -----	# de campos de cada cámara

$$x = \# \text{ de organismos totales en } 1 \text{ ml.}$$

(Secretaría de Pesca, 1975; Jairo, 2004)

- Se realizó un análisis exploratorio de los datos por medio de diagramas de cajas múltiples y pruebas no paramétricas (por si los datos no presentan una distribución normal) con correlaciones entre variables que pudieran describir el comportamiento de algunos de los resultados con el método de correlación de rangos de Spearman; así como también se realizó una técnica multivariada en donde se aplicó el análisis de “cluster” utilizando el paquete STATGRAPHICS V.7 (Salgado, 1992; Dos Santos, 2004).



RESULTADOS

1.- MORFOMÉTRICOS

Arroyo “El Salto”

a) Perfil de profundidad:

En la figura 2 se pueden observar los valores registrados de profundidad del arroyo durante todo el ciclo de estudio, notándose la mayor profundidad en noviembre con un valor de 17 cm y el menos profundo en marzo con un valor de 8.70 cm (vease anexo I y IV que contiene todos los datos de los perfiles de profundidad por mes así como el análisis estadístico que se realizó para estos datos)

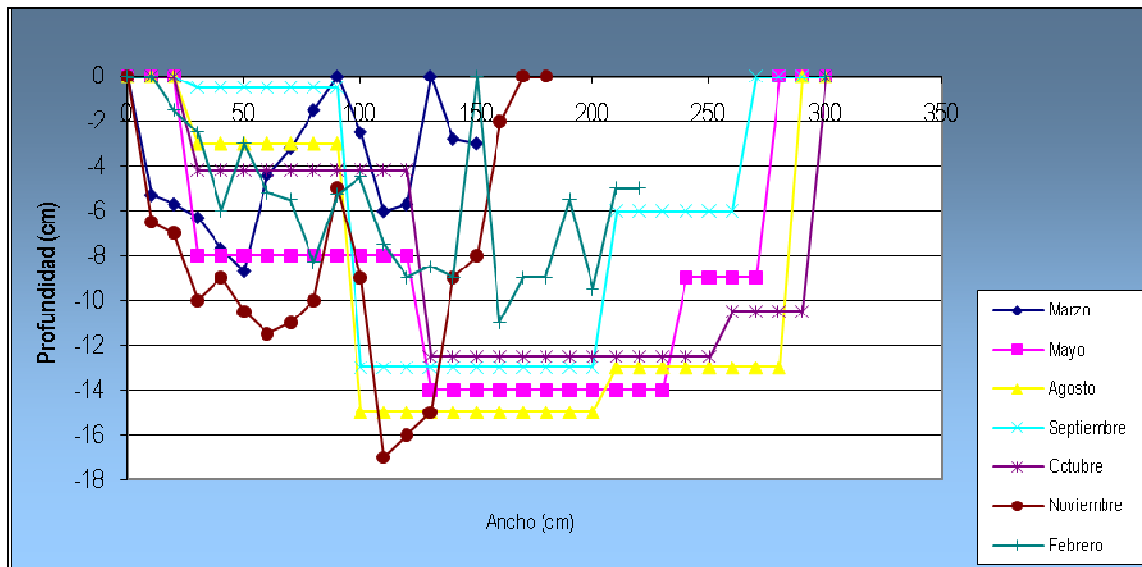


Figura 2. Perfiles de profundidad durante el ciclo

La siguiente gráfica representa los valores más bajos y más altos de los 7 meses en donde la mayor profundidad es para el mes de noviembre y la de menor profundidad es para marzo.

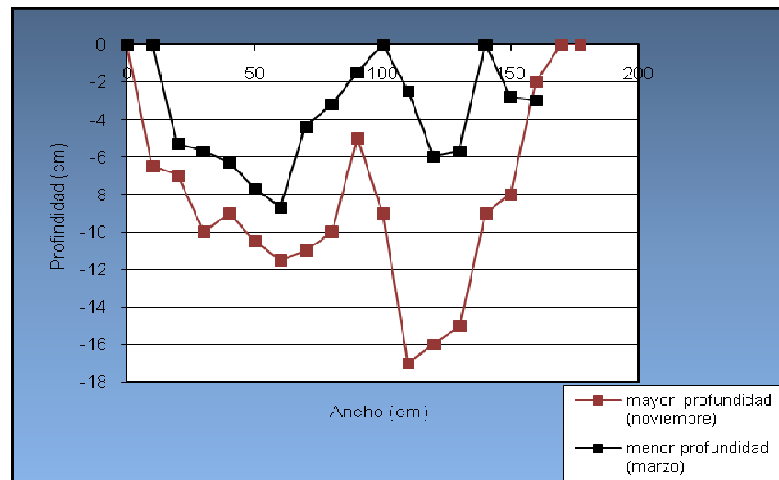


Figura 3. Perfiles de profundidad de noviembre y marzo

b) Velocidad de corriente

La velocidad de corriente registrada en el sistema durante el ciclo de estudio se encuentra representada en la figura 4 en donde se observan valores constantes para los meses de marzo a agosto y para septiembre, octubre y noviembre se observa un incremento siendo este último mes el que tiene el valor máximo con 74.20 cm/seg y febrero el valor mínimo con 25.43cm/seg .

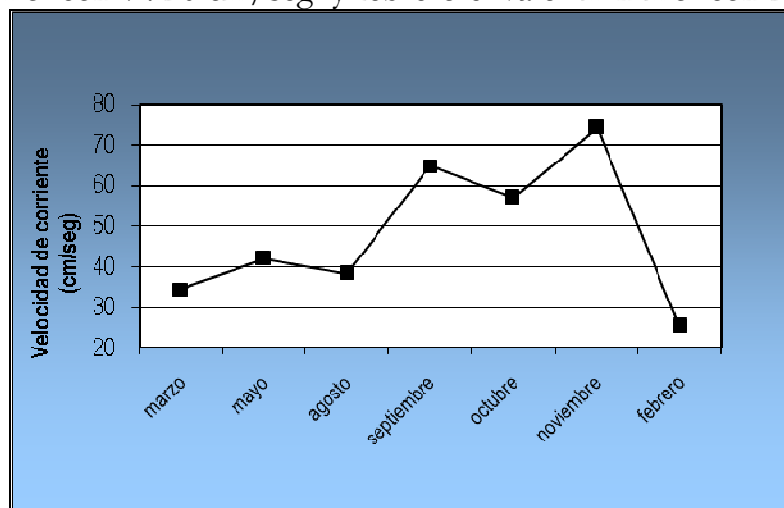


Figura 4 .Velocidad de corriente a través del tiempo.

La carga del caudal calculada a través del tiempo está representada en la figura 5 y tiene como valor mínimo 21.653 L/seg para el mes de marzo observándose una tendencia a aumentar para la época de lluvias que corresponden a los meses



de mayo a noviembre y para febrero se observa una disminución, el valor máximo corresponde a octubre con 155.034L/seg (vease anexo I).

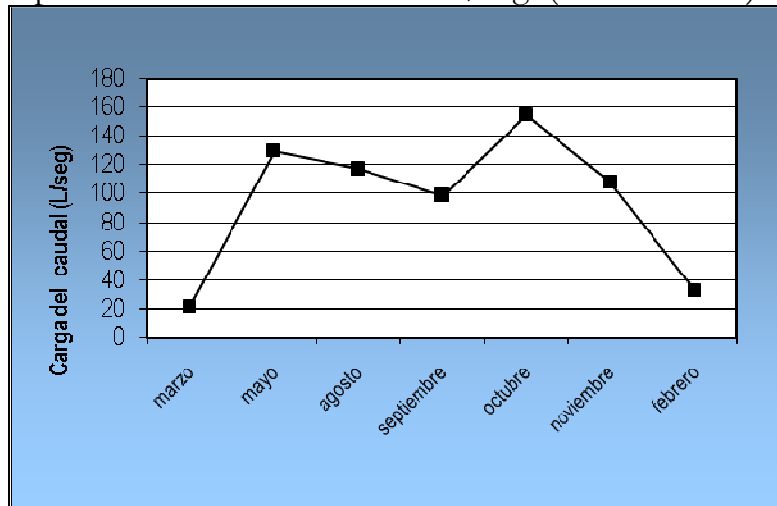


Figura 5. Carga del caudal a través del tiempo.

d) Muestreo de sedimento:

El tamaño de partícula (figura 6) que predominó durante el ciclo de estudio fue arena fina (2- 0.063 mm) con un porcentaje promedio de 88.1796 % siguiendo grava fina (6.3-2.0 mm) con 9.6943 % y finalmente arena gruesa (2.0 a 0.63 mm) con 1.6523 % y aluvión (por debajo de 0.063 mm) con 1.4791 %, los cuales se encontraron en porcentajes muy semejantes.

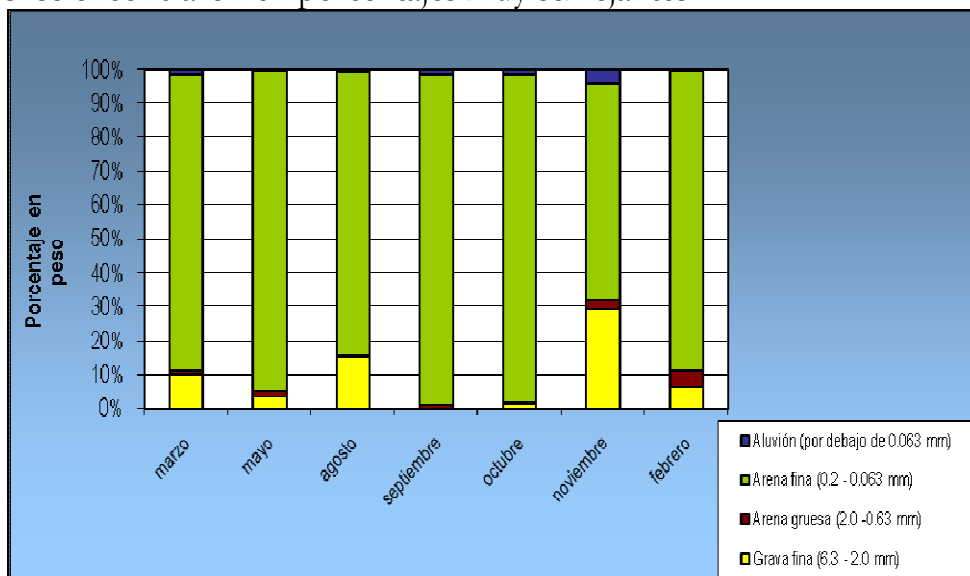


Figura 6. Registro del tamaño de partículas del sedimento



2.-LIMNOLÓGICOS

La figura 7 presenta los valores de temperatura ambiente en donde se observa un valor alto para el mes de marzo, para el mes de mayo (valor mínimo 17.5°C) se observa una disminución manteniéndose constante hasta el mes de octubre, con tendencia a aumentar, hasta llegar al valor máximo que corresponde al mes de noviembre con un valor de 29°C para de nuevo disminuir en febrero. Así mismo se presenta la temperatura del agua con un valor mínimo para el mes de marzo aumentando para el mes de mayo y agosto, para el mes de septiembre vuelve a disminuir manteniéndose constante hasta noviembre y el valor máximo corresponde al mes de febrero con 15.8°C.

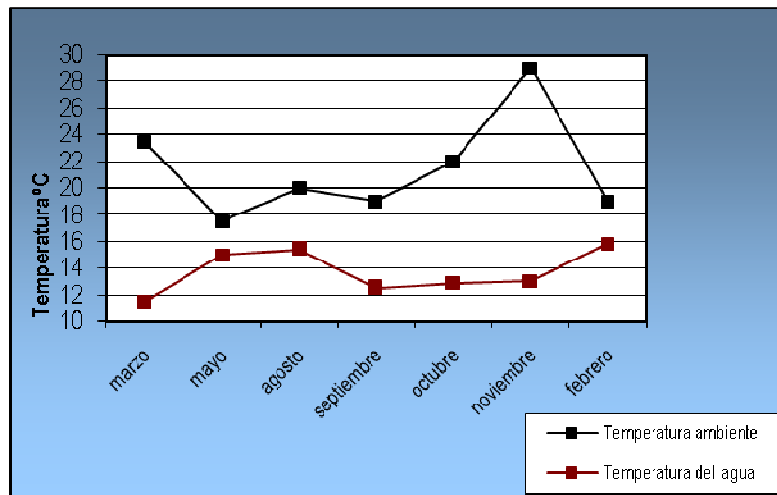


Figura 7. Registro de la temperatura ambiente

El pH del sistema no tiene variaciones muy marcadas manteniéndose constante de marzo (8.82) a octubre (7.7) en noviembre se observa un valor alto de 9.2 y febrero (8.28) vuelve a mantenerse dentro del rango anterior (marzo a octubre) (Figura 8).

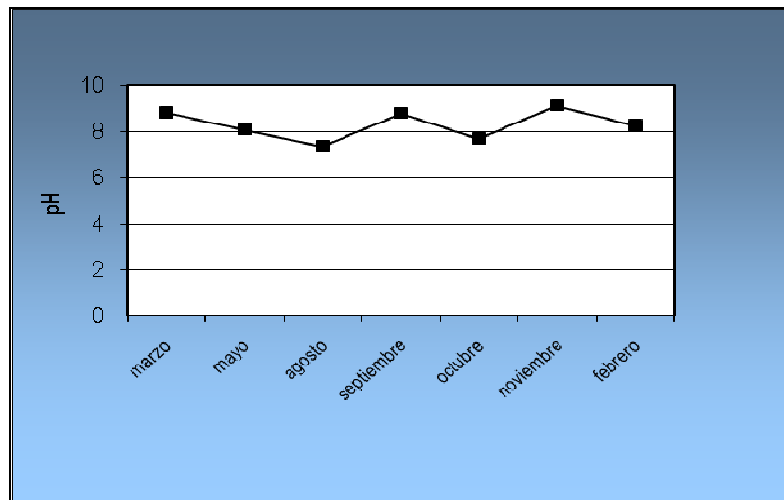


Figura 8.Registro del pH del agua

La conductividad presentó un valor constante de los meses de marzo a septiembre para disminuir en el mes de octubre con el valor mínimo $63.5 \mu\text{s}$ para los meses de noviembre y febrero se observa un aumento, el valor máximo corresponde al mes de agosto con $137 \mu\text{s}$ (Figura 9).

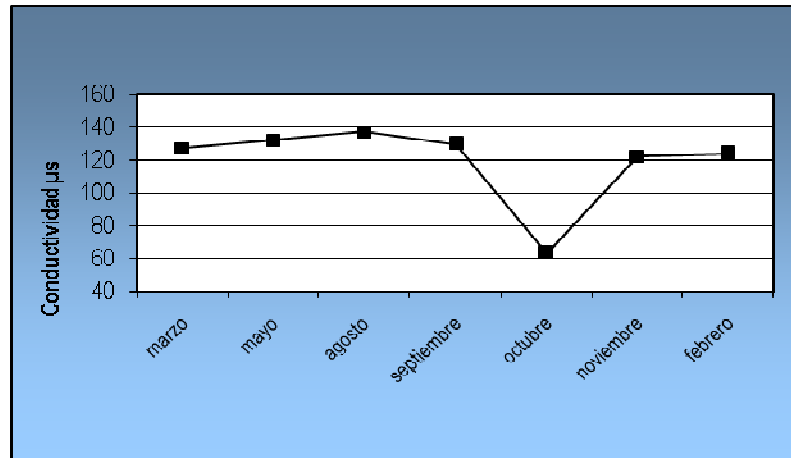


Figura 9.Registro de la conductividad del agua

El oxígeno disuelto (Figura 10) registrado a lo largo del estudio fue de 0.8mg/L para el mes de marzo y para los meses de mayo a noviembre se observa una tendencia a aumentar, meses que corresponden a la época de lluvias y vuelve a disminuir para febrero, el valor máximo corresponde para el mes de octubre con 7.3mg/L . Los valores de porcentaje de saturación fueron de 10% como mínimo y 99% como máximo.

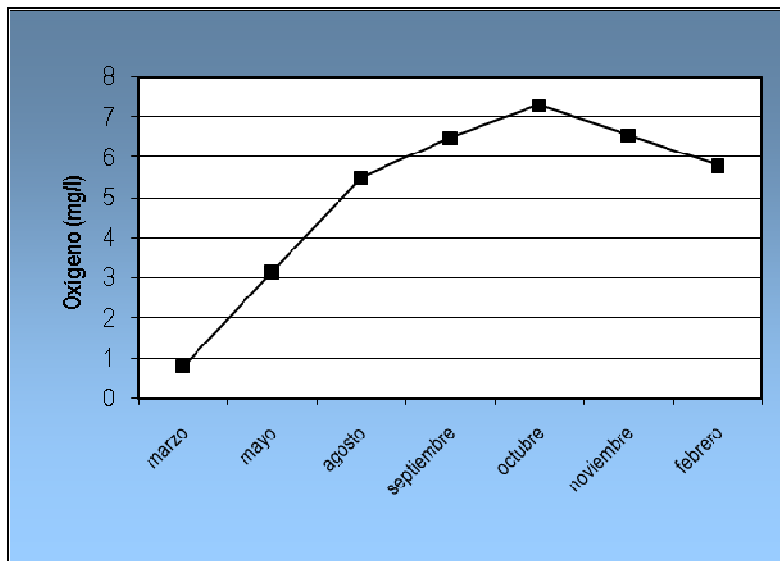


Figura 10. Valores registrados de oxígeno disuelto.

Para el bióxido de carbono (Figura 11) se observa una tendencia a aumentar para los meses de marzo a agosto siendo éste último el valor máximo con 1.24mg/L y para los meses de septiembre a noviembre (éste último corresponde al valor mínimo con 0.24 mg/L) se observa que los valores disminuyen y en febrero vuelve a aumentar el valor de bióxido de carbono con 0.96 mg/L para el mes de noviembre.

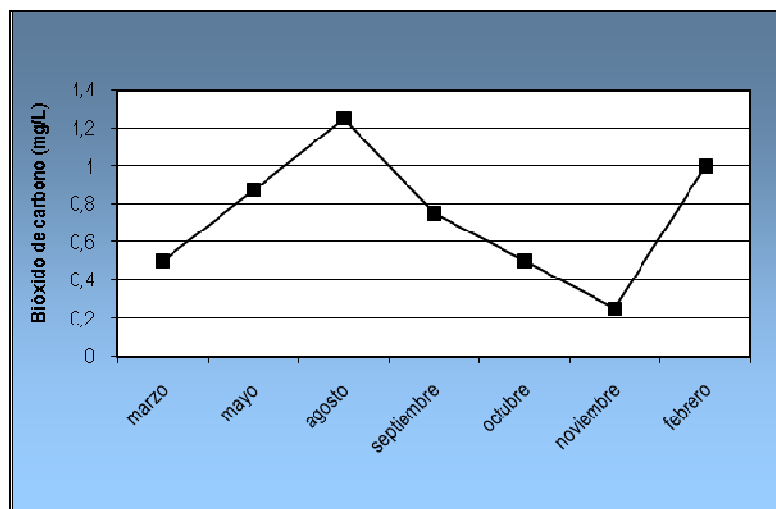


Figura 11. Registro de bióxido de carbono.

Los valores registrados para la dureza total (Figura 12) van de 120.12 mg/L para marzo como mínimo y como máximo 164.16 mg/L para noviembre y febrero observándose una tendencia a aumentar para la época de lluvias.

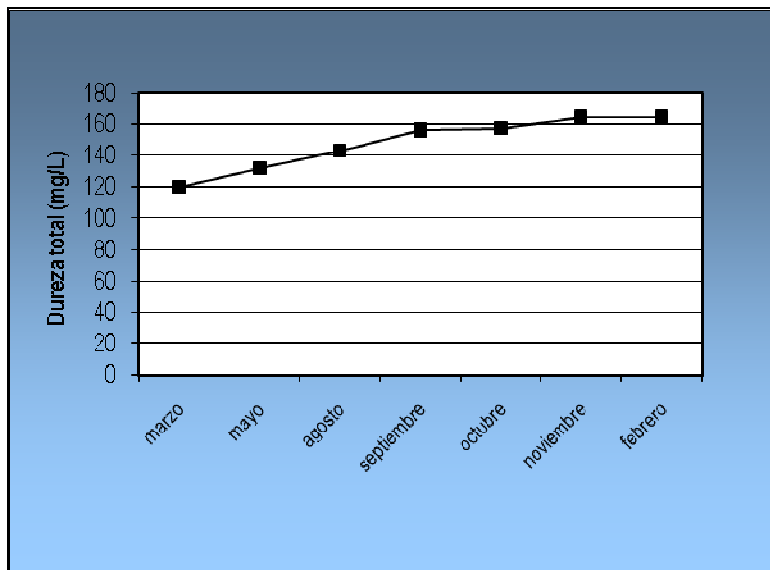


Figura 12. Registro de la Dureza total .

En cuanto a los valores de dureza de calcio (Figura 13) el intervalo oscila entre 9.20 mg/L para septiembre como valor mínimo y 30.83mg/L para febrero (valor máximo). De los meses marzo-agosto se observa una tendencia a aumentar, en septiembre hay una disminución muy marcada y de octubre a noviembre se observa un aumento nuevamente.

