Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

VARIACIÓN ANUAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA ESTUARINO DE URÍAS, SINALOA, MÉXICO.

Por

I.B. ELDA INÉS IZAGUIRRE FLORES

TESIS APROBADA POR LA:

COORDINACIÓN DE ACUACULTURA Y MANEJO AMBIENTAL

Como requisito para obtener el grado de

MAESTRIA EN CIENCIAS

Mazatlán, Sin. Enero 2012

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.

_____

Dr. Ramón Pacheco Aguilar
Director General

APROBACIÓN

Los miembros del comité asignados para revisar la tesis de "Variación anual de la calidad del agua del sistema estuarino de Urias, Sinaloa, México." la han encontrado satisfactoriamente y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias

Dr. Omar Calvario Martínez
Director de Tesis

Dra. Luz María García de la Parra
Asesor

M.C. Miguel Ángel Sánchez Rodríguez
Asesor

Dr. José Luis Jurado Baizaval
Asesor

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado principalmente a la mujer más valiosa en mi vida, mi madre y mejor amiga, Elda Inés Flores Medina, eres el ejemplo de que luchando se logran las cosas, que no hay que dejarse vencer que vale la pena luchar día a día hasta lograr lo que uno quiere. Gracias por tu apoyo, por tus palabras, tus consejos, por tu comprensión, por escucharme en todo momento, por tus regaños, tus desvelos, tus silencios, tus sonrisas, por todo lo que me das muchas gracias, a veces pienso que no me alcanzaría la vida para agradecerte. Mami tu eres quien me da fuerza para seguir adelante y cumplir mis metas, lo dije una vez y hoy te lo repito

¡Mis logros son los tuyos y este va por nosotras!

A mi padre Fco. Javier Izaguirre Gastelum †, que estas guardando un lugarcito en el cielo para mi, gracias a tu inmenso amor y a la educación que me diste, hoy estoy terminando mi maestría. Ahora tu ausencia me duele tanto y me haces mucha falta, pero estoy segura que un día volveremos a estar juntos y celebraremos este día.

Todos los días agradezco a Dios por estos padres tan maravillosos

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el laboratorio de Química y productividad Acuática del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Mazatlán, apoyado con recursos del proyecto 085208 CONAGUA-CONACYT "Dispersión de contaminantes por corrientes costeras y difusión de playas de la bahía de Mazatlán", cuyo responsable es el Dr. Omar Calvario Martínez.

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a quienes colaboraron para la realización de este logro:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el económico para culminar mis estudios de maestría.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Mazatlán por permitirme realizar mis estudios de maestría.

Al Dr. Omar Calvario Martínez, director de tesis y amigo, por transmitirme su sabiduría, por compartirme sus experiencias, por dedicarme su tiempo y su paciencia, por sus palabras de aliento en tiempos malos, por su apoyo profesional y emocional, le estaré agradecida infinitamente por permitirme ser parte de su equipo de trabajo pero sobre todo por permitirme ser su amiga, sus enseñanzas fueron muchas pero más lo fueron los bellos recuerdos. ¡Gracias!

Al M. en C. Miguel Ángel Sánchez Rodríguez, miembro del comité tutoral y amigo, gracias por brindarme las herramientas para lograr mi meta, por tus enseñanzas en las técnicas analíticas, por todas las observaciones y buenos

consejos para la realización de mi tesis, por alentarme a seguir adelante profesionalmente y por todos esos momentos tan divertidos que compartimos.

Al comité tutoral: Dr. Jose Luis Jurado Baizaval por su valiosa participación en la redacción de mi tesis, por sus consejos y por transmitirme sus conocimientos para enriquecer mi trabajo. A la Dra. Luz María García de la Parra, por el tiempo dedicado, por sus buenos consejos y sugerencias, por brindarme sus conocimientos y apoyarme a culminar mis estudios.

Al Dr. Pablo Almazán Rueda, coordinador de posgrado y amigo, por tu apoyo desde el principio de mis estudios de maestría, por tus consejos y tus palabras de aliento, los jalones de oreja y los buenos momentos compartidos, gracias a tus palabras me has enseñado más de lo que uno aprende en clases.

A mis profesores, que con su conocimiento y enseñanzas, lograron influenciar en mi para culminar mis estudios.

A las I.B.Q. África Paulina Gómez, I.B.Q. Virginia Beltrán Salas y la I.B.Q. Cathy Lizbeth Valdez Domínguez, compañeras de trabajo, pero sobre todo amigas, gracias por su apoyo en la parte técnica de este trabajo, por su ayuda en los muestreos y análisis de laboratorio, por todo lo que me enseñaron, por ser mis amigas y mis cómplices, por hacer mi estancia en Mazatlán más amena con tantas risas y locuras. Muchas Gracias por todo, las quiero.

A el pre I.B.Q Luis Armenta Magaña por su apoyo y ayuda en la parte técnica y los muestreos y la I.B.Q Xochitl Angulo por enseñarme las técnicas analíticas necesarias para realizar este trabajo, gracias por su ayuda y por los buenos momentos compartidos dentro y fuera del laboratorio.

Al Dr. Juan Madrid por su asesoría en la determinación de las técnicas estadísticas.

Al Lic. Alberto Duran, gracias por tu ayuda en la busca de información, por el apoyo y la amistad brindada, y por las facilidades para el uso del centro de cómputo.

A mis compañeros de maestría, por su presencia y compañerismo a lo largo de este camino.

A mi abuela, mi segunda madre, Inés Medina, por tus bendiciones diarias, por tu apoyo y por todo el cariño que me das día con día y a mi familia que siempre estuvo conmigo, en los buenos y en los malos momentos. Los quiero.

A José Santos Aguilar, por todo tu amor y tu paciencia brindada en todo este tiempo, por estar a mi lado en este camino, por alentarme a seguir adelante y por no dejarme caer, por ayudarme en todo momento que lo necesite, por no dejarme sola y por estar siempre ahí para mí.

Al I.B. Octavio Valenzuela por esa amistad incondicional, por todo el apoyo y la ayuda que me diste cuando más lo necesite, gracias por todo banana.

A la Sra. Socorro Rochín, por ayudarme a que mi estancia en Mazatlán, fuera más fácil y amena, por haberme hecho sentir parte de su familia. Gracias.

CONTENIDO

I. INTRODUCCION 1
1.1 Calidad del agua 3
1.2 Índices de calidad de agua..... 4
1.3 Eutrofización 4
II. JUSTIFICACION 6
III. ANTECEDENTES 9
IV. HIPOTESIS 14
V. OBJETIVOS 15
5.1 Objetivo General 15
5.2 Objetivos Particulares 15
VI. MATERIALES Y METODOS 16
6.1 Área de estudio 16
6.2 Periodos de muestreo 20
6.3 Análisis de campo 21
6.4 Análisis de laboratorio 23
6.5 Técnicas analíticas..... 25
6.6 Índice de estado trófico (TRIX)..... 28
6.7 Índice de calidad de aguas costeras (ICAC) 30
6.8 Tratamiento de datos 32
VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES 33
7.1 Variación espacio-temporal de las variables de calidad de agua 33
7.1.1 Temperatura 33
7.1.2 Salinidad 36
7.1.3 pH 39
7.1.4 Oxígeno Disuelto 41

7.1.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno 43
7.1.6 Clorofila *a* 45
7.1.7 Sólidos Suspendidos Totales 48
7.1.8 Fósforo Total 50
7.1.9 Amonio 53
7.1.10 Nitratos 56
7.1.11 Nitritos 59
7.1.12 Ortofosfatos 61
7.1.13 Grasas y Aceites 64
7.1.14 Coliformes Totales y Fecales 66
7.2 Índices de calidad 70
7.2.1 Índice de calidad TRIX 70
7.2.2 Índice de calidad ICAC 73
7.3 Estadísticos 77
7.3.1 Prueba Mann-Whitney 77
7.3.2 Correlación de Pearson 81
7.3.3 Conglomerados 84
VIII. CONCLUSIONES 88
IX. RECOMENDACIONES 92
X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estero de Urías, Sinaloa, México 17

Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo del estero de Urías 21

Figura 3. Variación espacio-temporal de la temperatura (°C), durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 35

Figura 4. Variación espacio-temporal de la salinidad (UPS), durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 36

Figura 5. Distribución de la precipitación en Mazatlán, Sinaloa, (2009-2010) . 37

Figura 6. Variación espacio-temporal del pH durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 40

Figura 7. Variación espacio-temporal de oxígeno disuelto (mg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 42

Figura 8. Variación espacio-temporal de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 (mg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa..... 45

Figura 9. Variación espacio-temporal de clorofila *a* (µg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 47

Figura 10. Variación espacio-temporal de Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 50

Figura 11. Variación espacio-temporal de Fosforo Total (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 52

Figura 12. Variación espacio-temporal de Amonio (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 55

Figura 13. Variación espacio-temporal de Nitratos (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 58

Figura 14. Variación espacio-temporal de Nitritos (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 60

Figura 15. Variación espacio-temporal de Ortofosfatos (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 62

Figura 16. Variación espacio-temporal de Grasas y Aceites (mg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 64

Figura 17. Variación espacio-temporal de Coliformes Totales (NMP) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 66

Figura 18. Variación espacio-temporal de Coliformes Fecales (NMP) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa 67

Figura 19. Variación anual del índice de eutrofización TRIX para el estero de Urías, Sinaloa 70

Figura 20. Variación anual del índice de calidad de aguas costeras ICAC para el estero de Urías, Sinaloa 73

Figura 21. Análisis anual de conglomerados (NODAL), para las variables fisicoquímicas y biológicas en el estero de Urías, Sinaloa 87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de muestreo 22

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados para el estero de Urias, Sinaloa 24

Tabla 3. Escala TRIX 29

Tabla 4. Variación anual del índice de eutrofización TRIX para el estero de Urías, Sinaloa 72

Tabla 5. Variación anual del índice de calidad de aguas costeras ICAC para el estero de Urías, Sinaloa 74

Tabla 6. Resultados del ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ($P<0,05$) para las variables fisicoquímicas y biológicas en el estero de Urias, Sinaloa .. 80

Tabla 7. Resultados anuales del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas 83

Tabla 8. Resultados de los grupos formados en el análisis de conglomerados para meses y estaciones de muestreo 84

Tabla 9. Resultados de los grupos formados en el análisis de conglomerados para variables fisicoquímicas y biológicas 85

RESUMEN

Como consecuencia del incremento demográfico en Mazatlán y del desarrollo industrial costero de los últimos años, se ha elevado considerablemente el flujo hacia el ambiente marino de una gran variedad de materiales naturales y sintéticos, contribuyendo a modificar y deteriorar la zona costera. El estero de Urias, situado en el municipio de Mazatlán, constituye un ecosistema con una compleja trama de interacciones biológicas, fuertemente impactadas por las actividades humanas. El trabajo realizado consistió en un muestreo mensual durante un año (diciembre 2009 – noviembre 2010), donde se recolectaron muestras de las estaciones representativas de las condiciones existentes en el sistema de tal forma que se consideraran los efectos de las descargas industriales, acuícolas y de la zona urbana, conjuntamente con la zona de intercambio de agua del sistema estuarino y la bahía de Mazatlán. En cada estación se midió *in situ*, temperatura, salinidad, pH y OD, utilizando una sonda multiparámetro; se colecto una muestra de agua para la determinación espectrofotométrica de la concentración de nutrientes y clorofila *a* y para la determinación de SST, GyA, CT y CF en laboratorio. Con los resultados obtenidos se calculo el índice TRIX y el índice ICAC. Los parámetros ambientales (temperatura., OD, pH y salinidad) mostraron la misma tendencia al obtener los valores más altos en los meses de junio, julio y agosto. La DBO5, GyA y Chl *a*, no presentaron una variación importante por lo que no representan un problema para el estero. Por su parte los SST, CT, CF y nutrientes (amonio, nitritos, nitratos, fósforo y ortofosfatos), mostraron valores altos en la zona de asentamientos urbanos y donde se encuentran las granjas acuícolas, durante todo el año, resaltando los valores máximos en septiembre. La clasificación temporal del TRIX y del ICAC en el estero de Urías presentan la misma tendencia, ya que durante el periodo de lluvias (2010) corresponde a un nivel trófico alto (eutrófico) lo cual le confiere una calidad de agua pobre, durante la temporada de secas (2009 a 2010), presenta un nivel trófico medio (mesotrófico – eutrófico), cuya calidad de agua es de media a pobre. En general el estero de Urías es un sistema claramente impactado reflejando una pobre calidad de agua, lo que nos indica un nivel trófico muy alto, lo que nos indica una mala calidad del agua y altas concentraciones de contaminantes.

I. INTRODUCCION

El agua, como es bien sabido, es uno de los elementos más importantes de la naturaleza: es indispensable en los procesos de vida y conforma el hábitat tanto de microorganismos como de grandes comunidades acuáticas.

El agua cubre casi cuatro quintas partes de la superficie terrestre (71%), su volumen global es de 1,400 millones de km^3. Los océanos y mares almacenan el 97 % del agua. El 3 % restante es agua dulce, la cual el 2,997 % se encuentra en forma de hielo en los polos, glaciales y aguas subterráneas muy profundas difíciles de extraer. Solo el 0,003 % del volumen de agua en la tierra, es de fácil acceso para el hombre. Dicha agua se encuentra en lagos, humedales, agua subterránea aprovechable, vapor de agua atmosférico y en corrientes fluviales (Cruno, 2005).

México, cuenta con 112'336,538 habitantes, una superficie territorial de 1'964,375 km^2 y una superficie marítima de 3'188,031 km^2 (INEGI, 2011). México está conformado por 32 estados, 17 de ellos con límites costeros: once en el Océano Pacífico y Golfo de California (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas), cinco en el Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán) y uno en el Mar Caribe (Quintana Roo). La costa mexicana se extiende por 11,122.5 km de los cuales el 68 % corresponden al Océano Pacífico incluyendo el Mar de Cortés y 32 % al Golfo de México y Mar

Caribe en el Océano Atlántico; además cuenta con 16,000 km^2 de superficie estuarina y 12,000 km^2 de lagunas costeras (INE, 2001).

La zona costera es el sitio de transición entre los ambientes terrestre, oceánico y la atmósfera. Constituye una amplia y heterogénea región que mantiene intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas donde ocurre un dinámico intercambio de energía y materiales entre esos ambientes (INE, 2000; Ayala-Castañares *et al.*, 2003). Debido a su interacción entre distintos ambientes, la zona costera permanece en un constante estado de cambio, este cambio varía según el régimen hidrodinámico, el clima y la actividad biológica de cada sitio.

A partir de 1950, la zona costera se ha alterado al incrementarse la densidad demográfica (AMBIO, 1990) Las costas de México se han estado poblando a una tasa más alta, en comparación al promedio nacional (Aranda-Cirerol, 2001). El aumento de la población humana en la zona costera provoca el deterioro del medio ambiente, al requerir de mayores recursos de energía y materia, además de la inapropiada gestión y manejo de los desechos, ya que éstos ingresan al mar en grandes cantidades afectando la salud del ecosistema, esta alteración se ha manifestado con la disminución de la calidad de agua (Arrhenius, 1992; Goldberg, 1995; Epstein y Rapport, 1996; Vitousek *et al.,* 1997; Cloern, 2001).

