



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**EL FITOPLANCTON EN EL ARROYO SAN  
PEDRO, ESTERO XADANI Y LAGUNA  
SUPERIOR, OAX.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G O**

**P R E S E N T A:**

**ENRIQUE IVÁN ALMANZA VALENZUELA**

México D.F.

Octubre, 2004



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.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**EL FITOPLANCTON EN EL ARROYO SAN  
PEDRO, ESTERO XADANI Y LAGUNA  
SUPERIOR, OAX.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G O**

**P R E S E N T A:**

**ENRIQUE IVÁN ALMANZA VALENZUELA**

**DIRECTORA: M. en C. MARIA CRISTINA GONZÁLEZ  
LOZANO**

**ASESOR INTERNO: Biol. ANGÉLICA ELAINE  
GONZÁLEZ SCHAFF**

*...por todo aquello que represente vida.*

*Soy Nuevo*

*soy de metal de fuego, soy hierro  
soy espícula de equinodermo, rádula de molusco,  
tronco de pino negro*

*soy colmillo de león, garra de halcón, raíz de cedro  
soy piernas bambú,  
oídos búho,  
ojos murciélagos*

*soy nuevo en mi savia  
en mi sonrisa cielo  
en mi roca abdominal  
y en las hojas de mis dedos*

*en el agua de mis labios  
en mi aire mi cabello  
en mis alas planeadoras  
en mi olfato rastreador*

*con esta ansia predadora  
que aprisiona los temores  
destrozarlos, destazarlos  
devorarlos corazón*

*forjado en naturaleza he renacido  
con mi paz delfín he convencido  
para conquistar lo que siempre había tenido  
todo eso, lo que nunca había advertido.*

1999.



## **AGRADECIMIENTO ESPECIAL**

*AL IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) Y AL PROGRAMA DE BECAS PARA LAS ESTANCIAS PROFESIONALES, POR LAS FACILIDADES OTORGADAS HACIA EL USO DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPO DE LABORATORIO, DURANTE LA REALIZACIÓN DE LA PRESENTE TESIS DE LICENCIATURA.*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero externar mi eterno y no así suficiente agradecimiento a esas personas que obviamente representan los cimientos de mis logros: a mi padre Enrique Almanza, a mi mamá Sonia Laura Valenzuela, a mi hermano Hugo. Los amo, este logro no es sólo mío, sino de nuestra familia, de los 4. ¡Gracias a los padres que tengo, soy muy afortunado.

Infinitas gracias a mi Directora M. en C. Maria Cristina Gonzáles Lozano que con toda su ayuda, paciencia y dirección, apoyó este paso en mi vida, Gracias Cris, por todos los consejos otorgados.

Gracias a mi Asesora Biol. Angélica Elaine González Schaff, por su extraordinaria habilidad para ser guía, cosa que tanto admiro y que me llevó de la mano por mi terracería científica, además del apoyo brindado en la determinación del fitoplancton, Mtra. Angélica, Gracias.

A la U. N. A. M., a todos mis maestros a lo largo de mi preparatoria y licenciatura por ser la influencia y el impulso, de mi formación pensante.

Gracias al Instituto Mexicano del Petróleo, (IMP) y a todo el equipo de personas que me acepto, me ayudo y confió en mi y que ahora considero mis amigos: Lucía Salazar Coria, Silvia Margarita Ortiz Gallarza, Carmen Gonzáles Macías, y Marco Antonio Tenorio. ¡Vivan los Biólogos!

Un agradecimiento especial para Silvia, por la ayuda otorgada, el material que de su trabajo usé y su amistad.

Estrecho la almas de Lucía y Marco, por su apoyo personal y por llegar a encontrarnos para ser mejores, ustedes saben.

A todos los integrantes del Laboratorio de Análisis Ambiental del IMP, a Arturo Torres Saldaña, por las facilidades prestadas en el Lab. gracias Artur.

A mis compañeros de batallas: Paola, Alex, Sergio, Hugo, Sandra y Hernán, por el tiempo que convivimos durante la carrera y porque ahora de cada uno tengo un trozo de su esencia, bueno, les aprendí sus mañas (pa' que no suene tan cursi).

A mis sinodales por sus profesionales observaciones para con este trabajo en mi intento de intentarlo y lograrlo para mejorarlo

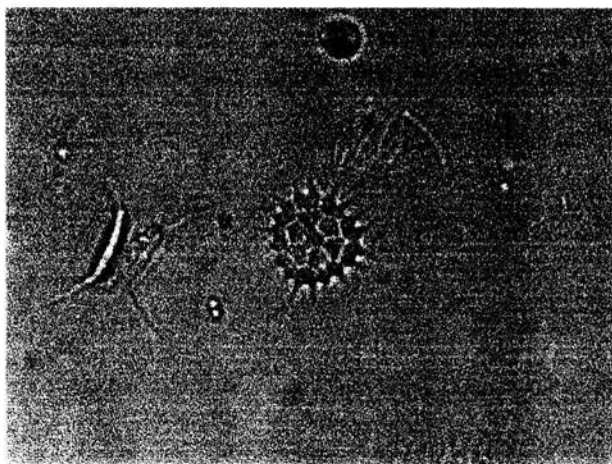
Dra. Alejandrina G. Ávila Ortiz  
Dra. Bertha Peña Mendoza  
Q. María Guadalupe de la Cruz Corona Vargas

Muchas Gracias por ayudarme a restaurarlo y depurarlo.

---

- CONTENIDO -

	<i>Pág.</i>
<i>Resumen</i>	1
<i>Introducción.</i>	2
<i>Antecedentes</i>	7
<i>Zona de estudio</i>	9
<i>Objetivos</i>	13
<i>Método</i>	14
<i>Trabajo en Campo</i>	14
<i>Trabajo en Laboratorio</i>	17
<i>Análisis Estadísticos</i>	18
<i>Resultados y Discusión</i>	20
<i>Parámetros fisicoquímicos</i>	20
<i>Nutrientes</i>	28
<i>Comunidad Biológica</i>	31
<i>Análisis de Cúmulos</i>	46
<i>Análisis de Correlaciones</i>	51
<i>Conclusiones</i>	54
<i>Bibliografía</i>	56
<i>Anexos</i>	62



## RESUMEN

Se presenta el estudio del fitoplancton del Arroyo San Pedro, Estero Xadani, Laguna Superior y Estero Piedra, ubicados en la zona costera del estado de Oaxaca, Méx. Se realizó el análisis hidrológico y el inventario de los géneros y especies registrados para los meses de mayo y agosto de 2002, correspondientes a las temporadas de secas y lluvias, con un muestreo total de 22 estaciones, se determinó la abundancia, diversidad y distribución de la población fitoplanctónica.

En el análisis de la hidrología se registraron temperaturas con aumento gradual, de las aguas continentales a las aguas salinas, pH alto en los esteros y la salinidad alta en la Laguna Superior. Las concentraciones mayores de oxígeno disuelto se presentaron en temporada de lluvias y los sólidos totales se mostraron elevados en temporada de secas. Se encontraron valores altos de nutrientes en temporada de secas.

Se identificaron 79 taxa en este estudio, 21 de éstos correspondieron a la división Cyanophyta, 36 a la división Heterokontophyta, 11 para Dinophyta, 1 para Euglenophyta. Destacaron 31 taxa dominantes de los cuales el grupo de las Heterokontophytas tuvieron una densidad del 63% por lo que se muestra como el grupo más importante. Entre las especies más numerosas se encontraron a *Skeletonema costatum* de agua salada, *Lyngbya hieronymussi* de agua salobre, *Terpsinoe musica* y *Oscillatoria bornetti* de agua dulce.

La riqueza total se presentó mayor en temporada de secas con 66 especies, así mismo la zona con mayor riqueza fue El Arroyo San Pedro. Las densidades más altas se presentaron en temporada de lluvias, destacando la Laguna Superior y el Estero Piedra, con un intervalo de 500 a 13,000 organismos por litro.

El grupo más representativo entre la Heterokontophyta, las Bacillariophyceae (Diatomeas) con un 51% del total de organismos encontrados en secas y un 88 % en temporada de lluvias. La mayor diversidad se presentó en temporada de secas en el Arroyo San Pedro.

De acuerdo al análisis de cúmulos se presentaron tres zonas con características únicas de densidad y presencia-ausencia de organismos: la primera Arroyo San Pedro y Estero Xadani, la segunda Estero Xadani y Laguna Superior y la tercera Laguna Superior y Estero Piedra.

Por medio del análisis de correlación Pearson, se encontró que el fitoplancton interacciona de manera importante con las variaciones del nitrógeno total, salinidad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y los sólidos totales.

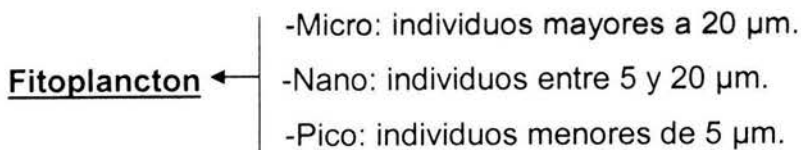
# INTRODUCCIÓN

La importancia del papel que juegan los sistemas acuáticos dentro de la ecología es indiscutible, aún más cuando se conoce la amplia gama de organismos que los habitan y la interacción de éstos con los distintos factores ambientales, físicos y químicos, de los cuales dependen. Así el agua se convierte en un medioambiente altamente maleable, el cual al ser afectado en su calidad, provoca cambios directos en las comunidades orgánicas, en su abundancia, composición de especies, distribución, productividad, condición fisiológica, etc. (Álvarez, 1983).

La base de la pirámide trófica está dada principalmente por el fitoplancton; cuanto mejores condiciones se presenten para el crecimiento y desarrollo fitoplanctónico, más positivos serán los efectos de éste sobre los subsecuentes niveles tróficos (Contreras, 1994).

Muchas especies de invertebrados, peces y mamíferos dependen directamente del fitoplancton y el hombre no queda exento de ello, por lo que su función básica puede medirse en términos económicos, si se considera que su transformación en biomasa animal es de interés comercial, como en el caso de los peces, lo que posibilita una actividad de explotación pesquera.

El fitoplancton corresponde a la parte vegetal del plancton, es decir organismos fotoautotróficos, microscópicos, con escaso o nulo poder de desplazamiento. Está constituido por conjuntos celulares o formando filamentos, cadenas, colonias o cenobios (Tait, 1987). Según su tamaño, de acuerdo a Lara *et al*, 1996, se clasifica en:



Este se conforma por los siguientes grupos:

### **División CYANOPHYTA**

Las algas verde-azules (cianofitas), son organismos procarióticos, relativamente simples, que contienen clorofila *a*, zeaxantina y ficobiliproteínas. Las formas cocoides más pequeñas (pertenecientes al picoplancton, o de tallas entre 1 y 3  $\mu\text{m}$ ) se distribuyen ampliamente en todos los océanos, pero también existen formas filamentosas coloniales. Algunas especies producen toxinas y altas proliferaciones, sobre todo en zonas neríticas y lagunas costeras (Hernández-Becerril, 2003).

Por sus semejanzas con las bacterias, también procariontas, diversos autores les denominan cianobacterias. Poseen también una alta proporción de  $\beta$ -carotenos, pero sus pigmentos distintivos son las ficobilina-ficoeritrina y la ficocianina, normalmente agregados en ficobilisomas y adheridos a los tilacoides (Licea *et al.* 1976).

Son las más abundantes de las poblaciones de fitoplancton en las zonas neríticas o de aguas someras de las aguas cálidas. Solo una especie verde-azul filamentosas: *Trichodesmium thiebautii*, se ha reportado siempre en abundancia en mar adentro (Dawes, 1986). Se ha reconocido que las altas densidades de cianofitas provocan valores bajos de oxígeno (Hernández-Becerril, 1993). Son importantes indicadores de saprobiedad (De La Lanza, 2000).

### **División CHLOROPHYTA**

Las clorofitas o algas verdes contienen cloroplastos y almidón muy parecidos a los de las plantas terrestres, de las cuales se postulan como sus antecesores directos. En éstas predomina la clorofila 'a' lo que les otorga su característica coloración verdosa, también contienen clorofila 'b',  $\beta$ -carotenos, luteína y varias xantofilas (Lara *et al.* 1996).

Las algas verdes son uno de los más grandes grupos en términos del número de especies y están ampliamente distribuidas y bien adaptadas como las algas verde-azules (Dawes, 1986). Los miembros marinos de esta clase son flagelados, de forma ovoide y menores a 20  $\mu\text{m}$ . Hay poco conocimiento sobre su papel ecológico, el número de especies y su distribución en el medio natural

pelágico. Varias especies se usan comercialmente para la extracción de sustancias de la industria alimentaria (Hernández-Becerril, 2003).

### ***División HETEROKONTOPHYTA***

Dentro de esta división la Clase Bacillariophyceae (Diatomeas), es un grupo de algas eucarióticas y fotosintéticas, con los órdenes Centrales o Biddulphiales (simetría radial, la mayoría marinas) y Pennales o Bacillariales (simetría bilateral, la mayoría de aguas continentales) (Lara *et al*, 1996).

Las Diatomeas son células solitarias o coloniales con pared celular impregnada de sílice, abundan en aguas frías y son más escasas en aguas cálidas, las representantes marinas presentan un tamaño que fluctúa entre 50 y 500  $\mu\text{m}$  (Micro-plancton). Los cloroplastos cuya forma y número son muy variables, contienen clorofilas *a*, *c1*, *c2* y el carotenoide pardo-dorado fucoxantina que le confiere su color característico (Desabbayes, 1989). Son generalmente dominantes en ambientes costeros o de gran turbulencia y disponibilidad de nutrimento (Hernández-Becerril, 1993).

La taxonomía de este grupo se basa en dos aspectos principales: la simetría y las características de su pared celular (Lara *et al*, 1996).

### ***División DINOPHYTA***

Los dinoflagelados o dinomastigotas corresponden a un grupo del fitoplancton marino de carácter cosmopolita, algas eucariotas y fotosintéticas. Su talla va de los 5  $\mu\text{m}$  hasta los 2 mm (Hernández-Becerril, 2003), por lo que se les ubica dentro del micro-plancton, tienen dos flagelos desiguales y una cubierta celular celulósica. Son, después de las diatomeas, las productoras primarias más importantes del fitoplancton marino, algunas presentan bioluminiscencia, sus microfósiles son indicadores paleográficos y estratigráficos (Desabbayes, 1989).

Sus principales pigmentos son clorofilas *a* y *c2* peridina y dinoxantina (Hernández-Becerril, 2003). Sus características morfológicas y requerimientos nutritivos los hacen exitosos en aguas tropicales, donde la estabilidad en la columna de agua es mayor y la concentración de nutrimentos más baja (Lara *et al*, 1996).



Debido a que algunos dinoflagelados producen toxinas, sus florecimientos pueden causar la muerte a gran escala de muchos peces, así como de crustáceos y moluscos, estos florecimientos se conocen como mareas rojas, las cuales pueden estar compuestas de entre 500,000 a 2 millones de dinoflagelados por litro (Desabbayes, 1989). Son más abundantes en ambientes oceánicos, con poca turbulencia y pobres en nutrientes (Hernández-Becerril, 1993).

### ***División EUGLENOPHYTA***

Las euglenofitas son unicélulas fotoauxotróficas, pero la mayoría son incoloras y por lo tanto, heterótrofas obligadas. No tienen pared celular, sino una película flexible, proteica en un 80% y corrugada. Las euglenofitas pigmentadas contienen clorofilas 'a', 'b' y diversos carotenos, entre los cuales la principal xantofila es la diadinoxantina (Desabbayes, 1989). Son más comunes en ambientes salobres y costeros (Hernández-Becerril, 1993).

Estos organismos se reproducen asexualmente por división longitudinal y predominan en ambientes ricos en materia orgánica en descomposición: la superficie de los sedimentos, pequeños estanques, zonas litorales de lagos, estuarios, mares y aguas contaminadas (Lara *et al*, 1996).

Todos estos organismos de gran importancia interactúan y se mezclan en cuerpos de agua de distintas condiciones fisicoquímicas, como es el ejemplo de las aguas continentales y marinas, las cuales al mezclarse, en las llamadas "zonas costeras", dan lugar a innumerable variedad de nichos y micro hábitat, lo cual se transmuta en complejidad, fragilidad y variación, e influye directamente en el comportamiento de la vida acuática.

La zona costera es un amplio espacio de interacciones del mar, la tierra, aguas epicontinentales y la atmósfera. La transición de estas tres fases (agua, suelo y aire), incide profundamente en las condiciones y en la dinámica ambiental, a las cuales se agrega la influencia del hombre como agente transformador de primera magnitud (Yañez-Arancibia, 1986.)

Las zonas costeras han sido siempre un elemento importante dentro de las actividades humanas, se relacionan directamente con la alimentación, la energía, el transporte y el urbanismo; es un importante foco de turismo, recreación, de



instalación de industrias y de depósito de desechos. Asimismo cerca del 20% de la producción mundial de petróleo proviene de estos lugares y aproximadamente el 70% de las reservas petroleras del mundo yacen bajo el suelo oceánico de las zonas costeras (Yañez-Arancibia, 1986).

Parte de éstas lo constituyen los estuarios y lagunas, ocupando un elevado porcentaje de las costas del mundo. Un estuario es considerado comúnmente como la boca de un río, mientras que una laguna costera es un embahiamiento separado del mar por islas de barrera, estos se encuentran generalmente unidos por un estero (canal largo y sinuoso que conecta a las lagunas costeras con el estuario de un río o con el mar).

México tiene como parte de su litoral del 30 al 35% de estuarios y lagunas costeras en el Pacífico, el Golfo de México y Mar Caribe. Posee 10 000 Km de litoral, 500 000 km<sup>2</sup> de plataforma continental, 1 600 000 hectáreas de superficie estuarina y aproximadamente 12 500 km<sup>2</sup> de lagunas costeras (Yañez-Arancibia, 1986).

Una de las áreas más productivas de los mares mexicanos, en particular del Pacífico tropical, es el golfo de Tehuantepec con una intensa actividad industrial en la ciudad de Salina Cruz, Oax., dirigida en primer término a la refinación del petróleo y con una fuerte proyección hacia el turismo en la costa oeste del golfo. (Gaxiola-Castro y Álvarez-Borrego, 1986).

Pese a la importancia del fitoplancton como productor primario existen muy pocos estudios de esta comunidad en el Golfo de Tehuantepec y aún menos en la región de la Laguna Superior. Se han realizado trabajos con la identificación de los taxa a nivel de género y otros incluyen el estudio de fitoplancton de localidades puntuales.

Así, la comunidad planctónica de estas zonas es poco conocida, por lo que el presente trabajo pretende contribuir con estudios fitoplanctónicos en el arroyo San Pedro y sistemas de esteros aledaños a su desembocadura en la Laguna Superior, Salina Cruz. Oax.

## ANTECEDENTES

Conger *et al.* (1972), reportaron la presencia de 171 especies de diatomeas para la zona del Golfo de Tehuantepec, así como también para la bahía de Salina Cruz (Arenas y Toral, 1980, Valero, 1982 y Benítez-Torres *et al.* 1988). Para la Laguna Superior, Contreras (1985), realizó un trabajo en el que reporta abundancia de diatomeas particularmente de los géneros *Skeletonema* y *Chaetoceros*. Cromwell (1985), reportó que existe poco aporte de nutrientes en la Laguna Superior y sugiere que existe baja productividad.

Ortiz-Gallarza *et al.*, (1991) realizaron un trabajo de análisis hidrológico en el que se concluye que sus bajos niveles de nutrientes la ubican en la categoría de oligotrófica con baja productividad primaria y que sus principales cambios corresponden a la variación climática estacional, la cual provoca entre otros fenómenos, el cierre o la apertura de las bocas de Santa Teresa y San Francisco.

Robles (1991), reportó la composición y abundancia del fitoplancton del Golfo de Tehuantepec, registró el grupo de los nanoflagelados (menores a 10 micras) como el más abundante en el Golfo, en orden de importancia numérica siguieron las diatomeas y por último los dinoflagelados. En cuanto a distribución espacial, las diatomeas constituyeron el grupo dominante en la región oeste del Golfo, sobresaliendo los géneros *Nitzschia*, *Closterium*, *Chaetoceros* y *Navicula*.

Estudios de Robles y Lara (1993), concluyeron que la productividad primaria fitoplanctónica en el Golfo de Tehuantepec muestra valores altos, en comparación con los encontrados en las zonas del Pacífico Mexicano (Gaxiola-Castro y Álvarez-Borrogo, 1986).

Sotomayor-Navarro (1994), reportaron la presencia de marea roja en la zona, provocada por la Dinophyta *Pyrodinium*. Figueroa-Torres (1994), reportaron la presencia de la cianofita *Trichodesmium* en las lagunas Inferior y Oriental y se tienen algunos reportes de una distribución vertical del fitoplancton durante el eclipse de sol en una estación de muestreo en el Golfo de Tehuantepec (Sotomayor-Navarro *et al.* 1994, Vilchis-Rodríguez *et al.* 1994),

Hernández-Becerril y Meave del Castillo (1996), reportaron la diatomea marina *Rhizosolenia* en todo el Golfo de Tehuantepec, así mismo Meave Del Castillo y Hernández-Becerril (1998), presentaron un trabajo del fitoplancton del Golfo de Tehuantepec, en el cual reportaron 323 taxa fitoplanctónicos, así como su relación con características hidrográficas, posteriormente Barreiro y Meave (2003), presentaron un registro actualizado de las especies de dinoflagelados y diatomeas del Pacífico Mexicano.

## ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra dentro del territorio marino conocido como el Golfo de Tehuantepec, el cual está situado directamente al sur del Istmo de Tehuantepec, que es una interrupción importante en la cordillera llamada Sierra Madre del Sur de México. En su punto más estrecho, el Istmo tiene 220 Km de costa a costa y una elevación máxima de 250 m. se localiza en la Planicie costera Ístmica-Chiapaneca (Álvarez, 1983).

La región del Golfo de Tehuantepec se encuentra dentro de la zona tropical, con clima generalmente húmedo con abundancia de lluvias. De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Koppen, la región pertenece al tipo Aw (W) ig, que designa un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, donde el total de precipitación anual desciende a 99 mm. Es el clima más seco de los cálidos subhúmedos, con un cociente P/T menor a 43.2 (Secretaría de Marina, 1974).

Los vientos del norte que pasan a través del Istmo y llegan a una atmósfera más cálida, se convierten en vientos de "descenso" de cierta violencia, estos fuertes vientos conocidos como tehuanos o "Tehuantepecanos" que soplan en el golfo de noviembre a febrero, se consideran un factor importante en los procesos de producción biológica ya que originan surgencias (De la Lanza, 1991).

Estas surgencias provocadas por el empuje de la masa superficial del agua varios kilómetros hacia el sur, provocan que a lo largo de la costa, las corrientes medias se dirijan hacia Salina Cruz (región occidental) para sustituir el agua desplazada. El arrastre de masas de agua provoca una mezcla considerable, zonas de convergencia de transporte de Ekman y eventualmente giros anticiclónicos que acumulan masas de agua en la porción occidental y divergencia en la porción oriental del golfo. Como consecuencia de lo anterior ocurre abatimiento de la temperatura y aumento de los nutrientes en las capas superficiales del agua (Turner, 1992).

Debido al señalado efecto de los tehuanos en el Golfo existe una estacionalidad marcada a lo largo del año que influye en la composición y distribución de su biota marina, con dos épocas climáticas marcadamente

distintas: La primera, seca y ventosa con una temperatura promedio de agua superficial de 18 a 19 °C frente a Salina Cruz. La segunda, lluviosa con temperaturas entre 28 y 30 °C (Tapia-García, 1998).

La producción pesquera de Salina Cruz representó un 18.8 % de la producción del estado de Oaxaca durante 1989, mientras que en 1992 y 1998, constituyó el 42 % y el 18.74 % respectivamente (IMP/UAM, 1996).

Las principales especies comerciales capturadas en la región del istmo son: atún, bagre, barrilete, berrugata, calamar, camarón, cazón, corvina, guachinango, jaiba, jurel langosta, lenguado, lisa, mojarra, pargo, pulpo, róbalo, sierra, tiburón, bandera, banquetta, carpa, esmedregal, lobina, mero, ostión, pámpano, pulpo, raya y similares (IMP/UAM, 1996).

Rzedowski (1994), señala que en la zona del Istmo de Tehuantepec el tipo de vegetación que se desarrolla es el bosque espinoso, el cual es un tipo de vegetación heterogénea de comunidades vegetales que tienen en común la característica de ser bosques bajos cuyos componentes en buena proporción son árboles espinosos.

## **LAGUNA SUPERIOR**

Se ubica entre los paralelos 16° 14' y 16° 26' de latitud norte y los meridianos 94° 47' y 95° 05' de longitud oeste (Fig. 1).

Se encuentra en la parte noroeste del Golfo de Tehuantepec, en la zona del Istmo del mismo nombre en el Estado de Oaxaca, aislada del efecto del océano por las lagunas más pequeñas: Inferior, Mar Tileme y Oriental, el conjunto ocupa un área de 68,950 hectáreas. Es una cuenca irregular de 20.5 Km de anchura, 33 km de longitud y un área aproximada a los 350 km<sup>2</sup>. Es somera, posee un fondo arenoso mezclado con conchas de moluscos (Cromwell, 1985).