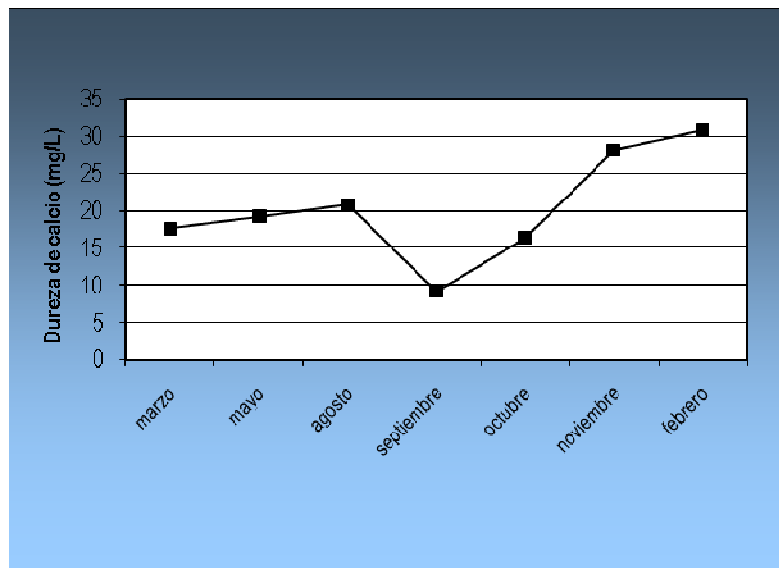


Figura 13.-Registro de la Dureza de calcio.

En cuanto a la alcalinidad total (Figura 14) no se observan variaciones muy marcadas excepto para agosto que corresponde al valor mínimo con 24 mg/L y el valor máximo corresponde para septiembre con 56.5mg/L.

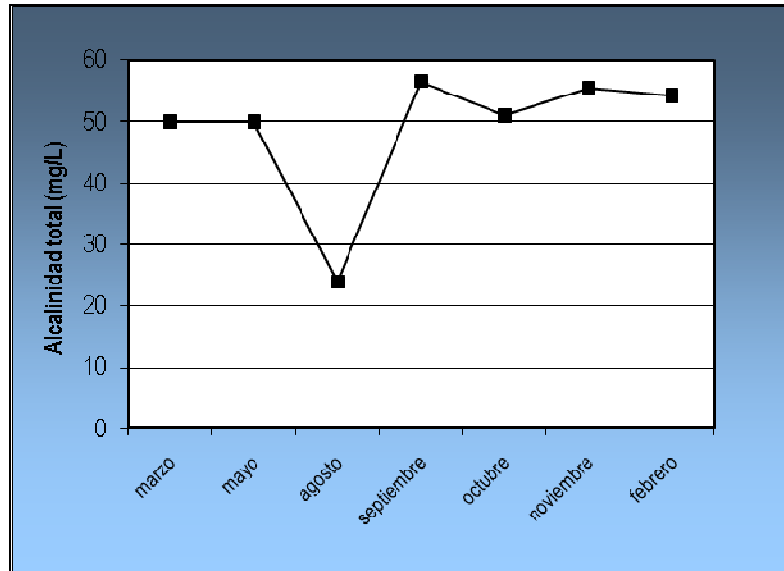


Figura 14. Alcalinidad.

La concentración de amonio (Figura 15) tuvo un valor máximo para marzo con 0.12 mg/l y un valor mínimo para mayo, septiembre y Noviembre con 0.0002 mg/l. La concentración de nitritos para marzo fue de 0.023mg/L siendo este el valor más elevado y el valor más bajo es de 0.0006mg/L para octubre. El intervalo que presentó el sistema en cuanto a nitratos fue de 0.02mg/L a .05 mg/L para mayo correspondiente al valor mínimo y el valor máximo que corresponde a febrero.

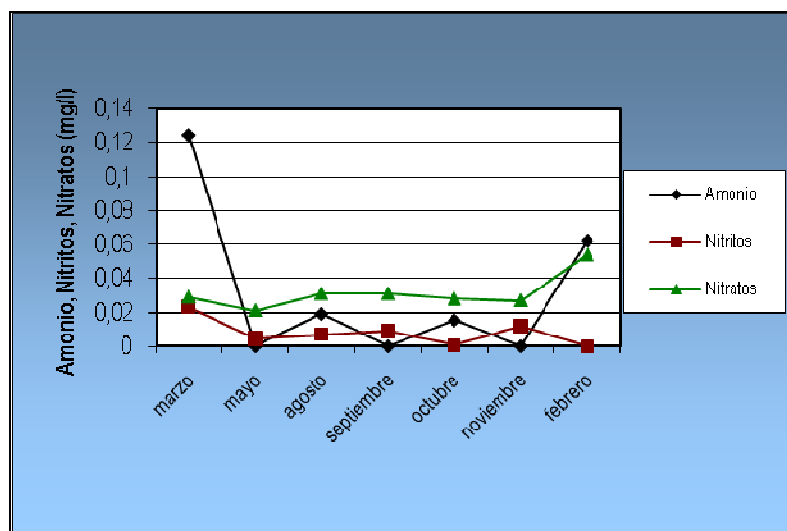


Figura 15. Amonio, nitritos y nitratos.



La concentración de ortofosfatos representada en la figura 16 tiene un valor mínimo de 0.09 mg/L en octubre y un máximo de 0.13 mg/L para mayo, observándose una tendencia a disminuir para la época de lluvias.

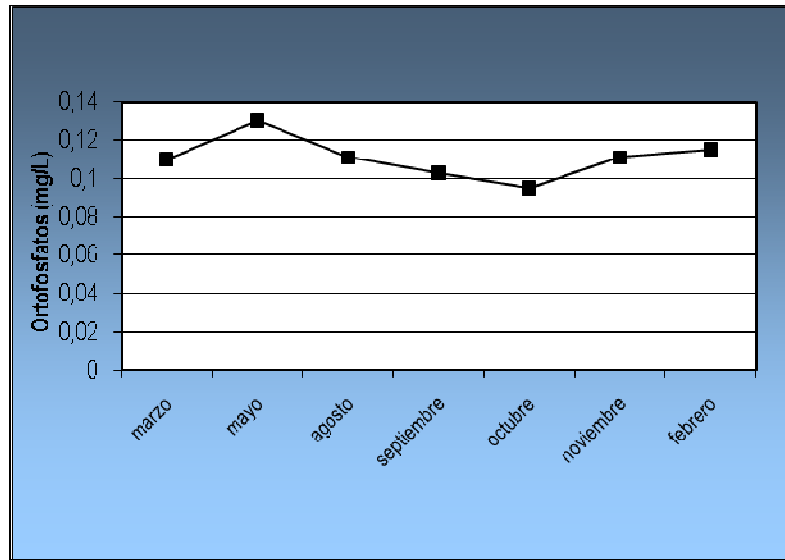


Figura 16.- Ortofosfatos.

En la tabla 4 se muestra un resumen de los valores máximos y mínimos de los parámetros físicos, químicos y biológicos que se obtuvieron a lo largo del estudio así como el mes en el que se presentó, además del promedio y la desviación estándar (Véase anexo IV, en donde se presenta el análisis de diagrama de cajas para cada parámetro).



Parámetro	Promedio	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
			MES	MES
Conductividad μ s	119	24.97	63.5 Octubre	137 Agosto
Temperatura Del agua °C	13.72	1.652	11.5 Marzo	15.8 Febrero
pH	8.31	0.66	7.38 Agosto	9.12 Noviembre
Temperatura Ambiente °C	21.42	3.89	17.5 Mayo	29 Noviembre
Velocidad de corriente cm/seg	48.05	17.68	25.43 Febrero	74.2 Noviembre
Carga del caudal L/seg	84.43	54.15	21.65 Marzo	155.03 Octubre
Oxígeno disuelto mg/L	5.08	2.30	0.8 Marzo	7.3 Octubre
Bióxido de Carbono mg/L	0.73	0.34	0.24 Noviembre	1.24 Agosto
Dureza Total mg/L	148.07	17.03	120.12 Marzo	164.16 Nov. Y Feb.
Dureza de Calcio mg/L	20.32	7.30	9.2 Septiembre	30.83 Febrero
Alcalinidad Total mg/L	48.74	11.22	24 Agosto	56.5 Septiembre
Ortofosfatos mg/L	0.11	0.01	0.09 Octubre	0.13 Mayo
Amonio mg/L	0.03	0.04	0.00027 Mayo, Sept. y Nov.	0.12416 Marzo
Nitritos mg/l	0.008	0.007	0.0006 Octubre	0.023 Marzo
Nitratos mg/L	0.11	0.13	0.021 Mayo	0.054 Febrero
Densidad de organismos en agua org/L	873,231	849023	229,775 Octubre	2,509,850 Marzo
Densidad de organismos en sedimento org/mg	31,993	804	63 Octubre	2177 Septiembre

Tabla 4. Valores máximos, mínimos, promedio y desviación estándar de los parámetros morfométricos, limnológicos y Biológicos.



3.-BIOLOGICOS

En esta tabla (5) se muestra la lista de especies registradas y ordenadas taxonómicamente según: Van den Hoek *et al*, 2002, Patrick, 1966; Prescott, 1981 y Smith, 1950.

División	Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Cyanophyta	Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena.sp</i>
				<i>Spirulina</i>	<i>Spirulina sp</i> Turpin,1827
		Hormogonales	Oscillatoriaceae	<i>Arthrospira</i>	<i>A.gomontiana</i> Setchell,1895
				<i>Lyngbya</i>	<i>L. aestuarii</i> Liebman,1841
				<i>Oscillatoria</i>	<i>O. formosa</i> Bory,1827
Chlorophyta	Chlorophyceae	Zygnematales	Desmidiaceae	<i>Closterium</i>	<i>C.parvulum</i> Nageli
		Ulotrichales	Ulotrichaceae	<i>Ulothrix</i>	<i>U.aequalis</i> Kuetzing,1845
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Achnathales	Achnantaceae	<i>Cocconeis</i>	<i>C.placentula</i> Ehr
				<i>Rhoicosphenia</i>	<i>R. curvata</i> (Kutz)Grunow, 1860
		Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Diatoma</i>	<i>D.hiemale</i> Roth
				<i>Fragilaria</i>	<i>F. capucina</i> Rabh
				<i>Tabellaria</i>	<i>T. fenestrata</i> (Lyngb)Kütz
		Naviculales	Cymbellaceae	<i>Gomphonema</i>	<i>G.venticosum</i> Greg
			Bacillareaceae	<i>Nitzchia</i>	<i>N.linearis</i> Agardh)W.Smith 1853
			Naviculaceae	<i>Navicula</i>	<i>N.cuspidata</i> (Kützing) Kützing1844
				<i>Pinnularia</i>	<i>P.brevicostrata</i> Cl.
				<i>Cymbella</i>	<i>C.cistula</i> Germany, Holstein,Wedel

Tabla 5.Especies acomodadas taxonómicamente



La tabla 6 muestra la presencia y ausencia de las especies del sistema a través del tiempo. (Ver anexo III en donde se da una breve descripción de cada especie). En donde se puede observar que las especies de *Arthrospira gomontiana*, *Closterium parvulum*, *Pinnularia brevicostata* y *Tabellaria fenestrata* fueron observadas en un solo mes durante todo el ciclo de estudio a diferencia de *Navicula cuspidata* y *Rhoicosphenia curvata* que se observaron todos los meses

	C	O	L	E	C	T	A
NOMBRE DE ESPECIE	MAR.	MAYO	AGOS.	SEPT.	OCT.	NOV.	FEB.
<i>Anabaena sp.</i> , Bory1822	X	X			X		
<i>Arthrospira gomontiana</i> , Setchell 1895	X						
<i>Closterium parvulum</i> , Nageli	X						
<i>Cocconeis placentula</i> , Ehr.	X	X	X		X	X	X
<i>Cymbella cistula</i> , Germany, Holstein, Wedel	X	X	X	X	X		X
<i>Diatoma hiemale</i> , Roth	X	X	X			X	X
<i>Fragilaria capucina</i> , variedad <i>mesolepta</i> , Rabh	X	X	X		X	X	X
<i>Gomphonema venticosum</i> , Greg		X	X		X		X
<i>Lyngbya aestuarii</i> , Liebmann 1841				X	X	X	X
<i>Navicula cuspidata</i> , (Kützing) Kützing 1844	X	X	X	X	X	X	X
<i>Nitzchia linearis</i> , (Agardh) W. Smith 1853	X	X	X		X	X	X
<i>Oscillatoria formosa</i> , Bory 1827	X	X	X		X		
<i>Pinnularia brevicostata</i> , Cl.						X	
<i>Rhoicosphenia curvata</i> , (Kütz) Grunow 1860	X	X	X	X	X	X	X
<i>Spirulina sp.</i> , Turpin 1827	X	X					
<i>Tabellaria fenestrata</i> , (Lyngb) Kütz	X						
<i>Ulothrix aequalis</i> , Kuetzing 1845	X	X	X		X		X

Tabla 6.-Especies existentes en el arroyo el "Salto" por mes.



Especies presentes en uno o dos muestras



Especies presentes en tres a cinco muestras



Especies presentes en seis o siete muestreos



En cuanto a la densidad total de organismos en agua (Figura 17) se observa una tendencia a disminuir de mayo a octubre siendo éste último el valor mínimo 230 org /L y el máximo se presenta para marzo con 2,509,850 org/L.

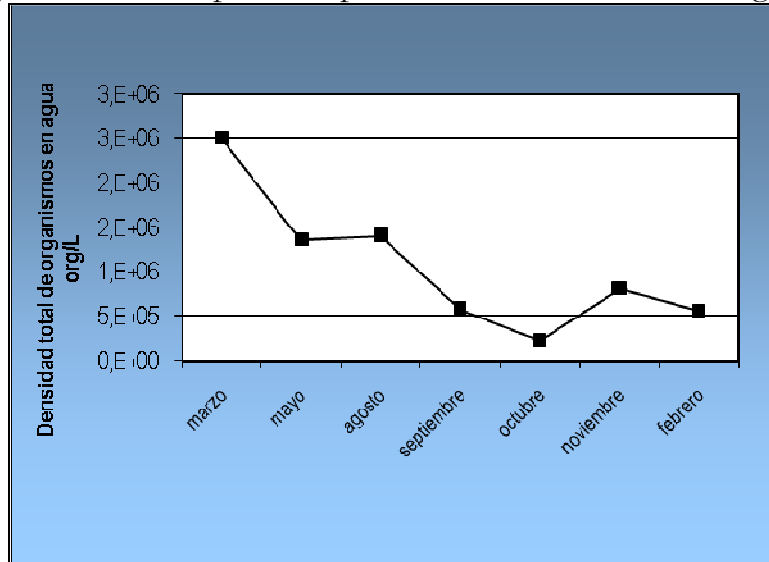


Figura 17.- Densidad total en agua

La figura 18 nos muestra los porcentajes de las especies más abundantes a lo largo del estudio siendo *Navicula cuspidata* con 54%, *Fragilaria capucina* con 12%, *Rhoicosphenia curvata* con 11%, *Diatoma hiemale* con 6%, *Cymbella cistula* con 5% y *Cocconeis placentula* con 5%. (Vease anexo III, donde se presentan todos los datos numéricos)

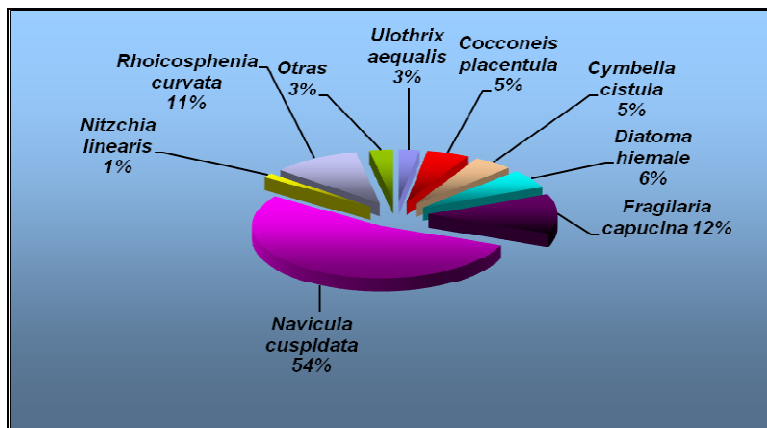


Figura 18.- Porcentaje de Densidad total por especie en agua



La densidad total en sedimento está representada en la figura 19 se observa una tendencia a disminuir en época de lluvias con un valor máximo de 2178 org/mg para el mes de febrero y para el mes de septiembre como valor mínimo de 35 org /mg.

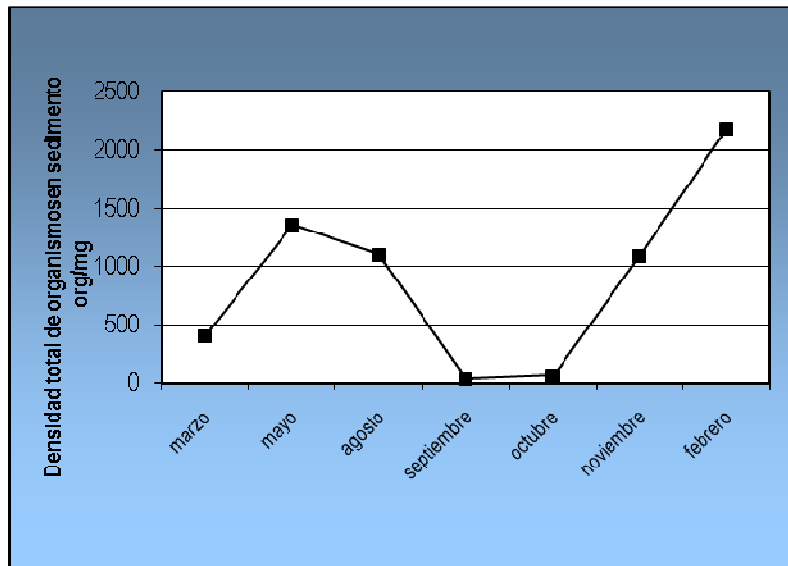


Figura 19. Densidad total en sedimento.

La figura 20 representa el porcentaje de la densidad total por especie en el sedimento siendo las más abundantes *Navicula cuspidata* con un 56%, *Fragilaria capucina* con un 15 %, *Rhoicosphenia curvata* con un 20% y *Cocconeis placentula* con un 7 %. (Ver anexo III, en donde se presentan todos los datos numéricos).

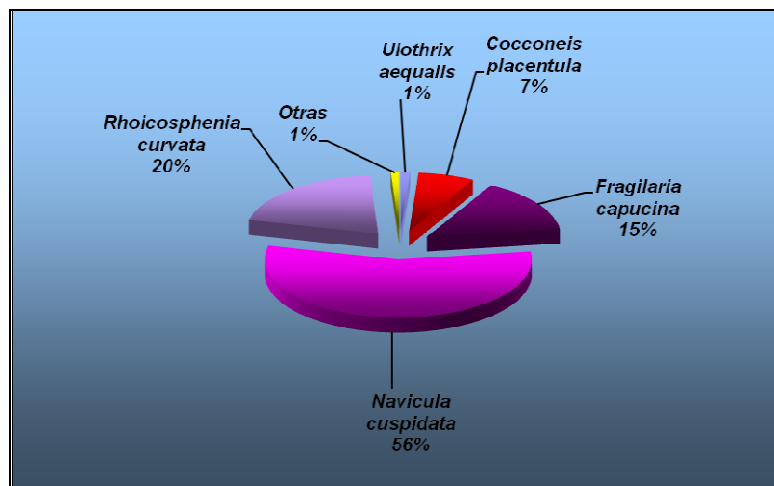


Figura 20. Porcentaje de la Densidad total por especie en sedimento



a) Densidad por especie en agua y en sedimento

En las siguientes graficas se muestran las densidades por especie en agua (Figura 21) y en sedimento (Figura 22) en donde se observa que en ambos hábitats dominaron las diatomeas siendo la especie *Navicula cuspidata* la mas abundante mientras que *Fragilaria capucina*, *Rhoicosphenia curvata* y *Diatoma hiemale* se presentaron en cantidades muy similares.

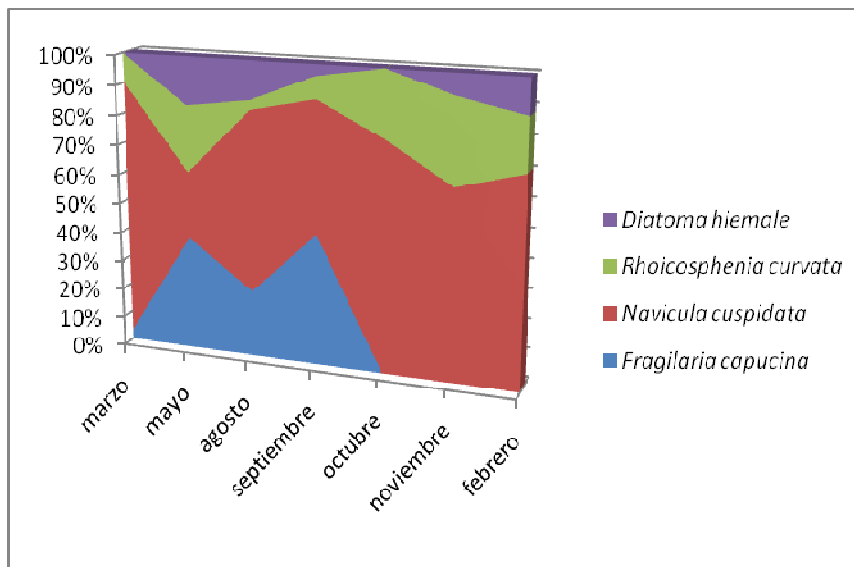


Figura 21. Densidad por especie en agua

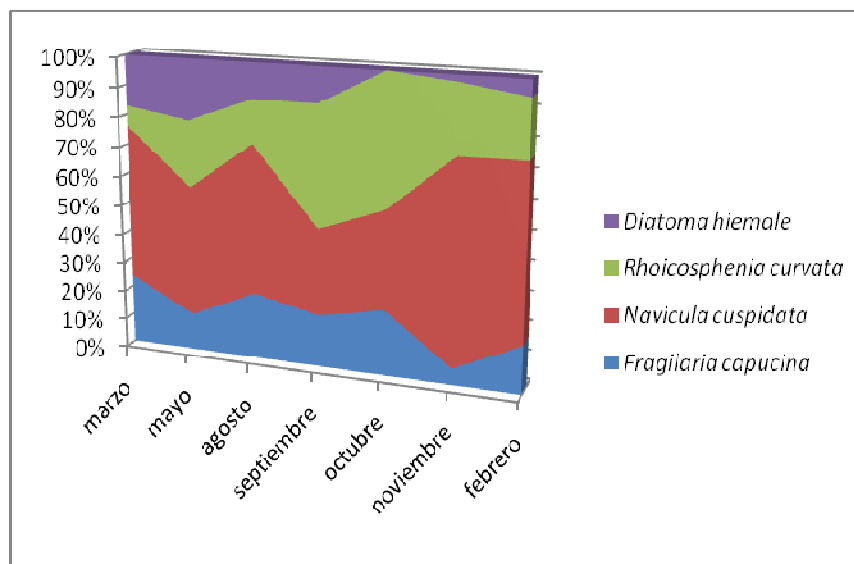


Figura 22. Densidad por especie en sedimento



La siguiente grafica (figura 23) muestra los valores de la densidad de organismos en agua con la temperatura del agua, en donde esta ultima presenta valores bajos muy similares en los meses de marzo, septiembre, octubre y noviembre y para mayo, agosto y febrero mantienen los valores mas altos, en cuanto a la densidad se observa el valor mas alto en el mes de marzo, para mayo y agosto tienen valores muy similares, en septiembre y octubre se observa una disminución de organismos, en noviembre nuevamente aumentan y para febrero se observa otra disminución.