1.1 Calidad del agua

La calidad del agua se puede valorar al identificar y medir sus cualidades, que se identifican con cuantificaciones químicas, físicas y biológicas, para poder calificarla. Del estudio de la calidad del agua se pueden inferir los contaminantes y procesos que la afectan, con el fin de implantar los valores máximos permisibles de contaminantes, cuyas concentraciones no pongan en estrés a la vida acuática y permita al ser humano aprovechar el agua para diferentes usos; los procesos son un conjunto de intercambios entre componentes, del mismo sistema acuático y entre sistemas, de transformaciones biogeoquímicas que cambian el hábitat (Aranda-Cirerol, 2001). La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua y la cantidad misma de agua de los ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación.

En México se da tratamiento del agua en al menos un 20 %, ya sea agua utilizada en servicios urbanos o industriales, esto significa que la inmensa mayoría del líquido se vierte a ríos, lagos o mares sin ningún tratamiento previo, ocasionando la contaminación de las zonas costeras.

1.2 Índices de calidad de agua

Con el fin de evaluar la calidad o grado de contaminación del agua se han desarrollado diversos índices de calidad tanto generales como de uso específico.

Un índice de calidad del agua consiste básicamente en una expresión más simple de los parámetros más o menos complejos, que sirven como medidas de calidad del agua. Un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color puede ser usado para representar el índice (Fernández *et al.,* 2004)

1.3 Eutrofización

El aumento en la presión sobre las zonas costeras es reflejado en el incremento de los desechos tanto orgánicos como inorgánicos que son incorporados, de los cuales más del 75 % de estos contaminantes tiene su origen en el uso urbano o rural de las tierras (GESAMP, Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution, 1994). Estos desechos originan la alteración de los ciclos biogeoquímicos de los ambientes costeros debido al incremento en la tasa de incorporación de nitrógeno y fósforo principalmente, favoreciendo el proceso de eutrofización (Galloway *et al.,* 2004; NRC, 2000).

El termino eutrofización es derivado del griego cuyo significado literal es *"resultado o efecto de una buena alimentación"* (Manahan, 1979). Inicialmente se definió como "el abastecimiento excesivo de los nutrientes nitrógeno y fósforo a los cuerpos de agua, con el consecuente crecimiento acelerado de

microalgas, que puede producir la muerte de peces al despojarlos del oxígeno que necesitan para vivir" (US-EPA, 1997). Recientemente y con la finalidad de dar una adecuada definición del fenómeno Aranda-Cirerol (2004) y Andersen *et al.* (2006) definieron a la eutrofización como "*el enriquecimeinto del agua por nutrientes, especialmente nitrógeno y/o fósforo y materia orgánica, que causa el incremento de algas y formas de plantas superiores que producen una inaceptable desviación en la estructura, función y estabilidad de los organismos presentes en el agua, así como en la calidad de ésta comparada con condiciones de referencia*".

El interés de estudiar el flujo de nitrógeno y fósforo en los cuerpos de agua, fue motivado por la degradación de los ecosistemas de agua dulce debido a la acumulación de estos nutrientes; así, el estudio del proceso de eutrofización se inició en los lagos y ríos (NAS, 1969). El proceso de eutrofización no era un foco de atención en la investigación marina y estuarina (Nixon 1995). Sin embargo, al verse alterada la producción primaria de los ecosistemas costeros, fue cuando se puso mayor interés en el estudio de la eutrofización en estos ambientes (Arrhenius, 1992)

I. JUSTIFICACION

La contaminación de los recursos hídricos es un problema cada vez más grave, debido a que estos se usan como destino final de residuos industriales y domésticos. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales.

Desde el punto de vista ambiental, la problemática en la costa de Sinaloa, incluye la modificación del entorno natural a través de la tala de manglar, el relleno de humedales, dragados, cambios de barreras y la construcción de marinas. Los problemas de contaminación se originan por descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua que pueden transportar basura, fertilizantes, agroquímicos, metales pesados, derrames accidentales de hidrocarburos y contaminantes industriales, así como las embarcaciones pesqueras también pueden contribuir a la degradación ambiental (Covantes, 2005). Los cuerpos de agua han sido utilizados tradicionalmente como lugar de descarga de aguas residuales, sin embargo con el incremento de la población se ha rebasado con mucho la capacidad de autodepuración (Figueroa, 2004).

Como consecuencia del incremento demográfico en Mazatlán y del desarrollo industrial costero de los últimos años, se ha elevado considerablemente el flujo hacia el ambiente marino de una gran variedad de materiales naturales y sintéticos, contribuyendo a modificar y deteriorar la zona costera (Páez-Osuna *et al.,* 1990). El estero de Urías constituye un ecosistema con una compleja trama de interacciones biológicas, fuertemente impactadas por las actividades humanas (Covantes, 2005).

El subsistema de Urías tiene altos niveles de contaminación, entrando en un proceso que según Covantes (2005) se está colapsando ecológica y económicamente, sin embargo, se siguen explotando: camarón, lisa, palometa, así como ostión de mangle. En su mayoría estos productos son expedidos localmente, lo que representa un riesgo potencial para la salud del público consumidor.

Toda la riqueza biótica del estero de Urías se encuentra amenazada por la presencia de la zona portuaria e industrial de Mazatlán, esta se encuentra expuesta a descargas de contaminantes que han sido calificados como potencialmente peligrosos. Entre las instalaciones industriales, portuarias y de servicios que operan en los márgenes del estero se encuentran: las industrias enlatadoras y congeladoras que descargan sus desechos en el canal PEMEX (congeladora Hielo del Pacifico y la Mazatleca) y Francisco I. Madero (Productos Kay) la industria pesquera (Pesca Azteca, PINSA y Atunes y Derivados), la termoeléctrica “José Aceves Pozos” de la Comisión Federal de Electricidad, una planta de bombeo y almacenamiento de PEMEX, conjuntamente con el muelle y bodega fiscal de la SCT. Todas estas empresas descargan sus desechos al subsistema acuático, estero de Urías. Además, actividades como la navegación pueden incrementar la concentración de grasas, aceites y algunos metales pesados.

El funcionamiento de las industrias mencionadas, la construcción del aeropuerto internacional “Rafael Buelna Tenorio”, el dragado del canal de navegación, la construcción de los muelles de la flota camaronera y sardinera, entre otros, han provocado alteraciones en los patrones de circulación y

recambio de masas de agua, así como la acumulación de materiales de desecho y de contaminantes vertidos al sistema (Galindo Reyes, 1987).

En esta investigación se estudia y determina la calidad del agua del estero de Urías, evaluando parámetros físicos, químicos y biológicos y comparándolos con normativas nacionales e internacionales, además de aplicar el uso de índices de calidad de agua que den una mejor perspectiva de la situación actual del sistema.

II. ANTECEDENTES

México cuenta con una gran cantidad de esteros y lagunas costeras y es indudable que constituyen una importante fuente de recursos naturales ya que estos sirven de zonas de crianza, reproducción o crecimiento de peces, moluscos, etc. Sin embargo, es muy poco lo que se conoce acerca de sus características y por tanto, son escasos los argumentos que puedan apoyar las decisiones tendientes al manejo y explotación de los recursos de estos ecosistemas (Álvarez-León, 1977).

Uno de los primero estudios realizados en México, fue el de Ortega-Salas y Stephenson (1976), cuando estudiaron a los nutrientes en la laguna de Yavaros, Sonora, reportando concentración de 3.0 µM a 84.0 µM y una concentración de nitratos de 49.0 hasta 90.0 µM, atribuyendo este incremento al uso de fertilizantes en la zona agrícola. Contreras-Espinoza (1991) realizo estudios en la Joya-Buenavista, Chiapas, detectando concentraciones de ortofosfatos de entre 0,1 a 5,0 µM, señalo que estos son la causa de los fenómenos de eutrofización. Maldonado-Alcudia e*t al*. (1980) realizaron mediciones de algunos parámetros químicos y biológicos del canal de navegación del estero de Urias, Sinaloa, registrando valores de temperatura de 26,75 ºC, una salinidad de 34,02 UPS, un pH de 8,22 y una concentración de Oxígeno Disuelto de 5,83 mg/L. Gonzales-Frías (1986) registro valores de temperatura en el canal de navegación del estero de Urias que van desde 19,3 a 33,2 °C, una salinidad de 30 – 37UPS y una concentración de Oxígeno Disuelto de 0,4 a 6,8 mg/L. De la Lanza-Espino y Rodríguez Medina (1993),

calcularon para la laguna Huizache-Caimanero, Sinaloa, una concentración de 75,5 µM de amonio y 67 µM de nitratos. Frías-Espericueta (1996) en su trabajo menciona que el estero de Urías en la zona del Infiernillo tiene una Demanda Bioquímica de Oxígeno de 3,3 mg/L, una concentración de Oxígeno Disuelto de 9.36 mg/L, Coliformes Totales de 11,000 NMP/100mL y Grasas y Aceites de 30 mg/L, esto lo atribuye a los vertederos de aguas residuales y urbanas que existen en la zona. Escobedo-Urias *et al.* (1999), realizaron un estudio en el sistema lagunar de San Ignacio-Navachiste, Sinaloa, y reportaron valores máximos para el caso de los nutrientes nitrogenados durante la época fría del año, atribuyendo que estos pudieran provenir de las descargas de aguas residuales, principalmente de origen agrícola, ya que en este tiempo es la temporada de hortalizas. Galindo-Reyes (2000), en su trabajo realizado en varios ecosistemas costeros de Sinaloa, registró valores para el estero de Urías de temperatura de un rango de 2,2 a 32,2 °C, una salinidad de 18 UPS a 37,3 UPS y concentraciones de Oxígeno Disuelto de 3,0 mg/L hasta 6,6 mg/L.

Un estudio realizado por la CONAGUA en 2001 para el estero de Urías, registra valores de temperatura de 29,17 °C, salinidad de 38.33 UPS, un pH 7,79, concentración de Oxígeno Disuelto de 4,63 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno de 1.52 mg/L, Grasas y Aceites de 7,32 mg/L, Coliformes Totales de 25,30 NMP/100mL, Coliformes Fecales de 14,74 NMP/100mL y una concentración de Sólidos Suspendidos Totales de 4,2 mg/L. Este estudio fue realizado con el fin de ser comparados con otros sistemas estuarinos, obteniendo como resultado que el estero de Urias, tiene condiciones únicas no comparables. Pérez-Verdugo (2007) registra valores de Temperatura de 23,5

°C a 37,6 °C con un promedio de 37,5 °C, una salinidad promedio de 37,7 UPS y una concentración de Oxígeno Disuelto de 3,64 mg/L para el estero de Urías.

Páez-Osuna *et al*. (1990) estimaron que las concentraciones de Fósforo para la boca y el canal de navegación del estero de Urías oscilaban entre 46,9 a 137,5 µM, atribuyendo estas condiciones a la marea que lleva de la planta de tratamiento El Crestón hacia la boca del estero. Mee *et al*. (1980) registró valores para el estero de Urías de 0.16 µM de nitritos y 0.35 µM de nitratos, asociados a las descargas de las granjas acuícolas que se encuentran en la cabeza del estero. Páez-Osuna *et al*. (1990) evaluaron el intercambio de Fósforo disuelto y suspendido entre la boca del estero de Urías y la bahía de Mazatlán, resalta que las concentraciones de Fósforo disuelto varían entre 0,49 µM – 1,45 µM y las concentraciones de Fósforo están entre 0,02 µM – 0,18 µM, esta situación, concluyo, está dada por el uso de fertilizantes no controlada en la zona agrícola. Frías-Espericueta *et al.* (2000) para el estero de Urías registra una concentración de nitratos de 2,684 µM, nitrógeno amoniacal de 0,536 µM y fosfatos de 1,564 µM. Pérez-Verdugo (2007) registra valores de clorofila a de 3,65 µM, nitratos de 16,40 µM y nitritos de 0,48 µM. Páez-Osuna y Pérez-Verdugo (2007) registran concentración de Clorofila *a* de 3,65 µg/L, nitritos de 0,48 µM y nitratos de 16,40 Mm, Morales-Soto *et al.* (2000) en su estudio menciona que en época de secas, los Sólidos Suspendidos Totales se encontraron mas elevados debido al viento y a la poca profundidad, alcanzando hasta 43,3 mg/L, además menciona que la concentración de Clorofila *a* presenta mayor correlación con las mareas, observando que esta disminuía con el flujo de marea durante las temporadas calidad y se incrementaba con el

reflujo. Según Monbet (1992) las concentración de Clorofila *a* en estuarios, durante el verano puede alcanzar los 50-80 mg/L cuando la carga de nutrientes es alta. La abundancia de este pigmento fluctúa ampliamente dependiendo de la estación climática, condiciones de luz, temperatura y nutrientes (Brower y Zar, 1977).

Los primeros trabajos sobre el proceso de eutrofización costera fueron presentados en 1990, motivados por una propuesta hecha por Vollenweider *et al.* (1992). En México, los estudios para determinar el estado trófico en sistemas impactados son escasos y la mayoría de ellos describen únicamente la distribución de la concentración de nutrientes y solo algunos usan un índice para determinar el estado trófico de esos ambientes costeros en ciclos anuales (Alonso-Rodríguez *et al.,* 2000). Aranda-Cirerol (2004) trabajo la aplicación del índice TRIX y de un índice de eutrofización en el noroeste de Yucatán, dando como resultado aguas oligotróficas según el Índice de eutrofización (IE) y aguas moderadas y altamente productivas según el índice TRIX. Mendoza-Salgado *et al.* (2005) realizo la propuesta de la aplicación del índice de calidad de aguas costeras ICAC, realizando los experimentos en las aguas del Golfo de California. Escobedo-Urías (2010) trabajo en las lagunas costeras del Norte de Sinaloa, Sistema Lagunar Topolobampo- Ohuira-Santa María, y Sistema San Ignacio-Navachiste-Macapule, utilizo el índice TRIX, obteniendo como resultados un nivel trófico para las lagunas de un estado mesotrófico a eutrófico.

Amparo-Galeana (2011) aplico el índice de eutrofización TRIX en un estudio realizado en la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Obtuvo una clasificación temporal del estado trófico TRIX en la bahía de Mazatlán, durante el periodo de secas cálidas corresponde a un nivel trófico medio (mesotrófico- eutrófico) y durante la temporada de secas frías presenta un nivel trófico bajo (oligotrófico), cuya calidad de agua es alta.

III. **HIPOTESIS**

Las diversas actividades antropogénicas que se desarrollan dentro del estero de Urías se han visto modificadas en los últimos años con la desaparición de algunos efluentes y el incremento de otros, así como la aplicación de la normatividad existente, situación que contribuye a mejorar la calidad del sistema estuarino.

IV. **OBJETIVOS**

5.1 Objetivo General

Evaluar la variación anual de la calidad del agua del sistema estuarino de Urías.

5.2 Objetivos Particulares

- Evaluar las variables físicas, químicas y biológicas del agua y compararlos con normas nacionales e internacionales y con información histórica.
- Evaluar la variación mensual de la calidad del agua por un periodo de un año.
- Evaluar la distribución de los contaminantes a lo largo del sistema estuarino de Urías.
- Valorar el estado trófico del sistema estuarino de Urías a escala espacial y temporal utilizando el índice de eutrofización TRIX y el índice de calidad de agua ICAC

V. MATERIALES Y METODOS

6.1 Área de estudio

El Estero de Urías está localizado al sur del estado de Sinaloa, en el municipio de Mazatlán, entre 23°09’00’ a 23°13’00’’ N y de 106°20’00’’ a 106°25’00’’ W. El área urbana y suburbana de Mazatlán, Sinaloa tiene aproximadamente 22 km de línea de costa: es considerada como una península debido a la presencia de lagunas y esteros que la mantienen parcialmente separada de tierra firme, tanto en su parte norte en donde estuvo el estero El Sábalo (hoy marina El Cid y marina Mazatlán), como por la parte sur donde se encuentra el estero de Urías” (Covantes, 2005).