Se comunica con el Golfo de Tehuantepec a través de la barra de San Francisco (que generalmente se encuentra abierta, ocasionalmente se cierra por el acarreo litoral), con la laguna Inferior y con el mar Tileme a través de la barra de Santa Teresa (Méndez-González, 1988; Figueroa-Torres, 1994).

De acuerdo a Lankford (1977), la laguna Superior pertenece al tipo de plataforma interna con barrera Gilbert Beaumont. En cuanto a la hidrografía,

regionalmente destacan los ríos de los Perros, Chicapa y Ostuta, también existen aportes del arroyo Estacudo, y el arroyo de San José. El cuerpo total abarca un área aproximada de 330.8 km<sup>2</sup> (Carranza-Edwards, 1980).

El clima local es de tipo A w'(w) (i') g; tropical, cálido subhúmedo con lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal menor al 5 % del total anual (García, 1973).

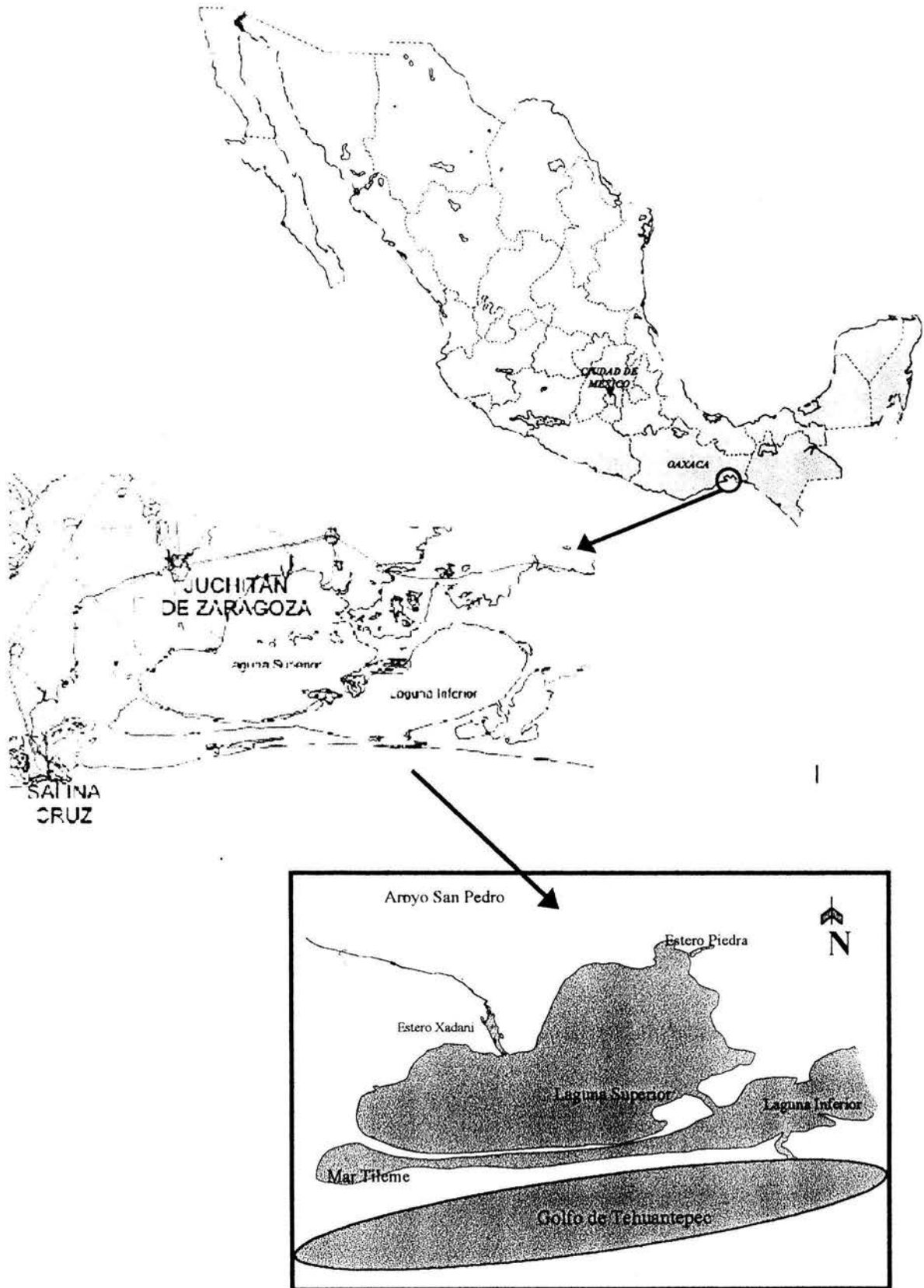
Es un cuerpo somero con una profundidad mínima de 3 m, profundidad máxima de 7 m, y promedio de 6 m (Contreras, 1985). Existen 12 islas orientadas hacia la costa este de la laguna, constituidas principalmente por granodioritas de grano fino; destacan Cerro Cristos, Tileme y Mono. La profundidad es mayor alrededor de Cerro Cristos (6-8 m) y menor al sur y oeste (5-7 m) (Cromwell, 1985).

La variación de la macro fauna béntica es evidente, destacando la presencia de moluscos marinos, algunas especies dominantes son *Protothaca grata*, *Polymesoda inflata*, *Odostomia lastra* y *Acteocina smirna* (Ortiz-Gallarza et al., 1991) (IMP/UAM, 1996).

En cuanto al plancton, se reporta a los copépodos como el grupo más prolífico; además existe la presencia de larvas de diversos peces y decápodos del género *Penaeus*, abundancia de diatomeas particularmente de los géneros *Skeletonema* y *Chaetoceros* (Contreras, 1985).

La Laguna Superior recibe los drenes del Distrito de Riego No. 19 (al que pertenece la cuenca del río Tehuantepec y el sistema lagunar Superior-Inferior), los cuales desembocan directamente en la laguna acarreado fertilizantes, insecticidas y herbicidas como urea, paratión etílico, Dipterex, Servín y Gesparín combinados, además de las descargas de aguas negras vertidas a los ríos Perros y Chicapa, que desembocan en ella (Méndez-González, 1988).

El estero Xadani se ubica al Noroeste de la Laguna Superior, desembocadura del arroyo San Pedro y el estero Piedra se encuentra ubicado al Noreste de la Laguna Superior.



**Fig. 1.-** Localización de la zona de estudio.

Esc. 1:20000, 1:313



## OBJETIVOS

Objetivo general:

- Analizar la variación espacial de la comunidad fitoplanctónica en aguas superficiales en la Laguna Superior y sistemas de esteros asociados y su relación con la hidrología, en los meses de mayo y agosto de 2002.

Objetivos particulares:

- Analizar la calidad del agua de la zona de estudio de acuerdo a parámetros físicos y químicos.
- Realizar la identificación taxonómica del fitoplancton.
- Determinar la abundancia, diversidad y distribución de la población fitoplanctónica.
- Caracterizar la variación de las especies y su relación con los parámetros físico-químicos.



## MÉTODO

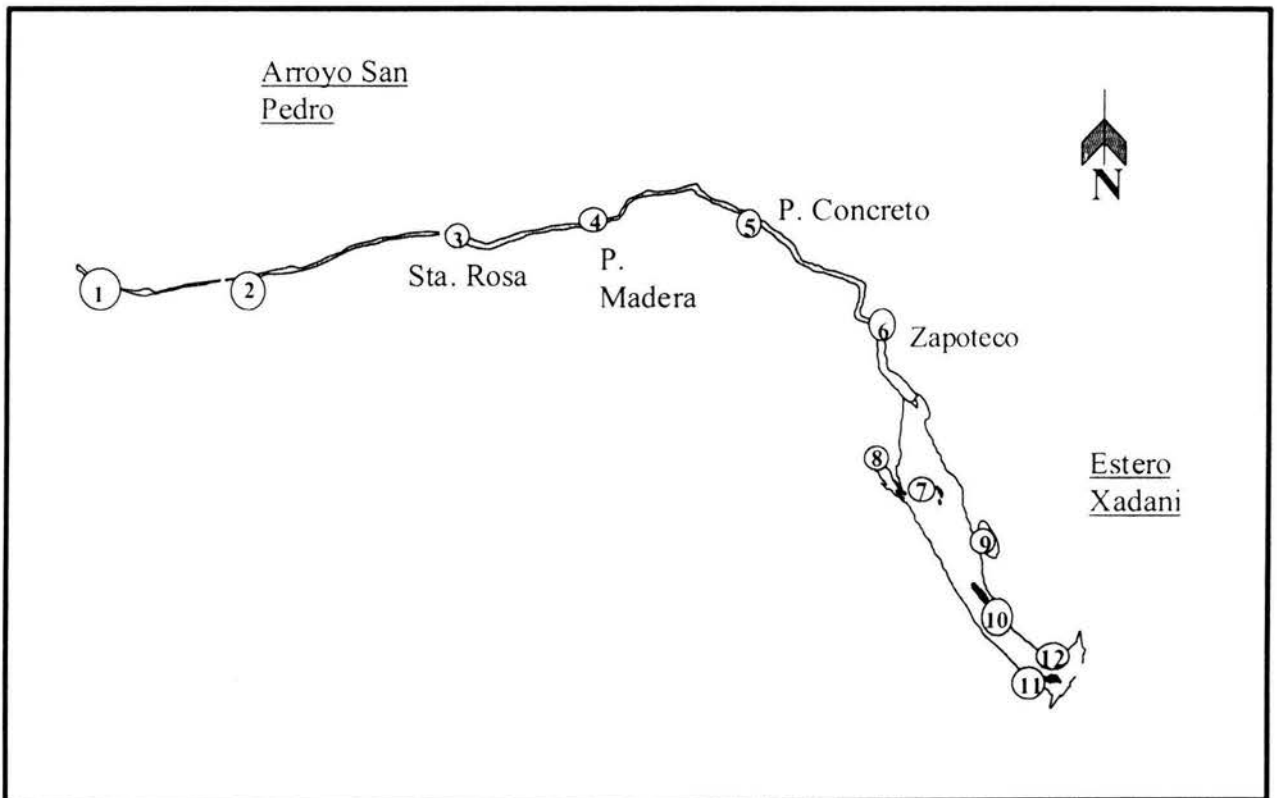
### TRABAJO EN CAMPO.

En el presente estudio se llevaron a cabo dos muestreos. Uno durante la temporada de lluvia y otro en temporada de estiaje. Se trabajó con las muestras y datos obtenidos por el Área de Estudios Ecológicos del Instituto Mexicano del Petróleo en la Bahía de Salina Cruz, Oaxaca.

El primer muestreo se realizó del 11 al 15 de mayo del año 2002 (periodo de estiaje), abarcando un total de 22 estaciones.

El segundo muestreo del 26 al 29 de agosto del año 2002 (periodo lluvioso), con el mismo número de estaciones.

Las 22 estaciones se ordenan de la siguiente manera:



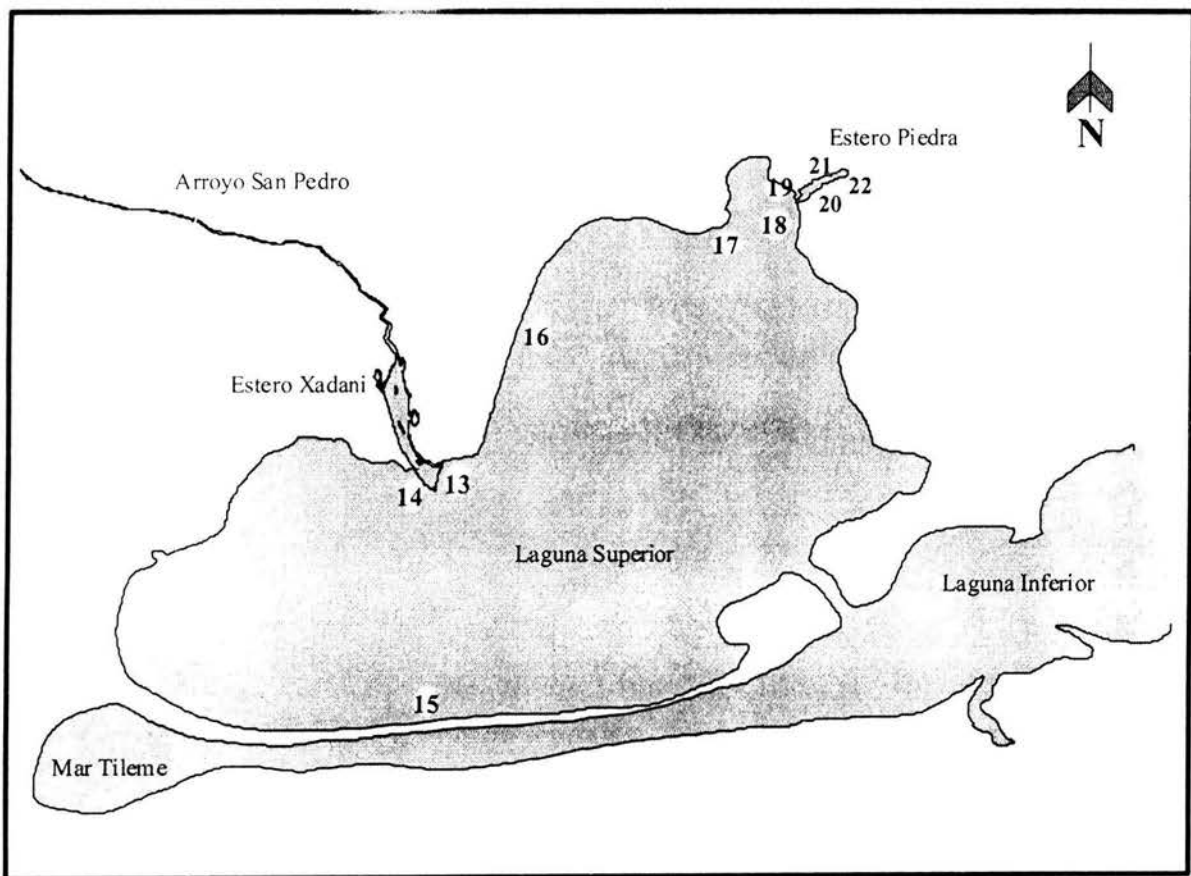
*Fig. 2.- Localización de las estaciones de muestreo en el Arroyo San Pedro y Estero Xadani*

**Arroyo San Pedro.** Se consideraron 5 estaciones de muestreo desde el arroyo, hasta su desembocadura en el estero Xadani (Fig. 2).

**Esteros Xadani.** En el estero Xadani y canales aledaños se ubicaron 7 puntos de muestreo, desde el punto de unión con el arroyo San Pedro hasta la desembocadura a la Laguna Superior.

**Esteros la Piedra.** Se ubicaron 3 puntos de muestreo (Fig. 3).

**Laguna Superior.** Se establecen 7 estaciones en el cuerpo de la Laguna Superior, ubicadas en la salida del estero Xadani, playa San Vicente, salida del estero Piedra, y barra frontera al mar Tileme.



*Fig. 3.- Localización de las estaciones de muestreo en el Estero la Piedra y Laguna Superior.*

Para la ubicación de las estaciones de muestreo se utilizó el sistema global de posicionamiento GPS Micrologic modelo Sportsman.

## **OBTENCIÓN DE MUESTRAS**

La toma de muestras se realizó por medio de arrastres superficiales a velocidad constante durante 1 minuto, con una red fitopláncica con flujómetro, de abertura de malla de 55  $\mu\text{m}$  y diámetro de boca de 20 cm.

Para el transporte y conservación fueron usados frascos de 250 ml, preservándose con formol al 4 % neutralizado con borato de sodio.

## **MEDICIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS**

En la estimación de los parámetros físicos y químicos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos, disueltos y totales) y de nutrientes, se usaron muestras de agua superficial (15 cm del espejo de agua), utilizando una botella Go-Flo de 10 litros, empleando para cada parámetro los siguientes métodos:

### **TEMPERATURA.**

Se midió de acuerdo con el método 162 (APHA, 2000) con un termómetro de cubeta con escala mínima de 0.1 grados centígrados y capacidad térmica adecuada para obtener un equilibrio rápido.

### **OXIGENO DISUELTO.**

Se empleó el método Winkler 421-B (APHA, 2000) que utiliza tiosulfato de sodio (0.01N) valorado con una solución primaria de yoduro de potasio (KI) 0.025 N.

### **SALINIDAD.**

Se cuantificó, de acuerdo al método 210-A (APHA, 2000) con un salinómetro de inducción marca Beckman, modelo RS9, compensación automática de temperatura y precisión de  $\pm 0.003$  partes por mil.

## POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH).

Se empleó un medidor eléctrico de pH marca Corning modelo 5, con división mínima de 0.1 pH, 10 mV y una repetibilidad de +/- 0.05 pH.

## **TRABAJO DE LABORATORIO.**

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DISUELTOS Y TOTALES.

Según la Norma Oficial Mexicana (NMX-AA-34-1981).

## **NUTRIENTES**

### FOSFATOS.

Se empleó para éste análisis el método del ácido ascórbico, cuyo intervalo de detección es de 0.01 mg a 5 mg P-PO<sub>4</sub>/l (10 a 500 ppb) con repetibilidad de 4 a 10%, según lo recomendado en el método APHA 424-F (APHA, 2000).

### NITRÓGENO TOTAL.

Método de la Norma Oficial NMX-AA-026-SCFI-2001.

### CLOROFILA "a".

La determinación se efectuó por espectrofotometría el método APHA 1002-G (APHA, 2000). El espectrofotómetro empleado de la marca BAUSCH & LOMB, modelo Spectronic-1001.

## **CUANTIFICACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA.**

La determinación taxonómica se realizó a nivel específico, con la ayuda de claves y microscopios óptico e invertido, contando también con la asesoría de expertos en la materia. El recuento de organismos se llevó a cabo usando el método "conteo por gota" Lackey (10200-F.2c, APHA, 2000), modificado por el Instituto Mexicano del Petróleo al usar un portaobjetos excavado, la revisión se llevó a cabo gota por gota, se cuantificó el número de gotas contra el número de géneros acumulados, hasta que no aparecieran nuevos taxa por muestra, el

volumen de las alicuotas fue de 0.5 ml. Como unidad de conteo se uso el número total de individuos, reportándolos como organismos por litro (Schwoerbel, 1975).

Como guías de primer acercamiento en la determinación se usaron: Needham y Needham, (1978); Lara *et al* (1996); Ortega, (1984); Smith, (1977) y Taylor, (1976).

Las claves taxonómicas específicas usadas fueron: Cupp, (1945); Moreno, (1995; 1996); Prescott, (1962) y Smith, (1950).

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.**

Se obtuvieron datos de riqueza (**S**), abundancia (**N**) y diversidad (**H'**) con el uso del índice de Shannon-Wiener; equitatividad (Brower y Zar, 1977). Se aplicó la prueba de asociación Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1979), o análisis bidimensional a las especies de acuerdo a las zonas. Este análisis se realizó para definir especies dominantes en cada zona y reconocer la dispersión de dichas especies. Se realizó una relación de dominancia y equitatividad.

Sokal y Rohlf (1979), mencionan que algunas veces es conveniente establecer la significancia de la asociación entre dos variables sin utilizar cálculos, únicamente mediante la observación de un diagrama de puntos. La prueba de asociación de Olmstead-Tukey es útil a este respecto y permite realizar una prueba de significación para los puntos representados, independientemente de si se conoce el valor numérico exacto. Mediante este análisis se puede determinar la existencia de correlación entre las abundancias de los organismos en función de la frecuencia presentada por los mismos. Esta determinación es cualitativa ya que no proporciona la magnitud de la asociación.

### **Análisis de cúmulos.**

Un método comúnmente empleado para detectar la asociación entre un par de especies (A y B), consiste en tomar una serie de muestras y contar el número donde ocurre la especie A pero no B, las unidades donde ocurre B pero no A, el número donde aparecen ambas y el número donde no se encuentra ninguna de las dos. Para una comunidad con un determinado número de especies es

necesario realizar los cálculos para todas las parejas posibles de especies, colocando los resultados en una matriz simétrica y cuadrada, o en forma de dendrograma, donde se expresan las asociaciones entre las especies en relación con una escala gráfica.

Por otra parte, la descripción de una comunidad lleva necesariamente a la comparación con otra o con ella misma en distintos tiempos, mediante la evaluación de las semejanzas o diferencias de sus partes homólogas. Como consecuencia de estas comparaciones se tiene la elaboración de una clasificación, ya sea en el ámbito de asociación o de biocenosis.

Cuando se dispone de censos, la composición de una comunidad puede expresarse mediante una lista de especies. Más aún, la composición de una muestra inventariada se puede comparar con muestras adyacentes a la misma comunidad, lo que revela, con base en las especies existentes, la similitud entre las áreas muestreadas y por ende, la heterogeneidad ambiental en la cual se asienta la comunidad.

La medición de la similitud entre dos muestras o comunidades ha sido elaborada desde dos puntos de vista por medio de una gran cantidad de índices; un punto de vista cualitativo en donde sólo se considera el número de especies, su ausencia o presencia en cada una de las partes a comparar y un punto de vista cuantitativo, donde no sólo se considera el primer aspecto, sino que se complementa al tomar en cuenta la abundancia o número de individuos de cada una de las especies de los dos conjuntos que se comparan (Franco-López *et al*, 1985).

Para definir los principales grupos de fitoplancton en la zona de estudio, se aplicaron dos índices, uno cuantitativo (índice de Bray-Curtis) y otro cualitativo (índice de Jaccard), mediante el programa ANACOM ( De la Cruz, 1994), con ligamiento de tipo flexible.

Se estimaron los coeficientes de correlación de Pearson  $\alpha=0.05$  (Daniel, 1985) entre las densidades de las especies, los parámetros hidrológicos y las variables biológicas para cada época de muestreo (lluvias y estiaje) con el Software Estadística 5.1 StatSoft, 1998 (con autorización para su uso en el IMP).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados de los parámetros físicos y químicos registrados en campo y los trabajados en laboratorio (temperatura, pH, salinidad, oxígeno y sólidos), así como los resultados obtenidos de nutrientes (ortofosfatos, nitratos y clorofila "a"). Los valores nominales se presentan en las tablas ubicadas en el Anexo I.

### PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.

#### TEMPERATURA

En la figura 4, puede observarse la distribución espacial de este parámetro durante las dos temporadas, para secas se obtuvo un promedio de 29°C, con valores de los 26.9 a los 31.8 ( $\pm 1.28^\circ\text{C}$  d. s.). En temporada de lluvias el promedio fue de 28.3°C, con un mínimo de 22.5 y un máximo de 30.3 ( $\pm 1.60^\circ\text{C}$  d. s.).

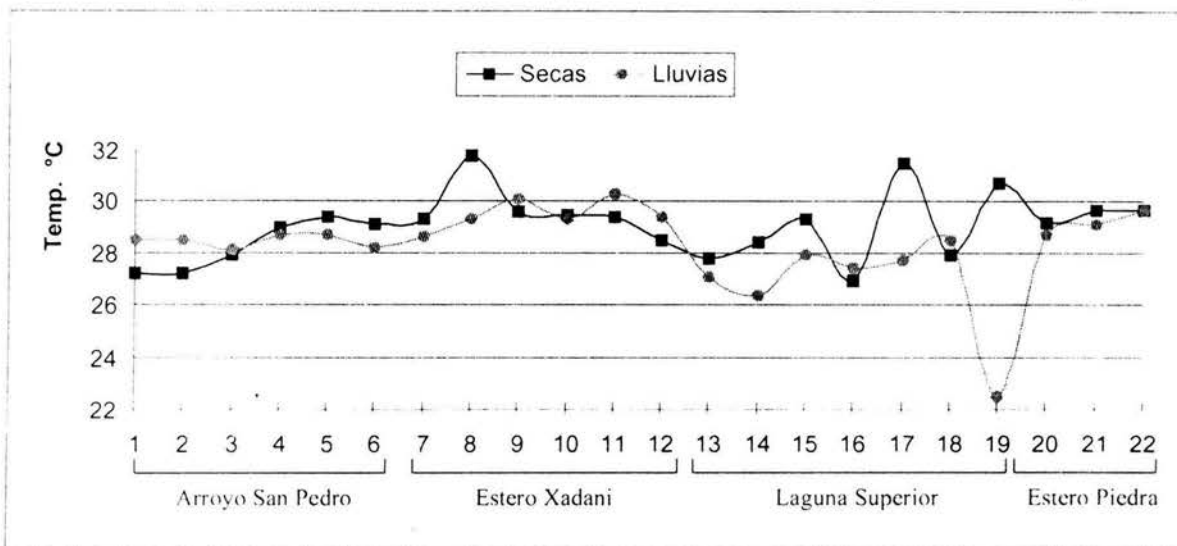


Fig. 4. Temperaturas registradas en temporadas de secas y lluvias en los cuatro sistemas asociados.

En temporada de secas se observan temperaturas semejantes en el Arroyo San Pedro y Estero Xadani, con un valor máximo de 31.8 en la estación número 8. En la Laguna Superior y Estero Piedra se presentaron valores más heterogéneos, de los cuales los más altos se observan en las estaciones 17 y 19.