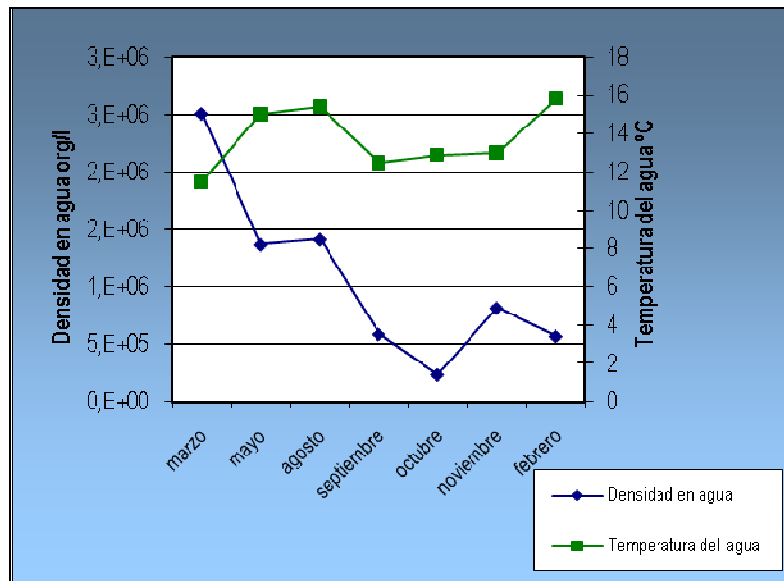


Figura 23. Densidad de organismos en agua y Temperatura del agua

En la densidad de organismos en sedimento y la temperatura del agua (figura 24) se observa que tiene una tendencia a aumentar en mayo y para los meses de agosto a octubre hay una disminución de ambas variables se observa un aumento para los meses de noviembre a febrero.

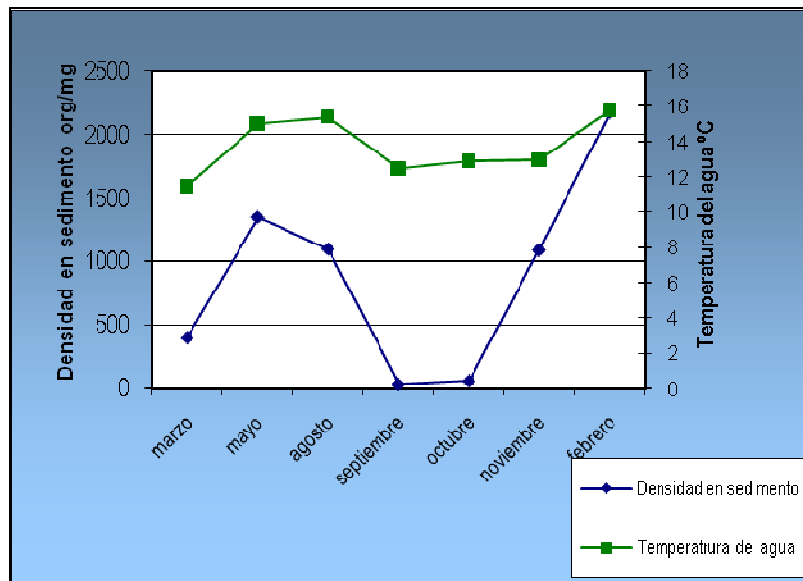


Figura 24. Densidad de organismos en sedimento y Temperatura del agua

La figura 25 muestra valores de la densidad de organismos en agua contra la velocidad de corriente del sistema observándose que la velocidad de corriente aumenta para la época de lluvias que va de mayo a noviembre mientras que la densidad en agua disminuye a partir de mayo. El comportamiento de la densidad en agua se presentó de forma inversa a la velocidad de corriente esto es, cuando una aumenta la otra disminuye y viceversa. Se realizó el análisis estadístico entre ambas variables con una correlación de Spearman dando un valor $r_s = -0.25$.

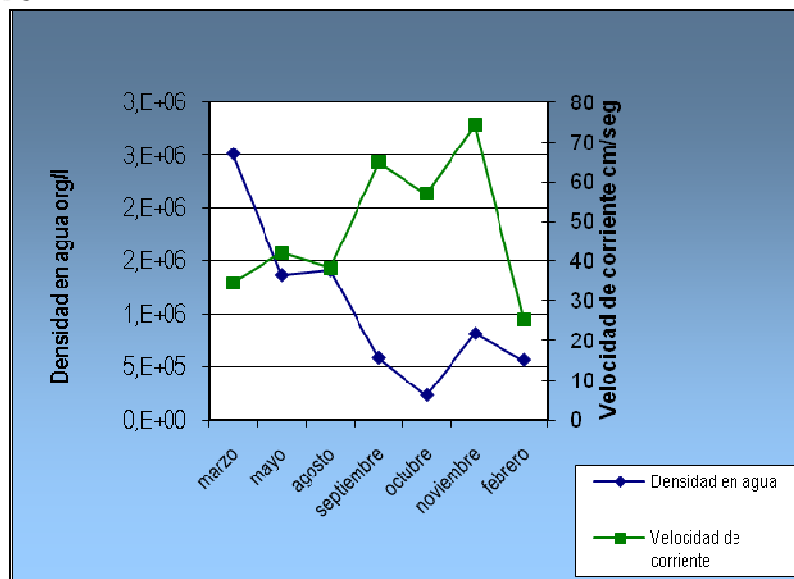


Figura 25. Densidad de organismos en agua y velocidad de corriente



La figura 26 representa la densidad de organismos en sedimento comparada con la velocidad de corriente y puede observarse que la densidad en sedimento se mantiene a la par con la velocidad de corriente en los meses de mayo y agosto, para septiembre y octubre ambas variables se disparan una aumentando (velocidad de corriente) y otra disminuyendo (densidad). El coeficiente de correlación de Spearman nos da un valor de $r_s = -0.5714$.

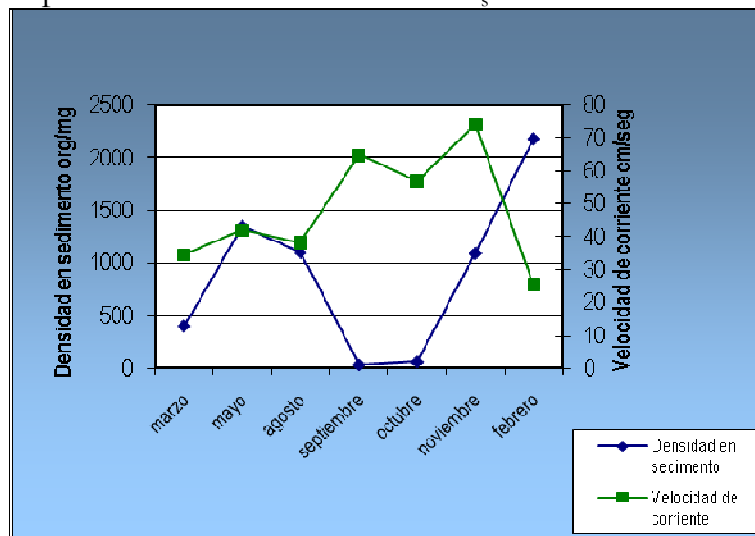


Figura 26. Densidad de organismos en sedimento y velocidad de corriente

La figura 27 muestra la densidad total de organismos en agua y la carga del caudal en donde se puede observar que la carga del caudal aumenta para los meses de mayo a noviembre (época de lluvias) y disminuye nuevamente para el mes de febrero y la densidad en agua disminuye para el mes de mayo, en agosto aumenta ligeramente y vuelve a disminuir hasta octubre aumentando nuevamente para noviembre. En el análisis de coeficiente de correlación de Spearman se obtuvo un valor de $r_s = -0.1071$.

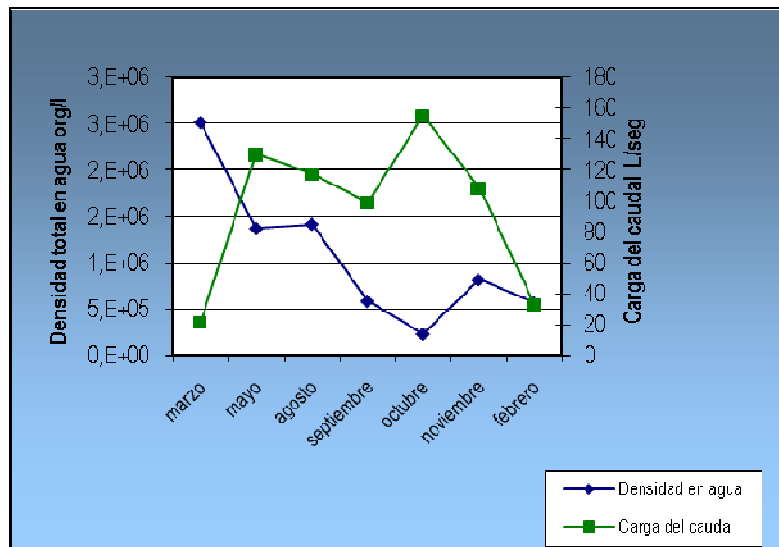


Figura 27. Densidad de organismos en agua y carga del caudal

La figura 28 presenta los valores de densidad en sedimento contra la carga del caudal y se puede observar que para el mes de mayo hay un aumento de ambas variables, para agosto y septiembre disminuyen, en octubre hay un aumento en la carga de caudal mientras que la densidad aumenta ligeramente, para noviembre la carga del caudal va disminuyendo hasta el mes de febrero mientras que la densidad aumenta hasta obtener su valor mas alto en el mes de febrero. El valor del coeficiente de correlación de Spearman para estas variables fue de $r_s = 0.17858$

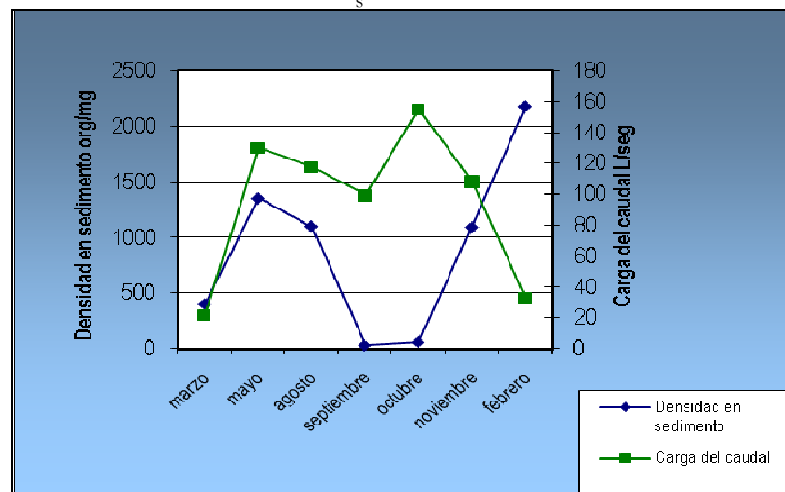


Figura 28. Densidad de organismos en sedimento y carga del caudal

En la figura 29 se muestra la densidad de organismos en agua comparada con el amonio para el mes de mayo hay una disminución de las dos



variables, en agosto vuelven a aumentar, para septiembre disminuyen y para los meses de octubre, noviembre y febrero, se observa un comportamiento inverso (cuando una variable aumenta la otra disminuye), se realizó un análisis de correlación de Spearman con un valor de 0.4286, el amonio es el primer compuesto dentro del ciclo biogeoquímico del nitrógeno y por lo tanto no hay una relación tan estrecha entre ambas variables.

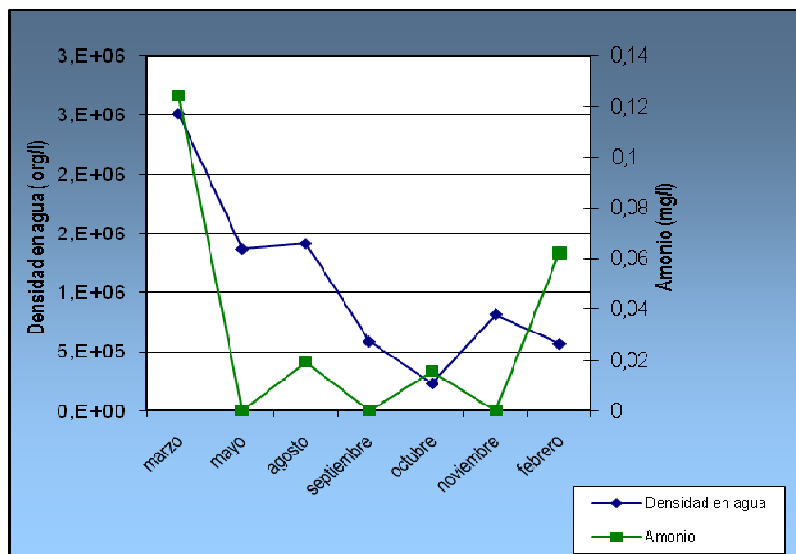


Figura 29. Densidad de organismos en agua y amonio

En la figura 30 se observa la densidad de organismos en sedimento y la concentración de amonio en donde se observa un comportamiento inverso en los meses de marzo, mayo, agosto, octubre y noviembre, sin embargo para el mes de febrero se observa que ambas variables aumentan, se tiene un valor de correlación de spearman de 0.1786.

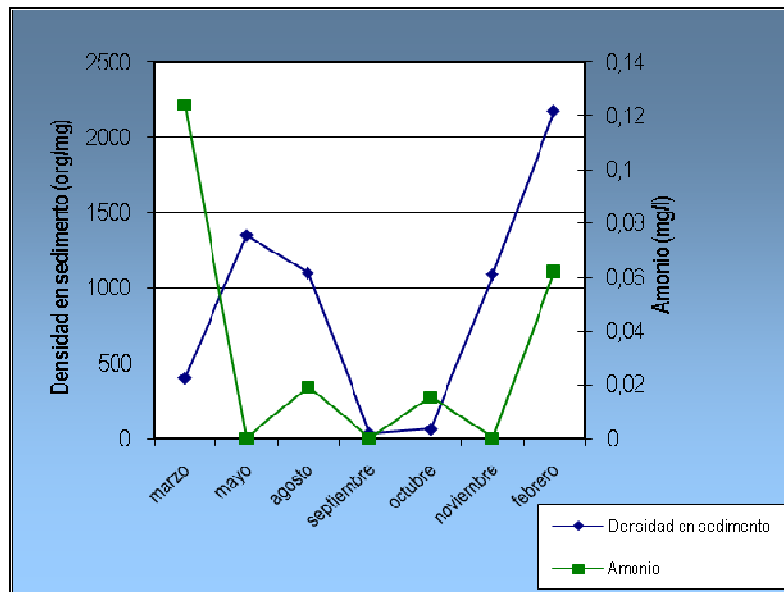


Figura 30. Densidad de organismos en sedimento y amonio

La densidad de organismos en agua comparada con los nitritos (figura 31) presenta una gráfica en donde se puede observar una disminución de ambas variables para el mes de mayo y un aumento en agosto, en septiembre y octubre presentan un comportamiento inverso, en noviembre aumentan nuevamente y para febrero se tienen una disminución de las dos variables.

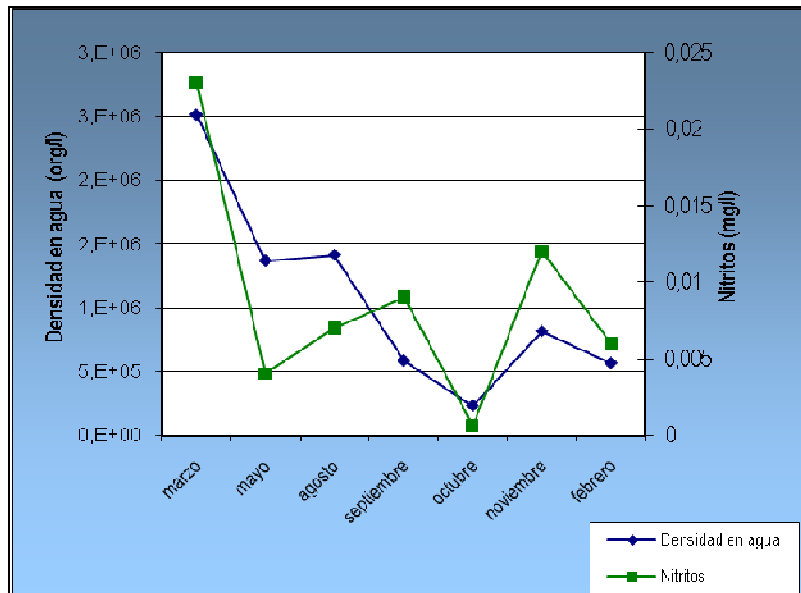


Figura 31. Densidad de organismos en agua y nitritos



La figura 32 muestra la densidad en sedimento con los nitritos en donde nuevamente se observa una conducta en la que cuando una variable aumenta la otra disminuye para los meses de marzo a septiembre y febrero; para octubre y noviembre ambas presentan conductas similares.

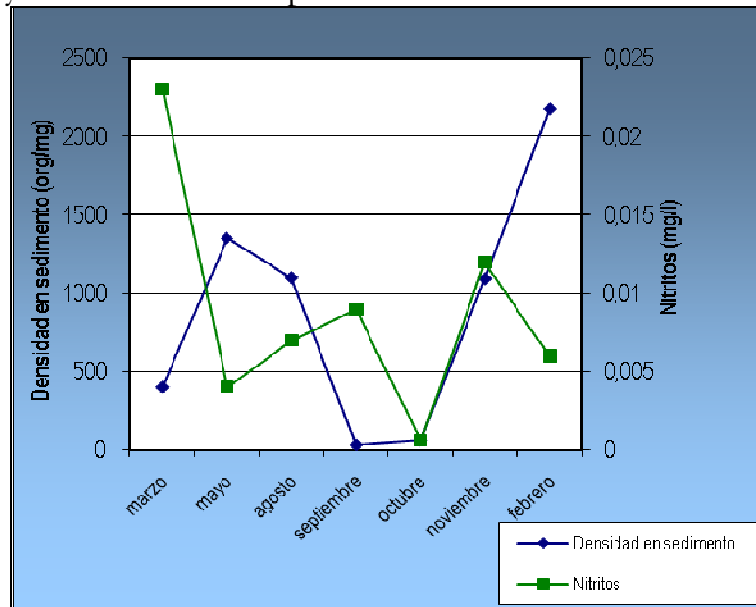


Figura 32. Densidad de organismos en sedimento y Nitritos

La densidad en agua comparada con los nitratos (Figura 33) presenta tendencias muy similares para los meses de marzo y mayo y para el mes de agosto se observa un aumento en los nitratos, para septiembre se mantienen constantes los valores de nitratos hasta noviembre mientras que para la densidad se observa una disminución de agosto a octubre para noviembre y febrero se presentan valores inversos. El valor del coeficiente de correlación de Spearman de estas variables fue de $r_s = -0.15178$

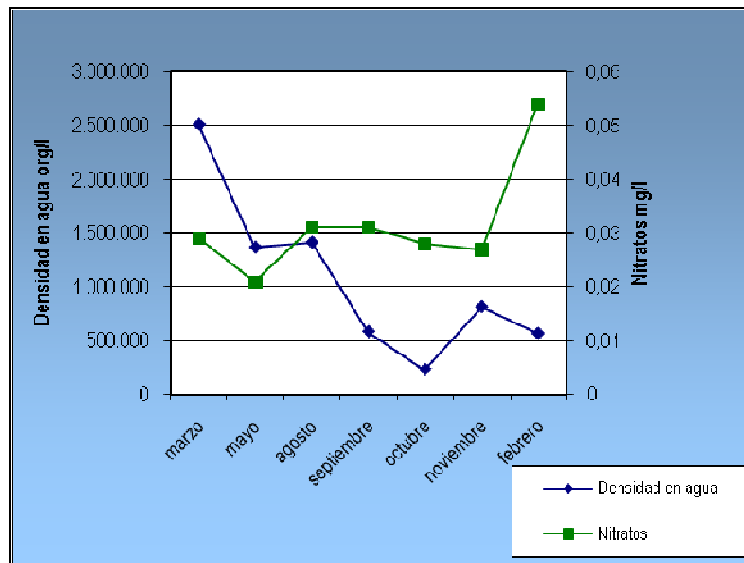


Figura 33. Densidad de organismos en agua y Nitratos

El comportamiento de la densidad en sedimento y de los nitratos (figura 34) presenta variaciones para los meses de marzo a octubre, para los meses de noviembre y febrero ambas variables presentan una conducta muy similar, el valor más alto se presentó en el mes de febrero. El coeficiente de correlación de Spearman es de $r_s = -0.3616$

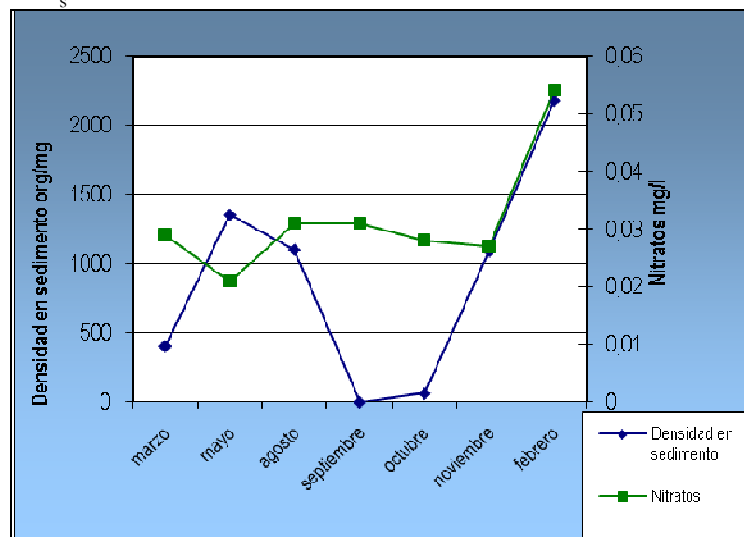


Figura 34. Densidad de organismos en sedimento y Nitratos

En cuanto a la densidad de organismos en agua con los ortofosfatos (figura 35) se puede observar que los ortofosfatos se mantienen constantes sin muchas variaciones y en donde se puede apreciar que para el mes de marzo presentan cierta relación ambas variables, siendo más alta la densidad en agua y los



ortofosfatos disminuyen. El coeficiente de correlación de Spearman da un valor de $r_s=0.1518$.