El estero de Urías está delimitado al noroeste tiene el Puerto de Mazatlán y el poblado de Urías y al sur el poblado de la Isla de la Piedra (Figura 1). La boca que lo conecta con el Océano Pacífico y el Golfo de California es permanente, y se ubica en la parte occidental, teniendo 150 m de ancho y 12 m de profundidad (Montaño-Ley *et al*., 2000). Tiene aproximadamente 18 km^2 de superficie, un perímetro litoral de 23 km, una anchura que fluctúa entre 0,1 y 1,13 km (Ramírez-Zavala, 1998). El estero forma una escuadra que penetra tierra hasta aproximadamente 4 km hacia el noreste y luego gira hacia el sureste; el eje mayor es paralelo a la costa. Se encuentra en el extremo sur de la ciudad de Mazatlán (Covantes, 2005).

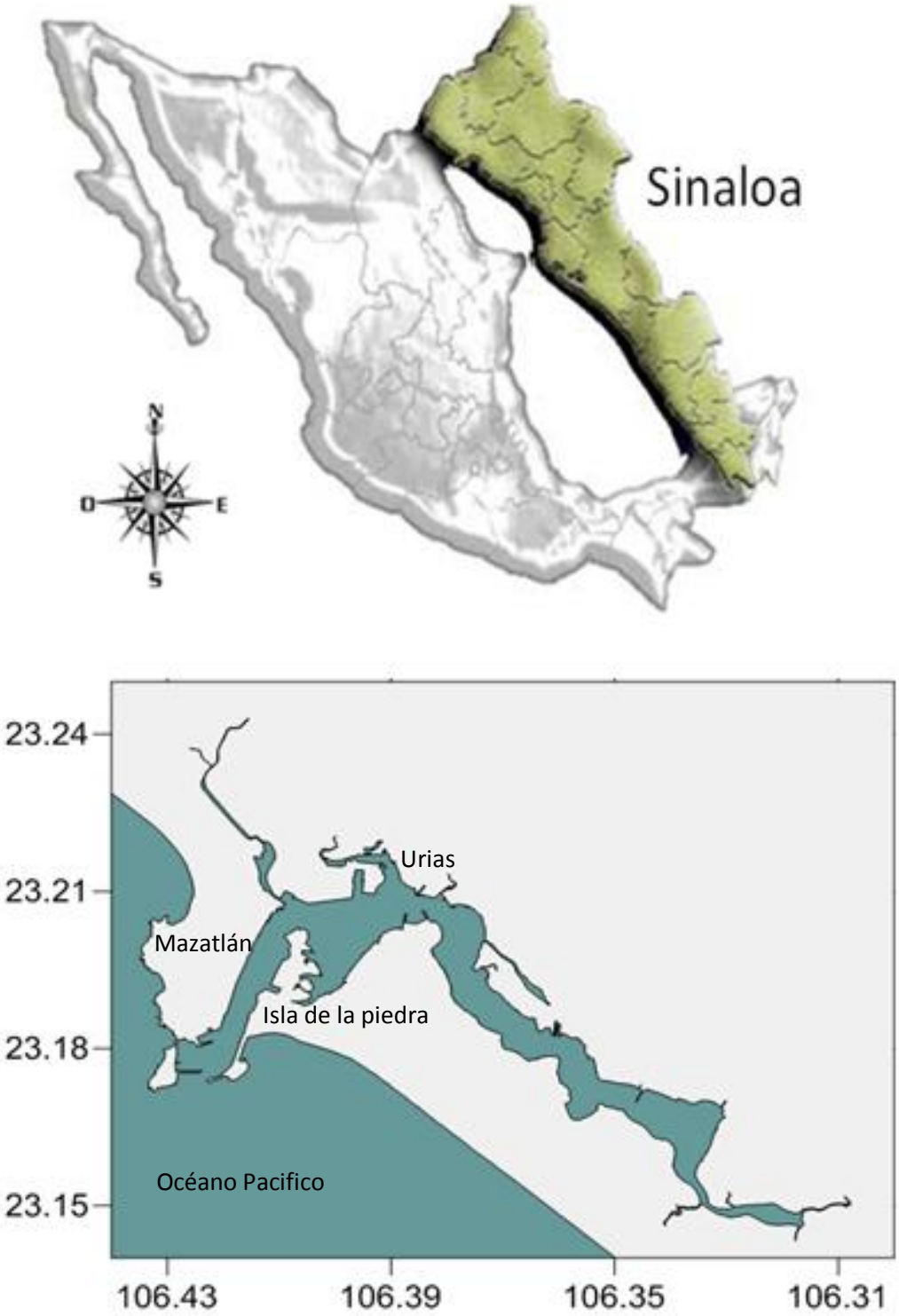

Figura 1. Estero de Urías, Sinaloa, México.

El Estero de Urías puede ser considerado como una laguna costera de tipo III-B de acuerdo con la clasificación de Lankford (1977), es una laguna costera con barrera de plataforma interna paralela a la costa. Puede considerarse como un estuario negativo ya que la pérdida de agua por evaporación excede a la entrada de agua dulce por precipitación y escurrimientos en época de lluvias. La salinidad varía de 32,9 a 38,7 UPS, No se observa gran diferencia entre la salinidad de fondo y de superficie (Ruelas-Inzunza, 1998). La salinidad se ha incrementado con la construcción del aeropuerto de Mazatlán, lo que elimino el aporte de agua dulce del río Presidio al sistema (Figueroa, 2004). El tiempo de renovación del agua es corto, de entre 5.5 y 6.5 días; sin embargo, en áreas tranquilas se acumula una cantidad apreciable de material sólido y contaminantes (Páez-Osuna *et al.*, 1990). Los contaminantes provienen principalmente de los escurrimientos de los campos agrícolas aledaños, de las descargas municipales y de las bodegas del muelle de la ciudad de Mazatlán (Figueroa, 2004), así como de la planta termoeléctrica, plantas de tratamiento, un escurrimiento de lixiviado proveniente del basurón, industrias y contaminantes provenientes de la zona de embarcación.

De acuerdo con Contreras-Espinoza (1993), el subsistema estuarino lagunar de Urías, se caracteriza geomorfológicamente hablando por ser una región de relieves altos de la línea de costa, mínimo derrame de agua, arroyos (jabalíes) con pequeñas cuencas de drenaje. El clima de la costa varía de semiárido a subhúmedo y llega a ser húmedo en el sur.

La diversidad biológica del estero de Urías está determinada por sus altas temperaturas superficiales de 24,0 a 31,5 ºC, sus condiciones particulares de 1.30 a 1.60 m de luminosidad para la vida estuarina. La productividad de este subsistema se debe a los numerosos subsidios de energía y a diferentes alternativas programadas de las actividades de los productores primarios y de los consumidores, procesos físicos y biológicos que enriquecen a estos ecosistemas.

Con respecto a lo flora en los alrededores del estero, esta ha sido alterada para permitir el crecimiento de la zona urbana. El tipo de vegetación natural que aun se puede encontrar en algunas zonas no alteradas corresponde a vegetación zonificada como selva baja caducifolia, manglares y halófitas.

6.2 Periodos de muestreo

Se realizaron muestreos durante 12 meses consecutivos, desde diciembre del 2009 hasta noviembre del 2010 con la finalidad de abarcar todas las condiciones climatológicas de la zona, distribuyendo 10 puntos de muestreo, abarcando los diferentes estadios de marea (marea muerta y marea viva) y solamente en bajamar, debido a que en la presencia de marea baja el estero de Urias se encuentra en las condiciones más críticas, con las mayores concentraciones de contaminantes no influenciadas con la mezcla del agua proveniente de la bahía, considerando así solamente las condiciones del estero.

Los 10 puntos de muestreo (Figura 2), son representativos de las condiciones existentes en el sistema, debido a que se realizó un recorrido por tierra y otro por mar para encontrar cuales eran los puntos clave, pudiendo registrar los efectos de las descargas de las industrias, granjas y de la zona urbana, así como el intercambio del sistema lagunar con la bahía de Mazatlán.

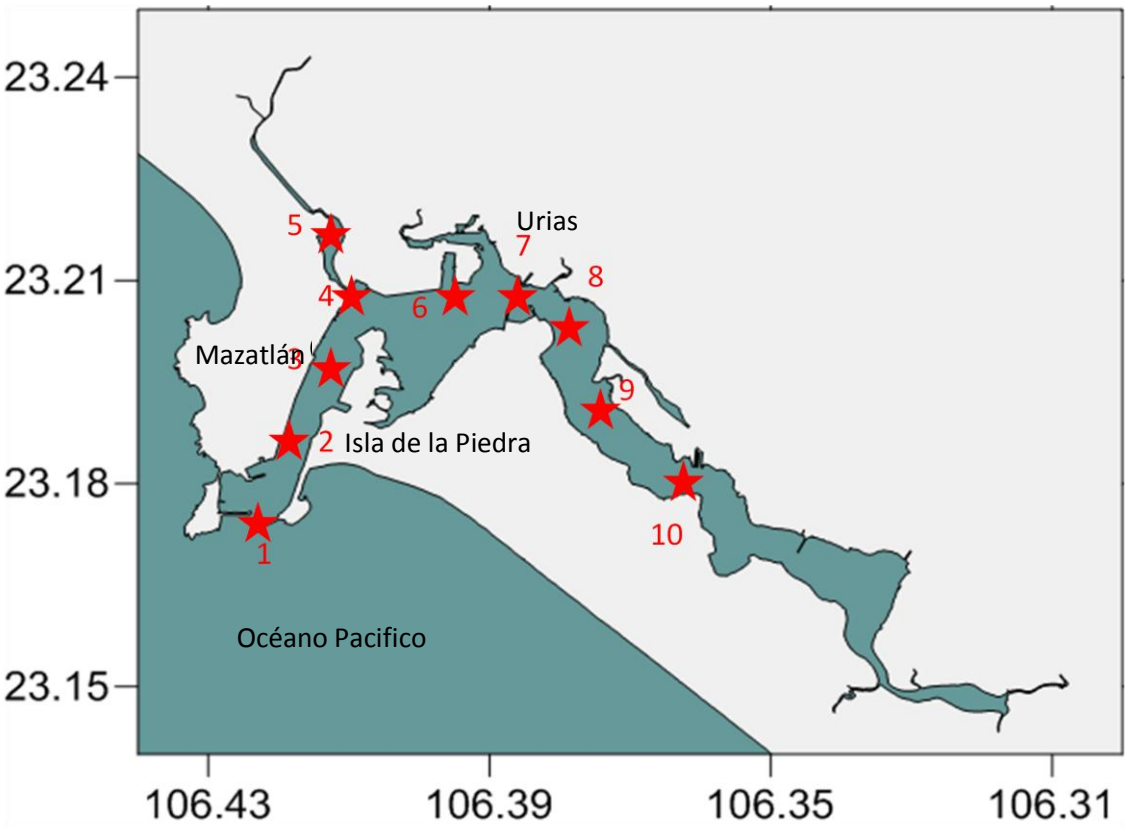

Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo en el estero de Urías

6.3 Análisis de campo

Para el muestreo en la bahía se ubicaron las estaciones (Tabla 1) con la ayuda de un GPS map 76s (Tabla 1). Las muestras se tomaron en la parte superior de la columna de agua a 20 cm por debajo de la superficie, estas fueron representativas de las condiciones existentes en el sitio y de la hora de muestreo. Para la recolección de muestras fue necesario utilizar guantes. Las muestras para grasas y aceites se recolectaron en frascos de vidrio con capacidad de 1 litro, estos recipientes fueron previamente lavados con hexano

para mantenerlos libres de grasas, asi solo fue medido el contenido de grasa o aceite del agua.

Tabla 1. Puntos de muestreo

Estación	Nombre	Latitud	Longitud
1	Boca	23°17'90.50"N	106°41'94.95"O
2	Canal navegación 1	23°18'97.28"N	106°41'44.08"O
3	Canal navegación 2	23°21'26.06"N	106°40'95.45"O
4	Boca Infiernillo	23°22'21.58"N	106°40'60.36"O
5	Estero Infiernillo	23°21'25.45"N	106°40'88.14"O
6	Canales urbanos	23°21'17.92"N	106°38'85.39"O
7	Frente a MazIndustrial	23°20'61.31"N	106°37'95.22"O
8	Agua Caliente	23°18'47.50"N	106°37'34.86"O
9	Frente a Termoeléctrica	23°17'23.06"N	106°36'34.00"O
10	Frente a PTAR El Castillo	23°14'15.09"N	106°33'81.31"O

Las muestras para la determinación de coliformes totales y fecales fueron recolectadas en bolsas herméticas de calidad bacteriológica, para la recolección de esta muestra fue necesario utilizar guantes bacteriológicos para no traspasar coliformes de las manos a la muestra.

Para las determinación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos, se recolecto una muestra en recipientes con capacidad de 3.5 litros, esta muestra se tomo realizando tres lavados previos del recipiente con la misma agua del mar para ambientar el recipiente. Una vez recolectadas las muestras se colocaron en hieleras a una temperatura menor a 4 ºC.

Para la medición de materia flotante se utilizo un tamiz #6 y para la transparencia se utilizo el disco de Secchi. En cada estacion de muestreo se utilizo una sonda multiparamétrica HIDROLAB DS5X, previamente calibrada, los sensores instalados en esta sonda permitieron la medición de la concentración de Oxígeno Disuelto, porcentaje de saturación de Oxígeno, pH, temperatura y salinidad, la sonda se instalo en la parte trasera de la lancha, en contacto constante con el agua para obtener mediciones continuas cada 30 segundos y en cada uno de los puntos muestreados.

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio donde se realizarán los análisis correspondientes. En el caso de las muestras bacteriologicas no pasaron más de 6 horas después de la recolección para su análisis, para las muestras de DBO_5 no más de 24 horas y por ultimo para las muestras de sólidos y grasas y aceites no más de 28 días.

6.4 Análisis de laboratorio

Los análisis se realizaron en Laboratorio de Química y Productividad Acuática en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Mazatlán mediante las siguientes técnicas (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros físicos, químicos y biológicos analizados para el estero de Urias.

Parámetro	Unidades	Método	Referencia
Temperatura	°C	HIDROLAB DS5X	-
Salinidad	UPS	HIDROLAB DS5X	-
Oxigeno disuelto	mg/L	HIDROLAB DS5X	-
pH		HIDROLAB DS5X	-
Transparencia del agua	metros	Disco Secchi	Carlson (1995)
Amonio	µM	Colorimétrico	Parsons *et al.* (1984).
Nitrito	µM		Parsons *et al.* (1984).
Nitrato	µM	Reducción con cadmio/colorimétrico	Parsons *et al.* (1984).
Fosforo	µM	Espectrofotométrico	NMX AA-029-SCFI-2001. Parsons *et al.* (1984).
Ortofosfatos	µM	Espectrofotométrico	Parsons *et al.* (1984).
Clorofila a	µg/L	Espectrofotométrico	Parsons *et al.* (1984).
Sólidos Susp. totales	mg/L	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2001
Grasas y aceites	mg/L	Reducción con hexano	NMX-AA-005-SCFI-2000
DBO_5	mg/L	Colorimétrico	NMX-AA-028-SCFI-2001
Coliformes Totales	NMP/100	Dilución	NMX-AA-042-1987
Coliformes Fecales	NMP/100	Dilución	NMX-AA-042-1987

6.5 Técnicas analíticas

Los métodos utilizados para el análisis de los parámetros estudiados se enlistan en la Tabla 2, mismas que a continuación se describen brevemente.