En temporada de lluvias las temperaturas en el Arroyo San Pedro son muy homogéneas, aumentando hacia el Estero Xadani y disminuyendo en la Laguna Superior debido a su interacción con las masas de agua marina, observándose en la estación 19 la temperatura más baja con 22.5°C.

En forma general las temperaturas son más altas en el periodo de secas comparado con el periodo de lluvias, un comportamiento descrito por Yáñez-Arancibia (1978), para las zonas costeras.

Vázquez *et al.* (1998), mencionan como valor promedio 28.3 °C para temporada de secas y 26.3 °C para lluvias, con valor mínimo de 16.9 y máximo de 31.7, por lo que los datos obtenidos se encontraron dentro del intervalo presentado por los autores.

Según la norma NOM-001-ECOL-1996 (Diario Oficial de la Federación 1996), el valor máximo permisible corresponde a los 40°C como promedio diario y mensual, para aguas costeras. Ortiz-Gallarza *et al.* (1991), reportan valores promedio para la Laguna Superior de 25.5 a 30.85°C, con valores a la extrema de 23.5 y 31°C.

Respecto a la comparación por temporadas, los valores en el Arroyo San Pedro, Estero Xadani y Estero Piedra se observaron similares, mientras que las temperaturas en Laguna Superior presentan variaciones más marcadas debido posiblemente a la introducción y mezcla de las masas de agua continentales, esto se observa en la estación 19, ubicada en la boca del Estero Piedra y en la cual, en temporada de lluvias se reduce la temperatura.

## **pH**

El pH presenta un promedio de 7.73 con valores que van de 7.03 a 8.31 para la temporada de secas ( $\pm 0.48$  d. s.). En temporada de lluvias se presentó un promedio de 7.91 con un mínimo de 7.26 y un máximo de 8.29 ( $\pm 0.27$  d. s.),

En temporada de secas los esteros presentan los valores más altos de pH, en general se observan valores mayores de 8 (Fig. 5), debido tal vez a la acumulación de materiales terrígenos y orgánicos que se presenta en esos sistemas, mientras que en Arroyo San Pedro y Laguna Superior los valores son



menores, se presentan alrededor de pH 7. En el punto 15 se observa la menor lectura con 6.6 de pH, y que corresponde al punto más alejado de la influencia de los esteros, ubicado al suroeste de la Laguna Superior.

En temporada de lluvias las lecturas presentan un comportamiento de aumento gradual, desde el arroyo hasta desembocar en la laguna, observándose claramente una diferencia entre el Arroyo San Pedro (valores de 7) y la Laguna Superior (valores de pH mayores a 8).

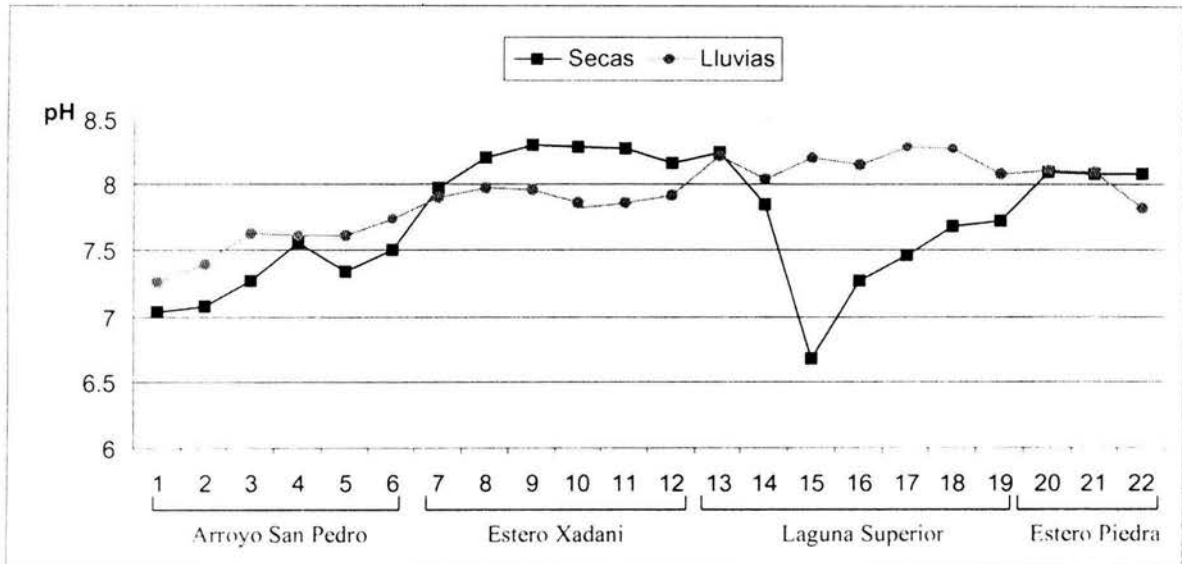
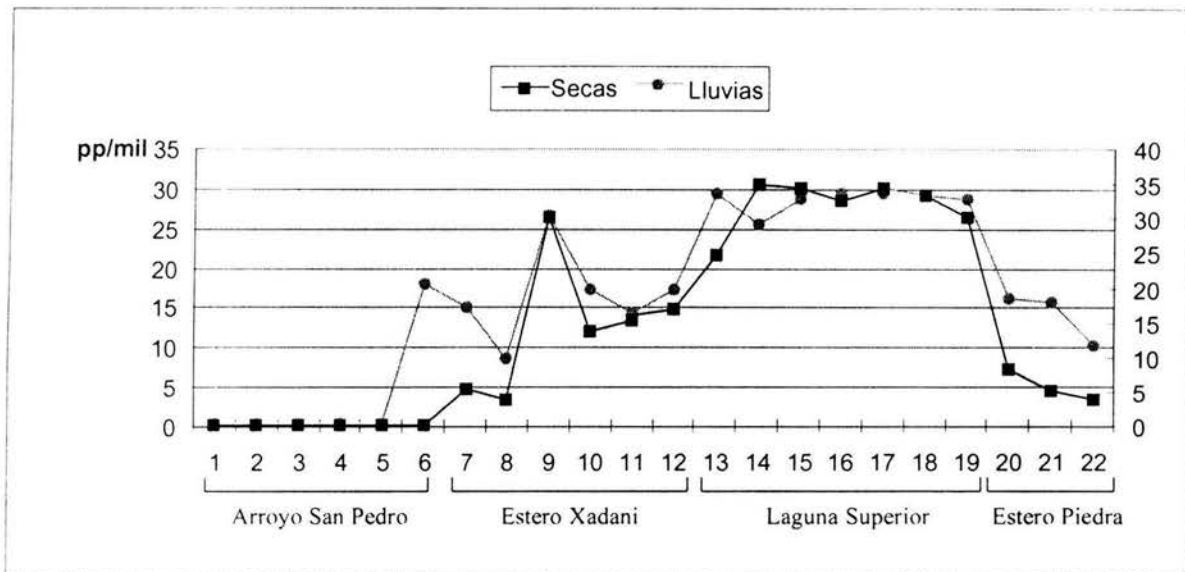


Fig. 5 Comparación de pH en temporada de secas y lluvias.

Según Croning (1973), bajo los criterios ambientales para zonas estuarinas y costeras se reportan valores de pH de 6 a 9. Y para U.S. EPA (1985), el pH presenta valores de 6.5 a 9 para agua dulce; se observa que los resultados registrados están dentro de los intervalos. Vázquez *et al.* (1998), reportan el intervalo de 6.9 a 8.4 de pH para el Golfo de Tehuantepec y según los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua (SEDUE, 1989), el intervalo de pH se debe encontrar entre 5 y 9.

Ortiz-Gallarza *et al.*, (1991) reportan datos para la Laguna Superior de 7.4 a 8.82, con promedios de entre 7.65 y 8.0. Por lo que el sistema presenta valores de pH dentro de los intervalos propuestos.

## SALINIDAD



La salinidad que presenta la zona tiene como promedio 15 ppm para la época de secas y sus valores se encuentran dentro de un intervalo de 0.3 y 35.1 ( $\pm 14.0$  d. s.). Para lluvias el promedio presente fue de 16.50 ppm, con un mínimo de 0.4 y un máximo de 29.5 ( $\pm 11.0$  d. s.).

Fig. 6 Salinidad registrada en los cuatro sistemas en temporada de secas y lluvias.

La salinidad del agua presenta un comportamiento similar en ambas temporadas, se observa el aumento gradual característico de un cuerpo de agua dulce que desemboca hacia un cuerpo de agua salada, encontrando los valores más altos en Laguna Superior en temporada de secas, debido a su interacción con el mar y a la evaporación y concentración de las sales.

En temporada de secas se presenta el valor máximo de 35.1 ppm en la estación 14 de la laguna. La estación 9 presenta valor alto ya que es un sitio de estancamiento de la corriente a la orilla del Estero Xadani.

Para el golfo de Tehuantepec Vázquez *et al.* (1998), reportan valores de salinidad mínima de 32.4 y máxima de 34.9. Por su parte Yáñez-Arancibia (1978), menciona que en cuerpos de agua de las zonas costeras, la salinidad baja en el periodo de lluvias y se incrementa en época de secas como resultado de la evaporación y la reducida descarga de aguas epicontinentales, como se observa en la gráfica en la Laguna Superior. Ortiz-Gallarza *et al.* (1991), registraron

fluctuaciones de salinidad drásticas entre los periodos de lluvias y de estiaje en Laguna Superior, con ámbitos de 39.35 a 54.89 ppm.

## OXIGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto presentó un promedio de 6.60 mg/L para temporada de secas, valor que se encuentra entre 4.54 y 9.88, ( $\pm 1.42$  mg/L d. s.). Para lluvias el promedio fue de 7.08 mg/L con un mínimo de 4.7 y un máximo de 10.22, ( $\pm 1.45$  d. s.).

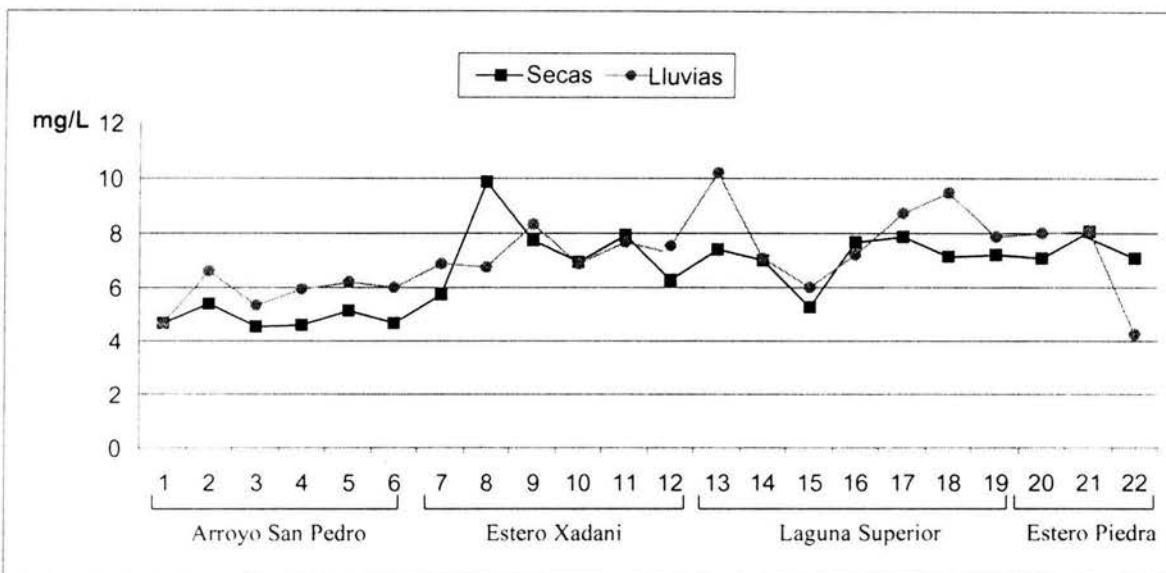


Fig. 7 Oxígeno disuelto en épocas de lluvias y secas.

En la Fig. 7 se observan valores homogéneos en el Arroyo San Pedro en temporada de secas, estos aumentan hacia el Estero Xadani, Laguna Superior y Estero Piedra, debido al contacto de una mayor superficie de agua con los vientos.

El valor más alto se presenta en la estación 8, la cual tiene la característica de ser un sitio somero con 50 cm de profundidad, (Anexo I.7).

En temporada de lluvias la concentración de oxígeno se incrementa ligeramente en todos los sistemas y las zonas de mayor oxigenación se encuentran cerca de las descargas de agua continental como los sitios 13 y 18, esto se puede explicar por el encuentro que los cuerpos de agua tienen al llevar un mayor caudal las descargas epicontinentales, teniendo como consecuencia un choque o mayor interacción, provocando así un aumento en la oxigenación.

Ortiz-Gallarza *et al.* (1991), presentaron un intervalo general de concentración de oxígeno disuelto para la Laguna Superior de 2.84 a 9.80 mg/L

Según el Diario Oficial de la Federación (1989), para las áreas costeras el mínimo valor aceptable es de 5.0 mg/L y los valores registrados están por encima de éste.

## SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Los valores de sólidos suspendidos oscilaron entre los 16 y los 396 mg/L en secas y de 33 a 347 mg/L en lluvias, los promedios fueron de 127.7 ( $\pm 125.2$  d. s.) y 105.1 ( $\pm 71.3$  d. s.) respectivamente.

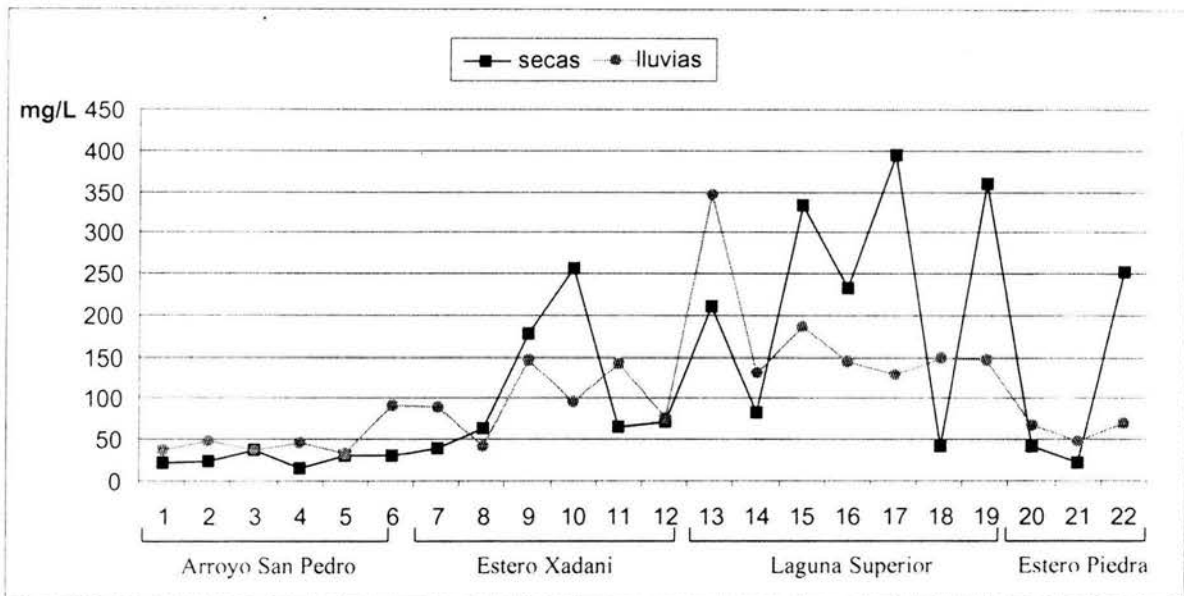


Fig. 8 Sólidos suspendidos en ambas temporadas.

En la Figura 8, se observan en el Arroyo San Pedro valores homogéneos en temporada de secas, aumentando hacia el Estero Xadani, Laguna Superior y Estero Piedra, con algunas fluctuaciones, observándose una concentración más alta de sólidos suspendidos en los sistemas salinos, siendo la Laguna Superior en donde se registran los valores más elevados, debido a las concentraciones altas salinidad y como consecuencia de un aumento en la evaporación, por lo que los sólidos suspendidos elevan sus valores.

En temporada de lluvias los valores de sólidos suspendidos en el Arroyo San Pedro aumentan y en los demás sistemas disminuyen con respecto a secas,

sólo en la estación 13 se presenta un aumento considerable en temporada de lluvias, esto debido a que el Arroyo lleva consigo un arrastre de materiales orgánicos e inorgánicos pero al llegar al sistema lagunar los materiales se dispersan en una mayor cantidad de agua, por lo que en esta temporada los valores de sólido suspendidos en los esteros y la Laguna disminuyen.

Así los valores más altos de sólidos suspendidos en la Laguna y esteros se presentan en secas y los valores altos de sólidos suspendidos en el Arroyo se presentan en lluvias.

El promedio diario según la (NOM-001-ECOL-1996), para estuarios es de 125 mg/L, por lo que los resultados obtenidos son aceptables.

### SÓLIDOS DISUELTOS

El promedio de sólidos disueltos para temporada de secas fue de 17,095 mg/L, los valores fluctúan entre 210 y 46,314 ( $\pm 17,377$  d. s.). En temporada de lluvias el promedio fue de 170,16 mg/L con un intervalo de 28 y 33,258 ( $\pm 13,760$  d. s.).

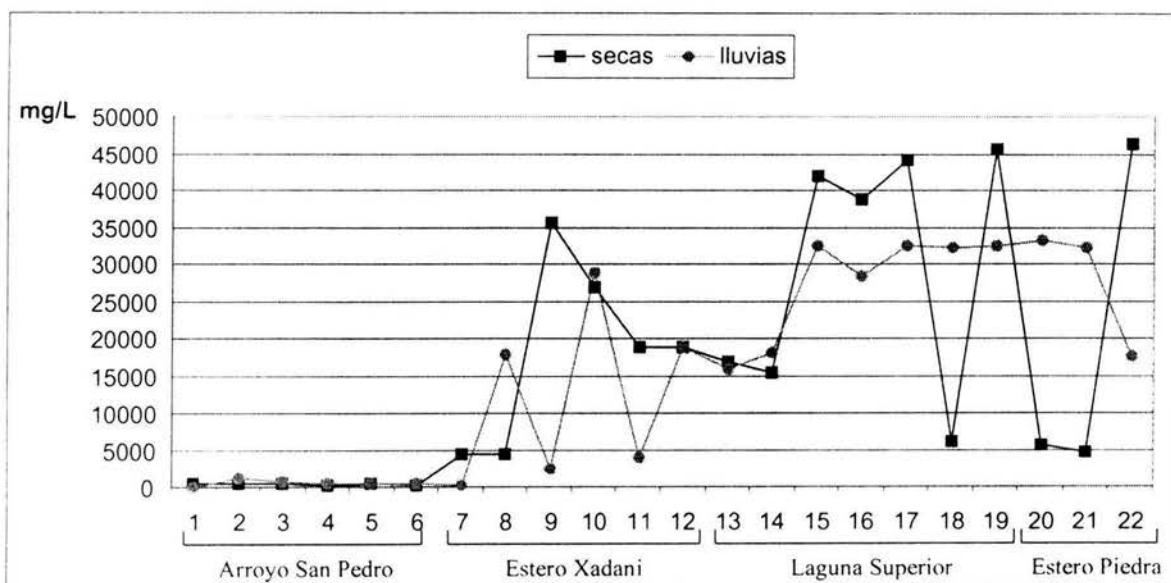


Fig. 9 Sólidos disueltos en ambas temporadas.

Los resultados presentan un comportamiento similar a los de sólidos suspendidos, en el Arroyo San Pedro se observa la menor concentración, la cual aumenta gradualmente hacia la Laguna Superior. Los valores más elevados se

presentaron en temporada de secas por el fenómeno de concentración provocado por la evaporación y la menor cantidad de agua descargada por los sistemas epicontinentales, así en temporada de lluvias se observó que las concentraciones de sólidos disueltos se ven reducidas por el aumento en la cantidad de agua.

## SÓLIDOS TOTALES

En los sólidos totales el promedio para secas fue de 17 236.8 mg/L con un mínimo de 226 y un máximo de 46,567, ( $\pm 17,483$  d. s.). Para lluvias un promedio de 17,086 mg/L, con un mínimo de 56 y un máximo de 33,408, ( $\pm 13,813$  d. s.).

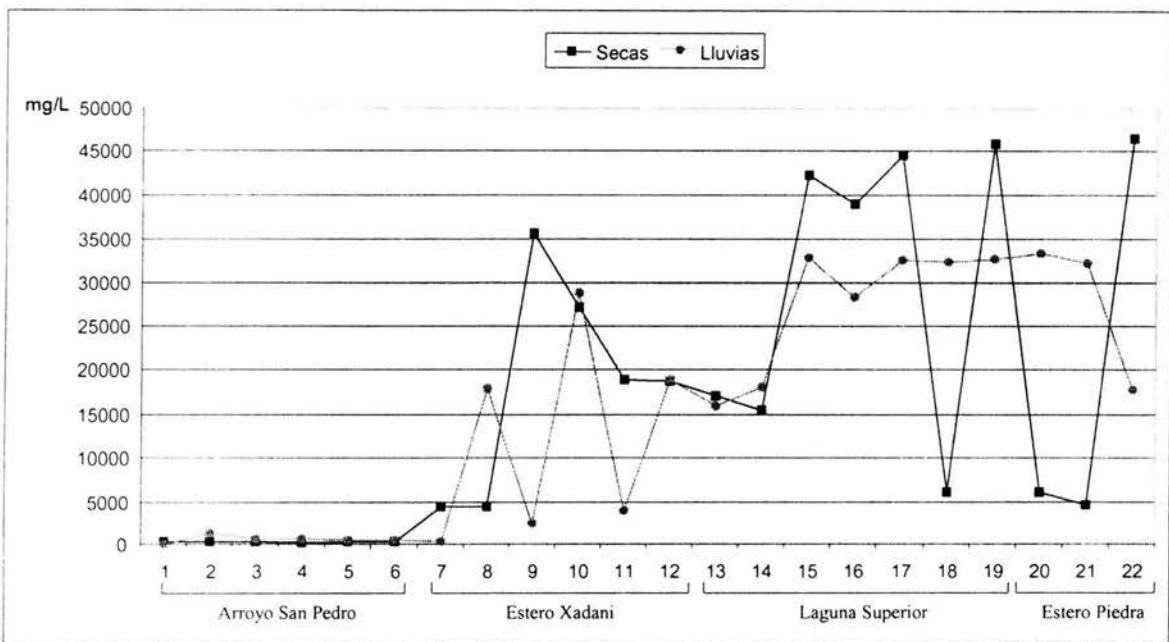


Fig. 10 Sólidos totales en temporada de secas y lluvias.

En la figura 10 se observa el comportamiento de la suma de los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos, observándose las máximas concentraciones en temporada de secas. Se observa también que las lluvias afectan directamente con el aumento de agua en los sistemas, disolviendo y dispersando los sólidos, bajando así los valores de concentración. Según los Criterios Ecológicos (SEDUE, 1989), para áreas costeras no se definen niveles máximos para sólidos disueltos y totales.

## NUTRIENTES

### ORTOFOSFATOS

El promedio para secas fue de 22.2 ppb, con un intervalo de 6 a 35 ppb ( $\pm 8.6$  d. s.), para lluvias el promedio fue de 23.5 ppb, con intervalo de 3.42 a 244.3 ppb ( $\pm 49.9$ d. s.).

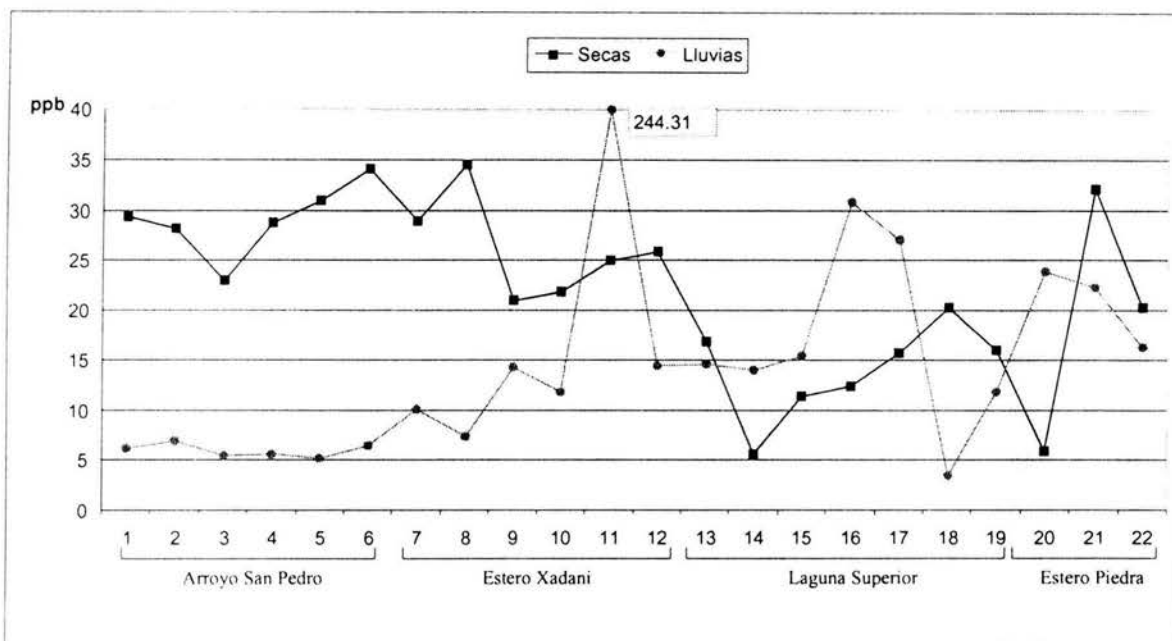


Fig. 11 Presencia de ortofosfatos en ambas temporadas.