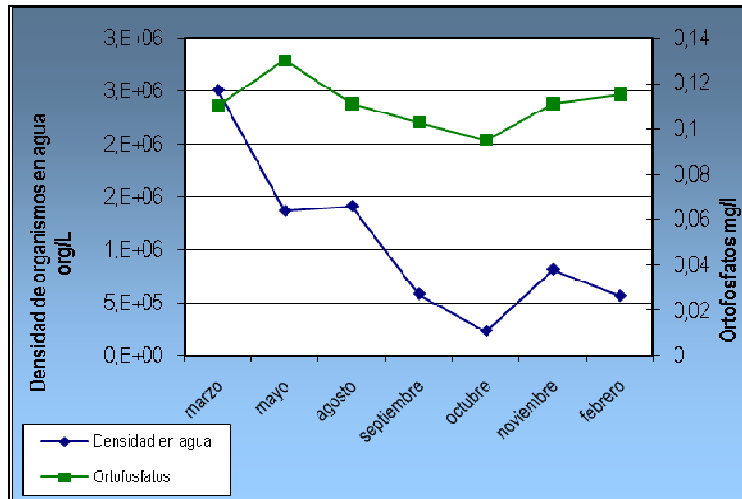


Figura 35. Densidad de organismos en agua y Ortofosfatos

En la siguiente figura (36) se representa a los ortofosfatos sin variaciones pero en la densidad en sedimento hay un aumento para el mes de mayo y al igual que los ortofosfatos; sin embargo para los meses de septiembre y octubre la densidad y los ortofosfatos disminuyen, para el mes de febrero se encuentra una relación inversa entre ambas variables. El coeficiente de correlación de Spearman para estas variables fue de $r_s=0.84822$.

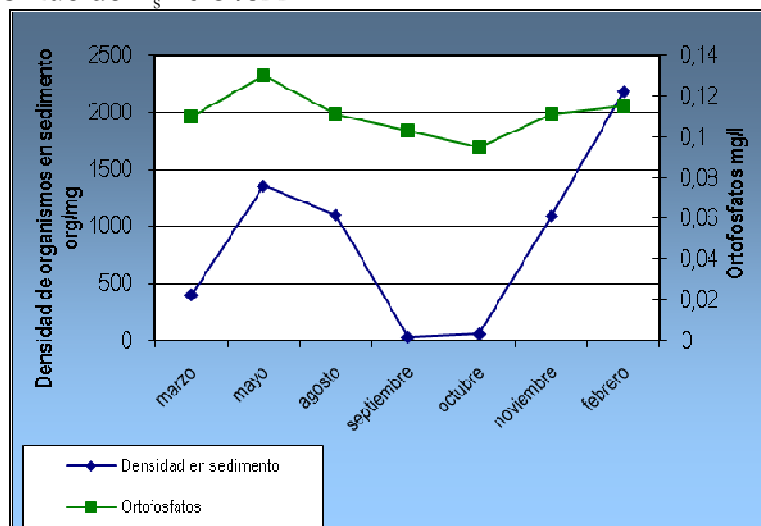


Figura 36. Densidad de organismos en sedimento y Ortofosfatos



El análisis de “Cluster” que se muestra en la fig.37 está basado en la distancia euclidiana y el método del vecino mas cercano, se discriminaron dos grupos durante las dos temporadas (secas o estiaje y la de lluvias), con mayor definición en donde se observan a marzo y febrero como los meses de secas presentándose en los extremos del diagrama debido a que el mes de marzo pertenece al año 2004 y febrero al año 2005 y de mayo a noviembre del año 2004 como la época de lluvias en donde podemos hacer dos clasificaciones mas según el análisis de cluster la de lluvias moderadas (mayo y agosto) y la de lluvias intensas (septiembre a noviembre).

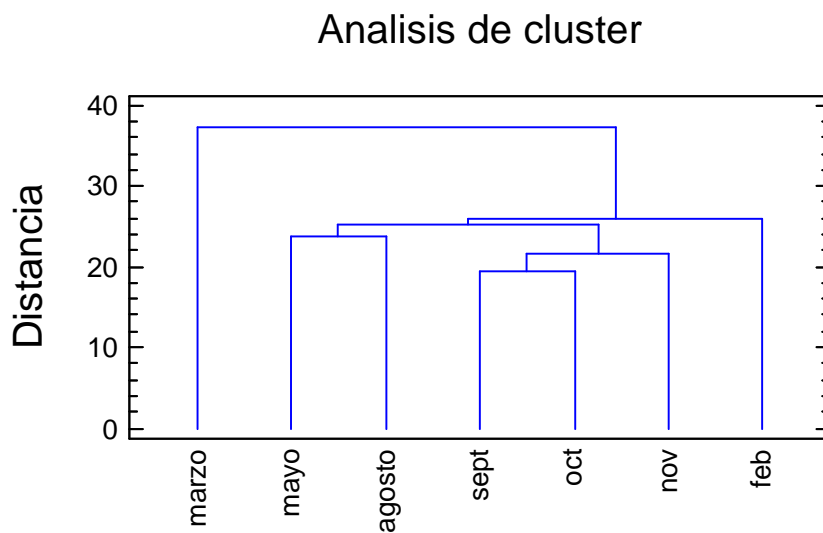


Figura 37. Grafica del análisis de “Cluster”



DISCUSION DE RESULTADOS

El paisaje actual de las montañas del Izta-Popo se encuentra profundamente transformado por efecto de la intervención humana.

Aunque no se cuenta con datos precisos sobre la disminución total de la superficie boscosa original, se estima que en los últimos 20 años se han perdido alrededor de 18 mil hectáreas que representan cerca del 50% de la vegetación natural que tenía entonces. Estas alteraciones del ecosistema han generado, asimismo, la pérdida acelerada del suelo y hábitats naturales, la disminución de las poblaciones de flora y fauna silvestres y la merma de sus capacidades de generar oxígeno y captar agua (Chávez, 2003).

Las causas de este deterioro residen principalmente en el uso no sustentable de sus recursos naturales (Chávez, 2003).

El notable aumento de poblados y habitantes en su zona de influencia y la presión que estos ejercen para cambiar el uso de los suelos forestales hace pensar que, de continuar estas tendencias, en 20 años podrían haberse generado daños irreversibles y escenarios catastróficos que tendrían impactos negativos en toda la región (Chávez, 2003).

Sin duda, la dimensión y complejidad de los problemas ambientales del parque Nacional y su área de influencia requieren de estrategias integrales en las que confluyan, bajo una misma visión, la conservación de los ecosistemas naturales que subsisten, la restauración de los ecosistemas deteriorados y la incorporación de prácticas sustentables para aprovechar los recursos naturales de la zona de influencia del Parque Nacional.

Para “cosechar agua” se han construido cerca de 19,000 zanjas (tinas ciegas) en las laderas de cerros deforestados y erosionados (Chávez, 2003).

Estas retienen los escurrimientos superficiales y propician una mayor recarga de los mantos acuíferos. La capacidad global de las zanjas es de 9 millones de litros. El afloramiento de algunos manantiales en la zona es indicio de que estas acciones están cumpliendo su cometido (Chávez, op cit).



En el mundo moderno, casi todos los países vienen reconociendo a las grandes cuencas hidrográficas como los territorios más apropiados para conducir los procesos de manejo, aprovechamiento, planeación y administración del agua y, en su sentido más amplio y general, como los territorios más idóneos para llevar a cabo la gestión integral de los recursos hídricos.

Las cuencas hidrográficas son sistemas bien definidos por el relieve terrestre y conectado entre sí de tal manera que tienen una influencia fuera de su entorno. El clima, las plantas y el suelo dentro de una cuenca están ligados entre sí de tal forma que constituyen combinaciones únicas de características físicas que dan como resultado el ambiente (Galván y Márquez, 2006).

El arroyo “El Salto” presenta parámetros morfométricos muy particulares de los sistemas lóticos de alta montaña siendo estos un factor muy importante para el desarrollo de organismos como las algas

El sistema presentó un valor máximo de 3 m de ancho y la profundidad presentó variaciones a lo largo del ciclo dependiendo la época estacional, del mes de mayo a noviembre, correspondientes a la época de lluvias, los valores van de 12.5 a 17 cm y la época de secas que corresponde a los meses de febrero y marzo con valores que van de 8.7 a 14 cm.

La velocidad de corriente representa una fuerza física directa que los organismos experimentan dentro de la columna de agua, la corriente afecta la disponibilidad de ciertos recursos al contribuir al movimiento de los nutrimentos y al aporte de materia orgánica lo que influye en su distribución río abajo (Rott y Fister 1988 citado en Bojorge 2007).

La velocidad de corriente que se registró durante el ciclo de estudio tiene los valores mas altos en la época de lluvias que van de 38.29 cm/seg (0.3829 m/seg) hasta 74.20 cm/seg (0.742 m/seg) y para la época de secas presentan valores de 25.43 cm/seg (0.2543 m/seg) hasta los 42.01 cm/seg (0.4201 m/seg), la velocidad de corriente en este sistema depende mucho de la pendiente. El sistema estudiado se considera un arroyo de aguas rápidas que van de 0.5 a 1 m/seg según la clasificación de Berg (Tabla 8).



Muy lentas	Inferior a 0.1m/s
Lentas	De 0.1 a 0.25 m/s
Medias	De 0.25 a 0.5 m/s
Rápidas	De 0.5 a 1 m/s
Muy rápidas	Superiores a 1m/s

Tabla 8.- Para determinar la velocidad de la corriente según Berg (Arrignon, 1984) citado en De Anda-Miranda,2004

La carga del caudal está muy relacionada con la velocidad de corriente y la profundidad, presentando para la época de lluvias valores de 36.34 L/seg a 155.034 L/seg y para la época de de secas 21.653 a 130.188 L/seg.

En el caso de los sustratos las características macroestructurales de éstos afectan el establecimiento, crecimiento y distribución de las algas a lo largo del cauce la configuración del sustrato, por ejemplo si se trata de un musgo, funciona como red y selecciona los posibles colonizadores que se encuentran en la columna del agua, se considera que este factor puede ser importante en la colonización y crecimiento de las algas perifíticas, especialmente en los ambientes lóticos ya que el sustrato irregular tiene la capacidad de acumular y mantener una alta diversidad y abundancia de microalgas bentónicas. El sustrato con una superficie de microrelieves cambiantes, posee depresiones donde las esporas y células vegetativas de microalgas pueden establecerse sin correr el riesgo de ser desprendidas fácilmente, por la abrasión de la corriente otro factor que afecta la abundancia de algas y la composición de especies, es el tiempo de disponibilidad del sustrato para ser colonizado. (Burkholder, 1996)

La composición del sustrato es importante para la población de la zona del fondo (Schwoerbel, 1975), en la zona de estudio predominó el tamaño de partícula de (0.2 - 0.063 mm) que corresponde a arena fina, después grava fina (6.3-2.0 mm), arena gruesa (2.0-0.63 mm) y aluvión (por debajo de 0.063 mm), aquí influye mucho que el nacimiento del arroyo se encuentre en la montaña y gracias a la pendiente, ya que los sedimentos finos son arrastrados mas fácilmente que los sedimentos o rocas grandes.

La temperatura tiene un gran efecto sobre los procesos químicos y biológicos del ecosistema acuático, influyendo sobre el metabolismo y la fisiología de los organismos (APHA – AWWA – WPCF, 1998); la temperatura ambiente tuvo un valor máximo de 29°C para el mes de noviembre y un mínimo para el mes de



mayo de 17.5°C el promedio fue de 21.42°C, la temperatura del agua promedio registrada para el ciclo de estudio es de 13.7° C en donde el registro mas alto fue de 15.8°C para el mes de febrero y el mas bajo de 12.5°C para el mes de septiembre; si bien es cierto la temperatura es importante para las reacciones químicas y procesos biológicos, en el sistema no se observa mucho como influye la temperatura debido a que el arroyo no guarda el calor ya que este se encuentra en constante movimiento a diferencia de un lago.

El pH afecta la diversidad y distribución de los organismos y determina la naturaleza de las muchas reacciones químicas que ocurren en el ambiente acuático como: la nitrificación, oxido- reducción, actividad bacteriana, etc. El pH de la mayoría de aguas dulces resulta de los iones H^+ procedentes de la disociación del H_2CO_3 (ácido carbónico) y de los iones OH^- debidos a la hidrólisis de los iones bicarbonatos (HCO_3^-) (Wetzel, 1981).

Los cuerpos acuáticos epicontinentales exhiben amplias variaciones en su acidez y alcalinidad relativa, no sólo en los valores de pH sino en la cantidad total de material disuelto que produce la acidez o alcalinidad. La concentración de estos compuestos y la relación de uno con otro determinan el valor de pH observado y la eficiencia de la amortiguación de un cuerpo de agua determinado. Los efectos letales de la mayoría de los ácidos se presentan cuando el pH es menor de cinco y la mayoría de los álcalis cerca de un pH de 9.5 aunque las tolerancias de muchos organismos están considerablemente más restringidas dentro de éstos intervalos de pH. Por lo tanto la capacidad amortiguadora de los cuerpos epicontinentales para resistir cambios en el pH puede ser de gran importancia para la conservación de la vida en estos lugares (Contreras, 1994).

El sistema es muy dinámico y presenta cambios en los valores de pH entre 7.38 a 9.2 lo cual indica que según la gráfica de porcentaje del CO_2 (Wetzel, 1981) que el anión bicarbonato (HCO_3^-) predomina durante el ciclo de estudio, esto es debido a la acción amortiguadora que presenta el agua exceptuando noviembre que tiene el valor mas alto en donde se acercó mas al lado de los carbonatos (CO_3^-).

El pH del sistema tuvo un promedio de 8.31, según la NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites permisibles de contaminantes (Tabla 11); el sistema estudiado esta dentro del rango permisible.



La conductividad, otro factor importante dentro del análisis de la calidad de agua se considera como una medida de la resistencia de una solución a la corriente eléctrica y esta determinada por el contenido de sales iónicas (APHA – AWWA – WPCF, 1998).

La conductividad tuvo un promedio de 138.143 μ presentando su valor más alto para el mes de mayo con 264 μ y el valor más bajo es de 63.5 μ para el mes de octubre.

La conductividad de varios elementos o iones que habitualmente se valoran, como: Ca, Mg, Na, K, HCO_3^- , Cl, SO_4 muestra una correlación mutua elevada y tanto su conjunto como la concentración de cada uno de ellos está positivamente correlacionada con la conductividad eléctrica del agua (Margalef, 1983).

La conductividad del sistema se presentó constante de los meses de marzo a septiembre y en octubre hubo una disminución muy marcada probablemente por la mayor intensidad de la época de lluvias debido a que estas aumentan el caudal y hay mayor lavado de los diversos elementos o iones que se encuentran en el sistema (Romero, 1999).

Cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas o en la movilidad de los iones disueltos implica un cambio en la conductividad. Por ello, el valor de la conductividad es muy usado en el análisis de aguas para detener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos. Existe un nivel límite en aguas dulces dentro del término conductividad entre los 40 y 10,000 $\mu\text{mhos/cm}$ (De la Lanza, 1990).

El oxígeno es un gas disuelto libremente en aguas dulces, producto del proceso de fotosíntesis de plantas acuáticas o de la difusión de la atmósfera. Su importancia radica en ser el gas utilizado para la respiración de los organismos, otro de sus aspectos importantes es el de ser un componente necesario para la realización de procesos de oxidación-reducción de algunos iones como: nitrato-amonio, también se ha observado que altas concentraciones son tóxicas para la biota acuática (APHA – AWWA – WPCF, 1998).

El oxígeno disuelto es un gas muy relevante en la dinámica de aguas. Su solubilidad está en función de varios factores como: la temperatura, presión, coeficiente de solubilidad, tensión de vapor, salinidad y composición fisicoquímica del agua. El porcentaje de saturación del oxígeno en agua (la



máxima capacidad de una masa de agua a una temperatura y presión dada para disolver oxígeno) depende de la turbulencia y de la superficie de contacto entre el gas y el agua (Marin, 2003).

Los valores de oxígeno que presentó el sistema van desde un valor mínimo de 0.8 en el mes de marzo, debido a que la velocidad y la carga del caudal tienen los valores más bajos en este mismo mes, tomando en cuenta que la mayor cantidad de oxígeno disuelto en estos sistemas se debe a la aireación generada por las turbulencias se tiene este resultado tan bajo; y un valor máximo de 7.3 este último corresponde al mes de octubre en donde hay mayor carga del caudal generando más turbulencia en la corriente y por lo tanto más oxigenación en el sistema, presenta un porcentaje de saturación mínimo de 10.01% y un máximo de 99%.

Principalmente el oxígeno disuelto de este sistema se debe a la aireación a causa de las turbulencias que se presentan en los sistemas lóticos debido a que siempre están en constante movimiento, el porcentaje de saturación indica que el sistema mantiene una buena oxigenación permitiendo un buen desarrollo de algas, larvas de insectos y otros microorganismos.

El CO_2 define la concentración de carbono inorgánico que está a disposición de los productores primarios y la forma y cantidad de metales alcalino-terreos en solución, es decir a la formación de carbonatos de calcio y magnesio (Margalef, 1983).

El bióxido de carbono constituye el 0.03% de la atmósfera lo cual contribuye a las bajas concentraciones de este gas en las aguas naturales a pesar de que su solubilidad es unas 200 veces mayor que la del oxígeno.

Su importancia radica en que constituye uno de los componentes principales del metabolismo fotosintético del fitoplancton y macrofitas acuáticas. Encontrándose que los procesos que más influyen en la concentración de bióxido de carbono son la fotosíntesis y la respiración por lo cual sus valores fluctúan durante el día en forma inversa al oxígeno. Ya que el bióxido de carbono se utiliza para la fotosíntesis y el oxígeno se obtiene como producto fotosintético por lo cual tenemos que la concentración de bióxido de carbono es menor a medio día y mayor a media noche cuando solamente se efectúa el proceso de respiración (APHA – AWWA – WPCF, 1998).



Se puede observar que hay un aumento de CO_2 para el mes de agosto y para los meses de septiembre a noviembre se observa una disminución esto puede ser debido a que parte del CO_2 está combinado con agua formando así un ácido pero el resto se encuentra en forma de gas disuelto (Margalef, 1983).

De igual forma que el oxígeno, la mayor parte del bióxido de carbono que se registró en el sistema proviene de la aireación, si bien algunas algas planctónicas contribuyen con la concentración de bióxido de carbono ésta es mínima, debido a que las densidades de organismos son muy bajas. El promedio de bióxido de carbono registrado durante todo el ciclo fue de 0.7312.

La concentración de calcio mas magnesio expresado como equivalentes de carbonato de calcio ha sido tomada tradicionalmente como una medida de la dureza total del agua.

La dureza se usa frecuentemente como un parámetro indicador de la calidad de las aguas. La dureza de un agua está regida por el contenido de sales de calcio y de magnesio combinados principalmente con bicarbonatos y carbonatos (Wetzel, 1981)

La dureza del agua es resultado de la solución de rocas y de minerales alcalinotérreos del suelo y del aporte directo de desechos que contienen carbonatos de calcio y magnesio como piedras calizas y dolomitas que prevalecen en la corteza terrestre, pero que contienen bióxido de carbono y otros constituyentes ácidos, los cuales fácilmente disuelven carbonatos minerales, ya que en presencia de bióxido de carbono los carbonatos son convertidos en bicarbonatos más solubles (Wetzel, 1981).