Determinación de amonio

La determinación de amonio se realizo debido a que el amonio presente en la muestra de agua reacciona con hipoclorito de sodio en medio alcalino, en presencia de fenol y nitriprusiato de sodio, para formar un compuesto de indofenol el cual tiene su máxima absorción a 640 nm (Parsons *et al.* 1984).

Determinación de nitritos

Los nitritos se analizaron con un método colorimétrico, en el cual el nitrito presente en la muestra reacciona con sulfanilamida en medio acido, luego se le hace reaccionar con N-1-naftiletilendiamina dando origen a un compuesto azo altamente colorido, con absorbancia máxima de 543 nm (Parsons *et al.* 1984).

Determinación de nitratos

El método para la reducción de nitratos se basa en la reducción cuantitativa de nitratos a nitritos en una columna de limaduras de cadmio cubiertas con cobre coloidal, en presencia de cloruro de amonio el cual produce

un efecto buffer en la disolución y forma un complejo de cadmio que ha sido oxidado durante la reducción de nitrato (Parsons *et al.* 1984).

Determinación de Fósforo Total

Los compuestos de Fósforo orgánico e inorgánico se oxidan a ortofosfatos bajo presión con persulfato de amonio en disolución acida. Se determina colorimétricamente como se describe en la determinación de ortofosfatos (Parsons *et al.* 1984).

Determinación de ortofosfatos

Los ortofosfatos se analizaron con un método colorimétrico, en el cual el ortofosfato presente en la muestra reacciona con molibdato de amonio en medio acido, luego se le hace reaccionar con una solución mixta de ácidos dando origen a un compuesto con absorbancia máxima de 885 nm

Determinación de Clorofila *a*

Para la determinación espectrofotométrica de clorofila a, los extractos con acetona al 90 % deben ser acidificados con acido clorhídrico. Las lecturas se obtienen a 665 nm antes y después de la acidificación, corregidas por la lectura a 750 nm (blanco) (Parsons *et al.* 1984).

Determinación de Sólidos Suspendidos Totales

Para este propósito se hace pasar un determinado volumen de agua a través de membranas de nitrocelulosa (0,45 µm) en crisoles tipo goch, hasta llegar a la saturación de la misma. Posteriormente se le pasa una pequeña cantidad de agua desionizada para eliminar sales, los crisoles se llevan a la mufla a 106°C, por 30 min, se sacan, se dejan enfriar por 1 h y se pesan. Por diferencia de pesos se determina la cantidad de Sólidos Suspendidos presentes en la muestra (NMX-AA-034-SCFI-2001).

Determinación de Grasas y Aceites

Para la determinación de grasas y aceites es necesario preparar un filtro con la ayuda de tierra de diatomeas, se hace pasar la muestra por el filtro, este es llevado al equipo soxhlet que trabaja con hexano puro haciendo que el agua de la muestra sea evaporada y liberada, dejando solamente las grasas y aceites, la determinación se hace por diferencia de pesos entre los cartuchos (NMX-AA-005-SCFI-2000).

Determinación de DBO_5

La determinación de DBO_5 se basa en la saturación de oxigeno en una botella de tipo Winkler en dos etapas, las primeras botellas se tratan el primer día y las segundas botellas en el quinto día. Cada botellas se fija con sulfato manganoso, alacli-yoduro-azida y acido sulfúrico, para después ser titulada con tiosulfato de sodio pentahidratado. Al quinto día se fijan las botellas restantes,

la diferencia de mL gastados de tiosulfato al primer y quinto día, representa la cantidad de oxigeno medido (NMX-AA-028-SCFI-2001).

Determinación de Coliformes Totales y Fecales

La determinación de coliformes se realizo por diluciones de -4 hasta -7 según la estación de muestreo. Los coliformes crecen a una temperatura determinada por lo que se forzan a crecer en caldo lactosado a 35 °C por un tiempo de 24 a 48 h, los tubos positivos se resiembran en caldo verde billis brillante para el crecimiento de coliformes totales A 35 °C y en medio E.C. para el crecimiento de coliformes fecales a 44 °C, por un periodo de 24 a 48 h (NMX-AA-042-1987).

6.6 Índice de estado trófico (TRIX)

El índice TRIX propuesto por Vollenweider *et al.*, (1998), es útil para comparar información en un amplio intervalo de situaciones, al conjugar factores, que están directamente relacionados con la productividad (la clorofila *a* y el oxígeno disuelto), y con los nutrientes (nitrógeno y fósforo), de acuerdo a la ecuación:

$$\mathbf{TRIX = \log (Chl\mathit{a} * a\%OD * NID * FT) + 1{,}5 / 1{,}2}$$

Donde:

TRIX: índice del estado trófico

Chl *a*: concentración de Clorofila *a* en µg/L

a%OD: valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, es decir |100 - %OD|

NID: nitrógeno inorgánico disuelto ($N\text{-}NO_2^-$ + $N\text{-}NO_3^-$ +$N\text{-}NH_4^+$), en µg/L

FT: concentración de fósforo total en µg/L

El TRIX tiene valores entre 1 y 10 (Tabla 3). Estos niveles representan una variedad de situaciones tróficas con una resolución muy fina, relacionadas con un ambiente costero desde condiciones oligotróficas a eutróficas.

Tabla 3. Escala TRIX (Penna *et al.,* 2004)

TRIX	**Calidad del agua**	**Características del agua**
2-4	Alto	Aguas poco productivas. Nivel trófico bajo.
4-5	Bueno	Aguas medianamente productivas. Nivel trófico medio.
5-6	Malo	Aguas entre productividad media y alta. Nivel trófico alto.
6-8	Pobre	Aguas de alta productividad. Nivel trófico muy alto.

Las constantes 1.5 y 1.2 se refieren respectivamente, a los valores mínimos de las variables que componen el índice y a los 8 niveles de jerarquía en que está diseñado, es decir, que el TRIX tiene valores entre 2 y 8 (Tabla 3). Estos niveles representan una variedad de situaciones tróficas con una resolución muy fina, relacionadas con un ambiente costero desde condiciones oligotróficas a eutróficas. Valores cercanos a 8 indican una fuerte eutrofización, caracterizados por altas concentraciones de nitrógeno, fosforo y clorofila *a*, además de una baja en el contenido de oxígeno, mientras que, cuando los valores del índice se aproximan a 2, indican aguas con bajo impacto antropogénico (Damar, 2003).

6.7 Índice de calidad de aguas costeras ICAC

Este es un modelo propuesto por Mendoza-Salgado *et al.* (2005), sirve para evaluar la variabilidad ambiental de las aguas costeras basado en los efectos perjudiciales de las principales variables capaces de modificar las condiciones del agua, siendo en este caso los nitratos, nitritos, amonio y fosforo. La ecuación utilizada es:

$$\text{ICAC} = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_i \zeta_i}{\sum_{i=1}^{n} \zeta_i}$$

Donde:

ICAC: índice de calidad del agua costera

I*i* *ζi:* índice de calidad para el parámetro i

n: Número total de parámetros

Para obtener el índice de calidad de cada parámetro es necesario utilizar las siguientes ecuaciones:

Nitrito $I_{NO2} = 0.0359\ (NO_2)^{-0.32}$, $\zeta = 0.027$

Nitrato $I_{NO3} = 0.0864\ (NO_3)^{-0.27}$, $\zeta = 0.004$

Amonio $I_{NH4} = 0.0359\ (NH_4)^{-0.565}$, $\zeta = 0.160$

Fosforo $I_{NO2} = 0.0183\ (PO_4)^{-0.794}$, $\zeta = 1.0$

Mendoza *et al.,* (2004), propone como límite para el ICAC el valor de 0.12, dando como resultado un ICAC menor a 0.12 una calidad de agua mala, y mayor a 0.12 una calidad de agua buena.

6.8 Tratamiento de los datos

Una vez concluidos los análisis físicos, químicos y biológicos con los datos obtenidos se elaboró una matriz donde se tomo en cuenta todos los parámetros medidos en cada estación por cada mes de muestreo, estos se analizaron calculando las medidas descriptivas media, desviación estándar, valor mínimo y máximo.

Se presentan graficas de círculos comparando los patrones de variación estacional con la temporal de todas las variables medidas, se muestra el valor de cada parámetro para cada estación en cada mes, además muestra la mediana (dato central que ordena los valores de menor a mayor) representada con un punto al centro, la desviación estándar esta representada con las líneas arriba y abajo o a izquierda o derecha de la mediana. Después de probar que los datos no seguían una distribución normal, se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas a las variables medidas: la prueba de Mann-Whitney para dos muestras independientes para estudiar las diferencias significativas entre los los meses de muestreo y las estaciones. Además se realizó un análisis de conglomerados con el fin de agrupar las estaciones de muestreo con base al comportamiento de todas las variables estudiadas. El análisis de conglomerados es una técnica multivariable que busca agrupar las estaciones de muestreo tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y las mayores diferencias entre los grupos. El análisis estadístico de los datos fue procesado con el paquete estadístico Statsoft STATISTICA versión 7 y en SigmaPlot 11.0.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1 Variación espacio-temporal de las variables de calidad de agua

7.1.1 Temperatura

En la Figura 3 se observa el comportamiento de la temperatura durante el periodo 2009 - 2010 en las 10 estaciones de muestreo, obteniendo un valor mínimo de 23,21ºC y un máximo de 37,40 ºC, con un promedio de 27,88 ± 3,07 ºC. De manera particular en el mes de agosto se registraron las temperaturas más altas, obteniendo un promedio de 33,54 ± 1,49 ºC, con un valor mínimo de 32,80 ºC y un máximo de 37,13ºC. En los meses de marzo y noviembre las temperaturas no se registraron por fallas de la hidrosonda.

Los resultados obtenidos muestran fluctuaciones en los valores de temperatura producto de la estacionalidad, ya que se midieron los valores máximos de temperatura en meses cálidos y mínimos durante los meses fríos, lo cual corresponde al máximo y mínimo de irradiación solar respectivamente presentando valores bajos de 27,09 ± 2,45 ºC en los meses de temporada de secas (diciembre 2009 – junio 2010 y noviembre 2010) y valores altos de 30,51 ± 3,02 ºC en temporada de lluvias (julio – octubre 2010).

Este comportamiento es similar al registrado por Maldonado-Alcudia *et al*. (1980) quien registro un promedio general de 24.4 - 30.5 °C, observando un aumento y disminución de temperatura de acuerdo a la época del año. Esta situación es muy similar a la reportada por Pérez-Verdugo (2007), ya que reportó una temperatura promedio de 31.5 ºC en lluvias (2009 a 2010) y 23.3 ºC en secas cálidas (2010). La temperatura estuvo relacionada a la irradiación incidente, existiendo diferencias estacionales durante el periodo de muestreo, además de las condiciones existentes en el sistema, ya que la temperatura más alta registrada fue en la salida de la termoeléctrica "José Aceves Pozos" de la Comisión Federal de Electricidad, conocida como "agua caliente" con una temperatura promedio de 37,26 ± 0,19 ºC en los meses de julio y agosto, valores similares a los reportados por Pérez-Verdugo (2007) quien registro un valor promedio de 37.62 ± 5.15 ºC, en las zonas más internas al estero se presentaron las temperaturas más altas probablemente relacionadas por un mayor efecto de la radiación solar en un ambiente, debido a la menor profundidad del sistema por la gran cantidad de material en sedimentación aportado a través de la extensa red de drenaje agrícola somero (De la Lanza-Espino, 1994; Aubriot *et al.,* 2005).

La temperatura es una de las variables ecológicas más importantes que junto con la salinidad y el pH contribuyen a determinar el comportamiento de los organismos que habitan este tipo de ecosistemas (Chávez-Ortiz, 1978), ya que la mayoría de los organismos marinos que habitan zonas costeras, esteros y lagunas costeras parecen tolerantes a los cambios (Covantes, 2005).

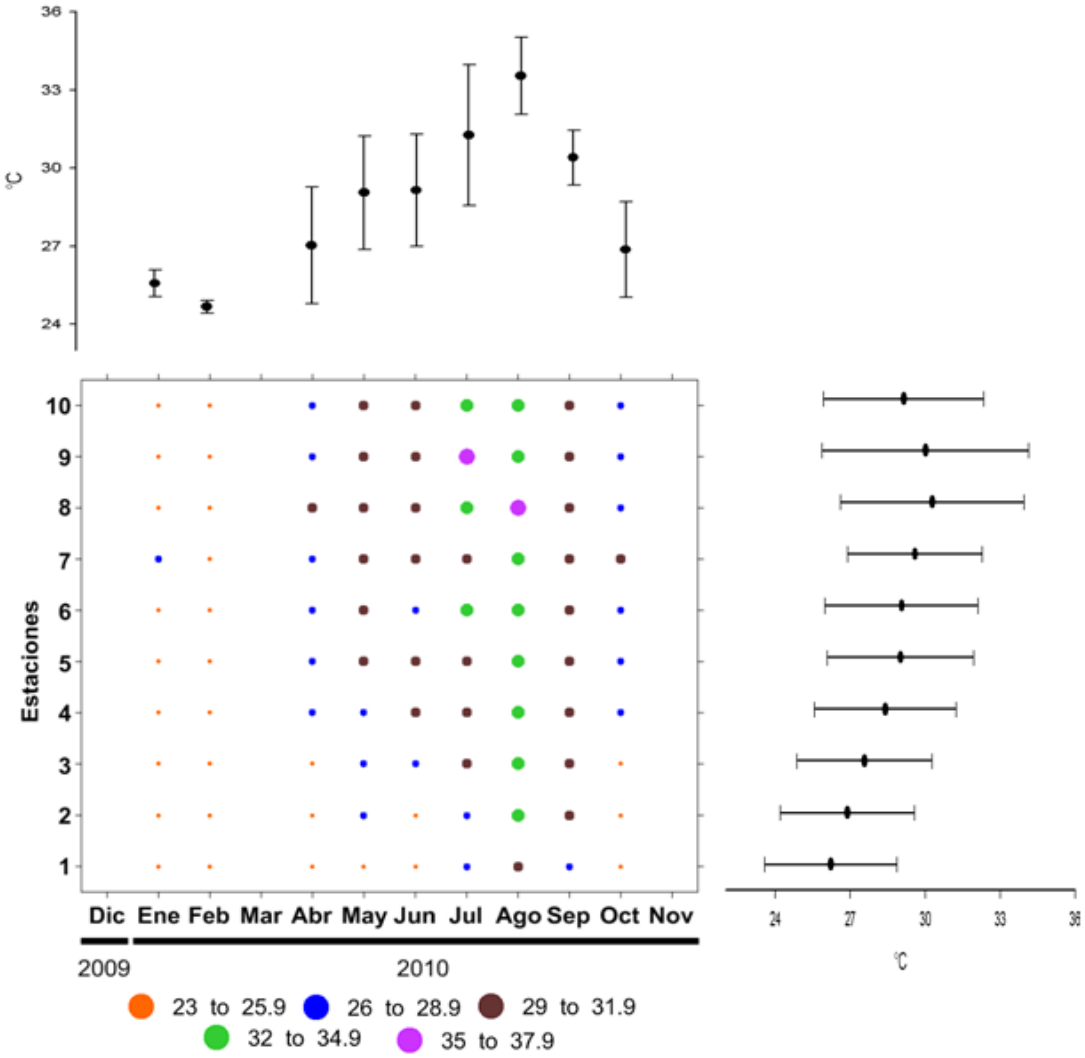

Figura 3. Variación espacio-temporal de la temperatura (ºC), durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa.