En la Fig. 11 se observan en temporada de secas las lecturas más altas de Ortofosfatos en el Arroyo San Pedro y Estero Xadani, disminuyendo en la Laguna Superior y aumentando una vez más en el Estero Piedra.

En temporada de lluvias el comportamiento se invierte, los valores bajos se presentan en el cuerpo de agua dulce, ascendiendo al avanzar hacia el Estero Xadani, Laguna Superior y Estero Piedra.

Dentro de los Criterios Ecológicos (SEDUE, 1989), para agua dulce se estipula un valor promedio de 25.0 ppb, mientras que para agua marina un valor de 2.0 ppb. Por lo cual los resultados se muestran representativos, en cuanto a la alta concentración de este nutriente, ya que en el 100% de los sitios muestreados se superaron los valores para agua marina, y para agua dulce más del 50% de las estaciones presentaron valores altos, siendo más representativo en el Arroyo San Pedro y Estero Xadani en temporada de secas.



## NITRÓGENO TOTAL

Presenta un promedio de 15.0 mg/L en secas, dentro del intervalo de 11.5 a 20.3, ( $\pm 3$  d. s.). En lluvias el promedio fue de 5.25 mg/L en un intervalo de 2.96 a 5.92, ( $\pm 1.18$  d. s.).

La figura 12 muestra un comportamiento heterogéneo del nitrógeno en temporada de secas, mientras en temporada de lluvias se presentó homogéneo y menor en todos los sistemas, siendo en el Arroyo San Pedro ligeramente menor.

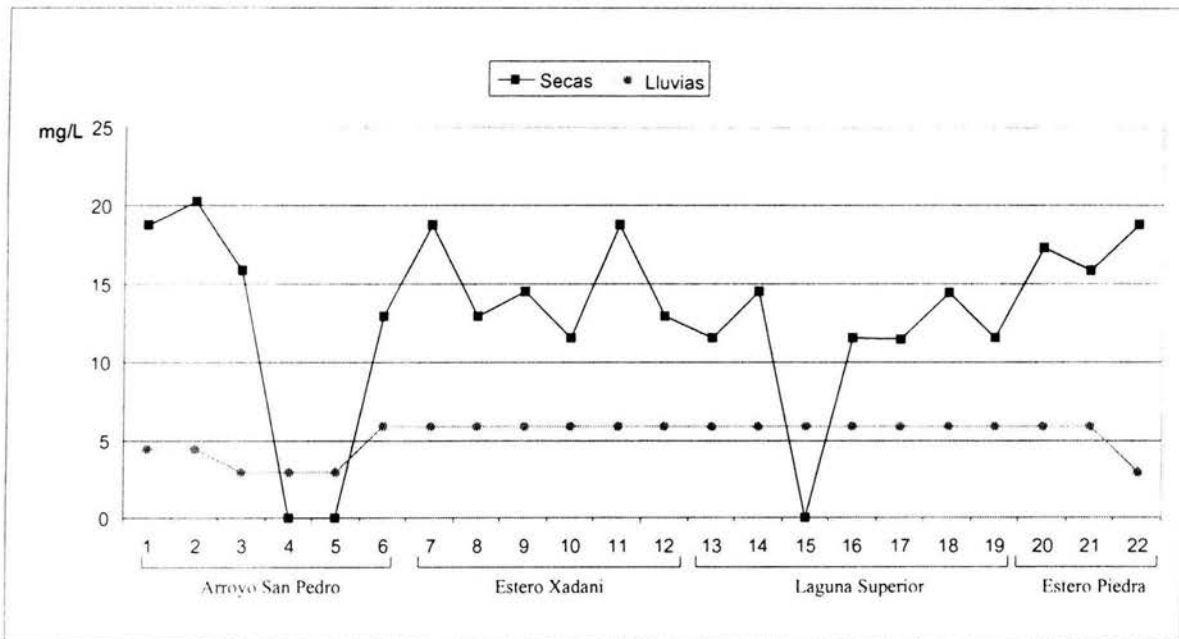


Fig. 12 Presencia de nitratos en ambas temporadas.

Debido posiblemente al aumento en la cantidad de agua por las lluvias. Los Criterios Ecológicos (SEDUE, 1989), establecen un valor máximo de 90 mg/L para el nitrógeno total y Los Lineamientos del Centro Recreativo-Acuacultura (2000), presentan un valor de 20 mg/L, por lo que el 100% de los resultados se encontraron dentro de los intervalos mencionados.



## CLOROFILA "a"

Los promedios obtenidos fueron de  $6.0 \text{ mg/m}^3$  en temporada de secas y  $21.4 \text{ mg/m}^3$  durante lluvias. El intervalo de valores en secas es de 0.8 y 13.8, ( $\pm 3.7 \text{ d. s.}$ ), para lluvias de 1.29 y 57.33, ( $\pm 3.7 \text{ d. s.}$ ).

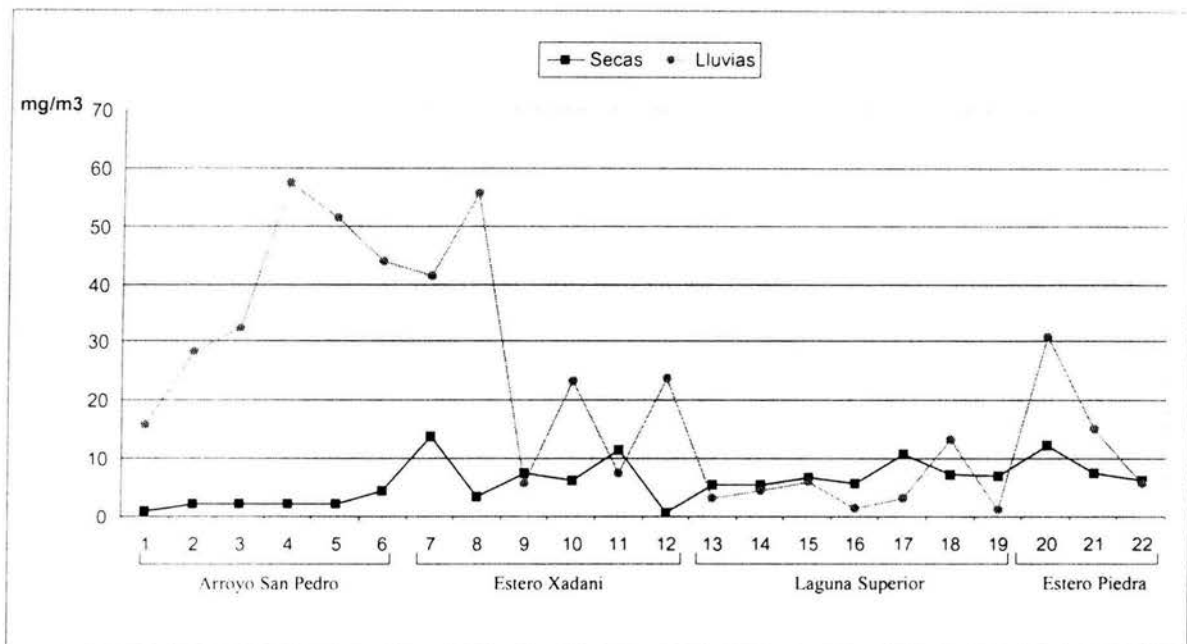


Fig. 13 Clorofila "a" calculada para los cuatro sistemas asociados en ambas temporadas.

En temporada de secas (Fig. 13), la concentración de clorofila "a" en el Arroyo San Pedro es homogénea, aumentando al acercarse al Estero Xadani, en el cual se presentan los valores más altos de esta temporada, en la Laguna Superior y Estero Piedra los valores se presentan ligeramente homogéneos. En temporada de lluvias se presenta la concentración más alta en el Arroyo San Pedro, reduciéndose hacia el Estero Xadani y observándose los valores más bajos en la Laguna Superior. El Estero Piedra presenta un comportamiento similar al Estero Xadani.

Lara-Lara *et al.* (1998) reportaron para la región del Golfo de Tehuantepec un intervalo de 0.04 a  $11.1 \text{ mg/m}^3$ . Se observa, en comparación a estos resultados que la producción primaria es mayor, en temporada de lluvias, sobre todo en el Arroyo San Pedro y Estero Xadani, la razón posible es el aumento de la comunidad fitoplanctónica en esta temporada.

## COMUNIDAD BIOLÓGICA.

Se presentan los resultados obtenidos del recuento de la comunidad fitoplanctónica, así como de su determinación taxonómica a nivel específico y sus análisis de riqueza, densidad, diversidad y dominancia. En el Anexo II se presentan imágenes de los géneros y especies determinadas.

### LISTADO DE ESPECIES IDENTIFICADAS

CYANOPHYTA	
1.	<i>Anabaena macrospora</i> [Klebahn] √ (1)
2.	<i>Anabaena wisconsinense</i> [Prescott] √ (1)
3.	<i>Aphanocapsa grevillei</i> [Hass]
4.	<i>Aphanocapsa pulcra</i> [Kuetz]
5.	<i>Holopedium irregulare</i> [Lagerheim]
6.	<i>Lyngbya aestuarii</i> [Liebmann]
7.	<i>Lyngbya major</i> [Meneghini]
8.	<i>Lyngbya hieronymussi</i> [Lemmermann]
9.	<i>Lyngbya aerugineo-caerulea</i> [Kuetz]
10.	<i>Lyngbya epiphytica</i> [Hieronymus]
11.	<i>Lyngbya lagerheimii</i> [Moebius]
12.	<i>Merismopedia glauca</i> [Ehrenberg]
13.	<i>Merismopedia tenuisima</i> [Lemmerman]
14.	<i>Merismopedia convoluta</i> [Brébisson]
15.	<i>Microcoleus chthonoplastes</i> [Hofma-Bang]
16.	<i>Nostoc comune</i> [Vaucher]
17.	<i>Oscillatoria bornetti</i> [Zukal] √ (2)
18.	<i>Oscillatoria tenerrima</i> [S. Bishop] √ (2)
19.	<i>Oscillatoria angustissima</i> [Kufferath] √ (2)
20.	<i>Oscillatoria limnetica</i> [Lemmermann] √ (2)
21.	<i>Protococcus</i> sp. [Lagerh]
HETEROKONTOPHYTA	
22.	<i>Bacteriastrium</i> sp. [Lauder] √ (3)
23.	<i>Biddulphia</i> sp. [Gray] √ (2)
24.	<i>Chaetoceros</i> sp. [Cleve] √ (44)
25.	<i>Coscinodiscus gigas</i> [Ehrenberg] √
26.	<i>Coscinodiscus rothii</i> [Ehrenberg] *
27.	<i>Ditylum brightwellii</i> [West] √
28.	<i>Entomoneis alata</i> [Ehrenberg] ∅ *
29.	<i>Melosira granulata</i> [Ehrenberg] √ °
30.	<i>Rhizosolenia setigera</i> [Brightwell] √

31.	<i>Skeletonema costatum</i> [Greville] √
32.	<i>Terpsinoe musica</i> [Ehrenberg] ∅
33.	<i>Amphora ovalis</i> [Kutzing] ∅
34.	<i>Amphora proteus</i> [Gregory] ∅ *
35.	<i>Cymbella mexicana</i> [Ehrenberg] ∅ *
36.	<i>Cocconeis mexicana</i> [Ehrenberg] ∅
37.	<i>Cocconeis ablonga</i> [Ehrenberg] ∅
38.	<i>Eunotia</i> sp. [Ehrenberg] ∅
39.	<i>Gyrosigma</i> sp. [Hassall] √
40.	<i>Gyrosigma stentor</i> [Gailond] °
41.	<i>Gyrosigma macrum</i> [Gailond] °
42.	<i>Lioloma delicatum</i> [Cupp] √
43.	<i>Licmophora abbreviata</i> [Agardh] *
44.	<i>Navicula amphioxix</i> [Ehrenberg] °
45.	<i>Navicula</i> sp.1 √ [Bory]
46.	<i>Navicula</i> sp.2 √ [Bory]
47.	<i>Nitzschia delicatissima</i> [Cleve] °
48.	<i>Nitzschia longa</i> [Grunow] *
49.	<i>Nitzschia longissima</i> [Brébisson] √
50.	<i>Nitzschia sigma</i> [Kutz] √
51.	<i>Pleurosygma angulatum</i> [Quek] √
52.	<i>Pleurosygma formosum</i> [Wm. Smith] °
53.	<i>Surirella caproni</i> [Brébisson] °
54.	<i>Surirella euglipta</i> [Ehrenberg] °
55.	<i>Synedra ulna</i> [Nitzsh] ∅ *
56.	<i>Thalassionema nitzchioides</i> [Schrader] √
57.	<i>Thalassiothrix nitzchioides</i> [Grunow] °
DINOPHYTA	
58.	<i>Candeina</i> sp.
59.	<i>Ceratium carriense</i> [Gourret] √
60.	<i>Ceratium furca</i> [Ehrenberg] √
61.	<i>Ceratium tripos</i> var. <i>pulchelum</i> [O. F. Müller] √
62.	<i>Ceratocoris</i> sp. [Stein]
63.	<i>Distephanus speculum</i> [Ehrenberg]

64. <i>Dinophysis</i> sp. [Ehrenberg] √
65. <i>Ornithocercus</i> sp. [Stein] √
66. <i>Pullenia</i> sp.
67. <i>Pulvinulina</i> sp.
68. <i>Protoperdinium conicum</i> [Gran]
<b>EUGLENOPHYTA</b>
69. <i>Phacus</i> sp. [Ehrenberg]
<b>CHLOROPHYTA</b>
70. <i>Ankistrodesmus falcatus</i> [Corda]
71. <i>Closterium aciculare</i> [West]

72. <i>Closterium setaceum</i> [Ehrenberg]
73. <i>Closterium</i> sp. [Nitzsh]
74. <i>Micractinium pusillum</i>
75. <i>Mougeotia</i> sp. . [Agardh]
76. <i>Pediastrum simplex</i> [Meyen]
77. <i>Staurastrum longiradiatum</i>
78. <i>Spirogyra crassa</i> [Kutzing]
79. <i>Spirogyra subsalsa</i> [Kutzing]

Tabla 1. Taxa identificados en la Laguna Superior y sistemas de esteros asociados, con simbología comparativa del registro de Cianofitas, Diatomeas y Dinoflagelados para el Golfo de Tehuantepec y el Pacífico Tropical.

( √ ) = Especie o Género reportado para el golfo de Tehuantepec.

Número entre paréntesis ( "1" ) = número de especies reportadas para ese género en el Golfo de Tehuantepec.

( \* ) = Especie reportada para el Pacífico tropical.

( ° ) = Especie NO reportada para el Golfo de Tehuantepec.

( ø ) = Género NO reportado para el Golfo de Tehuantepec.

Se identificaron un total de 79 taxa, ordenados de la siguiente forma: 21 para la división Cyanophyta, 36 en la división Heterokontophyta, 11 para Dinophyta, 1 para Euglenophyta y 10 en la división Chlorophyta. Barreiro y Meave (2003), presentaron un registro actualizado de las especies de dinoflagelados y diatomeas del Pacífico Mexicano, con el cual se realizó una comparación con las especies identificadas en la zona de estudio y se encontró que existen especies y géneros no reportados para el golfo, pero que fueron identificadas en este estudio para la Laguna Superior.

Para los géneros *Bacteriastrum* y *Biddulphia* con dificultades de identificación, se tienen reportados 3 y 2 especies respectivamente en el Golfo de Tehuantepec, estos géneros fueron identificados en ambos esteros. El género *Chaetoceros* identificado en Laguna Superior registra 44 especies para el Golfo de Tehuantepec, según Barreiro y Meave (2003). Para el género *Melosira* se reporta la especie *M. moniliformis* en el Golfo y en los esteros se identificó *M. granulata*.

Del género *Gyrosigma*, para el Golfo de Tehuantepec sólo se registra la especie *G. attenuatum* y en la zona de estudio se identificaron 3 especies. Para el género *Navicula*, se identificó en la zona de estudio la especie *N. amphioxys* y se

reportan para el Golfo las especies *N. elegans*, *N. distans* y *N. directa*, por lo que dicha especie podría habitar también en el golfo. Meave del Castillo y Hernández-Becerril (1998), reportaron para el Golfo de Tehuantepec las tres especies del género *Ceratum*, identificadas en éste estudio.

## RIQUEZA

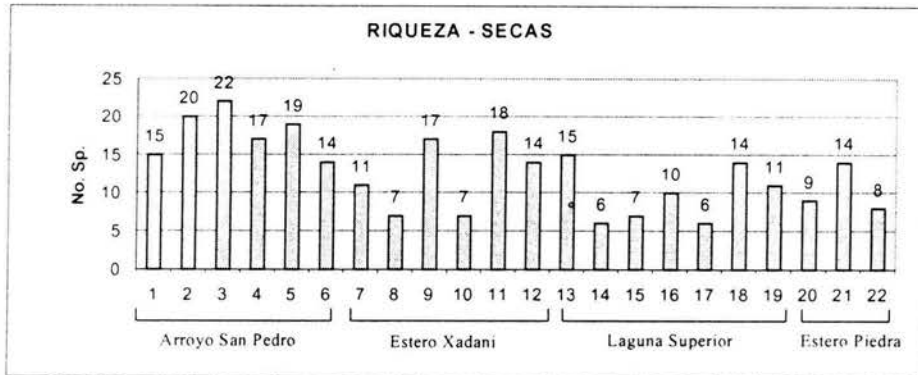


Fig. 14 No. de Especies presentes por estación en temporada de estiaje.

En la figura 14 se presenta el número de especies registradas por zona en temporada de secas, se observa al Arroyo San Pedro como el sitio con mayor riqueza, seguido por el Estero Xadani, siendo los de menor riqueza la Laguna Superior y el Estero Piedra. La estación con mayor número de especies, fue la 3 del Arroyo San Pedro, en la cual se registraron 22. Los sitios de menor riqueza se presentan en la Laguna Superior 14 y 17 con 6 especies. Estos datos coinciden con los resultados de ortofosfatos en un comportamiento directamente proporcional.

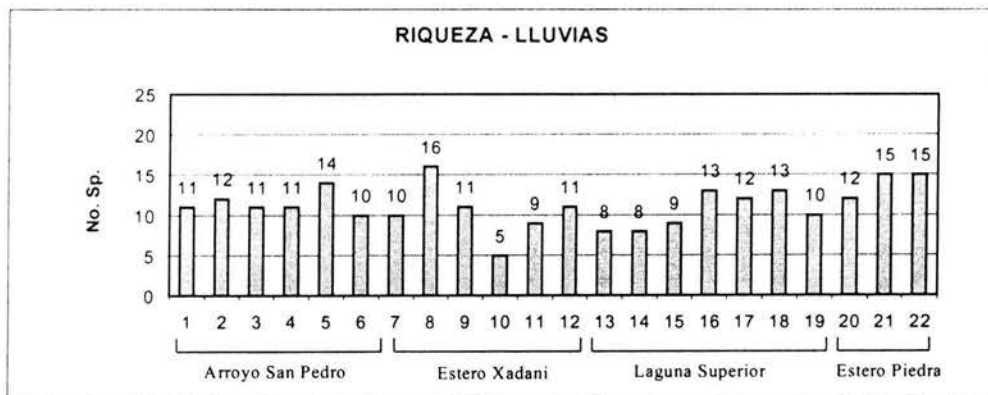


Fig. 15 No. de Especies presentes por estación en temporada de lluvias.

En temporada de lluvias (Fig. 15) las zonas presentan un comportamiento con tendencia a la homogeneidad de número de especies. El Arroyo San Pedro y Estero Xadani disminuyen su riqueza en comparación con la temporada de secas, en tanto que la Laguna Superior y Estero Piedra aumentan. En esta temporada en el punto 8 se observa el mayor número de especies, la menor riqueza en el sitio 10 con 5 especies. El descenso de especies en el Arroyo San Pedro en temporada de lluvias puede deberse al arrastre provocado por el aumento en el caudal, así como a los cambios en las condiciones físicas y químicas del agua; aumento de salinidad, pH, oxígeno y sólidos. Los organismos que no aparecen en lluvias son: *Aphanocapsa pulcra*, *Aphanocapsa grevillei*, *Nostoc comune*, *Oscillatoria bornetti*, *Coscinodiscus gigas*, *Ceratium tripos*, *Phacus sp*, *Spirogyra crassa*, *Ceratocoris sp.* y *Distephanus speculum*, posiblemente debido también a la reducción en la concentración de nutrientes como Ortofosfatos y Nitrógeno, como es el caso de la Cianofita *Oscillatoria bornetti* la cual es fijadora de Nitrógeno.

## DENSIDAD

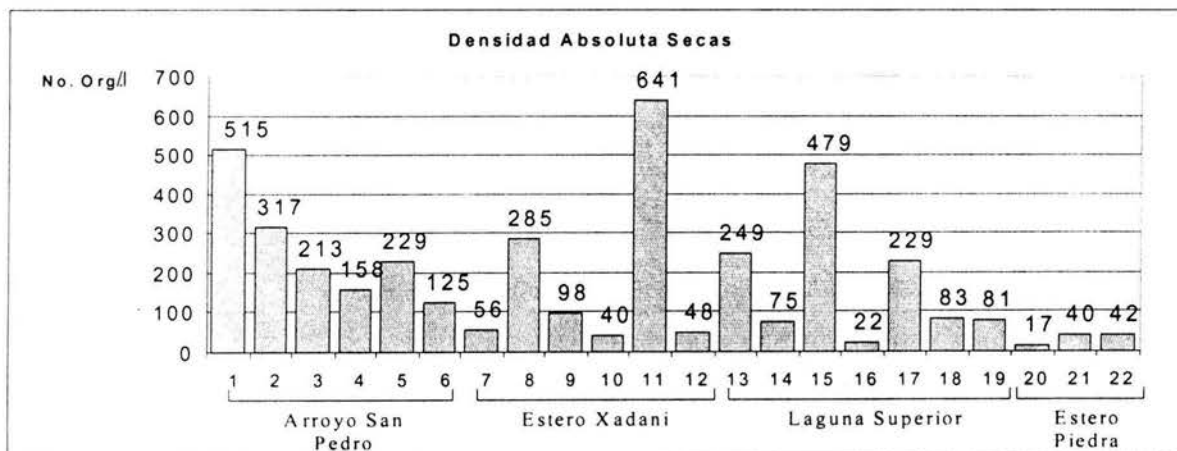


Fig.16 Densidad absoluta para las 22 estaciones en temporada de secas.

En la figura 16 se observa que el Arroyo San Pedro fue el sitio con mayor densidad absoluta en temporada de secas, seguido por Estero Xadani y Laguna Superior. El Estero Piedra presentó la menor densidad. La mayor cantidad de organismos se encontró en la estación 11 ubicada en la boca del Estero Xadani, debido a un posible agrupamiento de los organismos.

La densidad en temporada de lluvias, figura 17, en el Arroyo San Pedro y Estero Xadani se reduce notoriamente, mientras que en Laguna Superior y Estero Piedra se eleva alcanzando los 12,988 organismos por litro en la estación número 18, ubicada en la Laguna Superior.

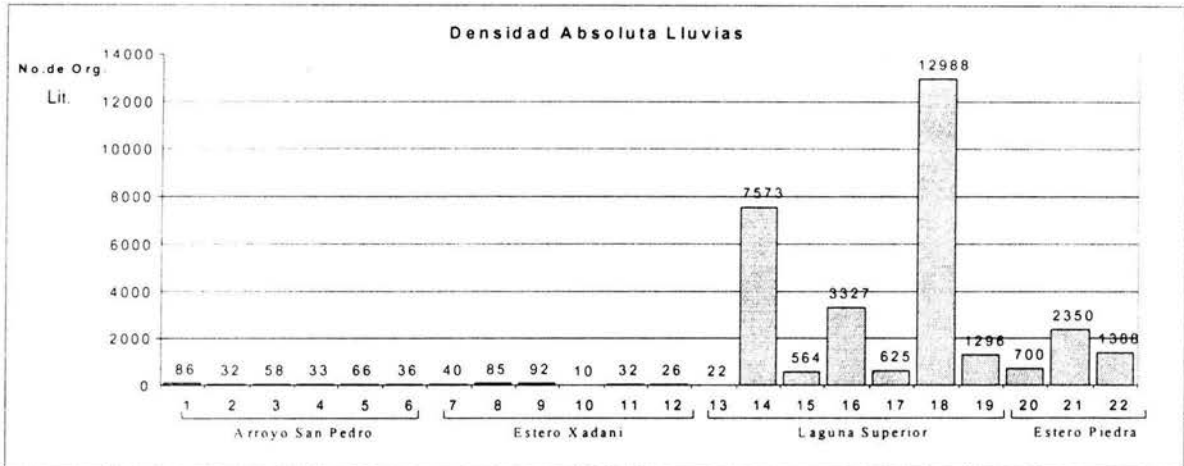


Fig. 17 Densidad absoluta para las 22 estaciones en temporada de lluvias.