El agua es clasificada con respecto a la dureza de acuerdo a la siguiente tabla, en términos de la concentración de carbonatos de calcio o su equivalente:

Dureza mg CaCO_3 /l	Clasificación
0 - 75	Blanda
75 -150	Moderadamente dura
150 -300	Dura
300 o más	Muy dura

Tabla 10.-Clasificación del agua de acuerdo a su dureza

(Boyd, 1979; citado en APHA – AWWA – WPCF ,1998)



Las aguas de este sistema se pueden clasificar en cuanto a su dureza como moderadamente duras, debido a que el promedio de la dureza fue de 148.07 mg/L.

La importancia de la dureza en un cuerpo de agua consiste en que cada uno de sus constituyentes (calcio y magnesio) juegan un papel importante en el metabolismo de los organismos, por un lado tenemos al calcio el cual es necesario para la contracción y relajación de los músculos del corazón, para el control de pasaje de fluido a través de las células, da rigidez al esqueleto de vertebrados y es el principal componente del exoesqueleto de insectos y los caparzones de moluscos. En las plantas es especialmente importante en combinación con pectina para formar el pectato de calcio, un material cementante intracelular. La importancia del magnesio reside en que todos los organismos autótrofos precisan de este ión en forma de magnesioporfirina, constituyente esencial de la molécula de clorofila y como micronutriente en la transformación enzimática de los organismos especialmente en la transfosforilación de algas, hongos y bacterias (APHA – AWWA – WPCF, 1998).

El sistema presenta valores de dureza de calcio muy bajos con un promedio de 20.328 mg/L, lo cual indica que la mayor parte de la dureza la constituye el magnesio con un valor promedio de 127.742 mg/L.

Comparando ambas gráficas de Dureza se observa que para la Dureza total hay una tendencia a aumentar para la época de lluvias mientras que en la dureza de calcio se observa una disminución para el mes de septiembre que pertenece a la época de lluvias, lo que indica que para este mes hubo una concentración mayor de los iones magnesio. Si bien es cierto no todos los iones de calcio provienen del bicarbonato de calcio algunos otros se encuentran debido al deslave de rocas.

La alcalinidad normalmente es debida a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos y con menos frecuencia en las aguas continentales a los boratos, silicatos y fosfatos (Wetzel, 1981).

La alcalinidad de las aguas, tal como se interpreta normalmente, se refiere a la cantidad y clase de compuestos presentes que en conjunto, modifican el pH (Wetzel, 1981). El promedio de la alcalinidad en el sistema fue de 48.742 mg/L,



lo que nos indica que sus valores están dentro del límite permisible según las normas de calidad (Tabla 11).

La alcalinidad en el sistema presentó variaciones a lo largo del estudio siendo agosto uno de los meses con el valor más bajo debido al comienzo de la época de lluvias. Analizando las 3 gráficas de pH, alcalinidad y CO₂ se puede observar que el sistema presenta una relación muy similar entre pH y alcalinidad en donde se nota que para ambas gráficas los valores más bajos corresponden al mes de agosto y para CO₂ se observa un valor alto esto se debe principalmente a la época de lluvias ya que hay una mayor captación de CO₂ y al reaccionar con las moléculas de agua forman el ácido carbónico propiciando la acción de amortiguamiento del sistema.

Los cambios biogeoquímicos en la concentración de nitrógeno implican fijación, asimilación y desnitrificación: siendo la fuente fundamental del nitrógeno necesario para el metabolismo de los organismos; el nitrógeno molecular de la atmósfera (Hutchinson, 1975).

El amonio es el compuesto que aparece primero en los procesos de metabolismo y descomposición de los organismos, por lo que es considerado un índice de la actividad biológica y algunos autores lo proponen como índice de contaminación (Contreras, 1994).

El nitrógeno es uno de los principales elementos del protoplasma celular de los organismos, junto con el fósforo, el carbono y el hidrógeno, constituye un importante nutriente de las aguas dulces (Wetzel, 1981).

El promedio de Amonio registrado para el sistema fue de 0.031706 mg/L, para Nitratos es de 0.0315 mg/L y de Nitritos fue de 0.0089 mg/L; de acuerdo con los resultados se puede observar que la reacción de oxidación y reducción del ciclo del nitrógeno se lleva a cabo de una manera muy rápida ya que los valores de amonio y de nitratos son muy parecidos.

El nitrógeno atmosférico es convertido en proteínas por las bacterias fijadoras del nitrógeno y por ciertas algas. Los nitratos formados sirven como fertilizantes para las plantas. El proceso se conoce con el nombre de nitrificación (Romero, 1999).



El fósforo, junto con el hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno y azufre, ha sido reconocido como uno de los seis elementos principales que forman la columna vertebral de la vida puesto que juegan papeles únicos y esenciales en todas las reacciones bioquímicas fundamentales de la vida como son: fotosíntesis, respiración celular, contracción muscular, división celular y herencia (APHA – AWWA – WPCF, 1998). La importancia fundamental del fósforo principalmente es como nutriente y constituyente celular.

La única forma inorgánica significativamente importante del fósforo es el ortofosfato (Wetzel, 1981).

El fósforo de un agua puede proceder: a) disolución de rocas y minerales que lo contienen, b) lavado de suelos en los que se encuentra como resto de actividades ganaderas o agrícolas, c) aguas residuales domesticas que contienen detergentes vertidas a las aguas naturales (Marin, 2003).

Dentro de ésta última fuente de contaminación, podemos incluir los detergentes utilizados en limpieza domestica. Estos explican el 50% del fósforo presente en aguas contaminadas por vertidos urbanos (op.cit. 2003). En el sistema se puede observar una tendencia a disminuir en la época de lluvias sin cambios radicales lo largo del estudio.

El promedio obtenido para los ortofosfatos fue de 0.1107 mg/L, este valor se encuentra dentro de los límites permisibles que es de 0.1 mg/L (tabla 11)

Característica	Límite permisible (mg/L)
Alcalinidad total en CaCO ₃ mg/l	400
Dureza total (como CaCO ₃) mg/l	500
Fosfatos (como PO ₄ ⁻) mg/l	0.1
Nitratos (como N) mg/l	10
Nitritos (como N) mg/l	0.05
pH(potencial de hidrógeno)en unidades de pH	6.5-8.5

Tabla 11. Límites permisibles de calidad y tratamientos (NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-ECOL-1996) Diario oficial de la federación, agosto-94 y enero-96.



Comparando con otros sistemas (Tabla 12) cuyos autores los clasifican como oligotróficos como lo es el trabajo de Juárez (2005), Sánchez (2007) y García y López (2007), se tienen valores muy parecidos entre los 4 sistemas ya que presentan concentraciones bajas en cuanto a los nutrimentos por lo tanto se puede considerar que el arroyo “El Salto” presenta condiciones muy similares a las de un sistema clasificado como oligotrófico.

	Arroyos del Parque Nacional Izta-Popo *	Río Amatzinac, Tetela del Volcán **	Arroyo “La compañía”, Edo. De México.***	Arroyo “El Salto” Edo. de Morelos.****
Temperatura del agua°C	8°C	9-15°C	12.4	13.72
pH	6.8	5.7-8.9	7.7	8.31
Oxígeno mg/l	5.9	6.8-12.9	4.6	5.08
Bioxido de carbono mg/l	1.99	-	1.4	0.7312
Dureza total mg/l	29.33	30.03-100.1	107.2	148.07
Dureza de calcio mg/l	-	20.02-150.15	19.2	20.328
Alcalinidad total mg/l	26	25-150	48.2	48.742
Ortofosfatos mg/l	0.3	-	0.102	0.1107
Amonio mg/l	0.18	-	0.0075	0.031706
Nitritos mg/l	-	-	0.019	0.0089
Nitratos mg/l	0.021	-	0.022	0.0315

Tabla 12. Cuadro comparativo con otros sistemas que fueron clasificados como oligotróficos.

* “Microalgas en 3 sistemas acuáticos del Edo. de México”(Juárez, 2005)

** “Estudio de *Spirogyra micropuntata* y *Prasiola mexicana* en el río Amatzinac, municipio de Tetela del Volcán” (Sánchez, 2007)

*** “Estudio limnológico y Ficológico del arroyo La compañía, Estado de México” (García – López, 2007)

**** “Limnología y Ficología del arroyo “El Salto” en el Estado de Morelos” (Sistema estudiado)

Los crecimientos algales desempeñan un papel preponderante porque regulan el paso de nutrimentos entre el sustrato, los sedimentos y el agua, asimilan nutrimentos y los liberan al sustrato, de este modo otros organismos dependen de las algas para la obtención de nutrimentos (Goldsborough y Robinson, 1996, Novelo y Tavera, 1999 citados en Oliva, 2005).



Las algas suelen ser componentes muy importantes de los ecosistemas dando contribuciones importantes a los ciclos del carbono y de los nutrimentos, así como también al flujo de energía.

Las algas que viven sobre rocas, sedimentos arenosos y fangosos, animales y otras algas se conocen como bentónicas, estas tienen la ventaja adicional de poder utilizar los nutrimentos que las corrientes les acercan (Darley, 1991).

Las algas que en realidad no están fijas a un sustrato pero que se encuentran asociadas libremente a las algas fijas, plantas vasculares y desperdicios en las aguas someras, se conocen a veces como metafiton (Darley, op cit).

El flujo del agua es también muy importante para los organismos de agua corrientes, así como la estructura del fondo.

Cada organismo vive en la parte del río o arroyo donde encuentra las mejores condiciones de vida. Pero el empuje mecánico de la corriente constituye un peligro constante de arrastre a otras condiciones ambientales, contra el que hay que protegerse (Schwoerbel, 1975).

En cuanto a los organismos presentes en el sistema, se pudieron observar algas de las siguientes divisiones: Cyanophyta, Chlorophyta y Heterokontophyta, siendo esta última la que predominó en todo el estudio.

En el arroyo “El Salto” se presentaron las siguientes especies que pertenecen a tres divisiones asociadas al bentos:

Cyanophyta: *Spirulina sp*; Chlorophyta: *Ulothrix aequalis*, *Closterium parvulum*; Heterokontophyta: *Cocconeis placentula*, *Navicula cuspidata*, *Nitzschia linearis*, *Gomphonema venticosum* (Darley, 1991).

Las diatomeas han sido reportadas como el grupo dominante de algas en ambientes lóticos (Whitton, 1975, Haver & Lamberti, 1996, citados en Bojorge, 2007)

La densidad total en agua se presentó en forma descendente a lo largo del estudio siendo la mayor concentración para el mes de marzo que corresponde a la época de secas en donde al haber menor volumen del caudal los organismos eran más abundantes sin embargo cuando comienza la época de lluvias la



densidad de los organismos disminuye debido a que el volumen del caudal aumenta y por lo tanto la velocidad de corriente también, esto hace que las algas planctónicas (es decir las que pueden ser llevadas por la corriente) sean arrastradas.

Cada organismo está sujeto a la acción de los factores ambientales. La temperatura condiciona, dentro del campo fisiológico la velocidad e intensidad de las reacciones bioquímicas.

La presencia de algas está condicionada por un determinado intervalo de temperatura. En general cuando la temperatura aumenta, también lo hacen la producción de materia, el crecimiento y el intercambio de nutrientes (Wetzel, 1981).

La diferencia más importante con los lagos está en que casi toda la población animal y vegetal de este espacio vital pertenece al bentos.

Como protección contra el arrastre, las plantas enraizan en el suelo, o se fijan fuertemente sobre piedras u otros sustratos como hacen las algas.

A medida que se desciende río abajo, la corriente se va haciendo más lenta y las condiciones de vida se parecen más a la de un lago (Schwoerbel, 1975).

La densidad total de organismos en sedimento presentó una conducta distinta a la del agua cuando la velocidad de corriente aumentaba, la densidad disminuye y viceversa, esto se relaciona de igual forma con la carga del caudal, siendo que al aumentar ambas variables (velocidad de corriente y carga caudal) la densidad de organismos disminuye notablemente ya que las algas que pertenecen al bentos (algas que se encuentran entre el sedimento) son arrastradas por la corriente.

Se analizaron parámetros como amonio, nitritos, nitratos y ortofosfatos con la densidad de organismos en agua y en sedimento, los cuales presentaron un patrón muy similar al haber más concentración de nutrimentos la densidad de especies es menor y viceversa, lo cual indica que la concentración de nutrimentos no es tan alta como para que exista una saturación de crecimiento algal.

En general el sistema presenta parámetros morfométricos muy particulares de los sistemas lóticos de alta montaña, siendo éstos un factor muy importante para



el desarrollo de organismos como las algas, como lo es la carga del caudal y la velocidad de corriente que al aumentar ambos parámetros, la densidad de organismos tanto en agua como en sedimento disminuyen debido al arrastre, de tal forma que las algas están a disposición de la cantidad de agua, la velocidad y de las turbulencias en el sistema; los parámetros hidrológicos están dentro de los límites permisibles indicando que el agua presenta una buena calidad, esta puede ser utilizada para consumo humano, así mismo ésta es óptima para el crecimiento de algas debido a que la concentración de nutrimentos presentes en el sistema es baja. Algunas de las especies encontradas en el sistema presentan ciertas características que las hacen propias de estos sistemas como lo es *Navicula cuspidata* cuyos datos ecológicos son que puede ser perifítica, epilítica, en zona de deslizamiento remanso, ésta especie fue registrada para el Edo. de Morelos (Valadez *et al*, 1996).

Algunas otras especies son indicadores de aguas limpias como: *Cocconeis placentula*, *Ulothrix aequalis*, *Nitzschia linearis*, *Fragilaria capucina* y *Diatoma hiemale*; otras adheridas a algún substrato como *Rhoicosphenia curvata* (Palmer, 1962, Darley, 1991, Cantoral, 2000) dentro de este grupo de especies encontramos a las más abundantes de todo el estudio como lo son *Navicula cuspidata*, *Fragilaria capuchina* y *Rhoicosphenia curvata*.

Bojorge (2007) reporta 2 especies de diatomeas presentes en el río Magdalena que de igual forma se registraron en el nuestro; *Fragilaria capucina* y *Cocconeis placentula*, en donde se describe a esta última como abundante en ríos de alta montaña, además de que Patrick & Reimer, (1966) la reporta como epífita (adherida por su valva con rafe) a plantas acuáticas y otros objetos en sitios con oxigenación moderada y en aguas corrientes.

Igualmente Oliva (2005) reporta las especies de *Cocconeis placentula* y *Fragilaria capucina* en humedales de Jilotepec Ixtlahuaca, Estado de México, especies que se encontraron en este mismo sistema.

Si bien es cierto que las diatomeas son el grupo dominante de las algas de ambientes lóticos como ya se mencionó anteriormente también se encuentran en otro tipo de sistemas como Varona (2003) lo menciona en su trabajo realizado de dos lagunas costeras del Estado de Chiapas reportando géneros como *Cocconeis sp*, *Fragilaria sp*, *Nitzschia sp*, *Tabellaria sp*. de igual forma reporta algunas cinofitas como: *Anabaena sp*, *Oscillatoria sp* y *Spirulina sp*.



Otras como *Anabaena sp* y *Lyngbya aestuarii* son algas tóxicas de agua dulce, *Oscillatoria formosa* es indicadora de agua contaminada (Palmer, 1962), si bien estas algas fueron registradas durante el ciclo de estudio no se encontraron cantidades muy altas, algunas fueron vistas en una sola ocasión, por lo tanto no fueron muy significativas.

De acuerdo con el análisis de “cluster” se observan dos grandes épocas una de secas y la otra de lluvias el cual nos separa notablemente los meses de marzo y febrero ; para este último se tienen los valores mas altos en temperatura del agua, dureza total, dureza de calcio, ortofosfatos, nitratos, y densidad total en sedimento y para el mes de marzo hay mayor concentración de amonio y nitritos la carga del caudal es la mas baja durante el estudio por lo tanto el oxígeno presenta el valor mas bajo así como también la temperatura del agua teniendo así como resultado mayor densidad total de organismos en agua , la dureza total presenta los valores máximos para este mes. Para el mes de octubre se presentan mayor carga de caudal y mayor oxigenación ya que al haber mayor carga hay mas turbulencia en el sistema por lo tanto los organismos en el agua son fácilmente arrastrados obteniendo así menor densidad total en este mes así como también menor cantidad de nitritos.



CONCLUSIONES:

- ✓ El arroyo “El Salto” presentó cambios a lo largo del estudio en cuanto a su morfometría, observándose cambios muy marcados para la época de secas y lluvias en donde la profundidad fue entre 0.17 m y hasta 7.7 m.
- ✓ El sistema presenta cambios en su velocidad de corriente y volumen del caudal a lo largo del año, el agua registra bajas temperaturas que oscilan entre 11.5°C y 15.8°C, y un pH de 7.38 a 9.12.
- ✓ Presenta buena cantidad de oxígeno disuelto con valores de 0.8 a 7.3 mg/L, bióxido de carbono de 0.2497 a 1.2485 mg/L, dureza total de 120.12 a 164.164 mg/L, dureza de calcio de 9.2092 a 30.83 mg/L, alcalinidad total de 24 a 56.5 mg/L, baja concentración de nutrimentos como el amonio con valores promedio de 0.03 mg/L, nitritos con 0.008 mg/L, nitratos con 0.03 mg/L y ortofosfatos con 0.11mg/L.
- ✓ En este sistema se encontraron algas provenientes de diversos hábitats, en el agua (planctónicas), en el sedimento (bentónicas), entre las raíces de plantas (epífitas), formando filamentos libres y en costras adheridas a las rocas (epilíticas). Se registraron 17 especies de algas, 10 de diatomeas siendo las más abundantes: *Fragilaria capucina*, *Navicula cuspidata* y *Rhoicosphenia curvata*; 2 de clorofitas como: *Closterium parvulum* y *Ulothrix aequalis*; y 5 de cianofitas como: *Spirulina sp* y *Oscillatoria formosa*.
- ✓ En general el arroyo presenta condiciones morfométricas y limnológicas, las cuales hacen posible la vida acuática, no presenta grandes perturbaciones por el hombre; el arroyo presenta bajas concentraciones de nutrimentos (los cuales están dentro de los límites permisibles) y por lo tanto un crecimiento algal bajo.



- ✓ El presente estudio fue realizado con la finalidad de contribuir a la Limnología y Ficología en México así como también al estudio integral que realiza la FES-Zaragoza con el parque Nacional Izta-Popo. Además de contribuir con los estudios científicos en los sistemas lóticos en México que servirán como antecedentes sobre la zona; el trabajo servirá como base para poder dar alguna alternativa de conservación en este tipo de sistemas los cuales se están viendo altamente explotados debido a la escasez del agua que se está viviendo actualmente en el valle de México y a la sobreexplotación de las cuencas Mexicanas.

RECOMENDACIONES:

- ✓ Considero que es de vital importancia seguir realizando este tipo de estudios en sistemas lóticos de México y en particular en este arroyo con el fin de dar un seguimiento a la evolución del mismo, aunque si bien es cierto el arroyo no presenta índices de contaminación alarmantes o que puedan indicar un alto contenido de nutrimentos, yo recomendaría seguir con los análisis físicos, limnológicos y biológicos aquí realizados, además de realizar análisis de coliformes o bacteriológicos con el fin de hacer un estudio mas completo sobre todo el sistema, así mismo implementar algún tipo de curso o pláticas enfocadas a las comunidades aledañas sobre el cuidado del agua y la importancia de éste líquido vital tanto para consumo humano como para la conservación de nuestros ecosistemas en México.



BIBLIOGRAFIA

- Amado, A.J., E. Rubinos P., F. Gavi R., "Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo", México: Diagnóstico y Predicción. *Phyton* (B. Aires). [online]. ene./dic. 2006, vol.75 [citado 09 Febrero 2009], p.71-83.
- Arriaga, L., V. Aguilar, J. Alcocer. 2002. "Aguas continentales y diversidad biológica de México". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- APHA – AWWA – WPCF "American Public Health Association, American Water Works Association and water pollution control federation, (1998), "Standard Methods for the Examination of water and Fwaste water". 20th Edition. Washington D.C. 1220pp
- Balbuena, P.Y.L. (2007). "Análisis de la composición y densidad de la microflora ficológica en manantiales y arroyos del Parque Nacional Iztapalapa". Tesis de Licenciatura. UNAM. FES Zaragoza. 88p
- Bojorge, G.M.G, E.A. Cantoral U. (2007), "Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el río Magdalena D.F." *Hidrobiológica* vol.17, número 001 Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa Distrito Federal, México pp. 11-24
- Burkholser, J.M. (1996). "Interaction of benthic algae with their substrata", Chapter 6 In Stevenson, R.J., M.L. Botthwell y R.L. Lowe (Eds). *Algal ecology, freshwater benthic ecosystems*. Academic, San Diego USA. 753p
- Cantoral E.A.U. (2000), "Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes lóticos en la cuenca baja de la Huasteca Potosina" Tesis doctoral. UNAM. 201p
- Cervantes S.A. (1985), "Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos", División de ciencias químico-biológicas, departamento de biología, FES-Zaragoza 107p.