7.1.2 Salinidad

El comportamiento de la salinidad durante el periodo de 2009 – 2010 en las 10 estaciones de muestreo, se muestra en la Figura 4, donde se presenta una salinidad homogénea en la mayor parte del estero y durante el periodo de muestreo, se registro mayor salinidad en la estación 10 obteniendo un promedio fue de 36,16 ± 3,4 UPS con un valor mínimo en la estación 5 en el mes de septiembre de 16,89 UPS y un valor máximo de 39,33 UPS en la estación 1 en el mes de Junio.

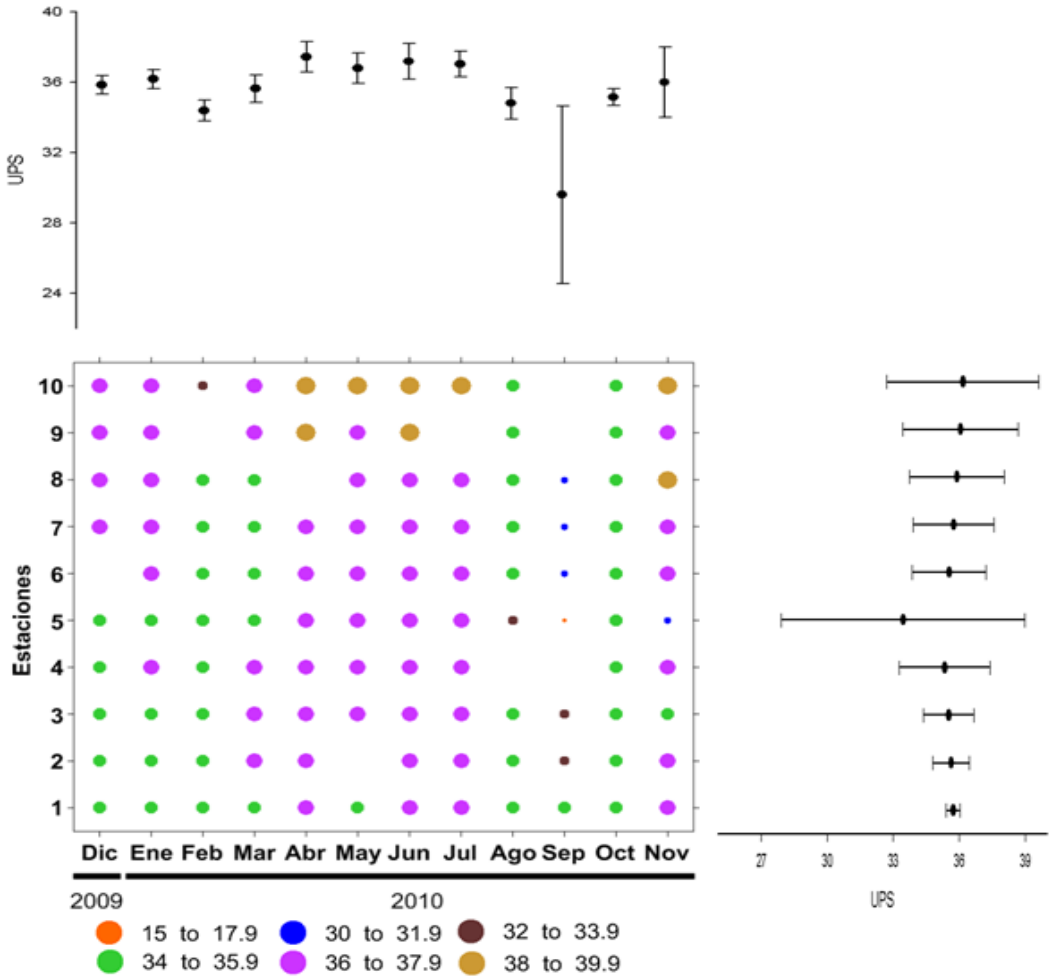

Figura 4. Variación espacio-temporal de la salinidad (UPS), durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa.

En general se registro para el estero un máximo de 39,33 UPS y un mínimo de 16,89 UPS siendo en promedio de 35,50 ± 2,6 UPS. Las estaciones que no presentan valores, es debido a que el dato no se registró.

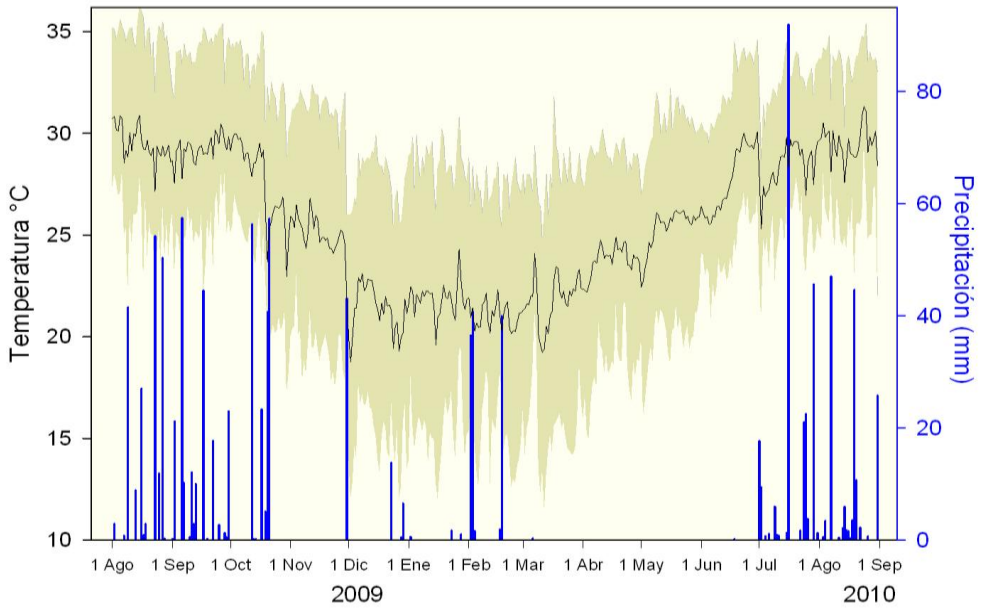

Figura 5. Distribución de la precipitación en Mazatlán, Sinaloa (2009-2010).

La salinidad en las lagunas costeras muestra variaciones considerables tanto en el espacio como en el tiempo, ya que algunas de ellas reciben afluentes de ríos cuyo volumen cambia en cada estación, u otras, en su carácter de receptoras de aguas residuales, reciben aportes dulceacuícolas que alteran su contenido de sales disueltas (Ffyn, 1969). Esta situación es similar a la que presenta el estero de Urías ya que se observan las menores salinidades en las zonas de la boca del estero con un promedio de 35,72 ± 0,32 UPS y fue aumentando hasta llegar a la cabecera del estero con salinidades de 36,11 ± 2,99 UPS, Morales (2006) afirma esta situación ya que en su estudio determino que la mayor salinidad ocurrió en la cabecera lagunar con 40 UPS y disminuyó hacia la boca, donde llegó a ser de 37 UPS. Una de las zonas que

presento mayor salinidad fue en la termoeléctrica, presentado valores de 36,05 ± 2,01 UPS, valor ligeramente inferior al registrado por Pérez-Verdugo (2007) de 38.83 ± 1.33 UPS, las altas salinidades en esta estación se deben a que ésta se encuentra ubicada en la región media interna del sistema lagunar y por tanto tiene menor circulación y mezcla con el agua de origen marino, predominando la evaporación sobre los procesos de mezcla, de dilución con aportes continentales (Álvarez-León, 1977)**.** La zona de las granjas acuícolas de la zona, corresponde a la parte de la cabecera donde se registran valores de 36,16 ± 3,45 UPS, Quiñones-Gallardo (2008) registró valores de 36.8 ± 2.5 UPS para esta zona se le puede relacionar estas salinidades a el tiempo de cultivo de las granjas. Temporalmente, en el mes de septiembre se presentan las salinidades más bajas, adjudicadas a un evento de abundantes precipitaciones (Figura 5) en promedio presento 29,60 ± 5,05 UPS, de manera específica en la estaciones 4 y 5 (Estero del Infiernillo) presenta salinidades muy bajas de 29,54 y 16,89 UPS respectivamente, debido a la influencia de los arroyos que vienen de la zona urbana del municipio de Mazatlán, además del efecto que causa la lluvia, lo que hace que predomine el agua dulce.

La salinidad es considerada como una variable importante en el estudio de aguas costeras, interviene directamente sobre las características fisicoquímicas del agua del mar relacionándose con la temperatura, la densidad y el pH; caracteriza las masas de agua oceánicas e influye en la distribución de los seres vivos, ya que sus estructuras y funcionamiento están íntimamente ligados a las variaciones de la salinidad (Álvarez-León, 1977)**.**

7.1.3 pH

En cuanto al comportamiento del pH (Figura 6) para el estero en el mismo periodo, se dio de la siguiente manera, en general se presento un pH promedio de 7,80 ± 0,25, el pH más alto se registro en la estación 5 en el mes de agosto con un valor de 8,54 y el más bajo fue de 7,31 en la estación 10 en el mes de febrero. El mes de junio presento en su mayoría de estaciones de muestreo los valores de pH más altos. Los datos que no aparecen no se registraron.

El pH tiene mucha importancia en los sistemas acuáticos naturales y controlados porque determina las formas y especies químicas predominantes de diversos elementos en las aguas y sedimentos en conjunto con el potencial de oxido-reducción (Millero, 2006). Aguas con valores por debajo de 6.5 y por encima de 9 durante largos periodos pueden afectar el desarrollo y reproducción de los peces (Boyd, 1982). El agua oceánica es ligeramente alcalina, y el valor de su pH está entre 7.5 y 8.4 este puede variar en función de la temperatura; si ésta aumenta, el pH disminuye y tiende a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, de la presión o profundidad y de la actividad vital de los organismos marinos (Arana-Cirerol, 2001). Esta variable no presento grandes variaciones a lo largo del estudio, se mantuvo en promedio general con 7,80 ± 0,25, en la época de lluvias (2009 – 2010) presento un promedio de 7,91 ± 0,21, misma época en que la salinidad y la temperatura aumento, en la época de secas (2010) el pH disminuyo ligeramente a 7,74 ± 0,25, recordando que en esta época se presentaron las

mayores temperaturas y una concentración de salinidad altas. De manera temporal y estacional, los valores más altos se dieron en el mes de agosto en las estaciones 4 y 5, correspondientes a la boca y cuerpo del estero del Infiernillo con valores de 8,48 y 8,54 respectivamente ocasionado también la disminución de temperatura y salinidad de esta zona, Pérez-Verdugo (2007) afirma esta situación ya que en su trabajo menciona haber encontrado valores de 8,11 ± 0,1 en esta zona, valores cercanos a los encontrados en el presente estudio.

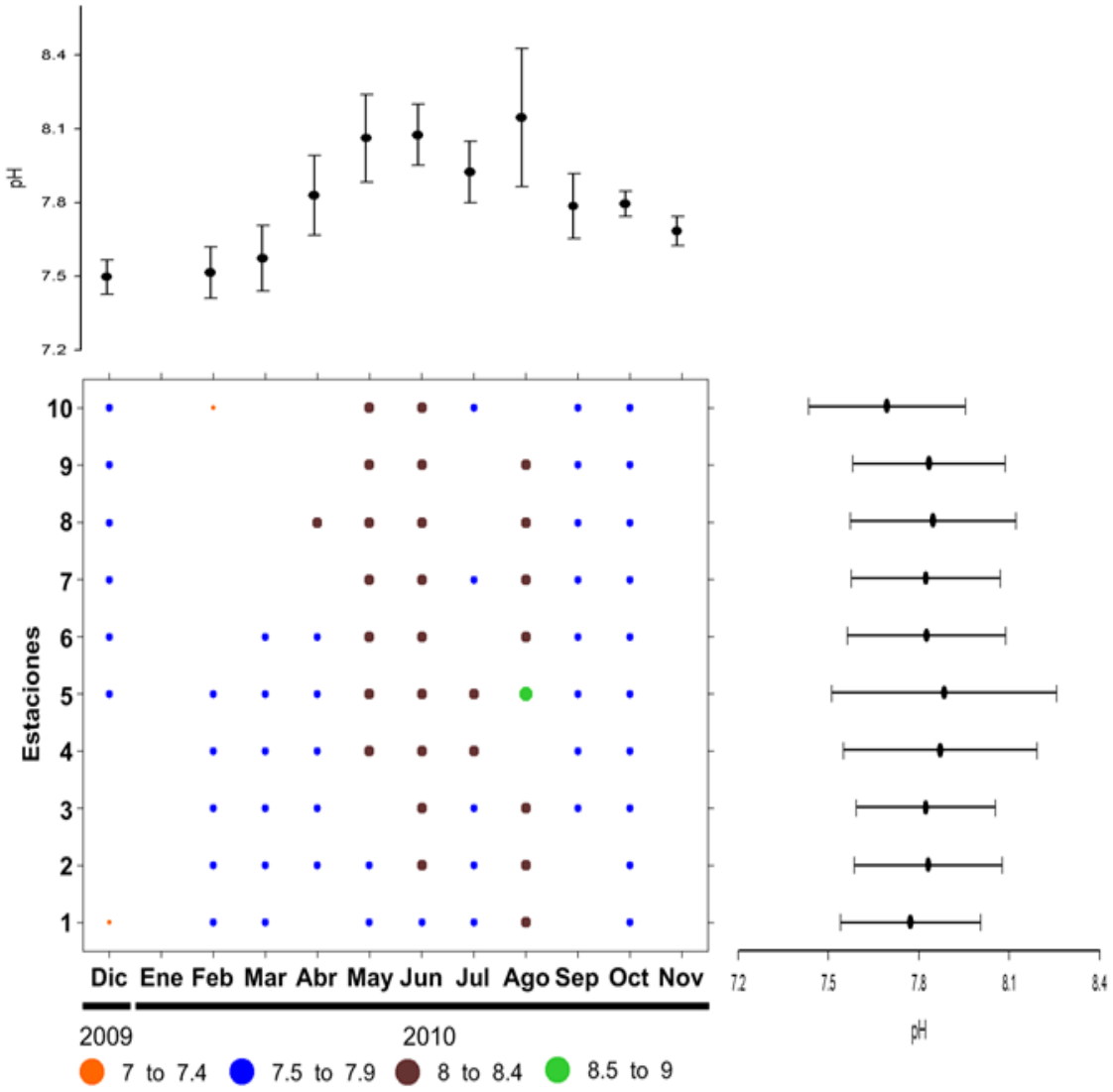

Figura 6. Variación espacio-temporal del pH durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa.

En general el pH permanece constate en el área de estudio, con excepción de el aumento que presento en la zona urbana (Infiernillo), el pH puede variar por procesos biogeoquímicos naturales o por descargas de naturaleza ácida o básica (Pérez-Verdugo, 2007), como fue comprobado por Osuna-López *et al.* (1994)**,** que registraron un intervalo de 6.7 a 7.7 para los cinco días después de un evento de descargas urbanas masiva.

7.1.4 Oxigeno Disuelto

La distribución de concentración de Oxígeno Disuelto se presenta en la Figura 7, con un valor mínimo de 0,77 mg/L y un máximo de 16,7 mg/L, obteniendo así un valor promedio de 5,74 ± 1,96 mg/L para todas las estaciones durante todo el año. En los meses de julio y agosto se presentaron los valores mas altos en las estaciones 4, 5 y 6 siendo 13,61 mg/L, 16,5 mg/L y 16,7 mg/L respectivamente.