Se observa que la densidad en temporada de lluvias se comporta inversamente, comparada con temporada de secas, además de aumentar considerablemente, guardando relación con el aumento de ortofosfatos, sólidos totales y oxígeno.

## DENSIDAD POR GRUPOS

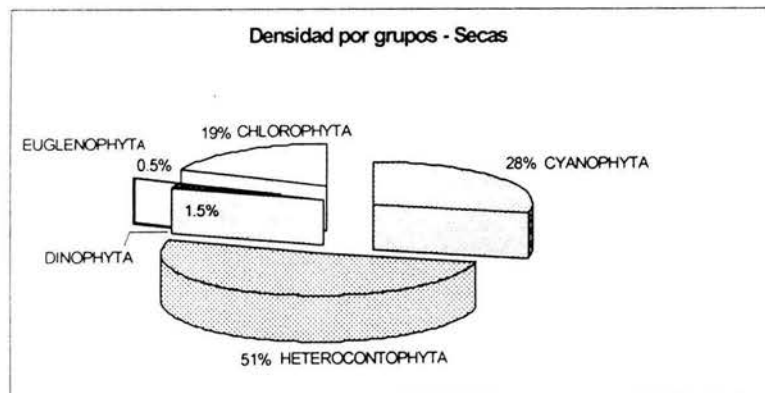


Fig. 18 Densidad dada en porcentaje del número de organismos, dividida en grupos para temporada de secas.

La densidad mostrada por grupos en temporada de secas, se presentó de la siguiente manera: 51% de los organismos pertenecieron a la división



Heterocontophyta, 28% a la Cyanophyta, 19% para Chlorophyta, 1.5% para Dinophyta y 0.5% para Euglenophyta. Se presentó una dominancia de las diatomeas seguidas por las cianofitas.

En temporada de lluvias, figura 19, la división Heterocontophyta presentó un 88 % de densidad, Cyanophyta un 7%, Clorophyta 4%, Dinophyta 1% y la división Euglenophyta 0 %.

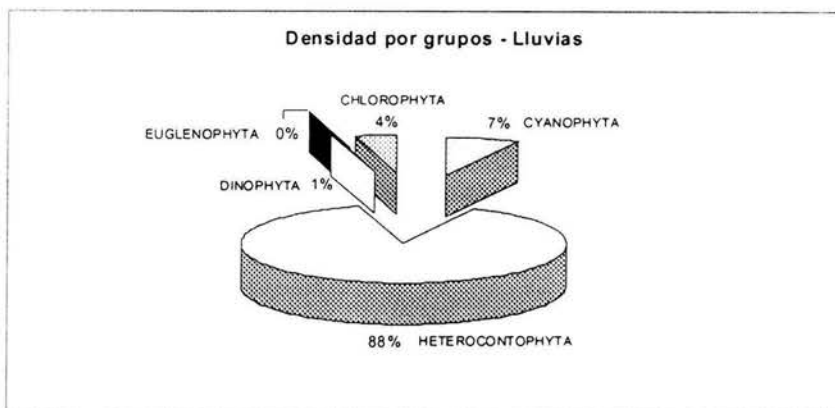


Fig. 19 Densidad dada en porcentaje del número de organismos dividida en grupos, para temporada de lluvias.

En esta temporada se registró un gran incremento en el número de las diatomeas con respecto a la temporada de secas, se observó por el contrario una reducción en las cianofitas del 28 al 7 %, así también disminuyeron las clorofitas y los dinoflagelados, mientras que las euglenofitas no se presentaron.

Este resultado se encuentra ligado con el cambio en la concentración de nutrientes y los parámetros físicos y químicos del agua, en donde el nutriente ortofosfato presentó un aumento, así como los sólidos totales y el oxígeno.

## DIVERSIDAD

La diversidad fitoplanctónica en la figura 20 se presentó homogénea en el Arroyo San Pedro, Estero Xadani y Estero Piedra, exceptuando el punto 8, en el cual se observó una diversidad mucho más baja debido a la dominancia que la especie *Oscillatoria bornetti* tuvo. La Laguna Superior presentó menor diversidad que los esteros y el Arroyo San Pedro, los sitios de bajo valor fueron 14, 15 y 17, los cuales coincidieron con los más bajos también en cuanto a riqueza, (Fig. 14).



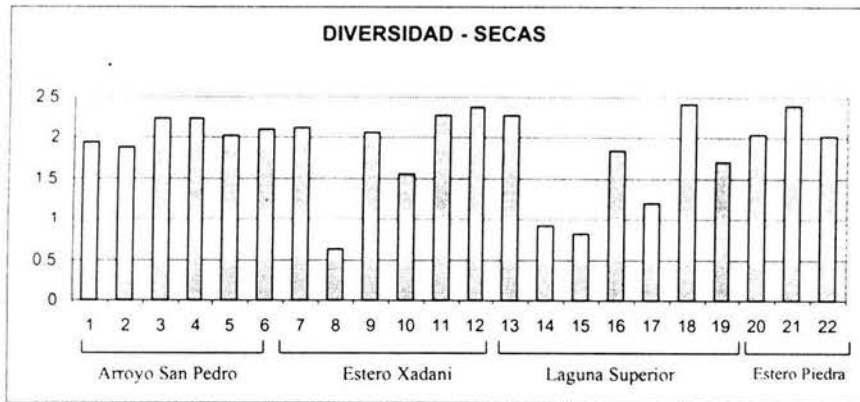


Fig. 20 Valores de diversidad para la temporada de secas.

En temporada de lluvias (Fig. 21), la diversidad en general muestra variaciones en el Arroyo San Pedro, en el Estero Xadani se presentó homogénea y en la Laguna Superior se observó un aumento gradual y un descenso posterior hacia el Estero Piedra

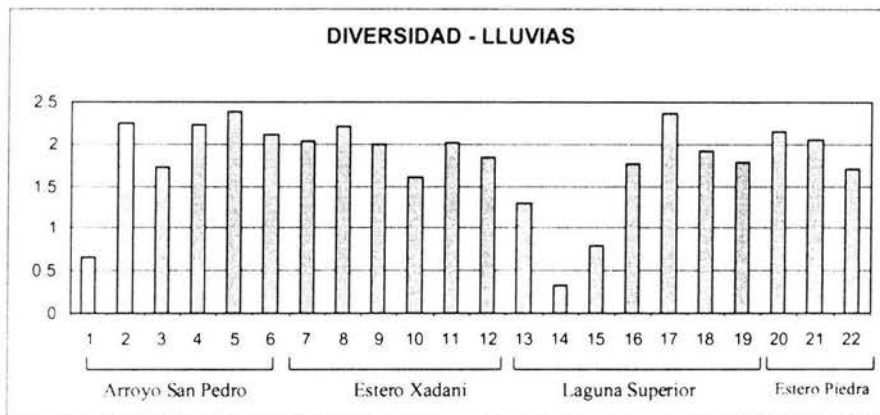


Fig. 21 Valores de diversidad para la temporada de lluvias.

El Estero Xadani en época de lluvias permanece semejante con respecto a la temporada de secas, con excepción de la estación 8, la cual incrementó su valor de diversidad. La estación número 8 tiene la característica de ser una zona somera con 50 cm. de profundidad, de aguas tranquilas ligeramente apartada de la influencia directa de la corriente, presenta salinidad baja y pH alto con respecto a los demás puntos del Estero Xadani, estos pueden ser elementos importantes que influyen en la variación de diversidad, especialmente en ese sitio.

En Laguna Superior y Estero Piedra se presentó un comportamiento similar en temporada de lluvias y secas a excepción del sitio 17, el cual presenta un aumento representativo, y el número 14 mostró un descenso.

### DOMINANCIA

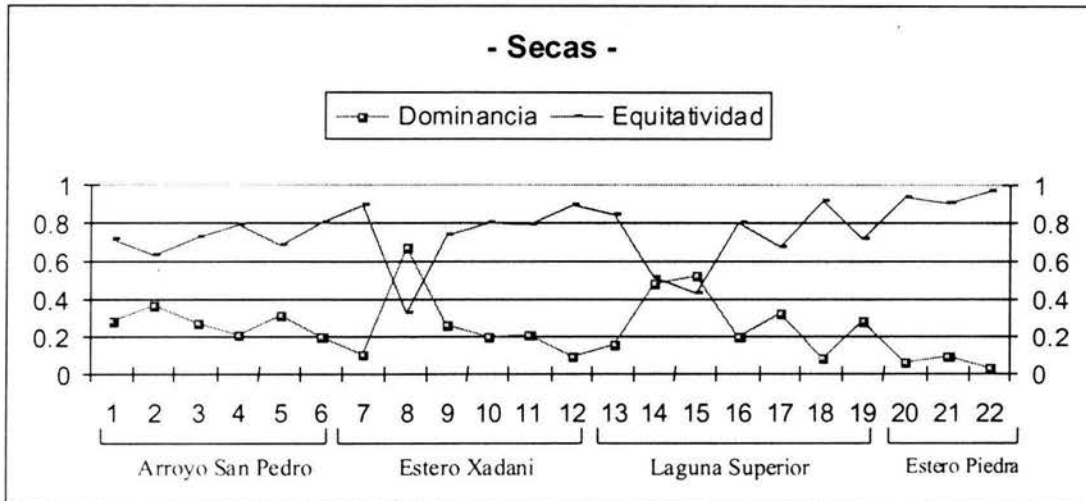


Fig. 22 Dominancia y equitatividad en temporada de secas.

En la figura 22 se observa la distribución de la dominancia con relación a la equitatividad, en la cual, las estaciones 8 y 15 presentan una dominancia de las especies *Oscillatoria bornetti*, *Skeletonema costatum* y *Micractinium pusillum*. En la estación 8 se observa la dominancia más elevada, en la cual la especie *Oscillatoria bornetti* presentó una densidad de 240 organismos por litro. En la estación número 15 se presentan *Skeletonema costatum* con 117 org./L y *Micractinium pusillum* con 335 org./L.

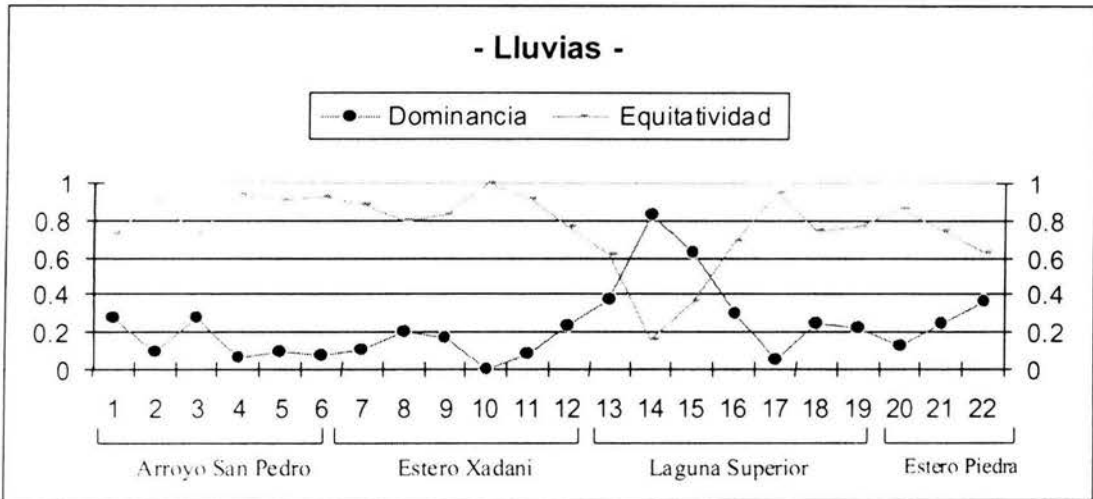


Fig. 23 Dominancia y equitatividad en temporada de lluvias.

La figura 23 muestra la distribución de la dominancia y equitatividad en temporada de lluvias, las estaciones con dominancia de especie fueron 14 y 15 ubicadas en la Laguna Superior.

En la estación 14, dominan *Skeletonema costatum* con 7,104 Org/L y *Thalassiothrix nitzchioides* con 115 Org/L., en la 15 *Oscillatoria bornetti* con 454 Org/L.

La estación número 8 que en temporada de secas fue la de mayor dominancia, en lluvias presenta una disminución, por la ausencia de la especie *Oscillatoria bornetti*.

## ANÁLISIS O-T (Olmstead-Tukey).

En las figuras 24 y 25 hechas mediante el análisis de Olmstead-Tukey, se presentan graficadas la frecuencia y el Ln de las densidades de las especies para cada temporada, se dan en porcentaje distribuidas en cuatro cuadrantes.

En temporada de secas se encontró un 39% de especies dominantes, un 30% fueron especies raras, 20% ocasionales y 11% especies constantes. En temporada de lluvias se presentó un 39% de especies dominantes, 33% de especies raras, 18% constantes y 10% ocasionales.

La tabla 2 contiene el listado de las especies con número y letra referentes a su posición en las gráficas. En temporada de secas se encontraron 66 especies mientras que en lluvias se presentaron 49, se observa el mismo porcentaje de especies dominantes en ambas temporadas, debido a la dominancia de las especies *Skeletonema costatum* y *Terpsinoe musica*.

En temporada de secas las especies dominantes están conformadas en su mayoría por diatomeas, mientras que en las especies raras, especies con baja frecuencia y densidad baja, se encuentran incluidas cianofitas y diatomeas. Las especies constantes, frecuencias altas y bajas densidades, son diatomeas y finalmente las especies ocasionales, densidades altas y frecuencias bajas, se presentaron cianofitas y clorofitas.

En temporada de lluvias las especies dominantes también se componen por diatomeas, así como las constantes, las especies raras por cianofitas y diatomeas y las ocasionales por diatomeas y una clorofita.

Esto le agrega una gran importancia a las diatomeas en la zona de estudio ya que forman parte de la mayor frecuencia de especies dominantes y constantes, siendo menos frecuentes las cianofitas y clorofitas.

La especie con mayor dominancia representada en temporada de secas es *Terpsinoe musica*, la cual en lluvias sigue siendo dominante, seguida por *Oscillatoria bornetti* y *Synedra ulna*. En temporada de lluvias las especies más representativas fueron *Skeletonema costatum*, *Ditylum brightwellii*, las cuales son dominantes también en temporada de secas y *Navicula amphioxix*, ésta última presente en secas como especie rara.

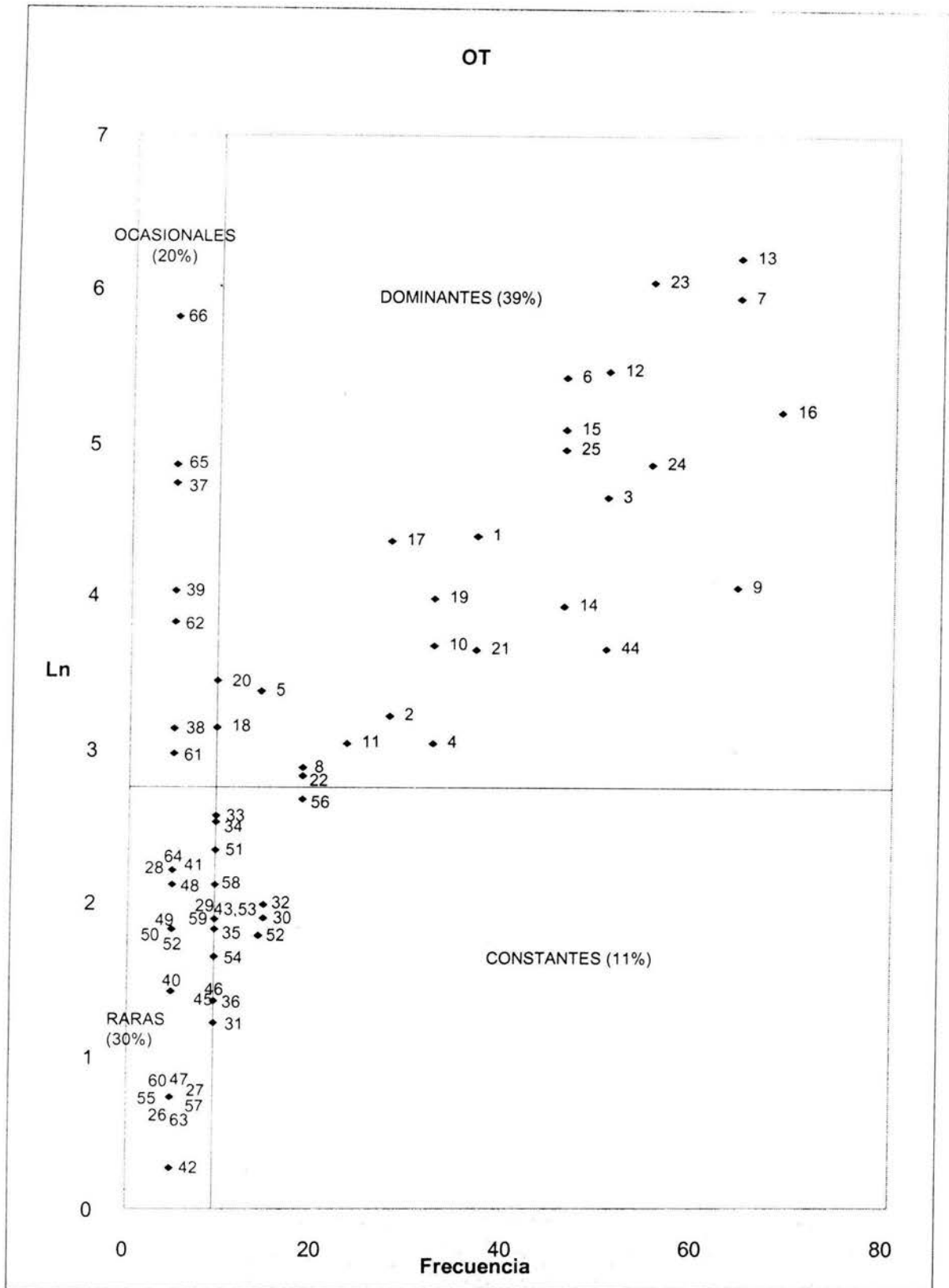


Fig. 24 Frecuencia de especies representadas en 4 cuadrantes (Olmstead-Tukey), en temporada de secas.

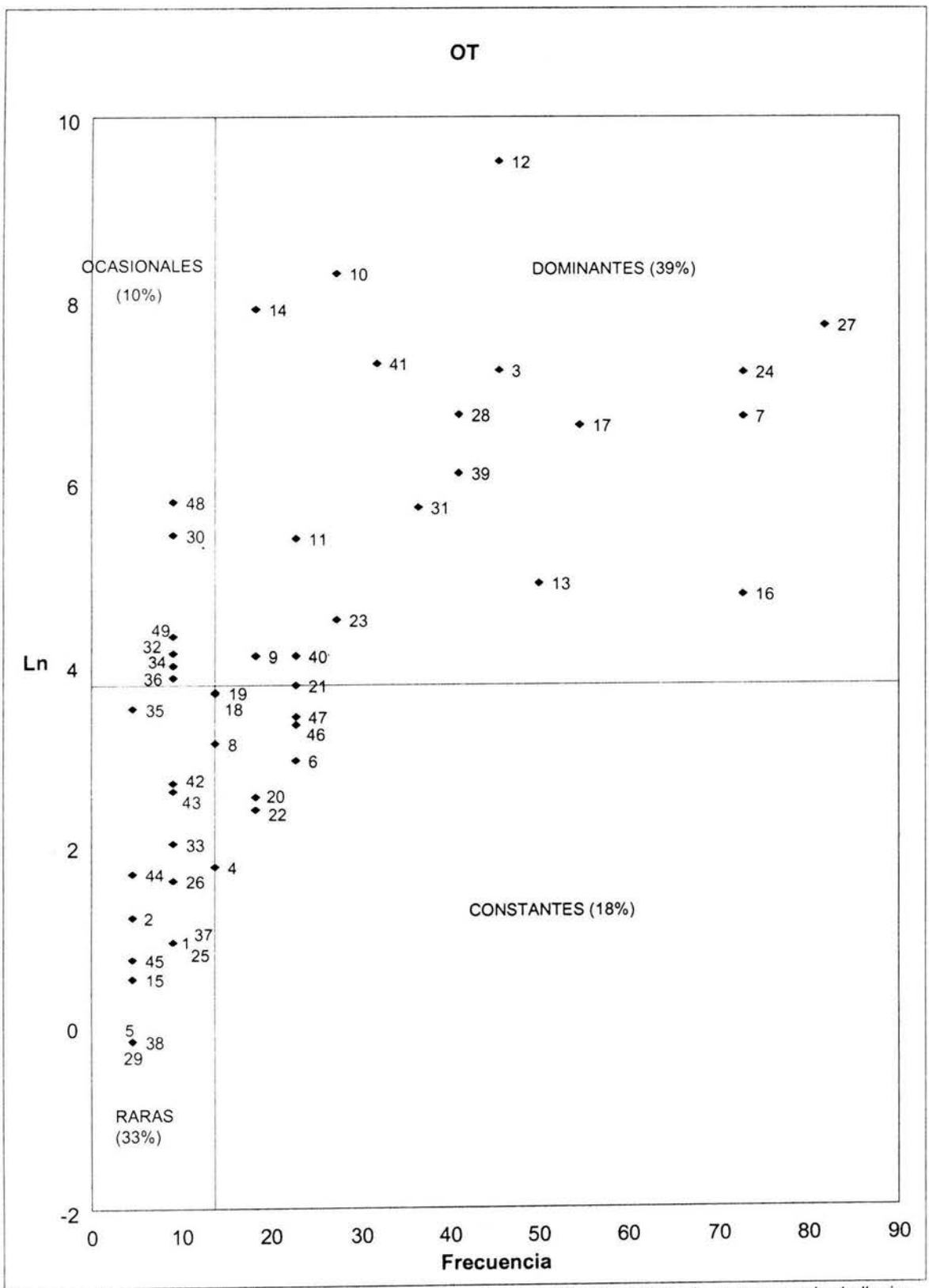


Fig. 25 Frecuencia de especies representadas en 4 cuadrantes (Olmstead-Tukey), en temporada de lluvias.

## LISTADO SECAS.

1. *D Anabaena macrospora*
2. *D Aphanocapsa pulcra*
3. *D Lyngbya hieronymussi*
4. *D Merismopedia glauca*
5. *D Merismopedia convoluta*
6. *D Nostoc comune*
7. *D Oscillatoria bornetti*
8. *D Protococcus sp.*
9. *D Coscinodiscus gigas*
10. *D Ditylum brightwellii*
11. *D Melosira granulata*
12. *D Skeletonema costatum*
13. *D Terpsinoe musica*
14. *D Gyrosigma sp.1*
15. *D Lioloma delicatum*
16. *D Navicula sp.1*
17. *D Navicula sp.2*
18. *D Nitzschia longa*
19. *D Nitzschia sigma*
20. *D Pleurosigma formosum*
21. *D Surirella caproni*
22. *D Surirella euglipta*
23. *D Synedra ulna*
24. *D Closterium aciculare*
25. *D Pediastrum simplex*
26. *R Amphora ovalis*
27. *R Navicula amphioxys*
28. *R Nitzschia longissima*
29. *R Ankistrodesmus falcatus*
30. *C Chaetoceros sp.*
31. *C Entomoneis alata*
32. *C Cymbella mexicana*
33. *C Cocconeis mexicana*
34. *C Thalassionema nitzchioides*
35. *C Protoperdinium conicum*
36. *C Mougeotia sp.*
37. *O Lyngbya lagerheimii*
38. *O Oscillatoria angustissima*
39. *O Gyrosigma macrum*
40. *R Ceratium sp.*
41. *R Discophanus speculum*
42. *R Dinophysis sp.*
43. *R Pullenia*
44. *D Ceratium tripos var. Pulchellum*
45. *R Closterium sp.1*
46. *R Staurastrum longiradiatum*
47. *R Anabaena wisconsinense*
48. *R Aphanocapsa grevillei*
49. *R Holopedium irregulare*
50. *R Lyngbya aestuarii*
51. *R Pleurosigma angulatum*
52. *R Lyngbya major*
53. *C Candelina*
54. *C Pulvinulina*
55. *R Eumalia sp.*
56. *C Phacus*
57. *R Oscillatoria limnetica*
58. *C Spirogyra crassa*
59. *C Spirogyra subsalsa*
60. *R Gyrosigma stentor*
61. *C Microcoleus chthonoplastes*
62. *C Oscillatoria tenuissima*
63. *R Bacteriastrium sp.*
64. *R Nitzschia delicatissima*
65. *C Closterium setaceum*
66. *C Microcystium pusillum*

## LISTADO LLUVIAS.

1. *R Anabaena macrospora*
2. *R Aphanocapsa pulcra*
3. *D Lyngbya hieronymussi*
4. *C Merismopedia glauca*
5. *R Merismopedia convoluta*
6. *C Nostoc comune*
7. *D Oscillatoria bornetti*
8. *C Protococcus sp.*
9. *D Coscinodiscus gigas*
10. *D Ditylum brightwellii*
11. *D Melosira granulata*
12. *D Skeletonema costatum*
13. *D Terpsinoe musica*
14. *D Gyrosigma sp.1*
15. *R Lioloma delicatum*
16. *D Navicula sp.1*
17. *D Navicula sp.2*
18. *C Nitzschia longa*
19. *C Nitzschia sigma*
20. *C Pleurosigma formosum*
21. *D Surirella caproni*
22. *C Surirella euglipta*
23. *D Synedra ulna*
24. *D Closterium aciculare*
25. *R Pediastrum simplex*
26. *R Amphora ovalis*
27. *D Navicula amphioxys*
28. *D Nitzschia longissima*
29. *R Ankistrodesmus falcatus*
30. *O Chaetoceros sp.*
31. *D Entomoneis alata*
32. *O Cymbella mexicana*
33. *R Cocconeis mexicana*
34. *O Thalassionema nitzchioides*
35. *R Protoperdinium conicum*
36. *O Mougeotia sp.*
37. *R Lyngbya lagerheimii*
38. *R Oscillatoria angustissima*
39. *D Gyrosigma macrum*
40. *D Licmophora abbreviata*
41. *D Thalassiothrix nitzchioides*
42. *R Lyngbya aeruginosa-cerulea*
43. *R Lyngbya epiphytica*
44. *R Merismopedia tenuissima*
45. *R Cocconeis ablonga*
46. *C Amphora proteus*
47. *C Ceratium furca*
48. *O Biddulphia sp.*
49. *O Rhizosolenia setigera*

NOTA: Las especies se presentan en ambas épocas hasta el número 39.