- Chavez C.V.M (1996), “Programa de manejo para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl UAM-X. México,D.F. 273p
- Chávez Ma.T, (2003) ,"Conservar los bosques del Izta-Popo, un reto para asegurar el futuro", Revista Pro·natura. Número 2, pag. 18-27
- Contreras ,E.F. , (1994), “Manual de técnicas hidrobiológicas”, edit. Trillas, México D.F. 141p
- Darley W.M.,(1991), “ Biología de las algas,Enfoque fisiológico”, edit.Limusa. México. 236p
- De la Lanza E.G.,J. Alcocer D., J.L. Moreno R.,S.Hernández P. (2008) “Análisis químico- Biológico para determinar el estatus trófico de la laguna de tres palos, Guerrero, México, Hidrobiológica, marzo, vol.18. número 001Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa Distrito Federal, México p.p. 21-30
- De la Lanza (1990)”Algunos conceptos sobre hidrología y calidad del agua” De la Lanza E.G y F.J.L. Arredondo (Comp)..”La acuicultura en México: de los conceptos a la producción”. México, D.F. UNAM. 181 – 199p
- De Anda ,H.P. G.P. Miranda H.(2004), ”Contribución al conocimiento de la calidad del agua en diferentes corrientes superficiales del parque Nacional Izta-Popo y su zona de influencia”, Tesis de Licenciatura, UNAM. FES-Zaragoza.87p
- Dorantes ,G. E. , M.B. Zavala M.,(2003) “Estudio de la calidad de agua de 3 cuerpos acuáticos en el Estado de Morelos” Tesis de licenciatura FES-Zaragoza UNAM , México , D.F. 92p
- Dos Santos,M.J.M, (2004), “Probabilidad y Estadística para Ciencias Biológicas”,2 edición ,Facultad de Estudios Superiores Zaragoza,UNAM.México.626p



- Franco T.F. , R. Vidales P.,A.E. González S.,(2006) ”Estudio limnológico y ficológico en el río Apatlaco, Puebla” Resumen del trabajo presentado en el V Congreso Mexicano de Ficología, realizado en Guadalajara , Jalisco del 3-8 de Abril de 2006
- Galván ,F.A, A.Z.Márquez G.(2006), “Descripción Biofísica de la cuenca del río Coapa, Chiapas”, Hidrobiológica, agosto, vol.16,número 002 Universidad Autonoma Metropolitana – Iztapalapa Distrito Federal, México pp 107-120
- García, de M.E. (2004)”Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen: para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana.” 5ª edición, UNAM,Instituto de Geografía.México.90p
- García, G.M. y E.W.López G.,(2007)”Estudio Limnológico y ficológico del arroyo La compañía,Estado de México” Tesis de Licenciatura FES-Zaragoza UNAM,México D.F. 84p
- Gilbert, M.S.,(1950), “The fresh- wáter algae of the United Status” 2ª edición, editorial Mc. Graw- Hill Book Company- Inc. New York Toronto London. 347p
- Gómez A.S. y F.V.Arenas, (1987) “Contribuciones en hidrobiología: memoria de la Alejandro Villalobos.”Edit.UNAM, México.278p.
- Gómez, M. J.L., B.M.Peña, M.M.Arteaga, R.R.Arcos, E.A.H.Guerra, A.E.S.,González y E.V.Mendóza.(2007).”Calidad de recursos hídricos en los parques Izta-Popo, Zoquiapan y Áreas Anexas”. Gaceta comunidad Zaragoza. Vol.11 No.31.pp14-15
- González , de I.A.,(1988), “El plancton de las aguas continentales” edit. Secretaría General de la organización de los Estados Unidos Americanos.



- Higuera, P.J.I, G.Ortiz C., J. Rivera M. y A.E. González S.,(2006), “”Estudio limnológico y de algas en el arroyo ”El Salto” ,Municipio de Tetela del Volcán, Morelos, México” Resumen del trabajo presentado en el V Congreso Mexicano de Ficología, realizado en Guadalajara , Jalisco del 3-8 de Abril de 2006
- Hutchinson, G E. (1975) , “Atreatise on limnology” Vol, I Edit. John Wiley and sons INC Canadá. 1015 pag
- INEGI,(1999) “Conjunto de datos geográficos de la carta hidrológica de aguas superficiales” 1:250000
- Juárez,A.O.E.,(2005)”Microalgas en 3 sistemas acuáticos del Edo. de México.” Tesis de Licenciatura.UNAM FES-Zaragoza 82p
- Juárez,L.V., N. Santiago G. y A.E. González S.,(2006), “Estudio limnológico y de macroalgas del arroyo ”El Salto” ,Municipio de Tetela del Volcán, Morelos” Resumen del trabajo presentado en el V Congreso Mexicano de Ficología, realizado en Guadalajara , Jalisco del 3-8 de Abril de 2006
- Margalef, R.,(1983),”Limnología” edit. Ediciones Omega S.A, Barcelona. 1010p
- Marín G.R.(2003), “Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos tratamiento y control de calidad de aguas” edit. Díaz de Santos universidad Politécnica de Cartágena. Cartagena, España.
- Miguel,S.C.M.,(2006),”Estudio de las condiciones ambientales y composición microalgal en cuerpos de agua de los Parques Izta-Popo,Zoquiapan y anexas”.Tesis de Licenciatura.UNAM Fes- Zaragoza.68p
- Miguel ,S.C.M., Julia I. V.R, Angélica E.G.S. , (2004),“Algas del río Apatlaco en el parque nacional Izta-Popo.”Resumen del trabajo presentado en el VI Congreso Nacional de Áreas Naturales protegidas de México



- Oliva, M.Ma.G., J.G.Ramírez M., G. Garduño S. , J.Cañetas O., M.M.Ortega (2005), "Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec – Ixtlahuaca, Estado de México. Hidrobiológica ,junio vol.15, número 001 Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa D.F. p 26
- Ortega,G.,(1995) "Ficología de México , Algas -Continetales",Edit.AGT Editor S.A. , 1º Edición.
- Ortega,M. M. (1984) , "Catálogo de algas continentales recientes de México" UNAM , México D.F .565p.
- Ortega M. M. (1987). "Doce años de Ficología en México 1971-1983", en Gómez A.S. y V. Arenas F. (Ed.), (1987) , "Contribuciones en hidrobiología", UNAM. 155-186.
- Palmer,C.M.,(1962) "Algas en abastecimientos de agua: Manual ilustrado acerca de la identificación, importancia y control de las algas en los abastecimientos de agua", edit. Interamericana, México. 91p
- Patrick R. , W. Reimer Ch. (1975), "The diatoms exclusive of Alaska and Hawaii" Department of Limnology, The Academy of Natural Science of Philadelphia, Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, The United States. 688.
- Pérez, M.C(2002) "Fitoplancton del río Negro, Uruguay" Limnética 21 (1-2): 81-92p
- Prescott, G. W, (1981) "Algae of the western great lakes area", Department of Botany and Plant. Michigan State University , East Lansing Michigan, WM. C. Brown Company.436p
- Ramírez, J.J (2004), "Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios" Editorial Universidad de Antioquía, Colombia. 207p



- Ramírez,V,M, M.Y. Beltrán,G.M.Bojorje,J.J.Carmona,U.E. Cantoral y C.F. Valadez, (2001). “Flora algal del río La Magdalena , Distrito Federal,México”. Bol.Soc.Bot.Mexico 68:45-67.
- Reid,G.K; R,D. Wood, (1976) “Ecology of Inland Waters and Estuaries” edit. D.Van Nostrand Company, New York. 485 pag.
- Romero R.J.A. (1999) ”Calidad del agua” Editorial. Alfaomega, escuela Colombiana de Ingeniería.2ª edición. 98p
- Salgado U.I.H, (1992), “El análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y aplicaciones.” E.N.E.P.Zaragoza UNAM. México.
- Sánchez,G.M., (2007), “Estudio de *Spirogyra micropuntata* y *Prasiola mexicana* en el río Amatzinac, municipio de Tetela del Volcán, Morelos”, Servicio social UNAM. FES Zaragoza 35p
- Schwoerbel,J,(1975),”Métodos de Hidrobiología” edit. H.blume ediciones, Madrid. 262p
- Secretaría de Pesca,(1975).”Manual de Piscicultura” I. Editorial Secretaría de Pesca, México . México.455p
- Smith,G.M. (1950) “The fresh-water algae of the U.S Mc. Graw-Hill Book Company Inc. 2º-ed USA
- Valadez,C.F.,J.Carmona y U. E.Cantoral, (1996) “Algas de ambientes lóticos en el Estado de Morelos” Anales Inst Biol. UNAM Ser.Bot 67 (2) 227-282p
- Vallentyne,J.R,(1978),”Introducción a la Limnología” edit Ediciones Omega S.A,Barcelona . 166p



- Van Den Hoek, D.G. Mann y H. M. Jahns (2002). "Algae an introduction to phycology". Editorial Cambridge University Press. U.S.A. 623p.
- Varona, C.F., F.J. Gutiérrez M. (2003) "Estudio multivariado de la fluctuación espacio – temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del Estado de Chiapas hidrobiológica vol.13, número 003 Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. D.F , México. 177-194p
- Wetzel,R.G.(1981), "Limnología" edit.Ediciones Omega .Barcelona. 679 pag
- Wetzel,R.G y G.E. Likens, (1995), "Limnological Analyses", 2ª. ed. edit Springer- Verlag.391p

<http://ant.morelostravel.com/destinos/tetelavolcan.html> Mayo-2006

<http://www.atares.inegi.gob.mx/cgi-in/map3.3/mapserv?map=/home/web/htdocs/map/estados/mor/mor.map>
Mayo - 2007

<http://www.teteladelvolcan.gob.mx/historia.htm> Mayo-2008

<http://www.e-morelos.gob.mx/e-gobierno/DirMunicipios/Tetela del Volcan/Tetela del Volcan2.htm> Abril-2008

<http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/morelos/ddr/climatologia.htm> Diciembre-2008

<http://www.profepa.gob.mx/PROFEPA/DelegacionesPROFEPA/Morelos/InformacionGeneraldelEstado/RecursosForestales.htm> Diciembre - 2008

protist.i.hosei.ac.jp/movies/MDB6/Closterium/parvulum/species/index.html - 3k. -Marzo-2008



http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=17469_208&ID2=DO_TOPIC
Diciembre-2008

www.cna.gob.mx
Diciembre-2008

http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=18146_201&ID2=DO_TOPIC
Diciembre-2008

www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=s1851-56572006000100007&script=sci_arttext&tlng=en diciembre-2008

www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem05/info/mor/m022/mapas.pdf (marzo 2009)

www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/402/cuencabalsas.html (marzo 2009)

<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem05/info/mor/m022/mapas.pdf> (marzo 2009)

www.jornada.unam.mx/2002/10/28/eco-b.html (marzo 2009)

<http://132.248.35.1/bibliovirtual/Libros/Delgadillo/Morelos/Morales.htm>
(marzo 2009)



ANEXO I
Tablas de resultados Morfométricos

	P R O F U N D I D A D						
Ancho (cm)	Marzo	Mayo	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Febrero
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0					6,5	0
20	5,3					7	1,5
30	5,7	8	3	0,5	4,2	10	2,5
40	6,3					9	6
50	7,7					10,5	3
60	8,7					11,5	5,2
70	4,4					11	5,5
80	3,2					10	8,3
90	1,5					5	5,3
100	0					9	4,5
110	2,5			13		17	7,5
120	6		15			16	9
130	5,7					15	8,5
140	0					9	9
150	2,8	14			12,5	8	0
160	3					2	11
170						0	9
180						0	9
190							5,5
200							9,5
210							5
220							5
230			13	6			
240							
250							
260							
270		9					
280							
290					10,5		
300							

Tabla 12. Datos de los perfiles realizados en campo por mes



SALIDA No.	1	2	3	4	5	6	7
PARAMETRO%	Marzo	Mayo	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Febrero
Tamiz 1 (grava fina 6.3-2.0 mm)	10.217	3.581	15.246	0.7213	1.7868	29.75	6.558
Tamiz 2 (Arena gruesa 2.0-0.63 mm)	1.1051	2.122	0.5266	0.2079	0.1065	2.5655	4.936
Tamiz 3 (Arena fina 0.2- 0.063 mm)	88.2202	95.793	83.22	97.63	99.426	65.032	87.936
Tamiz 4 (Aluvión por debajo de 0.063 mm)	1.6596	0.2804	0.8866	1.5983	1.6147	3.918	0.3969

Tabla 13. Tamaño de partícula por mes

	Marzo	Mayo	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Febrero	
No. De Salida	1	2	3	4	5	6	7	Promedio
Velocidad de corriente en:								
m/seg	0.3448	0.4201	0.3829	0.649	0.5704	0.742	0.2543	0.4805
cm/seg	34.48	42.01	38.29	64.9	57.04	74.2	25.43	48.05
Carga del caudal en:								
cm3 /seg	21653.44	13018899	117431.44	99134.75	155034.72	108166.68	32558.029	84440.1337
L/ seg	21.65344	130.18899	117.43144	99.13475	155.03472	108.16668	32.558029	84.4401337

Tabla 14. Datos de velocidad de corriente y carga del caudal



ANEXO II

Tablas de resultados Limnológicos

No.DE SALIDA	1	2	3	4	5	6	7
PARAMETRO	Marzo	Mayo	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Febrero
Temperatura del agua en °C	11.5	15	15.4	12.5	12.9	13	15.8
ph	8.82	8.1	7.38	8.79	7.7	9.12	8.28
Conductividad	127	132	137	129.5	63.5	122	124
Temperatura ambiente °C	23.5	17.5	20	19	22	29	19

Tabla 15. Parámetros físicos por mes

SALIDA	1	2	3	4	5	6	7
PARAMETRO	Marzo	Mayo	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Febrero
Oxígeno	0.8	3.15	5.5	6.5	7.3	6.55	5.8
%de saturación de oxígeno	10.01	30.3	76	85	99	87	82
Bioxido de carbono	0.4994	0.87395	1.2485	0.7491	0.4994	0.2497	0.9988
Dureza total	120.12	131.6315	143.143	156.156	157.157	164.164	164.164
Dureza de calcio	17.6176	19.2192	20.8208	9.2092	16.4164	28.18816	30.8308
Alcalinidad total	50	50	24	56.5	51	55.5	54.2
Ortofosfatos	0.11	0.13	0.111	0.103	0.095	0.111	0.115
Amonio	0.12416666	0.0002777	0.0191666	0.0002777	0.0155555	0.0002777	0.0622221
Nitritos	0.023	0.0049	0.007	0.009	0.0006	0.012	0.006
Nitratos	0.029	0.021	0.031	0.031	0.028	0.027	0.054

Tabla 16. Parámetros químicos por mes



ANEXO III Tablas de resultados Biológicos

Mes	Densidad total en agua org/l	Densidad total en sedimento org/mg
Marzo	2,509,850	404
Mayo	1,366.200	1,352.5925
Agosto	1,411,000	1,100.9
Septiembre	583,275	35.15
Octubre	229,75	64
Noviembre	813,050	1,092.96
Febrero	564,300	2,177.56

Tabla 17. Tablas de densidades totales en agua y en sedimento

Especie	Densidad por especie en agua	% a largo del estudio
<i>Anabaena sp.</i>	14,850	.198
<i>Arthrospira gomontiana</i>	0	0
<i>Lyngbya aestuarii</i>	0	0
<i>Oscillatoria formosa</i>	17,675	0.236
<i>Spirulina sp</i>	0	0
<i>Closterium parvulum</i>	0	0
<i>Ulothrix aequalis</i>	194,425	2.605
<i>Cocconeis placentula</i>	396,450	5.312
<i>Cymbella cistulla</i>	373,625	5.006
<i>Diatoma hiemale</i>	444,600	5.957
<i>Fragilaria capucina</i>	929,700	12.458
<i>Gomphonema venticosum</i>	47,375	0.6348
<i>Navicula cuspidata</i>	4,039,400	54.128
<i>Nitzschia linearis</i>	100,400	1.345
<i>Pinnularia brevicostata</i>	35,350	0.473
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	833,400	11.167
<i>Tabellaria fenestrata</i>	35,350	0.473

Tabla 18. Tabla de densidades totales en agua por especie y porcentaje a lo largo del estudio



Especie	Densidad por especie en sedimento	% a largo del estudio
<i>Anabaena sp.</i>	282.8	0.00542
<i>Arthrospira gomontiana</i>	0	0
<i>Lynghya aestuarii</i>	0	0
<i>Oscillatoria formosa</i>	0	0
<i>Spirulina sp.</i>	0	0
<i>Closterium parvulum</i>	0	0
<i>Ulothrix aequalis</i>	57,574	1.1045
<i>Cocconeis placentula</i>	357,782	6.8640
<i>Cymbella cistula</i>	36,19	0.00069
<i>Diatoma hiemale</i>	544.56	0.01044
<i>Fragilaria capucina</i>	785,741	15.0743
<i>Gomphonema venticosum</i>	52.38	0.00100
<i>Navicula cuspidata</i>	2,944,066	56.4817
<i>Nitzchia linearis</i>	368.58	0.00707
<i>Pinnularia brevicostata</i>	0	0
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	1,065,973	20.4506
<i>Tabellaria fenestrata</i>	0	0

Tabla 19. Tabla de densidades totales en sedimento por genero y porcentaje a lo largo del estudio



Descripción de especies

❖ *Anabaena sp* Bory 1822

Filamentos en su mayoría agrupados, muchos de ellos se encuentran enredados e incrustados en mucílago amorfo, pocas especies son planctónicas, algunas veces los filamentos están sujetos y formados en capas gelatinosas expandidos en la mayoría de los sustratos, tricomas en línea, doblados o enrollados en forma de espiral, los heterocistos son cilíndricos normalmente son numerosos y se encuentran dispersos en el tricoma esférico, ovalado o cilíndrico (Prescott, 1981).

❖ *Arthrospira gomontiana* Setchell 1895

Tricomas en forma de espiral muy sueltos o enmarañados, en forma libre dan una apariencia de escamas flotantes, con un color verde-azul brillante con un diámetro de 2.5-3.2 μ ; las células van de 4 -5 μ de largo, las células contienen vacuolas, con un ancho del espiral de 4 -6 μ , la distancia entre cada vuelta va de 16 - 18 μ ; suelen formar “parches” flotantes muy enmarañados y tricomas enrollados. Ticoplanctónicos (Prescott, 1981).

❖ *Closterium parvulum* Nageli 1849

Células con cuerpo curvo, engrosadas en el centro, disminuyendo hacia ambos lados como espinas o ligeramente redondeadas en los extremos, de 60-160 μ m de largo, (8.5-15) μ m de ancho; pared celular lisa y transparente; cloroplastos con menos láminas, de 3-5 pirenoides en cada cloroplasto, de 5 a 6 cloroplasto y con crestas longitudinales.

protist.i.hosei.ac.jp/movies/MDB6/Closterium/parvulum/species/index.html - 3k.

❖ *Cocconeis placéntula* Ehr

Valvas elípticas algo lineares, bandas elípticas intercaladas con extensiones cortas y rudimentarias ubicadas en la cavidad valvar, frecuentemente éstas son evidentes. El rafe valvar tiene un área axial muy angosta; el área central es más pequeña; la valva elíptica se encuentra muy arqueada. El área central está muy expandida, dentro de la línea angosta está extendida a lo ancho de la 2ª a la 5ª valva.



El rafe es filiforme muy poco extendido hacia el final.

Las estrías están algo curvadas, brillantes e interrumpidas. El ancho del aro hialino está presente al margen. El pseudo rafe valvar es estrecho y lineal. El área central apenas se observa circular. Las estrías son curvadas y brillantes excepto en el centro, donde estas son paralelas y punteadas, la punta apareciendo como corta o rota. Una línea submarginal aparece alrededor de la valva.

Estrías alrededor de 20 en 10μ en las valvas, márgenes de 24 en 10μ hacia el área axial 26-29 en 10μ largo de 15-36 μ . Ancho 13-15 μ

Mejor distinguida por la intermediaria línea hialina en el rafe valvar interrumpiendo la estría patrón (Patrick, 1966).

❖ ***Cymbella cistula*** Germany, Holstein, Wedel.

Valvas fuertemente dorso-ventrales. Extremidades esféricas o en ocasiones se presentan como finales truncados. El área axial es estrecha y en forma lineal, aproximadamente central. El área central es pequeña algo redondeada. El rafe curvado, el área axial en forma rectangular en la parte lateral mas o menos filiforme y cerrado hacia el final distal. El final distal del rafe se encuentra desviado dorsalmente.

Estrías brillantes, comenzando casi paralelas cerca de la mitad, las estrías que se encuentran en las extremidades son pocas y por lo regular tienen un brillo más fuerte. Las estrías son punteadas. Distinguida por el ancho, fuertemente dorso-ventral.

Eurytopic, pero la mayoría frecuentemente notable en E.U. como en lagos y ríos, epífitas con algunos fluídos. Este taxón alcanza un desarrollo óptimo en aguas cercanas a la saturación con oxígeno, son indiferentes a la alcalinidad, oligohaloblo (Patrick, 1966).

❖ ***Diatoma hiemale*** Roth

Frústulas formando colonias de filamentos rectos, rectángulos en cinturones vistos como bandas intercaladas. La valva de linear a lanceolada l; ápices rostrados. Un pseudo rafe equitativamente ancho en la porción media de la valva y hay un estrechamiento hacia los ápices. En el costado de 2-4 en 10μ , estrías 18-20 en 10μ , largo de 30-100 μ , ancho de 7-13 μ .

Este taxón se distingue por la forma de la valva y la aspereza del costado.

En cuanto a su hábitat parece preferir el frío y el agua dulce (Patrick, 1966).



❖ *Fragilaria capucina* Rabh

Frústulas formando largos filamentos, la valva va de linear a linear lanceolada. Los ápices algo difusos (atenuados), rostrados. El pseudorafe es muy estrecho. El área central es algo variable, tal vez más larga que ancha o más ancha que larga. Estrías paralelas 15-18 en 10 μ . Largo 30-35 μ . El ancho de la porción más estrecha de la mitad de la valva es de 2-4 μ .

Este taxón es distinguido de las otras variedades de esta especie por lo estrecho en la porción media de la valva. En cuanto a su ecología prefiere el agua dulce, escasamente alcalina, algunas veces se encuentra en aguas poco salinas (Patrick, 1966).

❖ *Gomphonema venticosum* Greg

Frústulas en forma de cuña, bandas intercaladas y septo verdadero ausente. Estrías compuestas de más o menos líneas distintas de poros, rafe delgado y central. Las valvas son más anchas en la mitad, se ensancha hacia el ápice. Área axial 1° - 4° a 1° - 3° el ancho de la valva. Área central larga, transversal, esférico distinto a la punta uno de los lados del nódulo central.