La concentración del oxígeno disuelto en los ecosistemas acuáticos es considerada un parámetro no-conservativo ya que, junto con el bióxido de carbono, interviene en los procesos biológicos fundamentales de fotosíntesis y respiración. En particular, el oxígeno disuelto en las aguas naturales es consumido por los procesos de respiración y de oxidación de materia orgánica disuelta o particulada, sedimentada o en suspensión (Osuna- López *et al.,* 1994; Frías-Espericueta *et al*., 2005). En el presente estudio se registro un

valor promedio para la temporada de lluvias (2010) de 5,99 ± 3,07 mg/L mientras que en época de secas se obtuvo un valor de 5,62 ± 1,05 mg/L, el valor más alto corresponde a la zona donde se ubica la termoeléctrica, Pérez-Verdugo (2007) reporto los valores más altos de oxígeno disuelto en la termoeléctrica en el mes de abril, información coincidente con la de este trabajo.

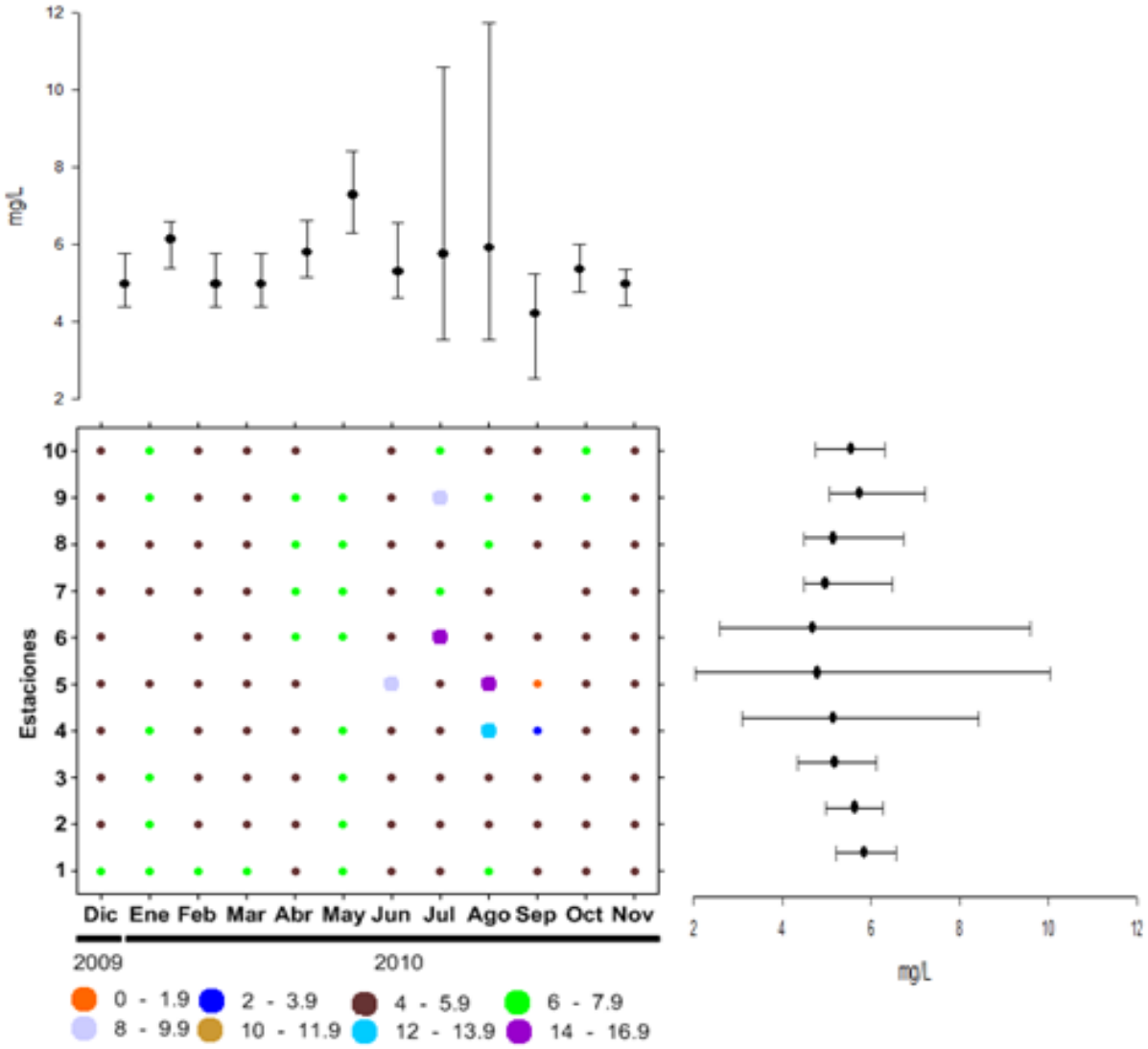

Figura 7. Variación espacio-temporal de oxígeno disuelto (mg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa.

Las altas concentraciones pueden ser consecuencia del incremento en la solubilidad y las temperatura bajas generada por la tendencia estacional que provoca una menor concentración de clorofila *a* (Newton y Mudge, 2005), Ceseña-Celis y Álvarez-Borrego (1975), mencionan también que generalmente el oxígeno disuelto presenta características opuestas a la temperatura y salinidad. Los valores más bajos de oxígeno disuelto fueron de 3,89 ± 1,35 mg/L y se encontraron en septiembre, lo cual corresponde al final de la temporada de lluvias, debido al incremento en el material orgánico suspendido (Moran-Silva *et al*., 2005). Estas concentraciones se midieron en la zona del estero del Infiernillo, debido a una mayor utilización de oxígeno en esa área para la oxidación de las grandes cantidades de materia orgánica incorporadas, comportamiento que se ha observado también en otras lagunas costeras del estado de Sinaloa (Escobedo, 1999).

7.1.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno

En la Figura 8 se muestran los valores de DBO_5 para las 10 estaciones de muestreo, registrando valores no detectables en la estación 1 en el mes de octubre y un máximo de 7,13 mg/L en la estación 9 en el mes de julio. El mes de febrero presento un promedio más alto que los otros meses, arrojando un valor de 4,10 ± 1,45 mg/L. en general se presenta mucha variación en las concentraciones de DBO_5 durante todo el año.

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida del contenido de materia orgánica total en el agua, siendo los desechos metabólicos y la actividad de los autótrofos las fuentes principales de materia orgánica en los sistemas. Estas concentraciones pueden ser muy variables dependiendo de la localidad (De la Lanza, 1994). Al igual que los resultados presentados por Ochoa-Izaguirre (1999), en este trabajo la demanda bioquímica de oxígeno, presento variaciones notables entre las estaciones, registrando en temporada de secas (diciembre 2009, enero – junio 2010) valores promedio de 2, 475 ± 1,36 mg/L y para lluvias un valor promedio menor de 2,109 ± 1,64 mg/L, esta tendencia es parecida a la registrada por Ochoa-Izaguirre (1999). Morales-Serna (2006) publico valores de 5,14 mg/L para el mes de diciembre, ubicada a unos metros de la termoeléctrica, esto coincide con este trabajo, refiriéndose solamente al sitio de muestreo, en cambio al comparar la demanda bioquímica de oxígeno mas baja, ambos trabajos coinciden en que se da en el mes de octubre en la zona de la boca del estero. Bueno *et al.* (1997) menciona que para sistemas estuarios la demanda bioquímica de oxígeno debe ser menor a 5 mg/L, los resultados de DBO_5 obtenidos para el sistema estuarino muestran concentraciones de materia orgánica menores a 5 mg/L, excepto en la zona de descargas urbanas y en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR “El Castillo”), si bien las concentraciones de materia orgánica registradas en el estero se consideran normales, estas responden a las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan a su alrededor, así como al acarreo de materiales hacia el sistema estuarino durante los periodos de lluvia.

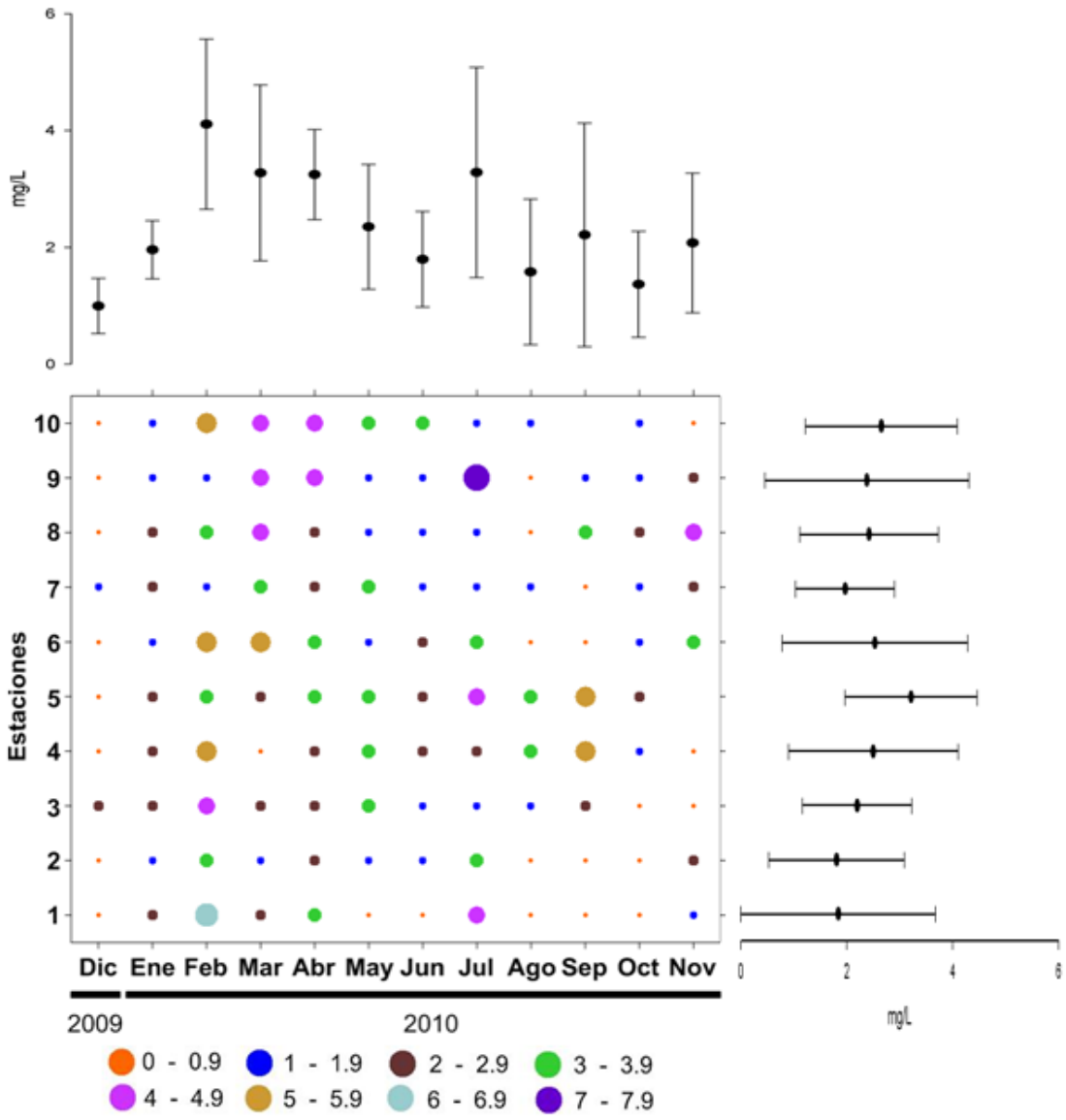

Figura 8. Variación espacio-temporal de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 (mg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

7.1.6 Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* (Figura 9) en la mayor parte del año presentan valores muy similares, sobresaliendo las estaciones 4 y 5 en el mes de agosto con altas concentraciones de 142,75 µg/L y 96,01 µg/L

respectivamente, en general durante el periodo de muestreo el estero de Urías presenta un promedio de 8,28 ± 17,20 µg/L, con un valor mínimo de 0,06 µg/L y un máximo de 142,75 µg/L. La concentración de clorofila *a* es una estimación de la biomasa fitoplanctónica. Este pigmento, se encuentra en cantidades variables en las células, su concentración varía de acuerdo a la especie y a la etapa del ciclo reproductivo (Alonso-Rodríguez, 1998). La clorofila *a* se ha utilizado como indicador de diversas características del ecosistema y de la comunidad de fitoplancton. Los patrones espaciales de clorofila *a* responden a las condiciones locales (Barreiro y Aguirre, 1999) y las corrientes estuarinas pueden distribuir la biomasa fitoplanctonica asimétricamente (Li *et al*., 2000). En el presente estudio se encontraron valores de clorofila *a* notablemente elevados en las estación 4 y 5 correspondientes a la boca y cuerpo del estero del Infiernillo, con concentraciones de 142,75 µg/L y 96,01 µg/L respectivamente, Pérez-Verdugo (2007) reporta la concentración más alta de clorofila *a* en el mes de agosto en este mismo sitio, Sigala-Morales (1994) sugiere que esto probablemente se deba a un mayor tiempo de residencia del agua en esta zona además las altas concentraciones de clorofila *a* ubicadas en este punto indica una descarga de materiales que favorecen la productividad primaria hacia la laguna a través de estos puntos (Lopez-Aguiar, 2006). Debido a que la diferencia de concentración de clorofila a en el estero en función de la ubicación es grande, provoca que se forme una mancha en el sistema, tal como lo mencionan Lara-Lara y Álvarez-Borrego (1975), lo cual da la impresión de una distribución en forma de manchas o parches, en las estaciones restantes y durante todo el periodo de muestreo, la concentración de clorofila *a* fue homogénea, presentando un valor promedio de 8,28 µg/L,

valores que está dentro del rango reportado por Gilmartin y Revelante (1978) de 3,40 – 12,60 µg/L, Calvario y Dominguez (2007) reportaron valores desde no detectables hasta 60,80 µg/L, un valor muy alto comparable con los encontrados en las estaciones 4 y 5 de este estudio.