Tabla 2. Lista referida a las "frecuencias de especies". D = dominante, C = constante, O = ocasional, R = rara.



## ESPECIES DOMINANTES

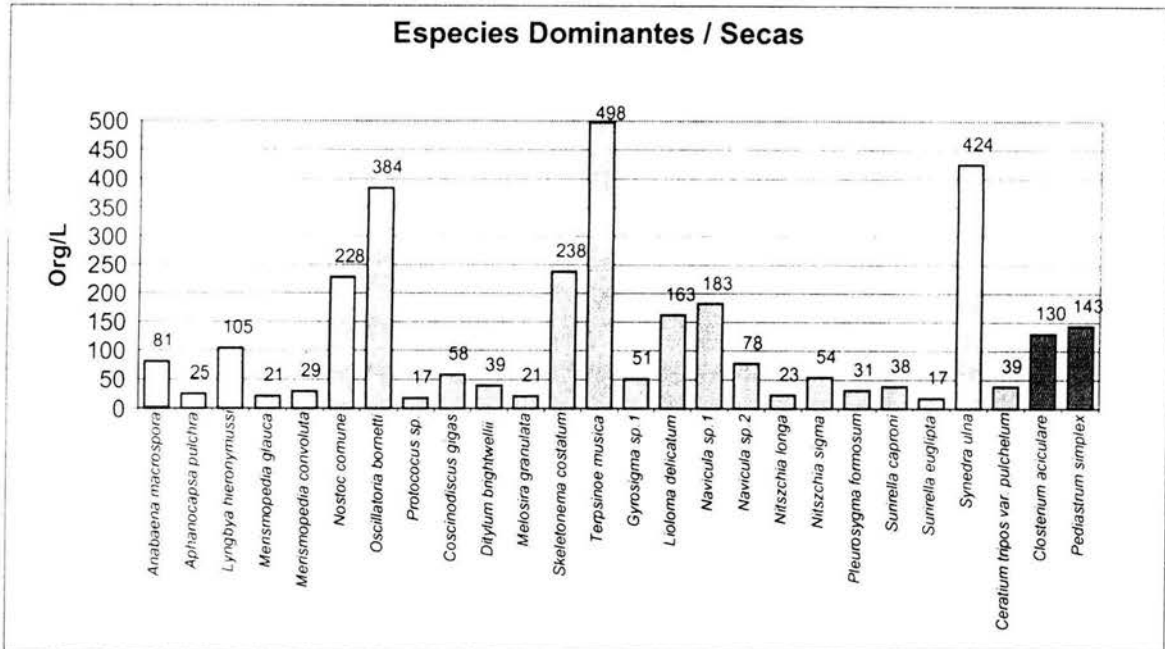


Fig. 26 Grafico de especies dominantes en temporada de secas.

Del total de las especies identificadas en los sistemas, se obtuvo la relación de las especies dominantes en temporada de secas y lluvias (Fig. 26 y 27), reportándose para temporada de secas 26 especies dominantes, de las cuáles 15 fueron diatomeas, 8 cianofitas, 2 clorofitas y 1 dinoflagelada, las más numerosas son las siguientes: Diatomeas: *Terpsinoe musica* 498 org/L, *Synedra ulna* 424 org/L, *Skeletonema costatum* 238 org/L, Cianofitas: *Oscillatoria bornetti* 384 org/L y *Nostoc comune* 228 org/L

En temporada de lluvias (Fig. 27), el número total de especies dominantes fue de 19; 16 pertenecientes a las diatomeas, 2 a cianofitas y una a las clorofitas. Las más representativas pertenecen al grupo de las diatomeas: *Skeletonema costatum* 13,514 org/L, *Ditylum brightwellii* 3,973 org/L, *Gyrosigma sp.* 2,679 org/L y *Navicula amphyoaxis* 2,222 org/L. Se observó también que la cantidad de organismos por litro es considerablemente mayor en temporada de lluvias. Lara-Lara *et al.* 1998, mencionan que las diatomeas constituyen el grupo dominante en cuanto a distribución espacial en el Golfo de Tehuantepec y Meave Del Castillo y Hernández-Becerril 1998, reportan a *Skeletonema costatum* para la misma zona.

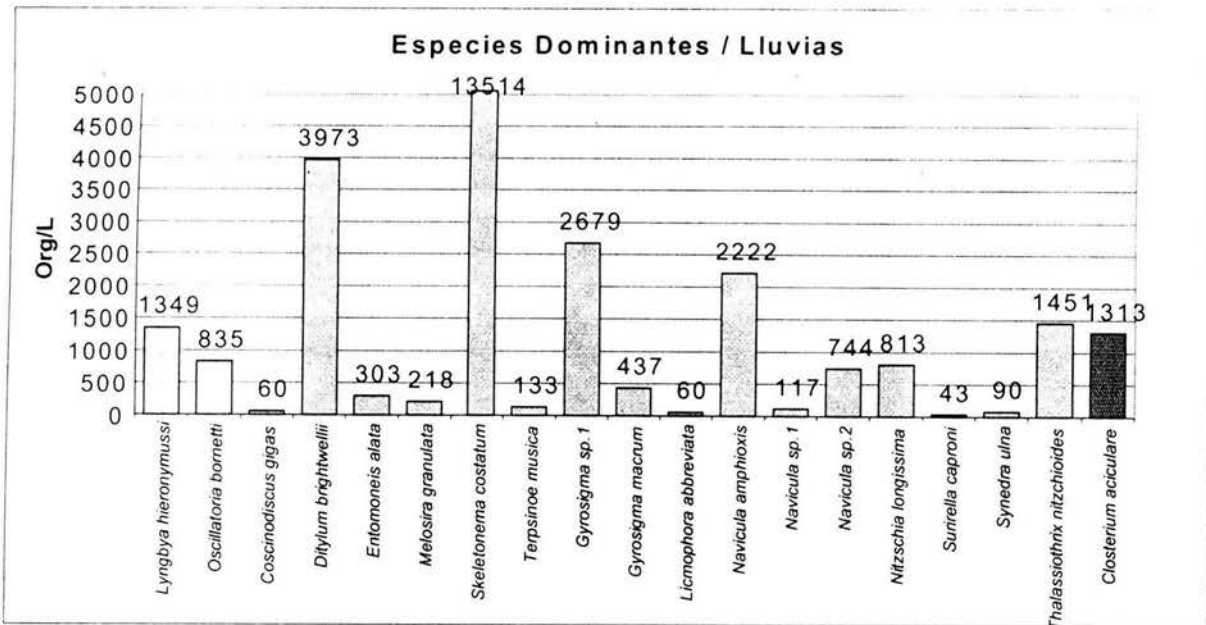


Fig. 27 Grafico de especies dominantes en temporada de lluvias.

En la tabla 3 se presentan las 31 especies dominantes y el tipo de ambiente al que son asociadas. Algunas se han reportado para cuerpos de agua completamente dulce y en sitios de condiciones salobres.

	Ambiente en el Cual se Reportan las Especies Dominantes		
	Agua Dulce	Agua Salobre	Marina
<i>Anabaena macrospora</i>		X	
<i>Aphanocapsa pulcra</i>	X		
<i>Lyngbya hieronymussi</i>		X	
<i>Merismopedia glauca</i>	X		
<i>Merismopedia convoluta</i>	X		
<i>Nostoc comune</i>	X		
<i>Oscillatoria bornetti</i>	X		
<i>Protococcus sp.</i>		X	
<i>Coscinodiscus gigas</i>		X	
<i>Ditylum brightwellii</i>			X
<i>Melosira granulata</i>	X		
<i>Skeletonema costatum</i>		X	X
<i>Terpsinoe musica</i>	X	X	
<i>Gyrosigma sp. 1</i>		X	
<i>Gyrosigma macrum</i>		X	
<i>Licmophora abbreviata</i>		X	
<i>Lioloma delicatum</i>		X	
<i>Navicula amphioxix</i>		X	
<i>Navicula sp. 1</i>	X	X	
<i>Navicula sp. 2</i>	X	X	
<i>Nitzschia longa</i>			X
<i>Nitzschia longissima</i>			X
<i>Nitzschia sigma</i>		X	X
<i>Pleurosygma formosum</i>	X		
<i>Surirella caproni</i>	X		
<i>Surirella euglipta</i>	X		
<i>Synedra ulna</i>	X	X	
<i>Thalassiothrix nitzchioides</i>			X
<i>Ceratium tripos</i>	X		
<i>Closterium aciculare</i>	X	X	
<i>Pediastrum simplex</i>	X		

Tabla 3. Lista de las especies dominantes y tipo de ambiente en el que son encontradas.

## ANÁLISIS DE CÚMULOS.

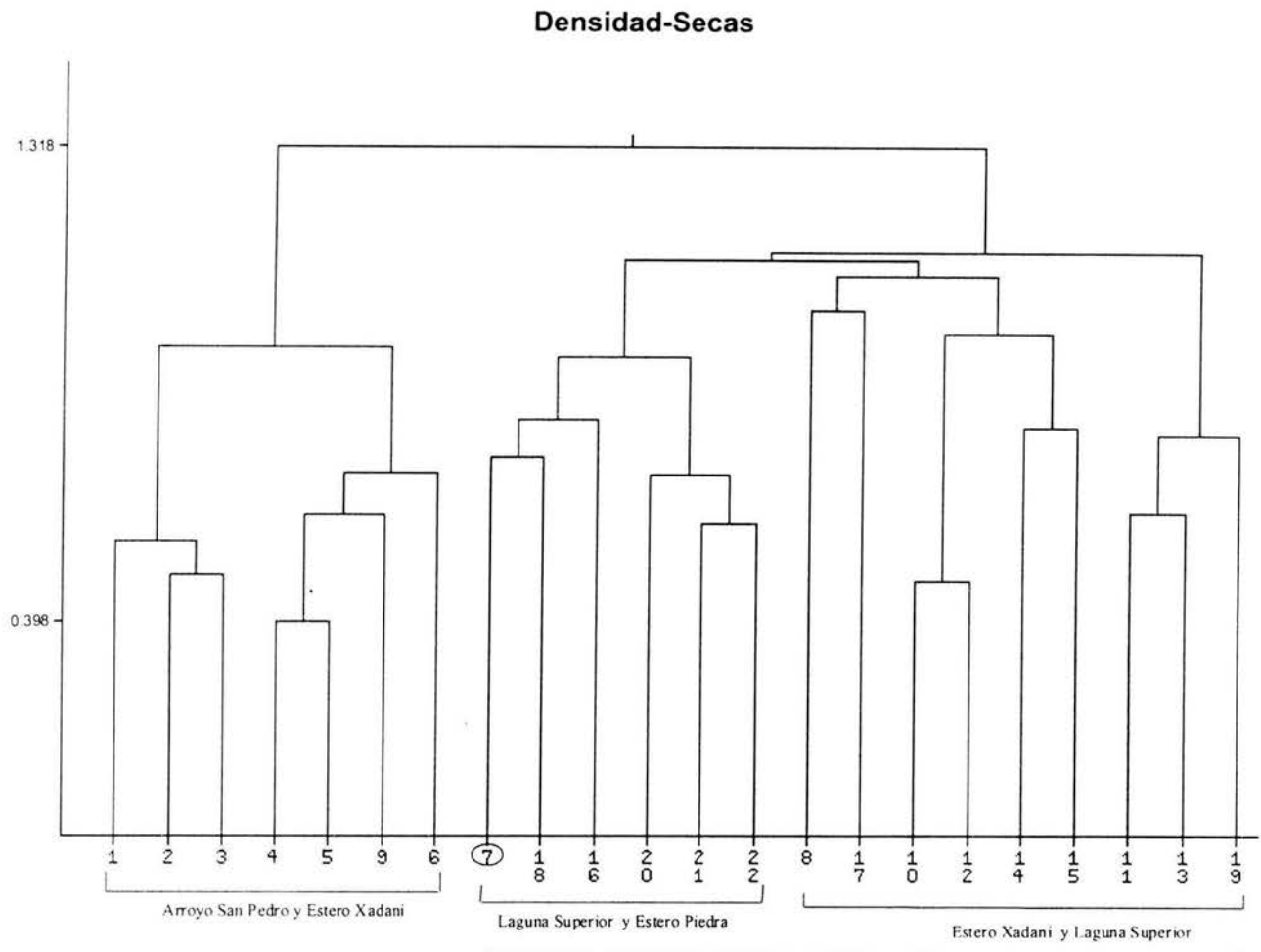


Fig. 28 Dendrograma en el que se observa la asociación de estaciones en grupos, con base a la densidad fitoplanctónica en temporada de secas.

La figura 28, presenta el dendrograma construido a partir de la densidad fitoplanctónica obtenida en temporada de secas. En éste se observa una asociación de las 22 estaciones en dos grupos, uno conformado por el Arroyo San Pedro y Estero Xadani, y otro representado por la Laguna Superior, Estero Piedra y Estero Xadani, así mismo este segundo muestra una bifurcación en dos grupos.

Esto ilustra que se establece una relación directa entre el Arroyo San Pedro y Estero Xadani, observándose en éstos, densidades similares de las especies *Oscillatoria bornetti*, *Terpsinoe musica*, *Synedra ulna*, *Ceratium tripos*, *Closterium aciculare* y *Pediastrum simplex*, las cuales son especies de agua dulce.

Por otro lado entre el Estero Piedra y dos estaciones de la Laguna se presentó *Coscinodiscus gigas* y *Nitzschia sigma*, especies marinas y *Navicula sp.*, especie dulceacuícola. Lo mismo sucede con las estaciones ubicadas en la desembocadura del Estero Xadani y las estaciones de la Laguna Superior próximas a éste, las cuales comparten a las especies *Nostoc comune* y *Navicula sp.*, especies de agua salobre y dulce.

El punto 7 del estero Xadani establece relación con el segundo grupo, al compartir la especie *Navicula sp.*, la cual se encontró en ambos esteros.

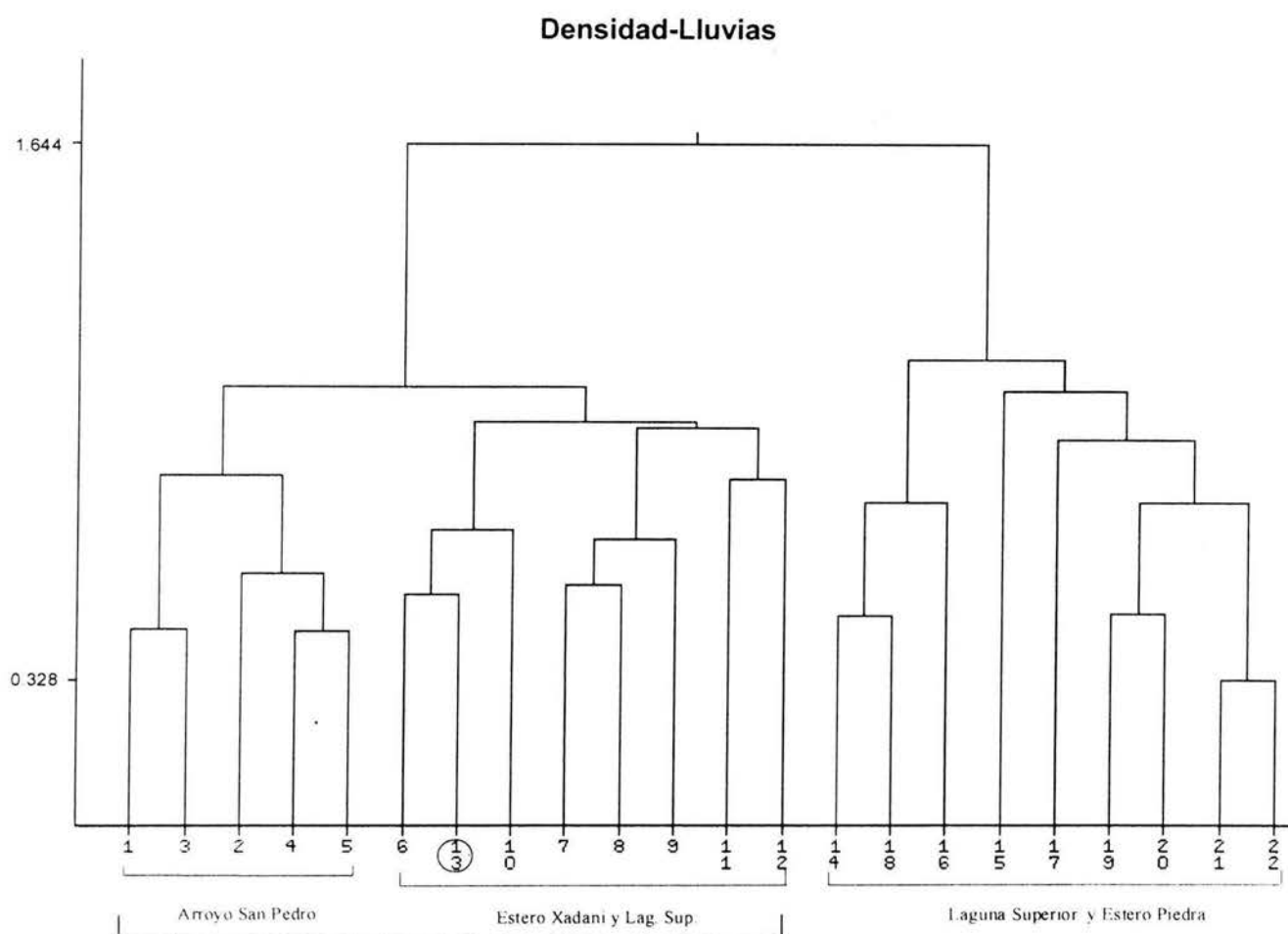


Fig. 29 Dendrograma en el que se observa la asociación de estaciones en grupos, en base a la densidad fitoplanctónica en temporada de lluvias.

En este dendrograma de temporada de lluvias, se puede observar claramente la diferencia entre la agrupación del Arroyo San Pedro y las zonas

salinas, así mismo el Arroyo San Pedro, Estero Xadani y la estación 13 de la Laguna Superior, se unen en un grupo, mientras que el ultimo grupo lo conforma la Laguna Superior y el Estero Piedra.

Así en el Arroyo San Pedro se encontraron densidades de las especies de agua dulce *Terpsinoe musica* y *Navicula sp.* El segundo grupo comparte a las especies *Navicula sp* y *Nitzschia longissima* y al final Laguna Superior y Estero Piedra, se unen compartiendo a *Skeletonema costatum*, *Lyngbya hieronymussi*, *Entomoneis alata*, *Gyrosigma sp.*, *Nitzschia longissima*, *Thalassiothrix nitzchioides* y *Closterium aciculare*, especies de agua dulce y agua salada.

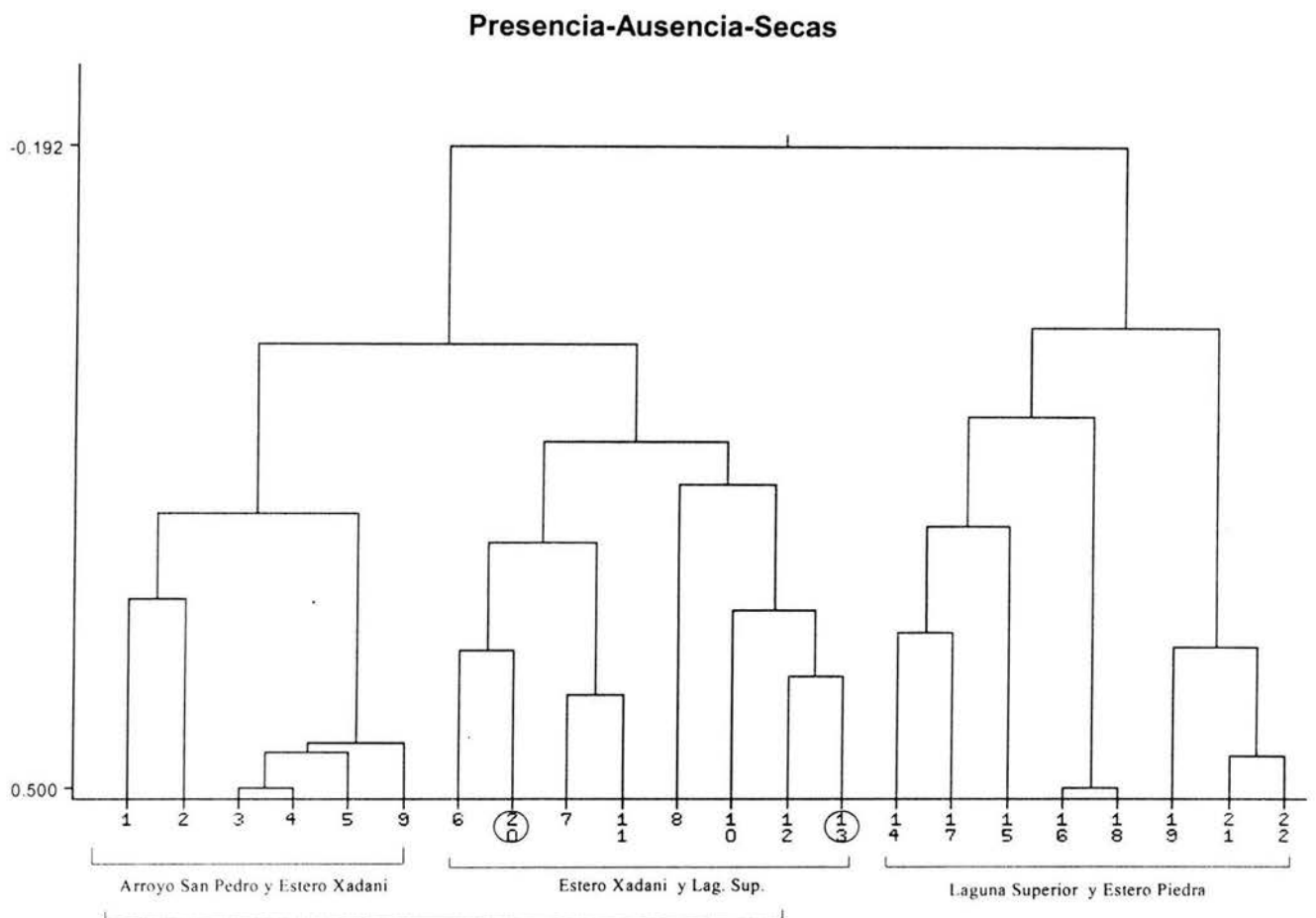


Fig. 30 Dendrograma para la asociación de estaciones con base a la presencia-ausencia de taxas en temporada de secas.

La figura 30, presentó el dendrograma construido a partir de la Presencia-Ausencia obtenida en temporada de secas. Se observó una asociación entre

Arroyo San Pedro y la estación 9 del Estero Xadani, indicando la presencia de *Oscillatoria bornetti*, *Terpsinoe musica*, *Synedra ulna*, *Ceratium tripos* y *Closterium aciculare*. En el segundo grupo se presentaron *Coscinodiscus gigas*, *Nitzschia sigma* y *Navicula. sp.* El otro grupo lo conforman la Laguna Superior y el Estero Piedra, con las especies *Skeletonema costatum*, *Entomoneis alata*, *Gyrosigma sp.* y *Nitzschia longissima*.