El ancho del rafe, termina en nódulos distintos tiene estrías brillantes, casi paralelas al ápice y no muy brillantes en la base. Estrías que van de 11- 13 en 10 μ , de largo 30-55 μ , de ancho 9-11 μ .

Su hábitat suele ser frío y de agua dulce (Patrick, 1966).

❖ *Lyngbya aestuarii* Liebmann 1841

Plantas agregadas, enmarañadas, formando extensas capas sumergidas en el sustrato o libres en la tierra húmeda y las rocas; algunas veces se encuentran en filamentos flotando libremente variando mucho en el diámetro 10-26 μ de ancho. Tricomas 8-20 en 28 μ en diámetro, se adelgaza un poco en los ápices que varía en la forma conical, trunca o algo capitado.

Células de 2.5-5 μ de largo. Vainas firmes y un poco angostas.

Estas especies algunas veces forman fundas, se sienten como capas, su color suele ser amarillo grisáceo o verde oliva pálido, el color ordinario es enmascarado por acumulaciones de arena y escombros (Prescott, 1981).



❖ *Navícula cuspidata* (Kützing) Kützing 1844

Frústulas usualmente sin bandas intercaladas algunos taxones tienen platos internos pero en ellos no son septos verdaderos, los cuales están adheridos a las bandas intercaladas. Valvas lineares, lanceoladas o elípticas en su forma. Un rafe simple está presente en ambas valvas en el área axial y extendido a lo largo de la valva. Usualmente son 2 largos cloroplastos en cada frústula, pero en algunos son sólo uno (Patrick, 1966).

❖ *Nitzchia linearis* (Agardh) W. Smith 1853

Las frústulas de *Nitzchia* están usualmente alargadas y varían mucho en el contorno como se ve en la vista valvar. La valva tal vez recta o sigmoide, linear para el contorno elíptico, con o sin margen lateral. El rafe tiene un centro pequeño y nódulos polares y la fisura del rafe tiene una fila uniseriada de poros circulares que abren hacia las células interiores.

Muy diferente a cualquier otra diatomea penada, los cinturones y los lados de las valvas no están en los ángulos correctos como en alguna otra.

Las secciones transversales de las frústulas están por lo tanto romboides en lugar de rectangulares en el contorno.

La vista de los cinturones de las frústulas están alargadas, rectos o sigmoides y frecuentemente con el final más atenuado.

Dentro de las células están 2 cromatóforos que están situados en el área axial.

Los cromatóforos están en el mismo lado del cinturón y usualmente con márgenes enrollados suponiendo la cara de la valva. Estas células pueden ser solitarias y de flotación libre o en aglomeraciones densas dentro de ramas de tubos gelatinosos (Smith, 1950).



❖ ***Oscillatoria formosa*** Bory 1827

Tricomas solitarios y dispersos agregados para formar una masa de planta de un color verde a un azul oscuro, recto y muy firme, curvado y ligeramente adelgazado hacia el ápice, células cónicas, no capitadas, células 4-6 μ de diámetro, 2.5 - 5 μ de largo.

En cuanto a su hábitat es poco común en la tierra húmeda de los márgenes de los lagos y cerca de los pantanos, ticoplanctónicos en aguas poco profundas y estanques (Prescott, 1981).

❖ ***Pinnularia brevicostata***, Cl

Las frústulas están normalmente lineares o lanceoladas, por lo regular se encuentran en organismos individuales u ocasionalmente en filamentos.

Especies muy largas y muy pequeñas se han encontrado en éste género. Las bandas intercaladas y septos están ausentes.

La estructura de las estrías están en forma de costras, tiene cámaras las cuales se abren para el interior de la valva.

El rafe puede aparecer como una línea o un filamento. En algunas especies éste esta enrollado en varios caminos. El área axial y central están usualmente distintas pero variables en su forma.

Dos largos platos como cloroplastos están usualmente presentes en cada frústula (Patrick, 1966).

❖ ***Rhoicosphenia curvata*** (Kütz) Grunow 1860

Las partes en forma de frústula de *Rhoicosphenia* están sésiles y adheridas a sus finales estrechos más o menos en un sistema enmarañado de tallos gelatinosos que se encuentran en sustratos adheridos o sumergidos.

Fanerógamas o filamentos granulares verdes.

Algunas veces el sistema del tallo (pedúnculo) está reducido a un cojín gelatinoso. Como se ve en la vista valvar, las frústulas están ovaladas en el contorno.

La epiteca tiene un pseudorafe mediano y lateral, existe una línea transversal de una estría muy delicada.

La hipoteca tiene un rafe mediano con nódulos centrales y polares y estrías paralelas que están algunas veces dispuestas algo radialmente con referencia a los nódulos centrales.



Cuando se ven alrededor, las frústulas están claramente cuneadas y claramente curvadas en el eje longitudinal (Smith, 1950).

❖ *Spirulina sp.* Turpin 1827

Un espiral enrollado, tricomas unicelulares, en todo el cilindro y no disminuye hacia los ápices (aunque brevemente, atenuado en algunas especies); espirales sueltos y flojos o cercanos y rollos apretados según la especie el espiral generalmente muy regular; tricomas libres, flotando y planctónicos o interactuando con otra alga ticoplanctónica, algunas veces formando capas en el suelo húmedo, especialmente donde el agua se asienta (Prescott, 1981).

❖ *Tabellaria fenestrata* (Lyngb, Kütz)

Frústulas formando zigzag o filamentos rectos; la vista del contorno es rectangular con bandas intercaladas y septos presentes. En la vista del contorno los septos aparecen como líneas cortas engrosadas. En la vista valvar el septo se extiende variando de lo largo debajo de la superficie de la valva estriada hacia el final. Valva finamente estriada. Vista estrecha con cuatro o más septos los cuales están doblados por fuera desde la valva por una corta distancia por abajo del punto de inserción. El poro gelatinoso se localiza cerca del centro de la inflación media. Pseudorafe distinto, algunas veces algo más amplio en el centro de la valva formando un área central pequeña de forma variable. Generalmente prefiere las aguas ácidas y no tolera bien la contaminación. (Patrick, 1966).

❖ *Ulothrix aequalis* Kuetzing 1845

Filamentos muy largos compuestos de células cilíndricas y sin encogerse, paredes cruzadas. Cloroplastos en forma de platos extendiéndose 4/5 de la distancia alrededor de la pared, células 13-15.5 μ en diámetro y 18-30 μ de largo. Es común encontrarlas en agua pura, masas verdes brillantes en aguas poco profundas de distintos lagos y pantanos, dispersas entre otras algas (Prescott, 1981).



ANEXO IV DATOS ESTADÍSTICOS

	Densidad en sedimento vs. Velocidad de corriente	Densidad en agua vs. Velocidad de corriente	Densidad en sedimento vs. carga del caudal	Densidad en agua vs. Carga del caudal
Rs=spearman	-0.5714	-0.25	0.17858	-0.1071

	Densidad en sedimento vs. Ortofosfatos	Densidad en agua vs. Ortofosfatos	Densidad en sedimento vs. Nitratos	Densidad en agua vs. Nitratos
Rs=spearman	0.84822	0.1518	-0.3616	-0.15178

	Densidad en sedimento vs. Amonio	Densidad en agua vs. Amonio
Rs=spearman	0.1786	0.4286

Tabla 20. Tablas de coeficientes de correlación . Rs=Spearman



Diagrama de cajas

a) Morfométricos

El diagrama de caja representado en la figura 37, indica que la mayor profundidad del arroyo “El Salto” corresponde a la época de lluvias para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre. Para el mes de marzo y febrero se presentan las profundidades más bajas y corresponde a la época de secas; el análisis de comparación múltiple arrojó datos sobre cuáles datos eran significativamente diferentes de los otros y se encontró que los meses de marzo, noviembre y mayo presentan esta diferencia estadística y que para los meses de febrero, septiembre, agosto y octubre no presentan diferencia significativa.

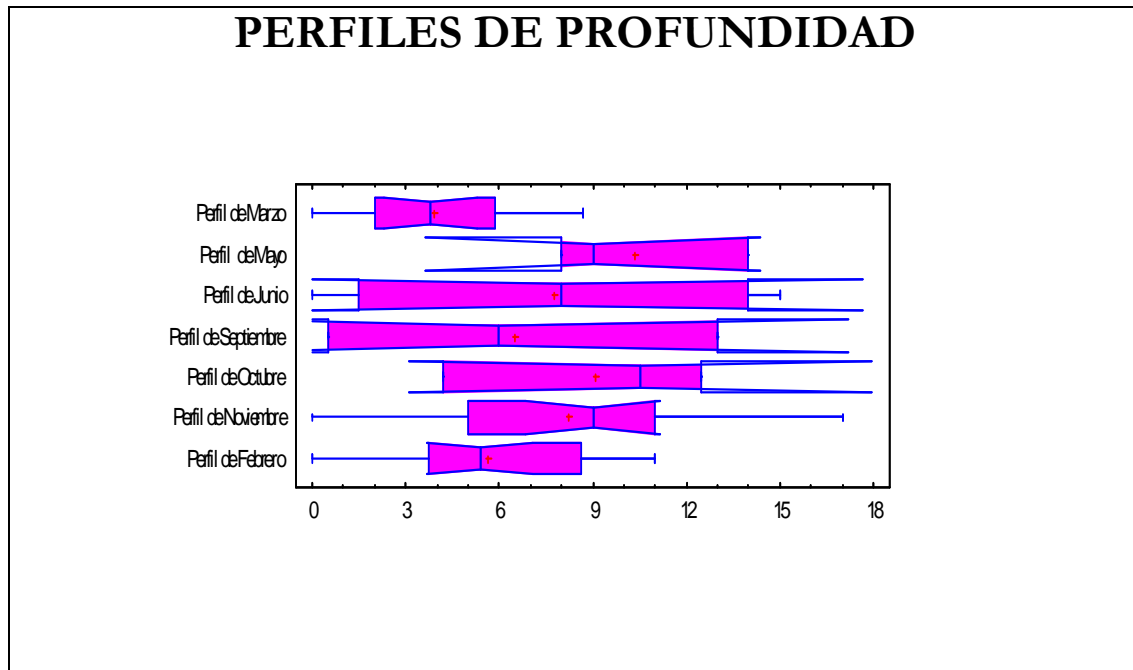


Figura 37. Diagrama de cajas para perfiles de profundidad (cm)



La velocidad de corriente muestra una distribución sesgada hacia la derecha, sin valores extraordinarios.

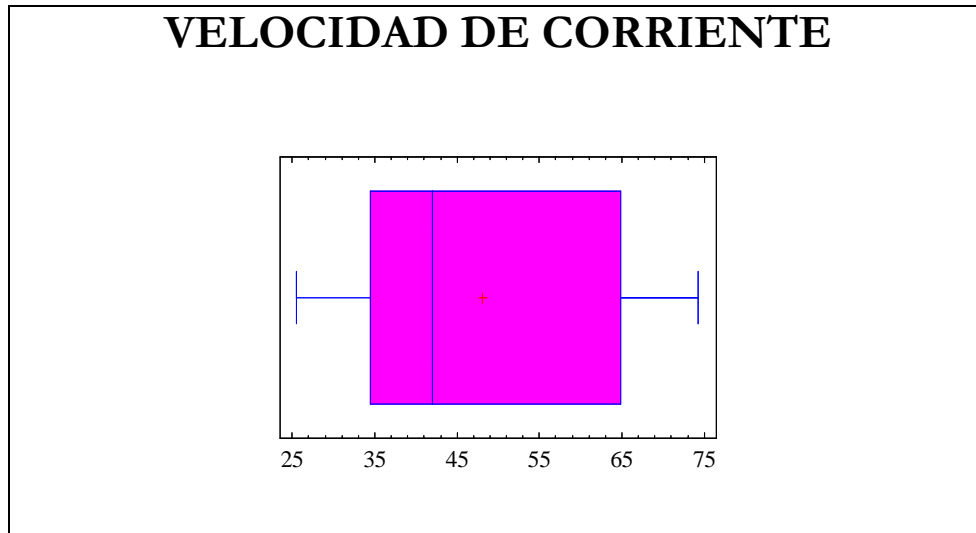


Figura 38. Diagrama de cajas de velocidad de corriente (cm/seg)

La carga del caudal presenta una distribución sesgada hacia la izquierda y presentando valores adyacentes (bigotes) casi iguales.

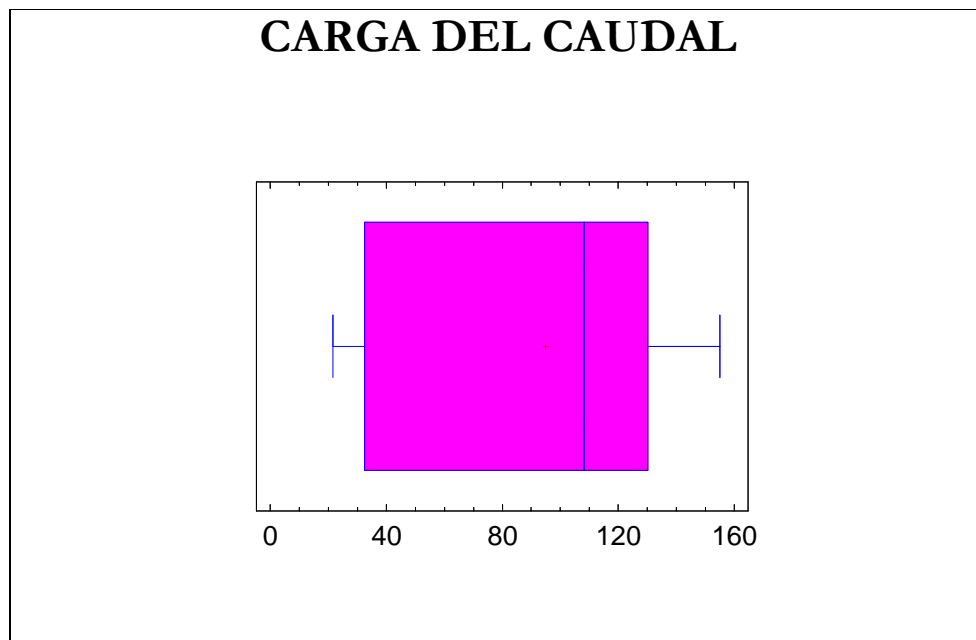


Figura 39. Diagrama de cajas de carga del caudal (L/seg)



b) Limnológicos

La conductividad presenta una distribución con un valor adyacente (bigotes) a la derecha y con valores extraordinarios a la izquierda.

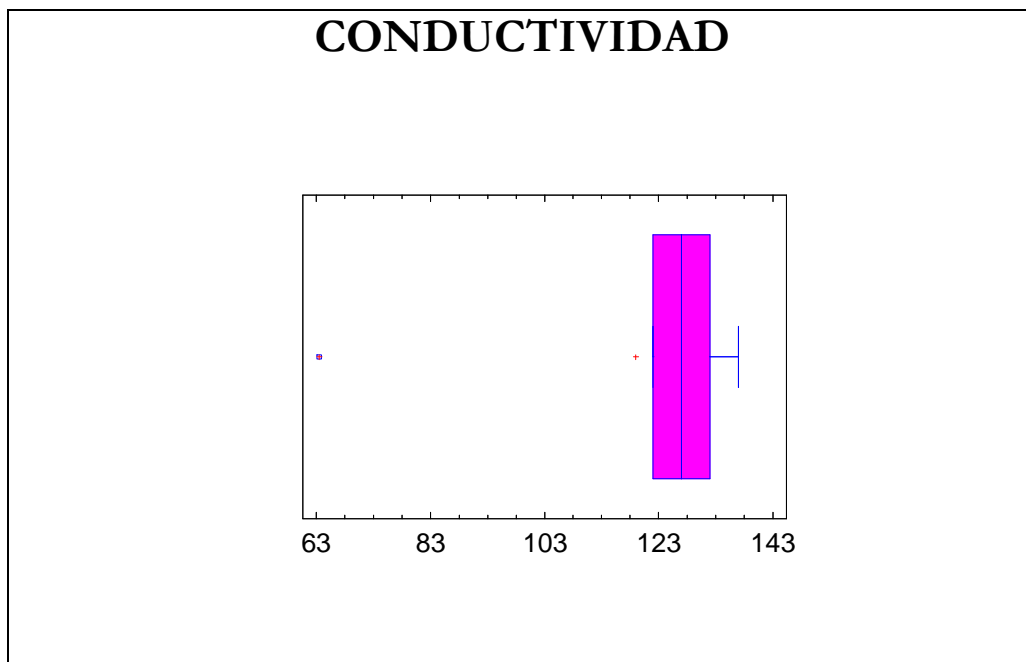


Figura 40. Diagrama de cajas de conductividad (μ)

El diagrama de caja para la temperatura ambiente presenta una distribución hacia la derecha y con valores adyacentes (bigotes) desiguales en donde el de la derecha es más largo que el de la izquierda.

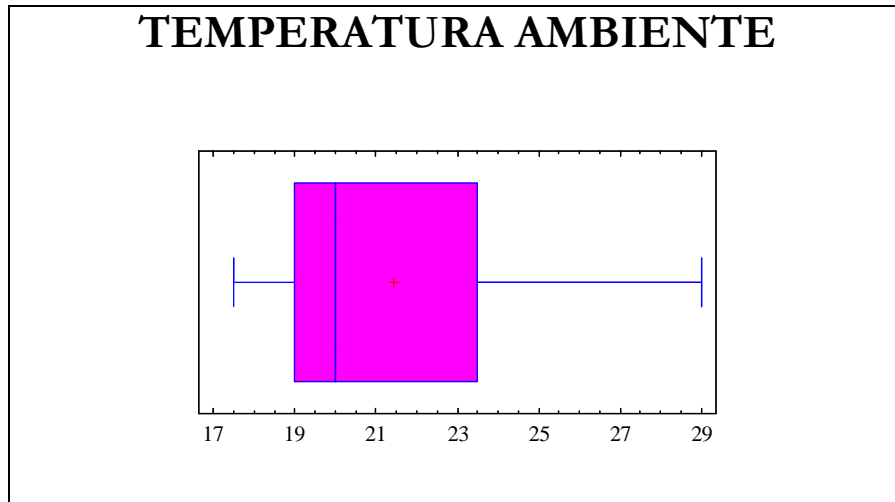


Figura 41. Diagrama de cajas para temperatura ambiente en °C

Este diagrama representa los valores de temperatura en donde se puede observar un promedio de 13.7286 un valor mínimo de 11.5 y un máximo de 15.8 en donde se puede observar un promedio de 13.7286 con un valor mínimo de 11.5 y un máximo de 15.8, en donde la distribución presenta un sesgo hacia la derecha, con valores adyacentes(bigotes).

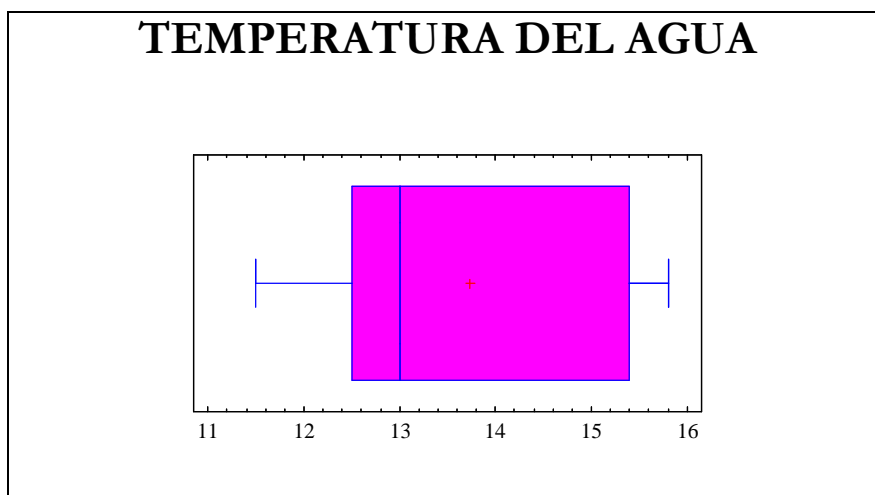


Figura 42. Diagrama de cajas de temperatura del agua en °C



El pH representado en el diagrama de caja (figura 43) presenta una distribución sesgada hacia la izquierda con valores adyacentes iguales.

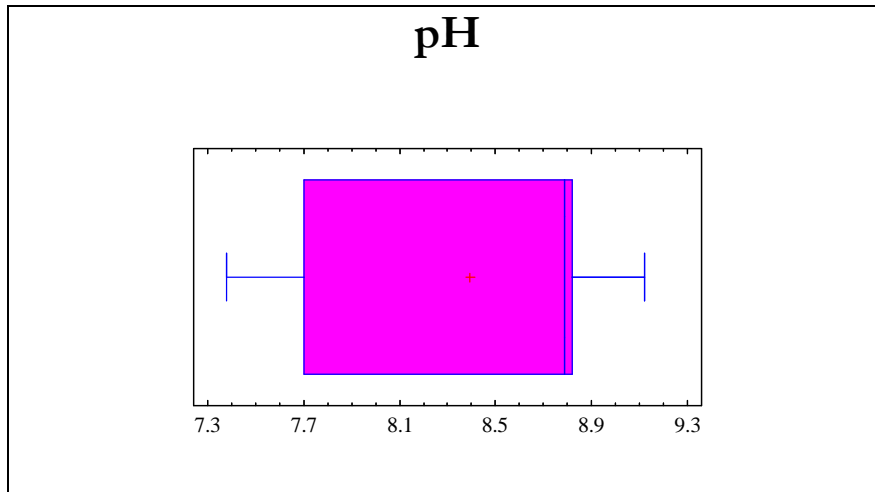


Figura 43. Diagrama de cajas para pH

El diagrama de cajas para oxígeno (figura 44) presenta una distribución sesgada hacia la izquierda con valores adyacentes (bigotes) desiguales siendo más largo el de la izquierda.