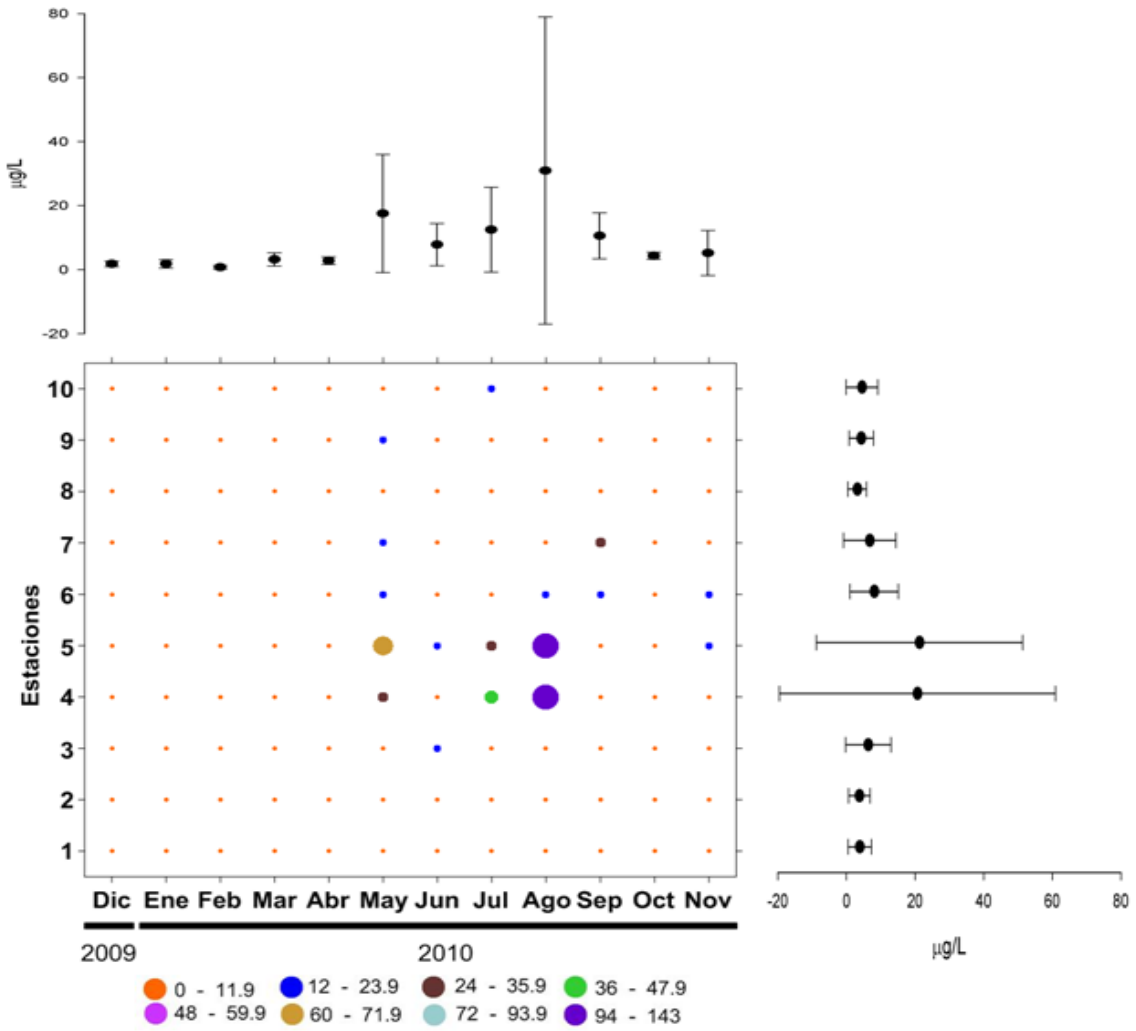

Figura 9. Variación espacio-temporal de Clorofila *a* (µg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

Los niveles elevados se interpretan como evidencia de los florecimientos del fitoplancton, aunque existe una gran variabilidad, relacionada con la época del año, mareas y el clima (Páez-Osuna, 2001). Morales-Soto *et al.* (2000)

menciona que la clorofila *a* presenta una mayor relación con las mareas, observo que la clorofila *a* disminuía con el flujo de la marea durante el verano y se incrementaba con el reflujo. Esta misma observación ha sido observada por Acosta-Ruiz y Lara-Lara (1978) en B.C.S y en B.C.N por Millan-Nuñez y Alvarez-Borrego (1978). Este fenómeno puede ser explicado porque al subir la marea entra el agua de mar adyacente más pobre en general que el agua del interior del sistema, mientras que en bajamar sale agua más rica con mayor contenido de clorofila *a*.

7.1.7 Sólidos Suspendidos Totales

Los Sólidos Suspendidos Totales se presentan en la Figura 10, mostrando gran variación en las 10 estaciones de muestreo, se registro un promedio de 58,00 ± 31,05 mg/L, presentando un mínimo de 10 mg/L y un máximo de 153 mg/L. Las concentraciones de SST más bajos se presentan en el mes de septiembre en todas las estaciones y los valores más altos se presentan en las estaciones 4 y 5 en la mayoría de los meses de muestreo.

La concentración de los sólidos suspendidos totales fue altamente variable. No se observo un patrón bien definido de SST en el estero durante el periodo de muestreo, por lo general las altas concentraciones se notaron en las zonas de baja profundidad donde se resuspendían los sedimentos debido a la acción del viento sobre la columna de agua. El valor máximo obtenido se presento en el mes de agosto en la boca del estero del Infiernillo con un valor

de 153 mg/L y el mínimo fue de 10 mg/L en la estación 7 (frente a Maz Industrial) en el mes de septiembre. En general el estero de Urías presenta una concentración promedio de SST de 58 mg/L para la época de lluvias y el mismo valor para la época de secas, lo que no marca una diferencia definida. Pérez-Verdugo (2007) reporta el valor máximo de 196.31 mg/L, encontrado en la boca del estero del Infiernillo en el mes de enero, además menciona que las concentraciones más altas se dieron en el mes de noviembre con un promedio de 79.21 mg/L, este trabajo reporta un promedio de 45 mg/L para el mes de noviembre, valor por debajo del mencionado. Quiñonez-Gallardo (2008) reporta un valor máximo de 205,7 mg/L, por otro lado Ochoa-Izaguirre (1999) mostró los valores más altos durante la época de lluvias y Páez-Osuna *et al*. (1990) obtuvieron valores de 74 mg/L para 1997 (época seca), y valores de 48 mg/L para lluvias en un área cercana a la cabecera, valores muy por arriba y por debajo del promedio presentado en este estudio. Por otro lado en un estudio realizado por Osuna-López *et al*. (1989) en el estero de Urías, se encontró una concentración media de 47.6 mg/L, semejante al de este estudio, mientras que Del Río- Chuljak (2003) reportó valores más altos para la época de secas cálidas y por otra parte reportó un máximo de 69 mg/L en la época de lluvias.

Las mayores concentraciones de SST se presentaron sobre todo en las partes más someras de la laguna debido a factores ligados con la poca profundidad; así como son la acción de corrientes, el flujo y reflujo de la marea (García-Ballesteros y Larroque, 1974).

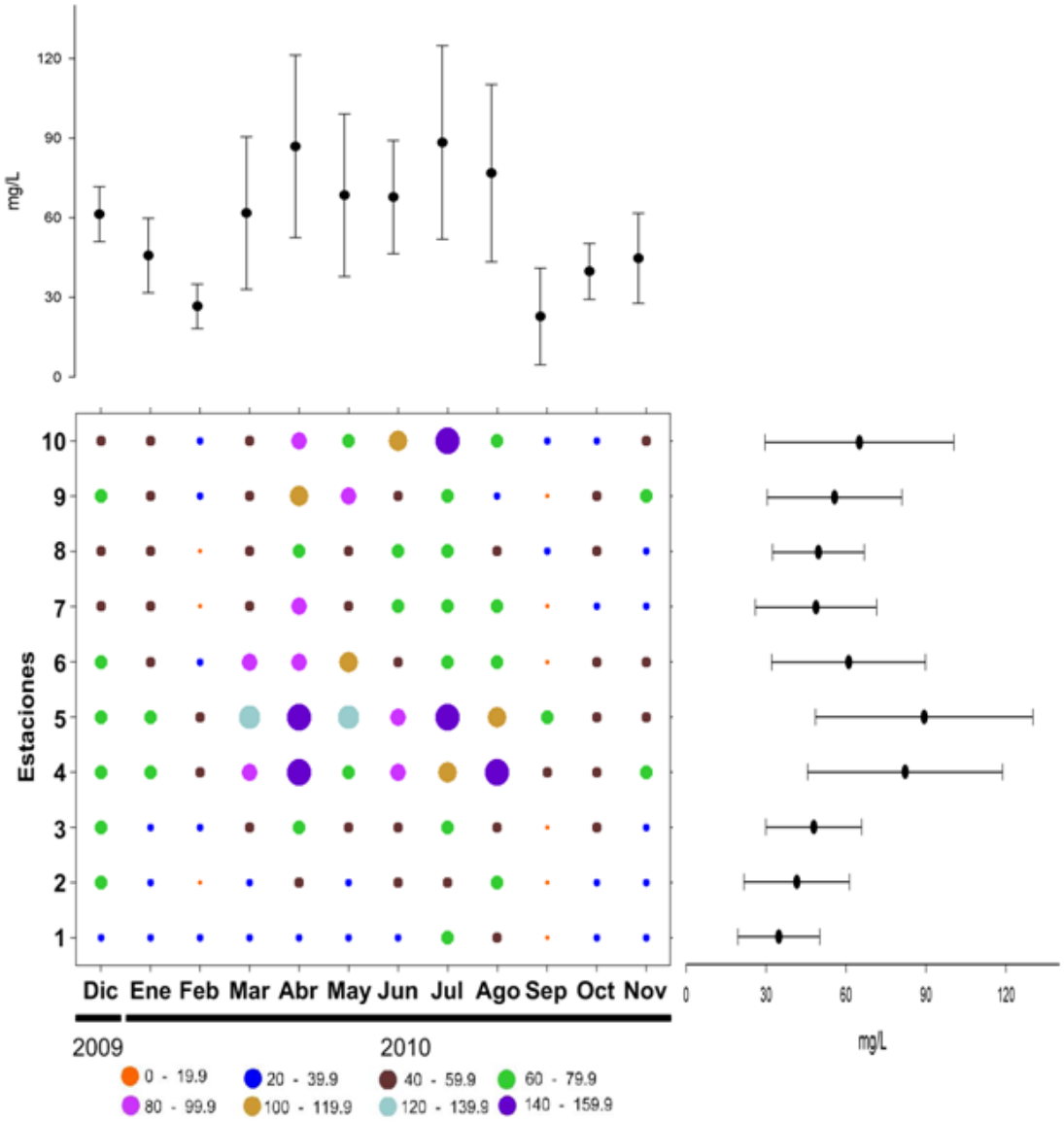

Figura 10. Variación espacio-temporal de Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

7.1.8 Fósforo Total

Como se observa en la Figura 11 el Fósforo Total presenta un promedio anual de 4,62 ± 2,59 µM, con un valor mínimo de 1,85 µM y un valor máximo de 20,16 µM. Los valores más altos se dieron en el mes de septiembre en las

estaciones 4 y 5, pero en particular el mes de febrero presento mayor concentración de fosforo en la mayor parte del estero con un promedio de 7,09 ± 2,62 µM. En general hubo poca variación de concentración de Fósforo durante el periodo de muestreo a todo lo largo del estero. Un suministro de este nutriente hacia los sistemas costeros, tiene que ver con los detergentes y la actividad agrícola, donde se puede presentar en su forma inorgánica disuelta así como también su forma particulada (Boynton *et al*., 1982). Las concentraciones máximas encontradas de Fósforo Total en el estero de Urías se encontraron en la época de lluvias (septiembre) en las estaciones correspondientes al estero del Infiernillo (Estaciones 4 y 5) con valores de 14,409 µM y 18,021 µM respectivamente, Pérez-Verdugo (2007) encontró para la boca del estero del Infiernillo un valor de 28,05 µM en el mes de septiembre, siendo este un valor elevado al encontrado en el presente trabajo, pero coincidiendo en que en esta zona es donde más se concentra este nutriente, Del Rio-Chuljak (2006) menciona que en la época de lluvias la concentración de Fósforo esta aparentemente influenciada por la actividad de las granjas y los escurrimientos que provienen de la agricultura, ya que los nutrientes son arrastrados a todo lo largo del sistema estuarino, y en el caso del estero de Urías, se queda estancando en la zona del Infiernillo, debido a es una zona semicerrada y el recambio de agua no es continuo . En general el estero de Urías tiene un promedio anual de concentración de Fósforo de 7,09 ± 2,62 µM, este valor es superior a los registrados por la Comisión Nacional del Agua (2001) de 0,84 µM, Páez-Osuna *et al*. (1990) con 0,18 µM, sin embargo Frías-Espericueta *et al.* (1996) registro una concentración de fosforo de 111.66 µM, siendo este uno de los valores más altos registrados para el estero de Urías.

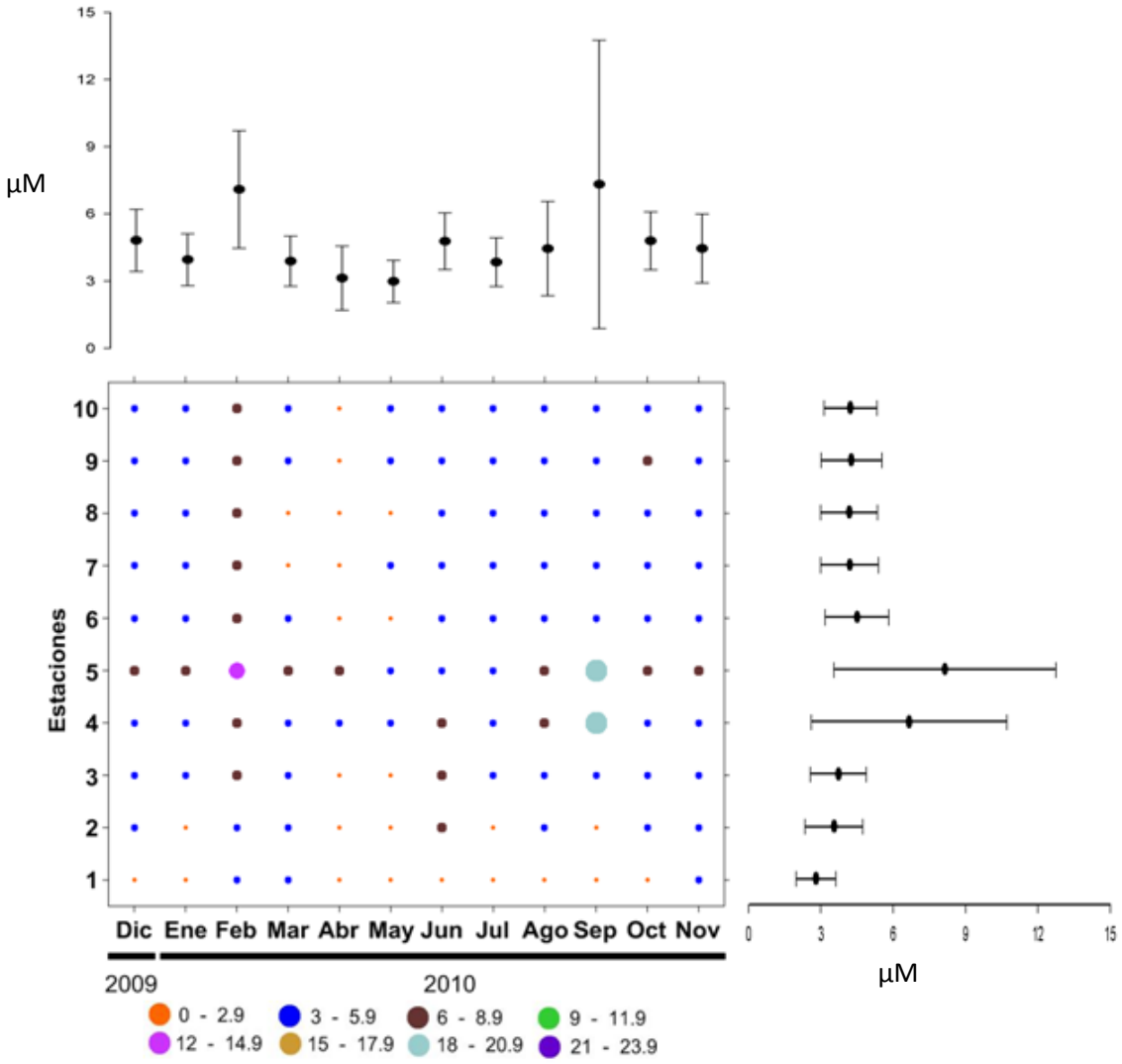

Figura 11. Variación espacio-temporal de Fosforo total (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

7.1.9 Amonio

En la Figura 12 se observa la concentración de amonio que se presento durante el periodo de muestreo a todo lo largo del estero, es claro que en el mes de septiembre se presento mayor concentración de amonio y mayor variación con un promedio de 54,94 ± 71,78 µM con un mínimo de 9,22 µM y un máximo de 211,04 µM. Los meses de marzo a agosto presenta los valores más bajos y homogéneos, al contrario del resto de los meses estudiados, en general el estero presenta una concentración promedio de amonio de 12,75 ± 25,19 µM con un valor mínimo de 0,071 µM y un máximo de 211,04 µM.