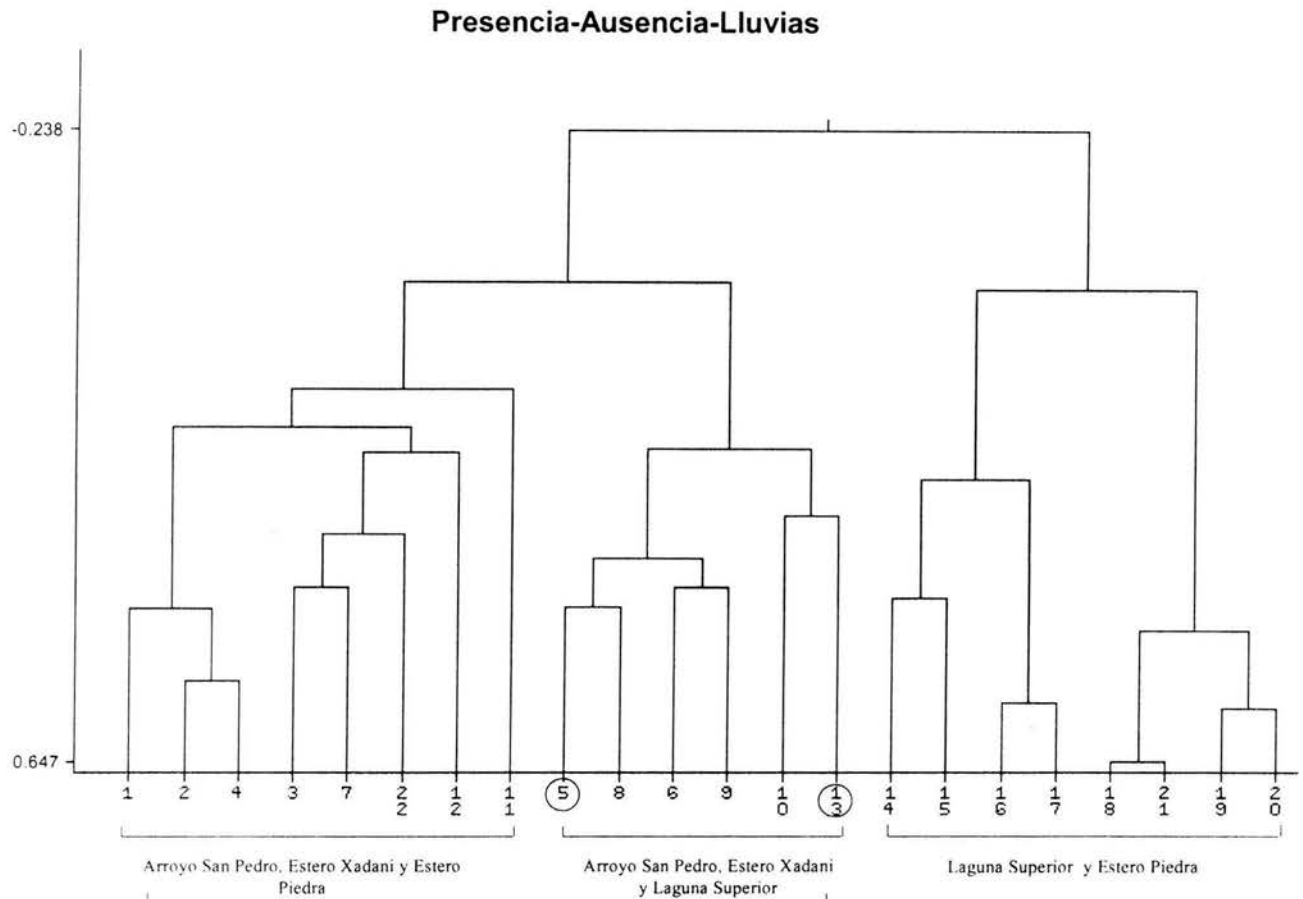


Fig. 31 Dendrograma para la asociación de estaciones en base a la presencia-ausencia de taxas en temporada de lluvias.

En la figura 31, se presenta el dendrograma construido a partir de la Presencia-Ausencia obtenida en temporada de lluvias. Al Arroyo San Pedro y Estero Xadani, se le une el Estero Piedra, pudiéndose corroborar la similitud del comportamiento de los esteros por la presencia de las especies *Skeletonema costatum*, *Terpsinoe musica*, *Lyngbya hieronymussi*, *Entomoneis alata*, *Gyrosigma sp.*, *Nitzschia longissima*, *Thalassiothrix nitzchioides* y *Closterium aciculare*.

Se presenta otro grupo al que se une la zona 13 de la Laguna Superior, en este grupo se encuentran *Coscinodiscus gigas*, *Nitzschia sigma* y *Navicula sp.* Todas las demás zonas de la Laguna Superior junto a la estación 20 del Estero Piedra, unen en otro grupo con las especies *Skeletonema costatum*, *Lyngbya hieronymussi*, *Entomoneis alata*, *Gyrosigma sp.*, *Nitzschia longissima*, *Thalassiothrix nitzchioides* y *Closterium aciculare*, especies de agua dulce y agua salada.



## ANÁLISIS DE CORRELACIONES

Se llevaron a cabo correlaciones entre las especies dominantes y los parámetros hidrológicos así como con las características de la comunidad, separándolas en dos grupos, las de agua dulce y las marinas. A continuación se presentan las tablas de las especies dominantes en cada época.

	<i>Aphanocapsa pulchra</i>	<i>Merismopedia convoluta</i>	<i>Oscillatoria bornetti</i>	<i>Surirella caproni</i>	<i>Closterium aciculare</i>	<i>Ceratium tripos</i>	<i>Terpsinoe musica</i>	<i>Synedra ulna</i>
Temperatura	-0.02	<b>0.5</b>	0.43	-0.42	0.37	<b>-0.53</b>	<b>-0.49</b>	-0.38
pH	0.13	0.22	0.19	<b>-0.47</b>	-0.24	<b>-0.64</b>	<b>-0.69</b>	<b>-0.55</b>
Oxígeno Disuelto	0.16	<b>0.52</b>	<b>0.47</b>	-0.38	0.08	<b>-0.61</b>	<b>-0.64</b>	-0.43
Salinidad	-0.16	-0.21	-0.26	-0.42	0.25	-0.35	<b>-0.5</b>	-0.42
Sólidos Suspendidos	-0.28	-0.14	-0.19	-0.2	<b>0.51</b>	-0.41	-0.37	-0.33
Sólidos Disueltos	-0.13	-0.19	-0.25	-0.21	0.33	-0.41	-0.43	-0.36
Sólidos Totales	-0.13	-0.19	-0.25	-0.21	0.33	-0.41	-0.43	-0.36
Ortofosfatos	0.29	0.39	0.41	0.24	-0.13	0.34	0.3	0.35
Nitrógeno Total	<b>0.48</b>	-0.18	-0.08	<b>0.58</b>	-0.27	<b>0.51</b>	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>

Tabla 3. Correlación para temporada de secas, entre los parámetros hidrológicos, variables biológicas y las especies de agua dulce.

En la tabla 3 se presenta la correlación entre los parámetros hidrológicos y la densidad de las especies de agua dulce para la temporada de secas, de las ocho especies dominantes, cinco presentaron una relación importante con el nitrógeno total, el cual, en ésta temporada fue alto y al encontrarse en correlación positiva, indica que favorece a las especies *Aphanocapsa pulchra*, *Surirella caproni*, *Ceratium tripos*, *Terpsinoe musica* y *Synedra ulna*. Wada y Hattori (1971), comprobaron que las formas nitrogenadas constituyen elementos esenciales para las algas y su concentración se relaciona directamente con la biomasa y densidad, por lo que estas especies se relacionaron de manera importante con la densidad y la riqueza.

Cuatro especies se relacionaron con el pH en forma negativa lo que indica que al aumentar el pH la densidad de los organismos disminuye. Especies como *Merismopedia convoluta* y *Oscillatoria bornetti* que figuraron por su dominancia presentaron también relación alta con el oxígeno. Se observaron relaciones negativas de la temperatura y oxígeno disuelto con las especies *Ceratium tripos* y

*Terpsinoe musica*, esta última tuvo también relación negativa con la salinidad, mencionando que es reportada como una especie dulceacuícola.

*Closterium aciculare* establece correlación positiva con los sólidos suspendidos, esta especie se presentó en el arroyo San Pedro, zona de arrastre de diversos elementos.

	<i>Anabaena macrospora</i>	<i>Ditylum brightwellii</i>	<i>Skeletonema costatum</i>
Temperatura	-0.09	0.15	-0.04
pH	0.25	<b>-0.43</b>	-0.35
Oxígeno Disuelto	0.11	0.06	-0.15
Salinidad	0.03	<b>0.62</b>	<b>0.47</b>
Sólidos Suspendidos	-0.13	<b>0.46</b>	0.35
Sólidos Disueltos	-0.07	0.37	0.3
Sólidos Totales	-0.07	0.37	0.3
Ortofosfatos	0.06	-0.38	<b>-0.47</b>
Nitrógeno Total	0.12	-0.33	<b>-0.44</b>
Clorofila "a"	0.17	0.25	0.01

Tabla 4. Correlación para temporada de secas, entre los parámetros hidrológicos, variables biológicas y las especies de agua salada.

La tabla 4 presenta la correlación entre los parámetros hidrológicos y las especies de agua salina en temporada de secas, se observa a *Ditylum brightwellii* y *Skeletonema costatum* compartiendo relación importante con la salinidad, éstas, son reportadas como especies marinas. Se observa también una relación negativa con ortofosfatos y nitrógeno total. *Ditylum brightwellii* se encontró inversamente proporcional al pH y tuvo relación positiva con los sólidos suspendidos.

	<i>Melosira granulata</i>	<i>Terpsinoe Musica</i>	<i>Surirella caproni</i>
Temperatura	0.1	0.13	-0.05
pH	0.35	<b>-0.7</b>	0.06
Oxígeno Disuelto	0.37	<b>-0.67</b>	0.13
Salinidad	0.22	<b>-0.59</b>	0.02
Sólidos Suspendidos	0.03	-0.41	-0.07
Sólidos Disueltos	0.4	<b>-0.49</b>	0.08
Sólidos Totales	0.4	<b>-0.49</b>	0.08
Ortofosfatos	-0.09	-0.17	-0.04
Nitrógeno Total	0.13	<b>-0.58</b>	-0.1
Clorofila "a"	-0.12	0.11	-0.04

Tabla 5. Correlación para temporada de lluvias, entre los parámetros hidrológicos, variables biológicas y las especies de agua dulce.

En la tabla 5 se observa la correlación entre parámetros hidrológicos y fitoplancton de agua dulce para temporada de lluvias, con una especie que destaca en sus valores.

*Terpsinoe musica*, presenta interacción negativa con el pH, oxígeno disuelto, salinidad, sólidos disueltos, sólidos totales y nitrógeno total, por lo que se encuentra en sitios con baja concentración de estos parámetros.

En la tabla 6 para el fitoplancton de agua salina en temporada de lluvias, tres especies se relacionaron con el pH y el oxígeno disuelto, *Lyngbya hieronymussi*, *Entomoneis alata* y *Nitzschia longissima*. Los sólidos disueltos y sólidos totales, establecieron relación con *Lyngbya hieronymussi*, *Entomoneis alata* y *Navicula sp.*

	<i>Lyngbya hieronymussi</i>	<i>Ditylum brightwellii</i>	<i>Entomoneis alata</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Navicula sp.</i>	<i>Nitzschia longissima</i>
Temperatura	-0.32	-0.02	-0.13	-0.24	0.07	-0.03
pH	<b>0.47</b>	0.35	<b>0.46</b>	0.3	0.33	<b>0.43</b>
Oxígeno Disuelto	0.42	0.36	<b>0.52</b>	0.22	0.22	<b>0.43</b>
Salinidad	<b>0.44</b>	0.34	0.36	0.35	0.15	0.41
Sólidos Suspendidos	0.18	0.18	0.1	0.17	-0.07	0.19
Sólidos Disueltos	<b>0.55</b>	0.33	<b>0.5</b>	0.22	<b>0.45</b>	0.39
Sólidos Totales	<b>0.55</b>	0.33	<b>0.5</b>	0.22	<b>0.45</b>	0.39
Ortofosfatos	-0.1	-0.08	-0.1	-0.08	-0.09	-0.07
Nitrógeno Total	0.22	0.17	0.25	0.2	0.03	0.21
Clorofila "a"	-0.29	-0.18	-0.23	-0.26	-0.2	-0.24

Tabla 6. Correlación para temporada de lluvias, entre los parámetros hidrológicos, variables biológicas y las especies de agua salada.

En general se observó en temporada de secas, una correlación importante del fitoplancton de agua dulce con los parámetros hidrológicos y en temporada de lluvias una reducción en la cantidad de relaciones. De manera inversa, las especies de agua salada, en temporada de secas presentaron pocas correlaciones importantes y al llegar las lluvias éstas, incrementaron su número de interacción.

## CONCLUSIONES

- Por medio de los análisis hidrológicos realizados para la zona de estudio, se puede mencionar que los parámetros físicos y químicos dentro de la normatividad y de los registros bibliográficos consultados.
- Los nutrimentos presentaron alta concentración en temporada de secas.
- De los 79 taxa identificados en este estudio, 21 pertenecieron a la división Cyanophyta, 36 a la división Heterokontophyta, 11 para Dinophyta y 1 para Euglenophyta.
- Solo 27 especies se fueron reportadas con anterioridad para el Golfo de Tehuantepec.
- El grupo Heterokontophyta fue el más representativo, éste significó el 51% del total de los organismos encontrados en temporada de secas y el 88 % en temporada de lluvias, así también representó el 63% de las especies dominantes (20 de los 31 taxa dominantes).
- En temporada de secas se registró la mayor diversidad y la riqueza más alta con un total de 66 especies.
- El Arroyo San Pedro se presentó como el área con mayor riqueza y diversidad en temporada de secas.
- Las densidades altas se encontraron en temporada de lluvias, destacando la Laguna Superior y el Estero Piedra, con un intervalo de 500 a 13,000 organismos por litro.
- Las especies más abundantes en ambas temporadas fueron: *Skeletonema costatum*, *Ditylum brightwelli*, *Terpsinoe musica*, *Oscillatoria bornetti*,

*Synedra ulna* y *Nostoc comune*. De acuerdo al análisis de Olmstead-Tukey, estas especies se presentaron como las más representativas.

- Las especies dominantes de agua dulce fueron: *Aphanocapsa pulcra*, *Merismopedia glauca*, *Merismopedia convoluta*, *Nostoc comune*, *Oscillatoria bornetti*, *Melosira granulata*, *Terpsinoe musica*, *Navicula sp.*, *Pleurosygma formosum*, *Surirella caproni*, *Surirella euglipta*, *Synedra ulna*, *Ceratium tripos*, *Closterium aciculare*, *Pediastrum simplex*.
- Las especies dominantes para agua salada: *Thalassiothrix nitzchioides*, *Nitzschia longa*, *Nitzschia longissima*, *Nitzschia sigma*, *Gyrosigma macrum*, *Licmophora abbreviata*, *Lioloma delicatum*, *Navicula amphioxys*, *Skeletonema costatum*, *Protococcus sp.*, *Coscinodiscus gigas*, *Ditylum brightwellii*, *Lyngbya hieronymussi*, *Anabaena macrospora*.
- De acuerdo al análisis de cúmulos se presentaron tres zonaciones, cada una con características de densidad y presencia-ausencia particulares: la primera entre el Arroyo San Pedro y Estero Xadani, la segunda Estero Xadani y Laguna Superior y la tercera Laguna Superior y Estero Piedra.
- Los análisis de correlación mostraron que los parámetros con los cuales las especies interactúan con mayor importancia son: Nitrógeno total, Salinidad, Oxígeno disuelto, Sólidos disueltos y los Sólidos totales.

## BIBLIOGRAFÍA

**Álvarez, S. L. G. 1983.** *Estudio de la Circulación Superficial Frente a Salina Cruz Oax.* Octubre, 1982. División de Oceanología CICESE, Ensenada, B.C. Informe para la subdirección de refinación y petroquímica del IMP.

**APHA, AWWA, E. F. 2000.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> Edition. Ed. American Public Health Association, Washington, D.C. 540 p.

**Arenas, V. y S. Toral. 1980.** *Conclusiones generales del estudio oceanográfico del Golfo de Tehuantepec*, Secretaría de Marina. 33-49.

**Barreiro M. T. y M. E. Meave. 2003.** *Planctología Mexicana*. SOMPAC, México, 284 p.

**Benítez-Torres, J. A., C. F. Dávila-Arteaga, y A. Montalvo-Arrieta, 1988.** *Ciclo Anual del Plancton de la Bahía de Salina Cruz Oax. Y Bahías adyacentes*, (Feb. 84–Ene. 85). In. Compendio de Estudios Oceanográficos. Estación de Investigación Oceanográfica Dirección General de Oceanografía Naval, Secretaría de Marina. 1-20

**Brower, J. E. y J. H. Zar. 1977.** *Field and laboratory methods for general ecology*. Wm. C. Brown Co. Publishers. Iowa, USA. 194 p.

**Carranza-Edwards, A. 1980.** *Ambientes sedimentarios recientes de la llanura costera sur del istmo de Tehuantepec*. An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 7(2):13-66.

**Conger, P. S., G. A. Fryxell y S. Z. El-Sayed. 1972.** *Diatom species reported from the Gulf of Mexico*. En: El-Sayed, S. Z. and S. A. Earle (Eds.). *Chemistry, primary productivity, and benthic algae of the Gulf of Mexico*. Series Atlas of the Marine Environment. Amer. Geogr. Soc. 22. 1-29

**Contreras, F. 1985.** *Las Lagunas Costeras Mexicanas*, Centro de Ecodesarrollo Secretaría de Pesca.

**Contreras, F. 1994.** *Manual de Técnicas Hidrobiológicas*. Ed. Trillas. México D. F. 142 p.

**Cromwell, J. E. 1985.** *Marine geology of Laguna Superior in the Pacific coast of Mexico*. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México 12 (1) 70-98.

**Croning, L. E. 1973.** *Estuarine Research*. Vol. I Academic Press Inc. London England, 738 p.

- Curtidor, L. B. 1999.** *Determinación de Metales Pesados en Sedimento y Agua, del Estero La Ventosa, Salina Cruz, Oaxaca, México.* Informe de Servicio social. UAM. Iztapalapa. 109 p.
- Cupp, E. 1945.** *Marine Plankton Diatoms of the West Coast of Nort America.* University of Berkeley. 235 p.
- Daniel, W. W. 1985.** *Bioestadística. Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud.* Limusa, México 485 p.
- Dawes, J. 1986.** *Botánica Marina.* Ed. Limusa. México. 579-605.
- De La Cruz, A. G. 1994.** Sistema para el análisis de comunidades (ANACOM). Versión 3.0 CICIMAR. IPN. 99 p.
- De La Lanza, E. G. 1991.** *Oceanografía de Mares Mexicanos.* A.G.T. Editor, México.
- De La Lanza , E. G. 2000.** *Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (bioindicadores).* Plaza y Valdez editores. 1ra Ed. México. p. 17- 108
- Desabbayes, H. 1989.** *Botánica, vegetales inferiores.* 2da. Ed. Reverté, España. 69-324.
- Diario Oficial De La Federación 1996.** Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.
- Figuroa-Torres, M.G. 1994.** Florecimiento de *Trichodesmium erithraeum* Ehr. ex Gomont, en las lagunas Inferior y Oriental, Oaxaca. *Serie Grandes Temas de la Hidrobiología: Los Sistemas Litorales.* UAMI, UNAM, (2): 15-21
- Franco López, J., G. De La Cruz, A. Cruz-Gómez, A. Rocha, N. Navarrete, G. Flores-Martínez, E. Kato y S. Sánchez-Colón. 1985.** *Manual de Practicas de Ecología.* 1ª. Ed. Editorial Trillas, México. 229 p.
- García, E. 1973.** *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen.* (Adaptado para la República Mexicana). Offset Larios. México. 252 p.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Álvarez-Borrego. 1986.** *Productividad primaria del Pacífico Mexicano.* Cienc. Mar., 12: 26-33
- Hernández-Becerril, D. U. 1993.** *Fitoplancton marino en México.* 39-53 En: Biodiversidad marina y costera de México S. I. Salazar-Vallejo y N.E. González (Eds.). CONABIO y CIQRO, México, 865 p.



**Hernández-Becerril, D. U. 2003.** *Diversidad del Fitoplancton Marino de México. Un Acercamiento Actual.* Cap. 1:1-17 En: Barreiro M. T. y M. E. Meave (Eds.). *Planctología Mexicana.* SOMPAC, México, 284 p.

**Hernández-Becerril, D.U. y M.E. Meave Del Castillo. 1996.** The marine planktonic diatom *Rhizosolenia robusta* (Bacillariophyta): morphological studies support its transfer to a new genus, *Calyptrella* gen. nov. *Phycologia.*, 35 (3): 198-203.

**IMP/UAM. 1996.** *Evaluación ecológica de las comunidades de peces y macroinvertebrados bentónicos en el área de influencia de la Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime: el estero la Ventosa, las lagunas Superior-Inferior y la plataforma continental adyacente.* Contrato IMP-2552. Instituto Mexicano del Petróleo/Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. 55 p.

**Jeffrey, S. W. y G. F. Humphrey. 1975.** New spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c1 and c2, *Biochem. Physiol. Pflanz.*, 167, 194-204.

**Lara-Lara, J. R., E. G. Robles-Jarero, M. C. Bazán-Guzmán Y E. Millán Núñez. 1998.** *Productividad del Fitoplancton.* Cap. 5 En: M. Tapia-García. (Ed.) *El Golfo de Tehuentepec: El ecosistema y sus recursos.* Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. 51-58

**Lara, M. A., J. L. Moreno. y E. J. Amaro. 1996.** *Fitoplancton.* Universidad Autónoma Metropolitana. México. 227 p.

**Lankford, R. R. 1977.** Coastal Lagoons of Mexico. Their origin and classification *In: Estuarine Processes.* Wiley M. (ed.). Academic Press Inc. p. 182-215.

**Licea, S., E. Gómez, y M. E. Gómez. 1976.** Informe final del estudio del fitoplancton en cinco lagunas costeras del Estado de Guerrero. *In: Programa de Estudios Sobre Uso de la Zona Costera de los Estados de Michoacán y Guerrero. Centro de Ciencias del Mar y Limnología, 4:* 1-12. 7 figs. 5 tabs. 2 láms.

**LFD, 2000.** *Lineamientos de la calidad del agua,* uso 4 Protección a la vida acuática: aguas costeras y estuarios.

**Meave Del Castillo, M. E. y D. U. Hernández-Becerril. 1998.** *Fitoplancton.* Cap. 6:59-74. En: M. Tapia-García. (Ed.) *El Golfo de Tehuentepec: El ecosistema y sus recursos.* Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Méx., 1998.

**Méndez-González, M. E. 1988.** Evaluación de los efectos sobre el medio físico-biótico asociados a la construcción de la presa Benito Juárez en el Istmo

de Tehuantepec, Oaxaca. Tesis Licenciatura, Fac. Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 1-72.

**Moreno, J. L. 1995.** *Dinoflageladas del Golfo de California*. UABCS 1ra edit. México. 165 p.

**Moreno, J. L. 1996.** *Diatomeas del Golfo de California*. UABCS 1ra edit. México. 270 p.

**Needham, J. G. y P.R. Needham. 1978.** *Guía para el Estudio de los Seres Vivos de las Aguas Dulces.*, Ed. Reverté, España. 3-12.

**Norma Oficial Mexicana NMX-AA-34-1981.** Diario Oficial de la Federación 1981.

**Norma Oficial Mexicana, DECLARATORIA DE VIGENCIA NMX-AA-026-SCFI-2001,** Diario Oficial de la Federación, 17 de abril de 2001.

**Ortega, M. 1984.** *Catálogo de Algas Continentales Recientes de México*. UNAM. México.

**Ortiz-Gallarza, S. M., G. De La Lanza y M. R. García Hernández. 1991.** Análisis Hidrológico y Bentónico de la Laguna Superior, Oaxaca, México. *Universidad y Ciencia* Vol. 8 (16): 5-24.

**Prescott, G.W. 1962.** *Algae of the western Great lakes are.* W.M.C. Brown Company. USA. 997p.

**Robles J. E. G. 1991.** *Productividad y biomasa del fitoplancton en el golfo de Tehuantepec, bajo el forzamiento invernal de los vientos.* Tesis maestría en ciencias CICESE ensenada B.C. 137 p.

**Robles J. E. G. y J. R. L. Lara. 1993.** Phytoplankton biomass and primary productivity by size classes in the gulf of Tehuantepec, México. *Journal of Plankton Research*, 12:1341-1358.

**Rzedowski, J. 1994.** *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México. 1-56.

**Schwoerbel, J. 1975.** *Métodos de Hidrobiología.*, H. Blume, España. 1-56.

**Secretaría De Marina. 1974.** *Estudio Geográfico de la Región de Salina Cruz, Oaxaca México.*, Dirección General de Oceanografía, Secretaría de Marina, Méx.

**SEDUE 1989.** *Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua CE-CCA-001/98.* Secretaría de desarrollo Urbano y Ecología. Diario Oficial de la Federación 13/XII/89. 7-23.

**Smith, G.M. 1950.** *The Fresh-Water algae of the U.S.* Mc Graw-Hill 2da. ed. USA. 719 p.

**Smith, L. 1977.** *A Guide to Marine Coastal Plankton and Marine Invertebrate Larvae.* Kendall/Hunt Publishing Company. USA. 22-37.

**Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1979.** *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research.* W. H. Freeman and Co., San Francisco, 776 p.

**Sotomayor-Navarro, O. 1994.** Desarrollo de la marea roja tóxica producida por *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, en el Golfo de Tehuantepec México. 1989-1990. In: *Compendio Oceanográfico del Golfo de Tehuantepec 1994.* Estación de Investigación Oceanográfica, Salina Cruz, Oaxaca. Dirección General de Oceanografía Naval, Secretaría de Marina. 87-113.