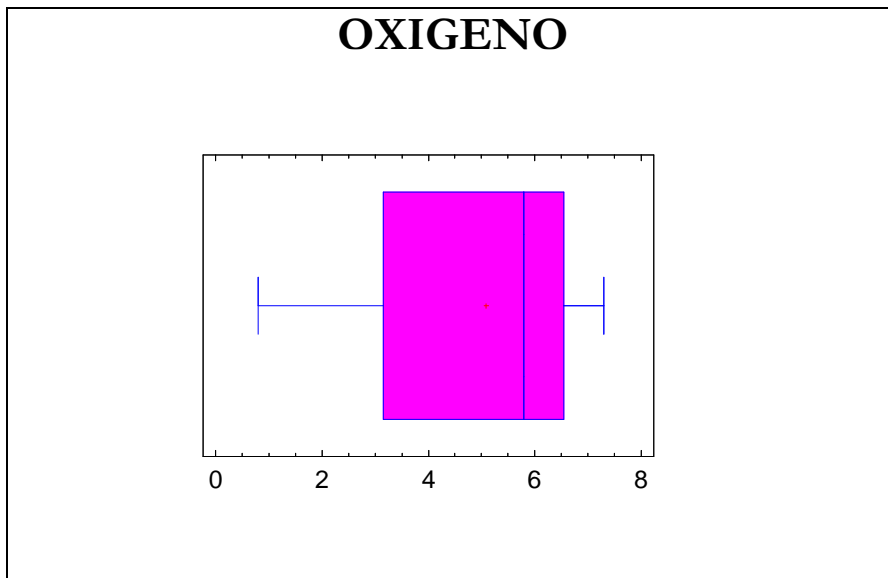


Figura 44. Diagrama de cajas de oxígeno (mg/L)



Para el bióxido de carbono (Figura 45) la distribución se observa ligeramente sesgada hacia la derecha, presenta valores adyacentes(bigotes) a la misma distancia.

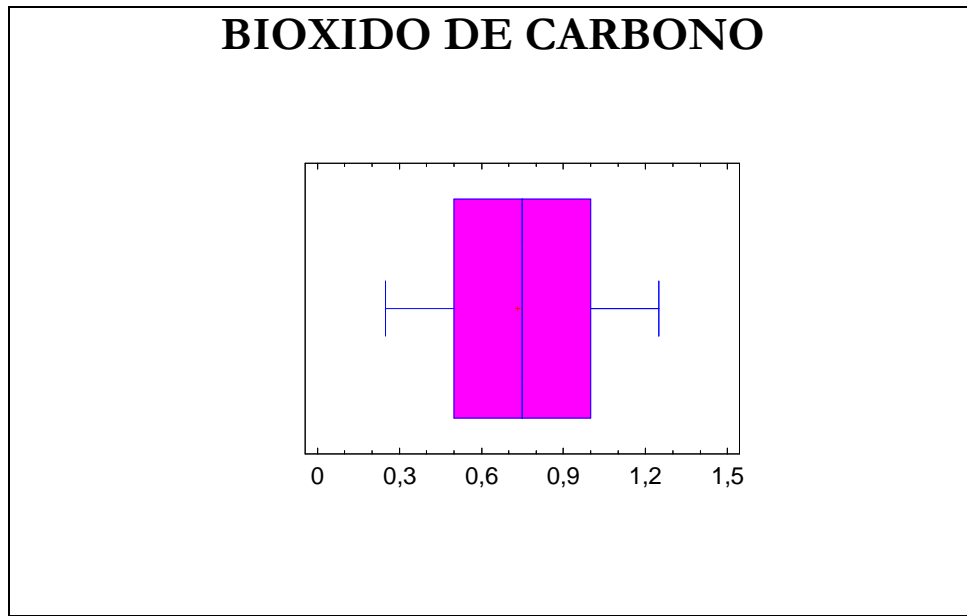


Figura 45. Diagrama de cajas de Bióxido de Carbono (mg/L)

La dureza total presenta una distribución sesgada hacia la izquierda con un valor adyacente(bigote).

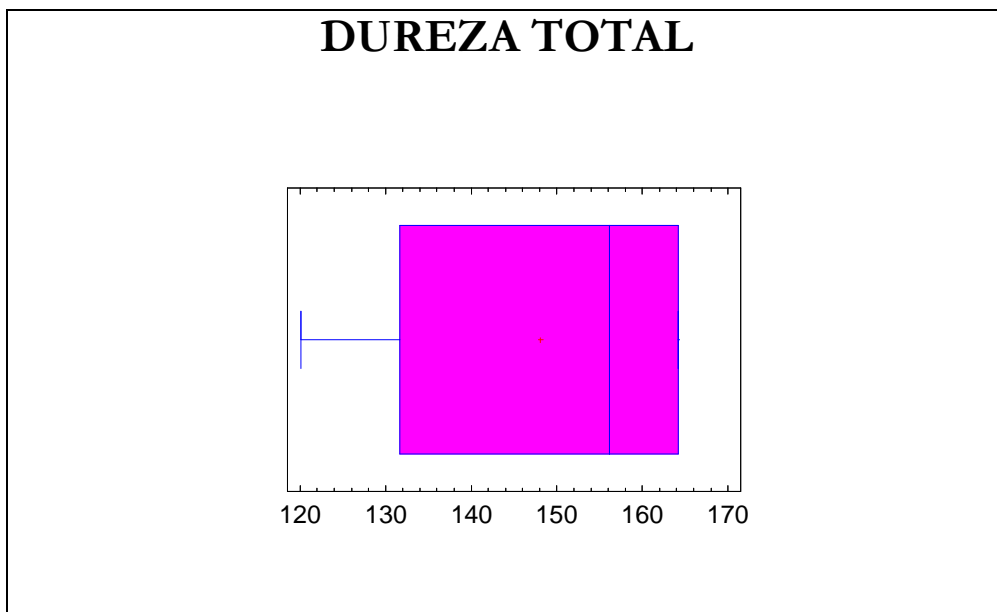


Figura 46. Diagrama de cajas de Dureza total (mg/L)



La dureza de calcio presenta una distribución sesgada hacia la derecha con valores adyacentes (bigotes) desiguales siendo mas largo el de la izquierda.

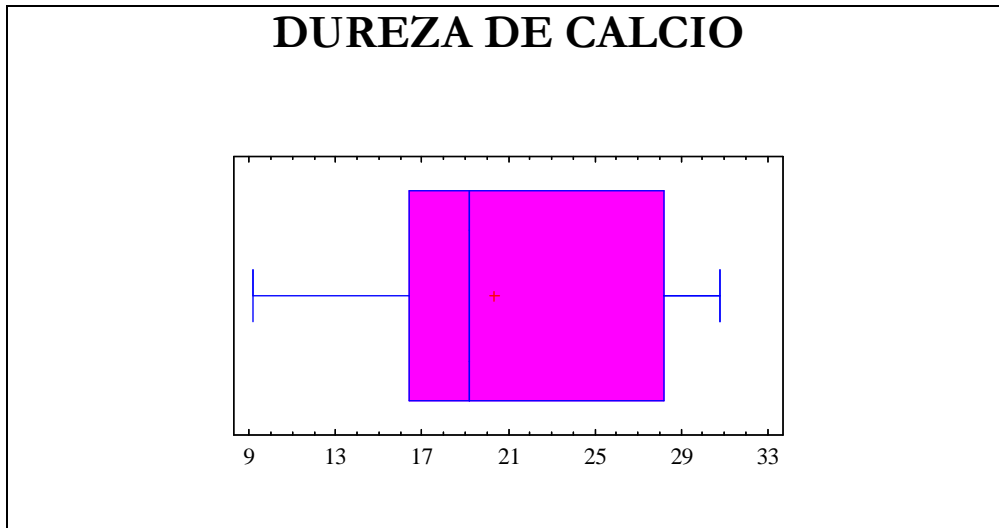


Figura 47. Diagrama de cajas de Dureza de calcio (mg/L)

La alcalinidad total (Figura 48) presenta valores adyacentes (bigote) a la derecha y un valor extraordinario hacia la izquierda, la distribución sesgada hacia la derecha.

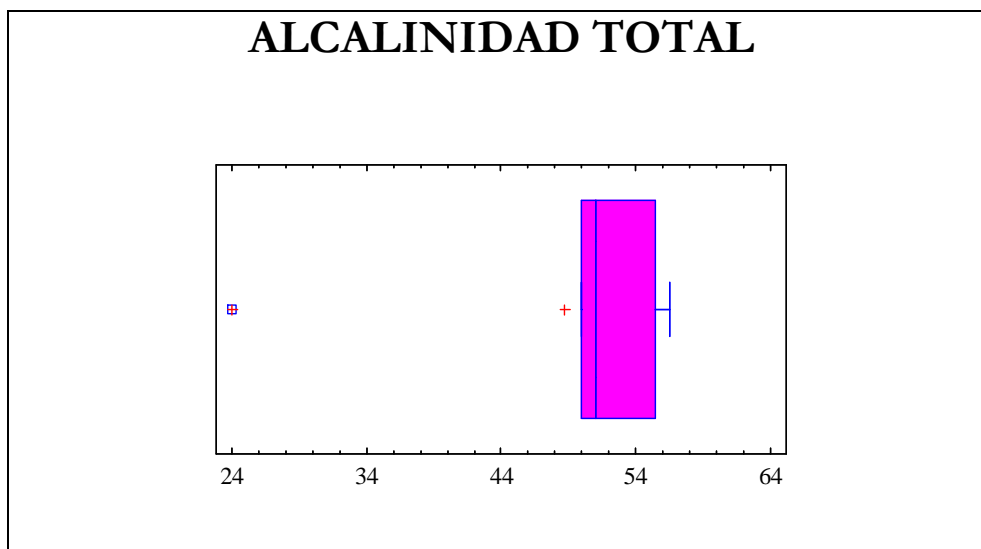


Figura 48. Diagrama de cajas de Alcalinidad total (mg/L)



La figura 49 presenta el diagrama de caja para fosfatos con una distribución sesgada hacia la derecha y valores adyacentes hacia la izquierda, así mismo presenta un valor extraordinario a la derecha.

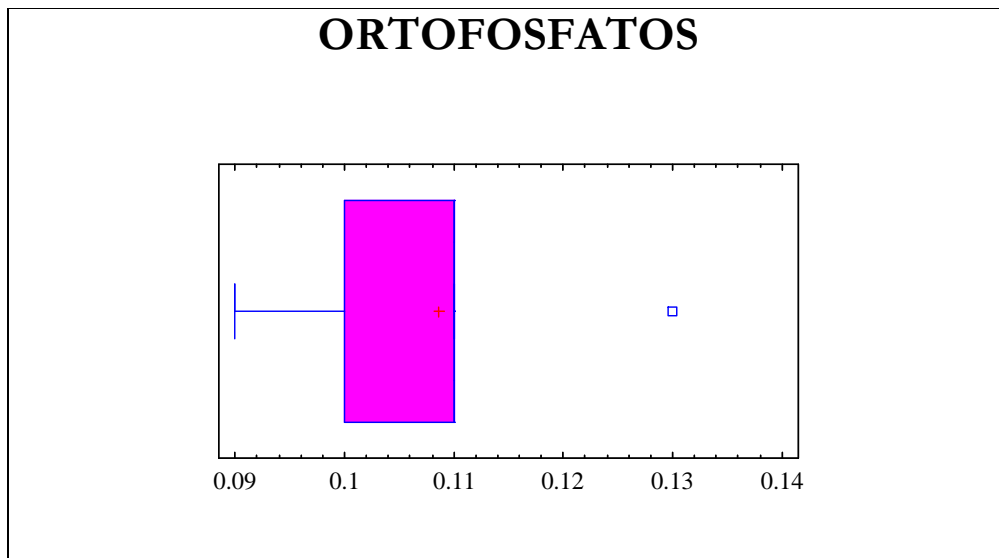


Figura 49. Diagrama de cajas de ortofosfatos (mg/L)

La figura 50 muestra el diagrama de cajas para amonio donde se observa un valor adyacente a la derecha y el sesgo hacia la derecha.

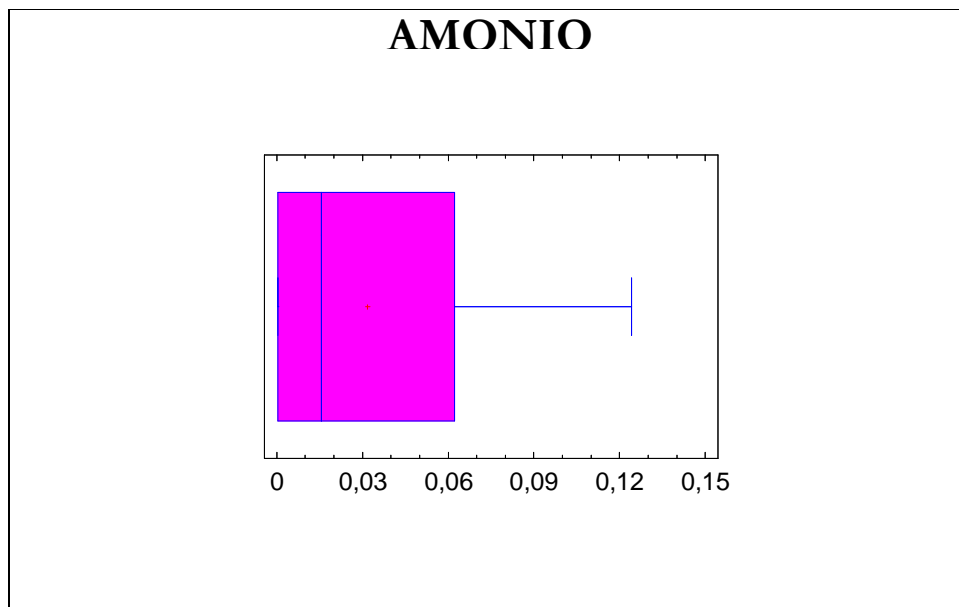


Figura 50. Diagrama de cajas de Amonio (mg/L)



La distribución que presenta los análisis de nitritos es sesgada hacia la derecha con un valor adyacente muy pequeño hacia la izquierda.

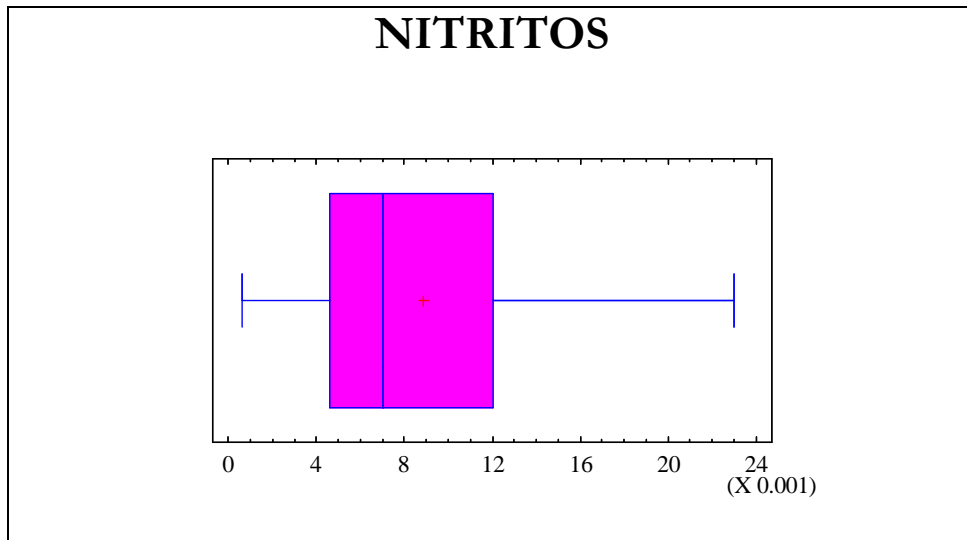


Figura 51. Diagrama de cajas de Nitritos (mg/L)

Para nitratos (figura 52) se muestra una distribución sesgada hacia la derecha con valores adyacentes, siendo el de la derecha mas largo.

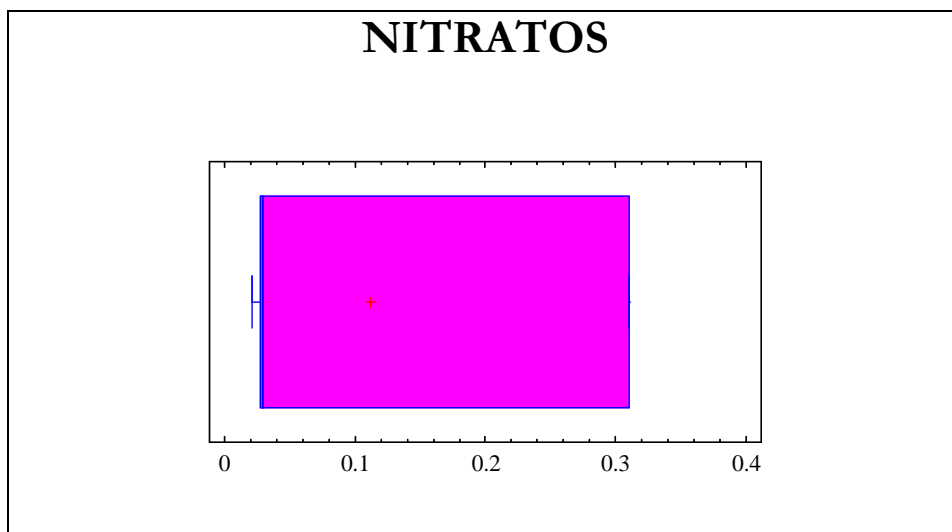


Figura 52. Diagrama de cajas de Nitratos (mg/L)



c) Biológicos

La densidad en agua (Figura 53) presenta un sesgo hacia la derecha con valores adyacentes en donde el de la derecha es mas largo.

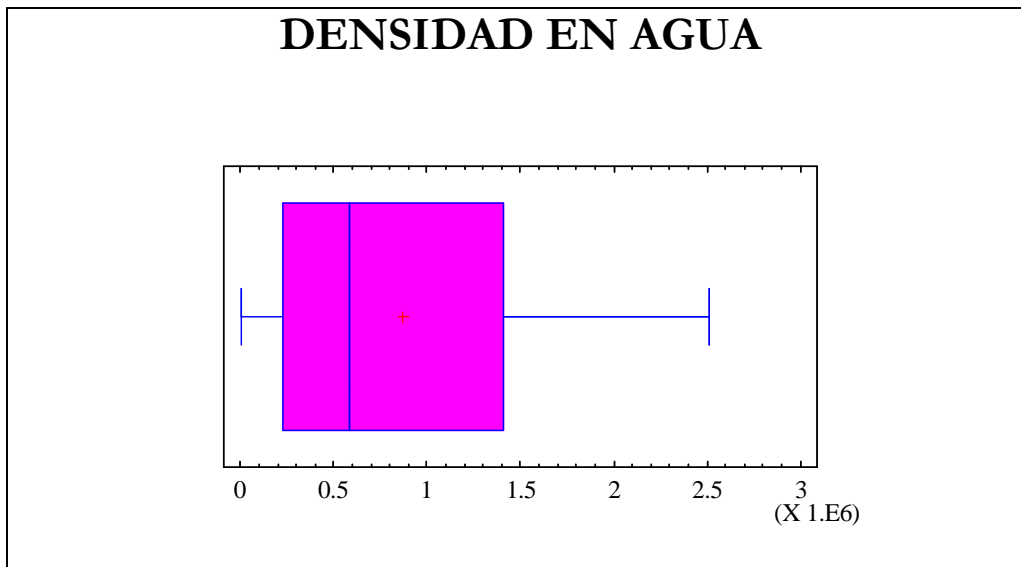


Figura 53. Diagrama de cajas para densidad de organismos en agua (org/L)

La densidad en sedimento presenta una distribución sesgada hacia la derecha y un solo valor adyacente el de la izquierda

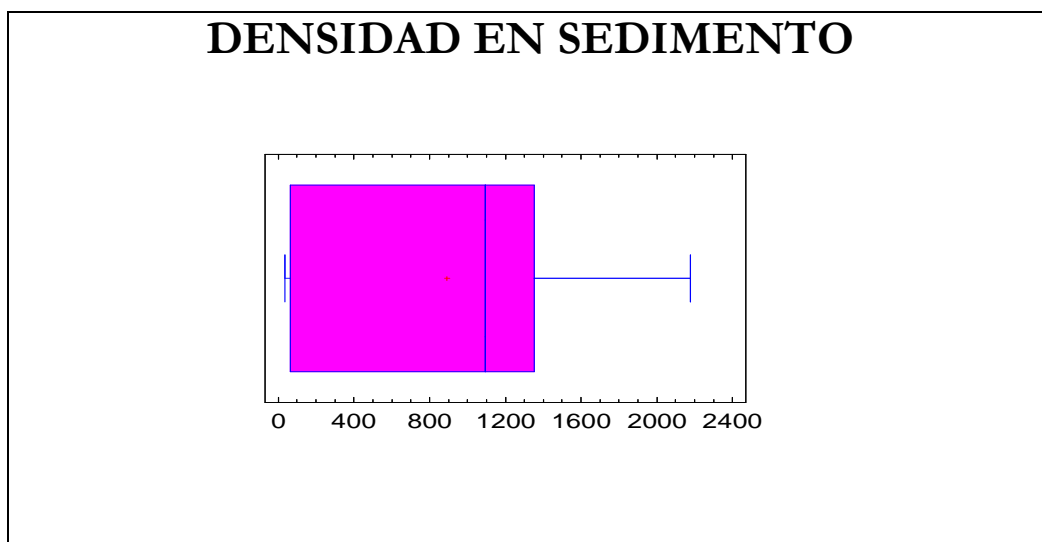


Figura 54. Diagrama de cajas para densidad de organismos en sedimento (org/mg)