**Sotomayor-Navarro, O., C. F. Davila-Arteaga y E. Domínguez-Cuellar. 1994.** *Influencia del eclipse de sol del 11 de julio de 1991, en la distribución vertical del fitoplancton en el Golfo de Tehuantepec.* In: *Compendio Oceanográfico del Golfo de Tehuantepec 1994.* Estación de Investigación Oceanográfica, Salina Cruz, Oaxaca. Dirección General de Oceanografía Naval, Secretaría de Marina. 69-86.

**Strickland, J. Y T. R. Parsons. 1972.** *A Practical Handbook of Seawater Analysis,* Fisheries Research Board of Canada, 310 p.

**Tait, R. V. 1987.** *Elementos de Ecología Marina.,* Ed. Acribia, España. 446 p.

**Tapia-García. 1998.** *El Golfo de Tehuantepec, el ecosistema y sus recursos.* Ed. Margarito Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Méx., DF. 240p.

**Taylor, F. J. R. 1976.** *Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition.* Stuttgart, Germany. 234 p.

**Turner, G. M. M. 1992.** *Estudio Oceanográfico de algunos parámetros físicos y químicos de la zona de surgencia del Golfo de Tehuantepec, en los meses de mayo y noviembre de 1989.* Tesis de Lic. ENEP Zaragoza UNAM. México, DF. 34 p.

**U.S. Epa. 1985.** Summary – Guidelines for Freshwater Aquatic Life.

**Valero, G. M., 1982.** *Fitoplancton del Golfo de Tehuantepec.* Investigaciones Oceanográficas, Secretaría de Marina, Méx. (1):1-30

**Vázquez G. F., G. L. Salvador, A. A. Ramírez, M. G. Turner, A. C. Frausto y H. V. Alexander 1998.** *La química del Agua,* Cap. 4: 35-50. En: M. Tapia-

García (Ed.) El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 240 p.

**Vilchis-Rodriguez, D., C. F. Davila-Arteaga y D. Chula-Torreblanca. 1994.** *Observaciones oceanográficas relacionadas con el eclipse total de sol del 11 de julio de 1991, en el Golfo de Tehuantepec.* In: Compendio Oceanográfico del Golfo de Tehuantepec 1994. Estación de Investigación Oceanográfica, Salina Cruz, Oaxaca. Dirección General de Oceanografía Naval, Secretaría de Marina. 49-68.

**Wada, E. And A. Hattori. 1971.** *Nitrite metabolism in the euphotic layer of the Central North Pacific Ocean.* Limnol. Oceanogr., 16: 766-772.

**Yáñez-Arancibia, A., 1978,** *Taxonomía, Ecología y Estructura de las comunidades de peces en lagunas costeras, con bocas efímeras del Pacífico Mexicano.* Publicación Especial del Centro de Ciencias del Mar. UNAM. 518 p.

**Yáñez-Arancibia, A., 1986,** *Ecología de la zona costera: análisis de siete tópicos.*, AGT Editor, México, DF. 1-91.

# **ANEXO I**

## **TABLAS DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS**

I.1. Resultados de los parámetros de los sistemas durante el monitoreo *in situ*.

**SECAS**

Estación	Sistema	Temp. del Agua (°c)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Salinidad ppmil
1	AP	27.2	7.03	4.68	0.3
2	AP	27.2	7.08	5.39	0.3
3	AP	27.9	7.27	4.54	0.3
4	AP	29	7.56	4.62	0.3
5	AP	29.4	7.34	5.15	0.3
6	EX	29.1	7.5	4.68	0.3
7	EX	29.3	7.98	5.71	5.6
8	EX	31.8	8.21	9.88	4.0
9	EX	29.6	8.31	7.73	30.3
10	EX	29.5	8.29	6.94	13.8
11	EX	29.4	8.28	7.96	15.3
12	EX	28.5	8.17	6.3	17.1
13	LS	27.8	8.25	7.39	24.8
14	LS	28.4	7.85	6.98	35.1
15	LS	29.3	6.67	5.26	34.5
16	LS	26.9	7.27	7.65	32.8
17	LS	31.5	7.47	7.88	34.4
18	LS	27.9	7.68	7.15	33.5
19	LS	30.7	7.73	7.2	30.0
20	EP	29.2	8.1	7.05	8.4
21	EP	29.7	8.09	8.07	5.3
22	EP	29.7	8.08	7.06	3.8
<b>X</b>		29.0	7.73	6.60	15.02
<b>D.S.</b>		1.28	0.481	1.42	14.0
<b>MAX.</b>		31.8	8.31	9.88	35.1
<b>MIN.</b>		26.9	7.03	4.54	0.3
<b>N</b>		22	22	22	22

**X=** Media **D. S.=** Desviación Estándar **MÁX.=** Máximo **MIN.=** Mínimo **N=** Número Total

I.2. Resultados de los parámetros de los sistemas durante el monitoreo *in situ*.

**LLUVIAS**

Estación	Sistema	Temp. del Agua (°c)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Salinidad ppmil
1	AP	28.5	7.26	4.7	0.5
2	AP	28.5	7.4	6.63	0.5
3	AP	28.1	7.63	5.36	0.4
4	AP	28.7	7.61	5.93	0.4
5	AP	28.7	7.61	6.22	0.4
6	EX	28.2	7.74	6.03	18
7	EX	28.6	7.9	6.84	15.1
8	EX	29.3	7.98	6.73	8.7
9	EX	30.1	7.96	8.35	26.7
10	EX	29.3	7.87	6.87	17.4
11	EX	30.3	7.86	7.69	14.3
12	EX	29.4	7.92	7.55	17.4
13	LS	27.1	8.22	10.22	29.5
14	LS	26.4	8.05	7.09	25.7
15	LS	27.9	8.21	5.98	28.9
16	LS	27.4	8.15	7.17	29.5
17	LS	27.7	8.29	8.76	29.4
18	LS	28.5	8.28	9.49	29.2
19	LS	22.5	8.09	7.9	28.9
20	EP	28.7	8.12	8.01	16.2
21	EP	29.1	8.1	8.04	15.7
22	EP	29.7	7.83	4.27	10.4
<b>X</b>		28.30	7.91	7.08	16.50
<b>D.S.</b>		1.60	0.279	1.45	11.04
<b>MAX.</b>		30.3	8.29	10.22	29.5
<b>MIN.</b>		22.5	7.26	4.7	0.4
<b>N</b>		22	22	22	22

**X**= Media **D. S.**= Desviación Estándar **MAX.**= Máximo **MIN.**= Mínimo **N**= Número Total

### I.3. Variables físicas y químicas monitoreadas en los cuerpos receptores.

#### SECAS

ESTACION	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Sólidos Disueltos (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)
1 San Pedro	21	378	399
2 San Pedro	24	372	396
3 San Pedro	38	366	404
4 San Pedro	16	210	226
5 San Pedro	30	368	398
6 Xadani	30	282	312
7 Xadani	39	4326	4365
8 Xadani	64	4432	4496
9 Xadani	178	35570	35748
10 Xadani	256	26922	27178
11 Xadani	66	18794	18860
12 Xadani	73	18690	18763
13 Laguna Superior	211	16944	17155
14 Laguna Superior	84	15372	15456
15 Laguna Superior	333	41886	42219
16 Laguna Superior	233	38698	38931
17 Laguna Superior	396	44184	44580
18 Laguna Superior	41	6122	6163
19 Estero Piedra	360	45556	45916
20 Estero Piedra	42	5696	6038
21 Estero Piedra	22	4618	4640
22 Estero Piedra	253	46314	46567
Parámetro/ agua	Sólidos Suspendidos	Sólidos Disueltos	Sólidos Totales
<b>X</b>	127.7	17 095.5	17 236.8
<b>D.S.</b>	125.2	17 377.0	17 483.8
<b>MAX.</b>	396	46314	46567
<b>MIN.</b>	16	210	226
<b>N</b>	22	22	22

X= Media D. S.= Desviación Estándar MÁX.= Máximo MIN.= Mínimo N= Número Total



#### I.4. Variables físicas y químicas monitoreadas en los cuerpos receptores.

##### LLUVIAS

ESTACION	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Sólidos Disueltos (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)
1 San Pedro	37	28	56
2 San Pedro	49	1240	1371
3 San Pedro	37	626	663
4 San Pedro	47	586	635
5 San Pedro	33	532	569
6 Xadani	92	366	413
7 Xadani	91	362	395
8 Xadani	42	17784	17875
9 Xadani	147	2346	2438
10 Xadani	97	28712	28859
11 Xadani	143	3976	4018
12 Xadani	77	18760	18857
13 Laguna Superior	347	15738	15881
14 Laguna Superior	132	18034	18111
15 Laguna Superior	186	32558	32905
16 Laguna Superior	144	28226	28358
17 Laguna Superior	129	32458	32644
18 Laguna Superior	150	32312	32456
19 Estero Piedra	146	32548	32677
20 Estero Piedra	69	33258	33408
21 Estero Piedra	48	32082	32228
22 Estero Piedra	70	17630	17699
<b>Parámetro/ agua</b>	<b>Sólidos Suspendidos</b>	<b>Sólidos Disueltos</b>	<b>Sólidos Totales</b>
<b>X</b>	105.1	17 016.0	17 086.0
<b>D.S.</b>	71.3	13 760.1	13 813.1
<b>MAX.</b>	347	33258	33408
<b>MIN.</b>	33	28	56
<b>N</b>	22	22	22

X= Media D. S.= Desviación Estándar MÁX.= Máximo MIN.= Mínimo N= Número Total

## I.5. Nutrientes y clorofila "a" en los cuerpos receptores.

### SECAS

ESTACION	Ortofosfatos (ppb)	Nitrógeno Total (mg/L)	Clorofila "a" (mg/m <sup>3</sup> )
1 San Pedro	29.41	18.8	0.89
2 San Pedro	28.2	20.3	2.16
3 San Pedro	22.95	15.9	2.16
4 San Pedro	28.72	---	2.17
5 San Pedro	31.0	---	2.18
6 Xadani	34.15	13	4.63
7 Xadani	28.85	18.8	13.78
8 Xadani	34.59	13	3.40
9 Xadani	20.98	14.5	7.54
10 Xadani	21.91	11.6	6.27
11 Xadani	24.99	18.8	11.52
12 Xadani	25.88	13	0.83
13 Laguna Superior	16.82	11.6	5.41
14 Laguna Superior	5.63	14.5	5.60
15 Laguna Superior	11.33	---	6.84
16 Laguna Superior	12.38	11.6	5.72
17 Laguna Superior	15.68	11.5	10.75
18 Laguna Superior	20.35	14.4	7.29
19 Estero Piedra	15.96	11.6	7.09
20 Estero Piedra	5.89	17.4	12.17
21 Estero Piedra	32.05	15.9	7.41
22 Estero Piedra	20.35	18.8	6.38
Parámetro/ agua	Ortofosfatos	Nitrógeno Total	Clorofila "a"
<b>X</b>	22.2	15.0	6.0
<b>D.S.</b>	8.6	3.0	3.7
<b>MAX.</b>	35	20.3	13.8
<b>MIN.</b>	6	11.50	0.8
<b>N</b>	22	19	22

X= Media D. S.= Desviación Estándar **MÁX.**= Máximo **MIN.**= Mínimo **N**= Número Total

## I.6. Nutrientes y clorofila "a" en los cuerpos receptores.

### LLUVIAS

ESTACION	Ortofosfatos (ppb)	Nitrógeno Total (mg/L)	Clorofila "a" (mg/m <sup>3</sup> )
1 San Pedro	6.16	4.44	15.88
2 San Pedro	6.92	4.44	28.23
3 San Pedro	5.52	2.96	32.47
4 San Pedro	5.63	2.96	57.33
5 San Pedro	5.11	2.96	51.34
6 Xadani	6.45	5.92	44.02
7 Xadani	10.11	5.92	41.43
8 Xadani	7.38	5.92	55.75
9 Xadani	14.26	5.92	5.84
10 Xadani	11.80	5.92	23.21
11 Xadani	244.31	5.92	7.43
12 Xadani	14.43	5.92	23.91
13 Laguna Superior	14.58	5.92	3.16
14 Laguna Superior	14.02	5.92	4.64
15 Laguna Superior	15.39	5.92	5.93
16 Laguna Superior	30.84	5.92	1.47
17 Laguna Superior	27.01	5.92	3.14
18 Laguna Superior	3.42	5.92	13.30
19 Estero Piedra	11.80	5.92	1.29
20 Estero Piedra	23.93	5.92	30.94
21 Estero Piedra	22.30	5.92	14.95
22 Estero Piedra	16.29	2.96	5.83
Parámetro/ agua	Ortofosfatos	Nitrógeno Total	Clorofila "a"
<b>X</b>	23.5	5.25	21.4
<b>D.S.</b>	49.9	1.18	3.7
<b>MAX.</b>	244.3	5.92	57.33
<b>MIN.</b>	3.42	2.96	1.29
<b>N</b>	22	22	22

**X=** Media **D. S.=** Desviación Estándar **MÁX.=** Máximo **MIN.=** Mínimo **N=** Número Total

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

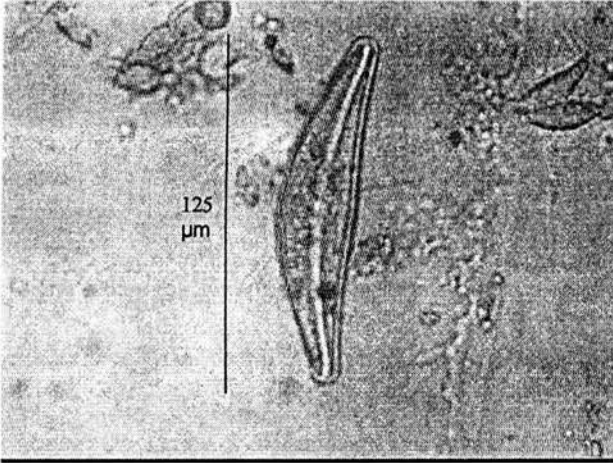
I.7 Horario en el que se realizaron los muestreos y profundidad de los sitios.

ESTACIÓN	SECAS		LLUVIAS	
	Hora.	Profundidad.	Hora.	Profundidad.
1	8:10	1.2 mts.	10:34	0.5 mts.
2	9:22	0.8 mts.	11:30	0.3 mts.
3	10:10	1.7 mts.	12:30	0.2 mts.
4	16:10	1.5 mts.	13:48	0.8 mts.
5	10:35	0.5 mts.	14:25	0.8 mts.
6	11:25	2.5 mts.	11:10	0.5 mts.
7	12:10	1.2 mts.	12:10	1.2 mts.
8	13:15	0.5 mts.	13:02	0.5 mts.
9	15:25	1.2 mts.	13:45	---
10	11:05	---	14:25	1 mts.
11	11:35	0.5 mts.	15:47	1.5 mts.
12	12:30	1.7 mts.	15:10	---
13	12:25	1.0 mts.	11:00	0.9 mts.
14	13:25	1.0 mts.	---	---
15	19:15	0.5 mts.	15:47	0.3 mts.
16	13:45	1.3 mts.	11:45	0.6 mts.
17	14:10	0.3 mts.	12:50	1.2 mts.
18	14:50	1 mts.	13:37	0.6 mts.
19	16:20	1 mts.	13:20	0.6 mts.
20	17:05	1.5 mts.	14:55	1.5 mts.
21	17:47	1.2 mts.	14:21	1.2 mts.
22	18:25	0.5 mts.	14:00	1.2 mts.

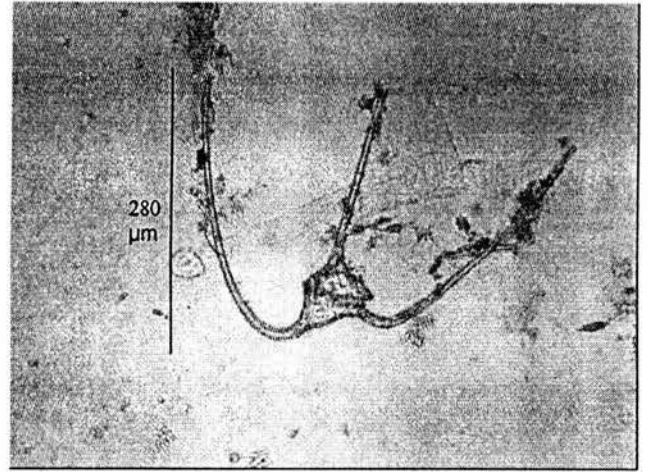
# **ANEXO II**

## **IMÁGENES**

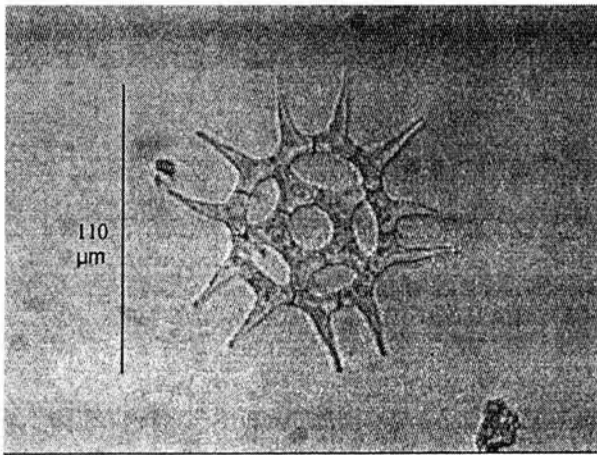
*Cymbella* sp. 25x



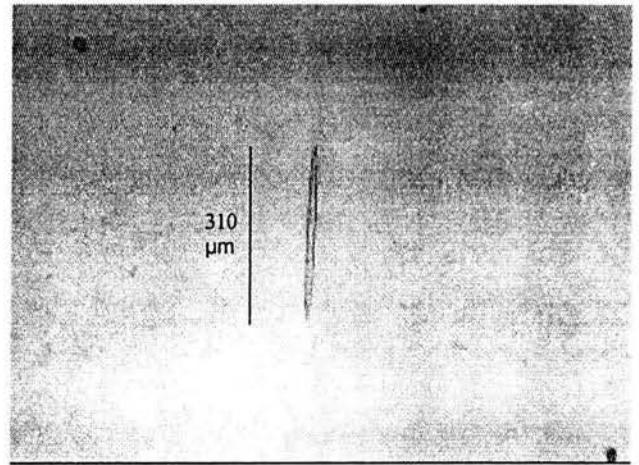
*Ceratium carriense*. 20x



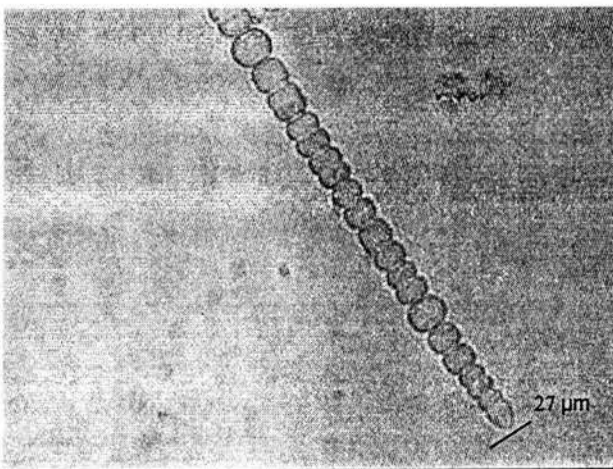
*Pediastrum simplex* 25x



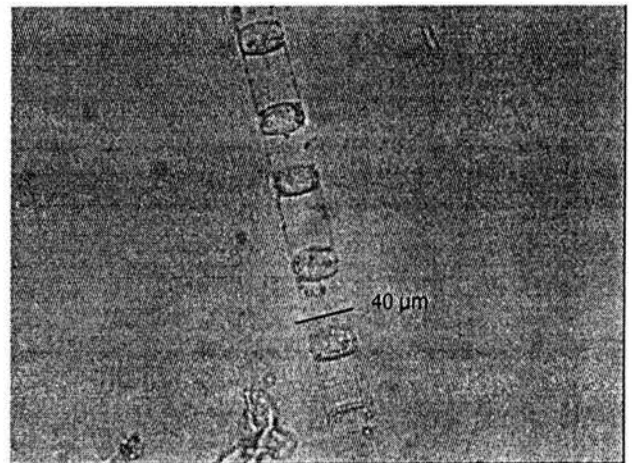
*Synedra ulna* 10x



*Anabaena* sp. 40x

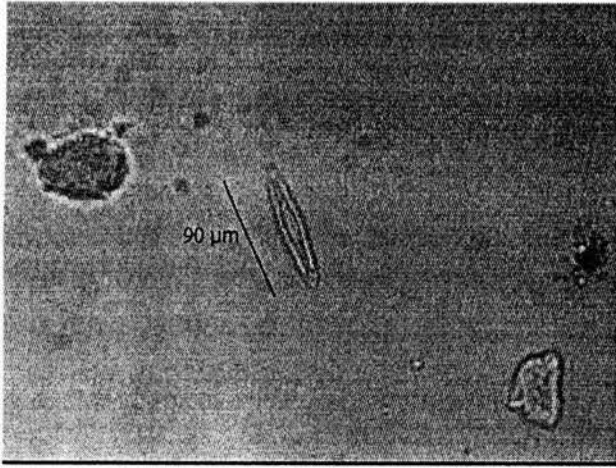


*Skeletonema costatum* 40x

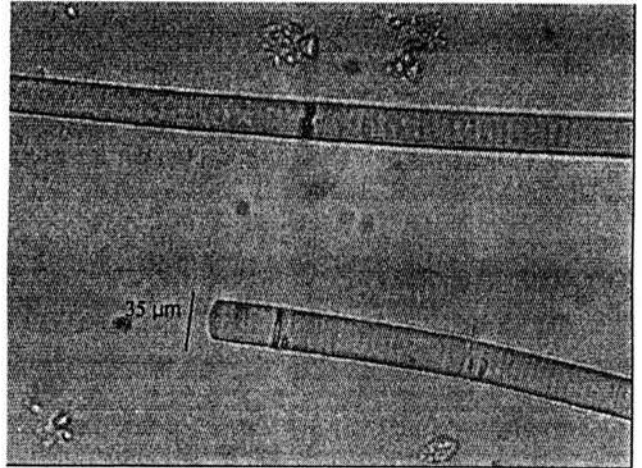




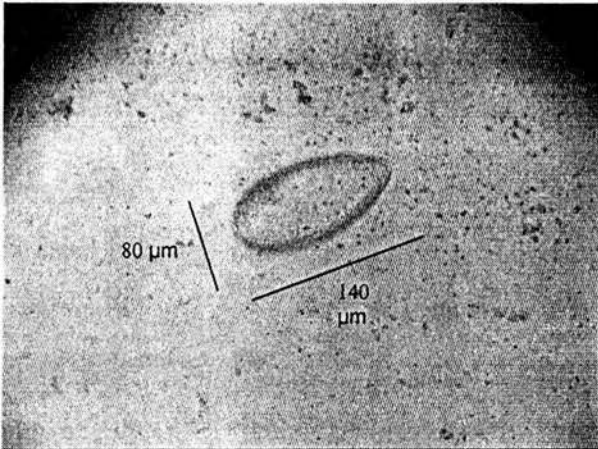
*Navicula sp.* 20x



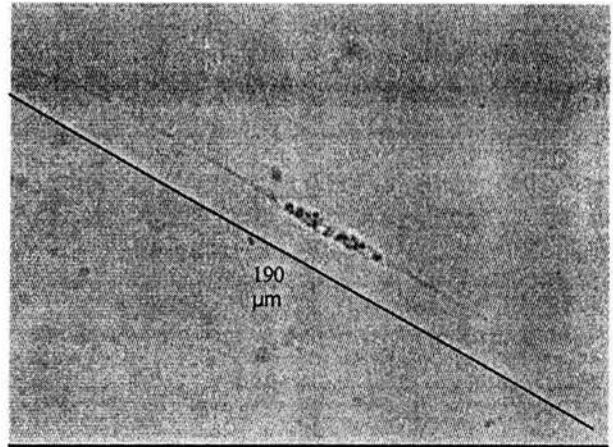
*Lyngbya sp.* 40x



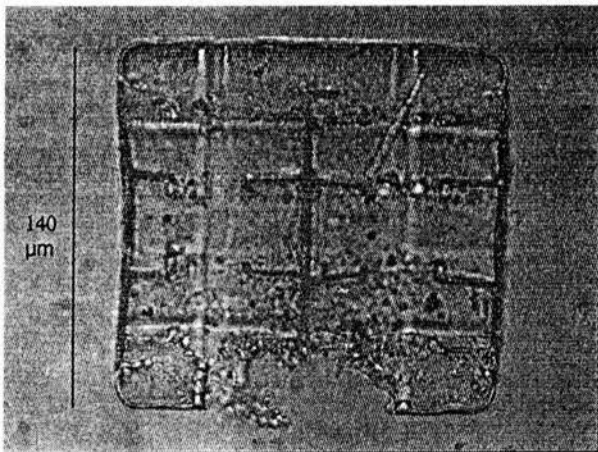
*Surirella caproni.* 20x



*Nitzschia longissima* 40x



*Terpsinoe musica*, 32x vista valvar



*T. musica* 40x vista conectiva