El amonio es la especie de nitrógeno preferida por el fitoplancton y solo después que sus niveles han descendido por debajo de 2 µM, se consumen cantidades significativas de nitratos (Magaña, 2004). Las altas concentraciones constituyen un serio problema, ya que en el rango de 3,5 a 71 µM de amonio se ha reportado cierta toxicidad para la biota (Millán-Núñez y Rivas-Lozano, 1988), es por esto que existe una reducción en el crecimiento de los organismos y que son más propensos a ser afectados por enfermedades (Millero, 2006). Frías-Espericueta *et al*. (2000) reportó una concentración anual de 3.82 µm/L, la Comisión Nacional del Agua (2001) encontró valores de 51,4 µm/L, en tanto que Ochoa-Izaguirre (1999) reporta un promedio de 15,4 µm/L para temporada de secas y 17,4 µM para temporada de lluvias. En el presente estudio se encontraron valores de hasta 211,04 µM para el mes de septiembre 2010 (lluvias), siendo este el valor más alto en todo el sistema. Esto concuerda con Contreras-Espinoza (1985), quien propone que en el periodo de lluvias las

concentraciones son mayores debido a que se suman los aportes autóctonos y terrígenos; y además que las concentraciones mínimas se destacan después del florecimiento planctónico primaveral. En las estaciones cercanas a la cabeza del estero (estaciones 8, 9 y 10) representan uno de los valores más altos comprados con el resto del sistema, obteniendo valores de entre 25,99 µM y 35,63 µM. Escobedo-Urías *et al.* (1999) mencionan que las altas concentraciones de amonio encontradas son producto de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en la zona agrícola aledaña, mientras que Cardoso-Mohedano (2004) encontró en el estero de Urías concentraciones máximas de amonio sobre todo para las estaciones cercanas a una granja de camarón y asociadas con el dragado.

En general el estero de Urías presento un promedio anual de 12,75 ± 25,19 µm/L con un valor mínimo de 0,071 µm/L y un máximo de 211,04 µm/L, estos valores superan a los encontrados por los autores antes mencionados, además de que sobrepasan el rango establecido para la toxicidad de la biota, es por esto que las elevadas concentraciones de este nutriente revelan por un lado la predominancia de un ambiente en la que la nitrificación disminuye, atribuido principalmente a la alta carga orgánica que recibe y a la reducida o lenta capacidad de renovación de las aguas. Por lo que Alonso- Rodríguez *et al.* (2000) considera que las concentraciones de amonio presentan una variación espacial y temporal en los cuerpos costeros que están fuertemente relacionados con los procesos biológicos de características heterotróficas.

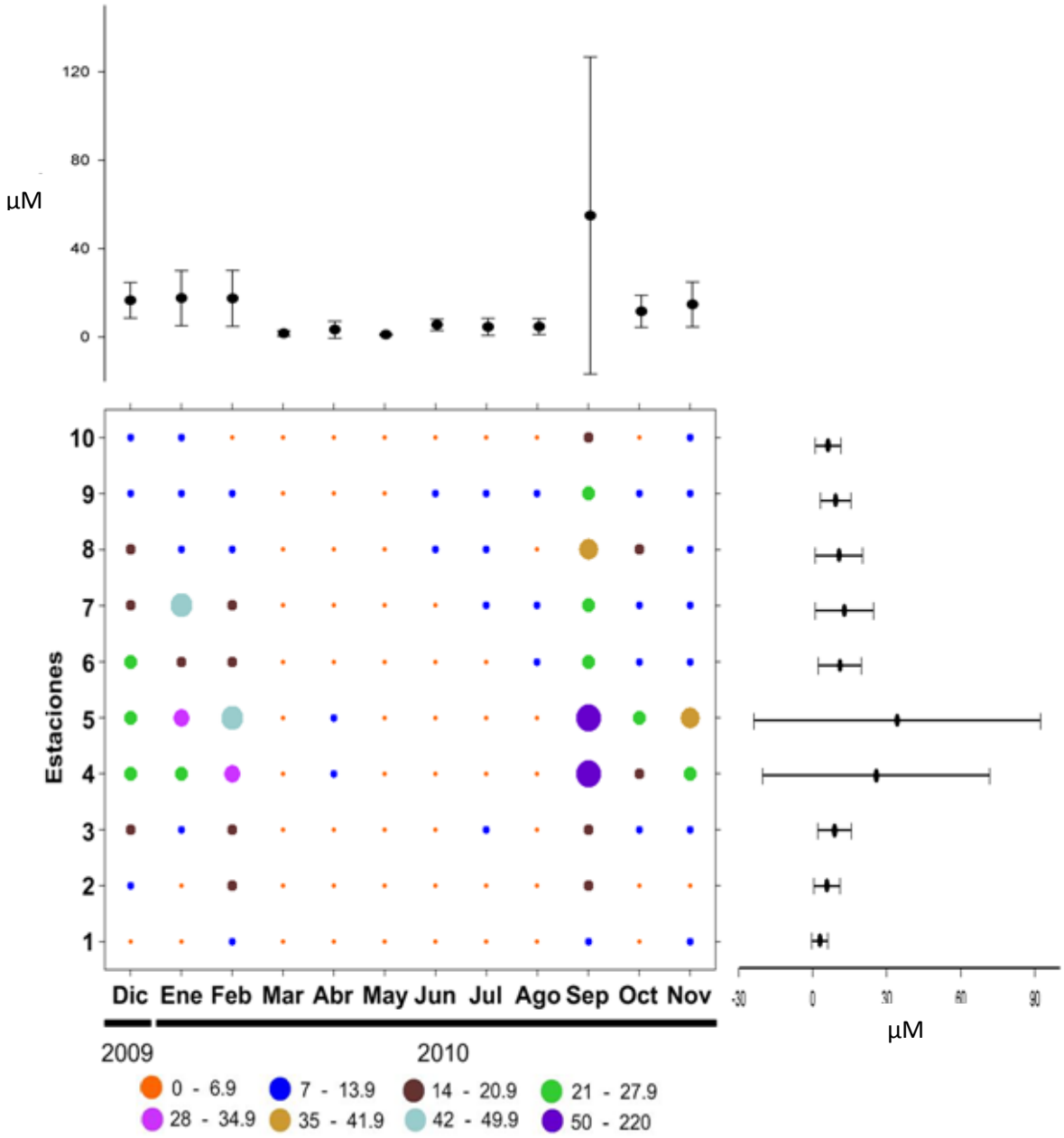

Figura 12. Variación espacio-temporal de amonio (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

7.1.10 Nitratos

Las concentraciones de nitratos se presentan en la Figura 13, observando gran variación en especial en el mes de diciembre del 2009 con un promedio de 6,66 ± 04,23 µM y en febrero del 2010 con un promedio de 5,15 ± 2,88 µM. En la estación 5 (estero Infiernillo) presento mayor variación ya que tiene un valor mínimo de 0,071 µM y un máximo de 14,071 µM, dando como resultado un promedio de 4,75 ± 5,16 µM. La concentración de nitratos en el estero de Urías en general presenta un promedio de 2,95 ± 2,82 µM con un mínimo de 0,071 µM y un máximo de 14,071 µM.

Los nitratos se forman por la oxidación del nitrógeno total, debido a la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, etc. En presencia de éste es oxidado por microorganismos de tipo nitrobacter a ácido nítrico que ataca cualquier base (generalmente carbonatos) que hay en el medio formando el nitrato correspondiente (Soto-Jiménez *et al.,* 2003). Mee *et al.* (1984) reporto valores de 0,35 µm/L, por su parte la Comisión Nacional del Agua (2001) registro valores de 1,77 µm/L; Pérez-Verdugo (2007) indico que el valor promedio para el estero de Urías es de 16,40 µm/L. En el presente estudio, la concentración de nitratos en el estero de Urías en general presenta un promedio de 2,95 ± 2,82 µm/L con un mínimo de 0,071 µm/L y un máximo de 14,071 µm/L, valores similares a los presentados por los autores mencionados, a excepción de Pérez-Verdugo (2007).

Ochoa-Izaguirre (1999) publico valores de 3.1 µm/L, siendo estos los valores más cercanos a los encontrados en el presente estudio. Las mayores

concentraciones de este nutrientes se dieron en la zona del estero del Infiernillo (estación 5), Moran-Silva *et al.* (2005) encontraron concentraciones más altas de nitratos en la misma temporada en zonas de descargas fluviales y urbanas. En la zona de la cabeza del estero, donde encontramos la presencia de granjas acuícolas y la zona de agricultura del poblado cercano (Estaciones 8, 9 y 10), y en el meses de diciembre (2009), enero y febrero (2010), también se registraron valores altos de nitratos, esto pudiera ser originado de acuerdo a lo observado por Escobedo-Urías *et al.,* (1999), por la influencia de las descargas de aguas residuales principalmente de origen agrícola, debido a que en esta época se realiza el cultivo de hortalizas, las cuales requieren de una gran cantidad de fertilizantes lo cual contribuye a aumentar la concentración de nutrientes en la zona costera,

Aranda-Cirerol (2001) menciona que las concentraciones de nitratos en el agua costera, podrían asociarse principalmente a la mezcla del agua de mar con el agua estuarina, ya que ésta contiene altas concentraciones de este nutriente, por su acumulación con el paso del tiempo, además de la disminución del oxígeno disuelto, temperatura, pH y salinidad que se presenta en la zona.

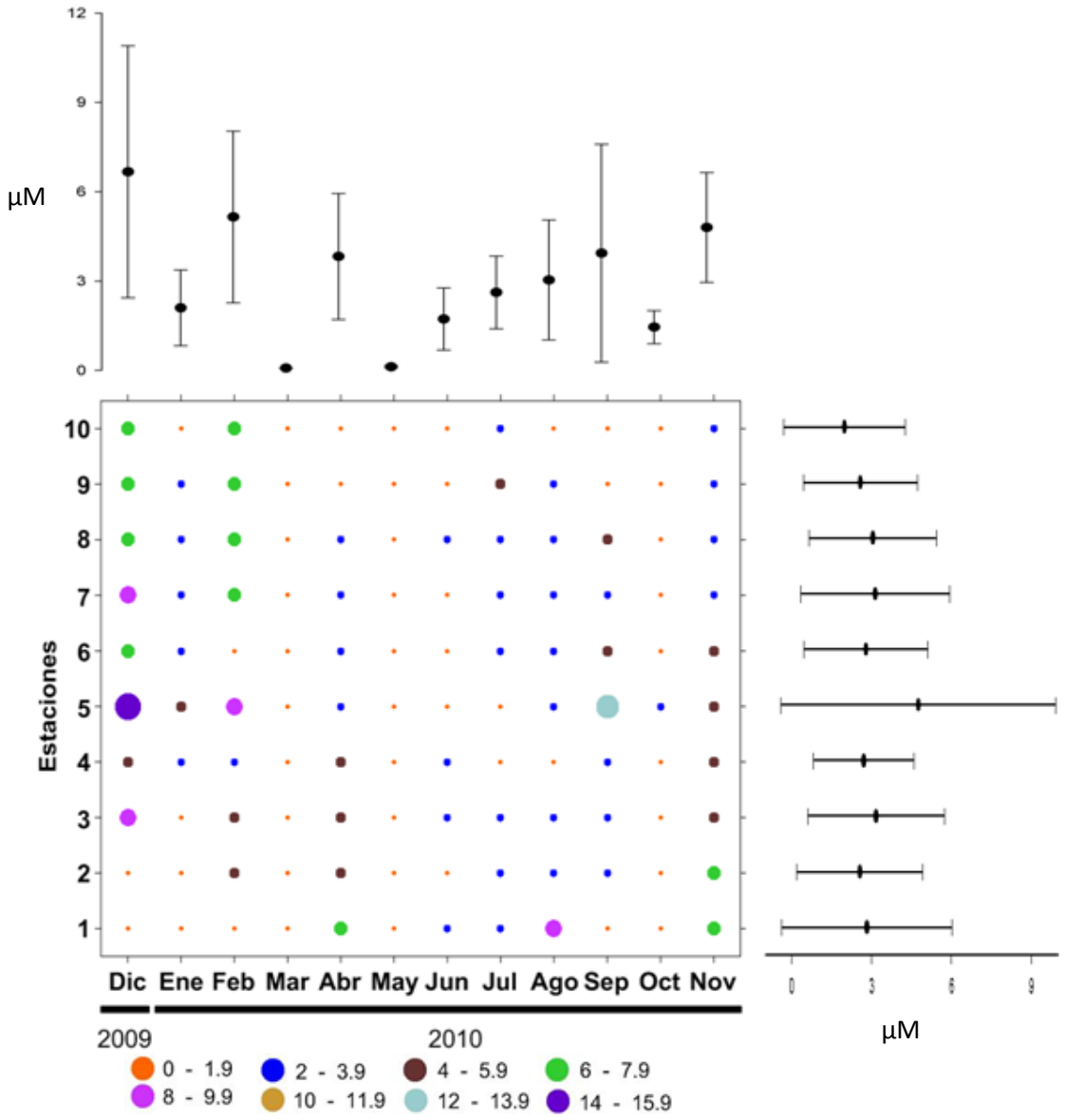

Figura 13. Variación espacio-temporal de nitratos (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

7.1.11 Nitritos

En la Figura 14 se presenta el comportamiento de la concentración de nitritos en el año de muestreo a lo largo del estero de Urías, homogéneo en su gran mayoría. En septiembre se presentan los valores más altos con un promedio mensual de 2,45 ± 2,62 µM, con un máximo de 7,95 µM correspondiente a la estación 5 y un mínimo de 0,58 µM que corresponde a la estación 1, mismo que coinciden para el valor máximo y mínimo en todo el estero, obteniendo un promedio general de 0.95 ± 1,06 µM.

Los nitritos constituyen en términos de concentración, la especie menos abundante en la mayoría de los ambientes costeros. El nitrito se encuentra en aguas naturales como un producto intermedio de los procesos de nitrificación y desnitrificación (Krom *et al.,* 1992) y, aunque se considera tóxico para la mayoría de los organismos, si su concentración no es excesiva y la disponibilidad de luz no es limitante, puede ser asimilado por el fitoplancton (Margalef, 1982)**.** Pérez-Verdugo (2007) reporto para la boca del estero del Infiernillo un valor de 2,53 µM, comparando con este estudio, los resultados son inferiores ya que se encontró un valor para este mismo sitio de 7,95 µM. Mee *et al*. (1984) reporta un valor de 0,16 µM y Pérez-Verdugo (2007) reporto un valor promedio de 0,48 µM, estos valores son ligeramente elevados a los registrados en este trabajo, siendo este un valor de 0.95 ± 1,06 µM. Al igual que los nitratos, la mayor concentración se dio en los meses de diciembre (2009) y febrero (2010). La concentración varía dependiendo la época del año, la temperatura, concentración de oxígeno disuelto, salinidad, pH, la disponibilidad

de fitoplancton y la carga antropogénica que se libere al estero de Urías. Conde-Gómez y De la Lanza-Espino (1994), atribuyen las altas concentraciones de nitritos a procesos de desnitrificación y nitrificación en las áreas cercanas a los asentamientos humanos. La concentración de los nitritos fueron menores con respecto a los demás nutrientes.

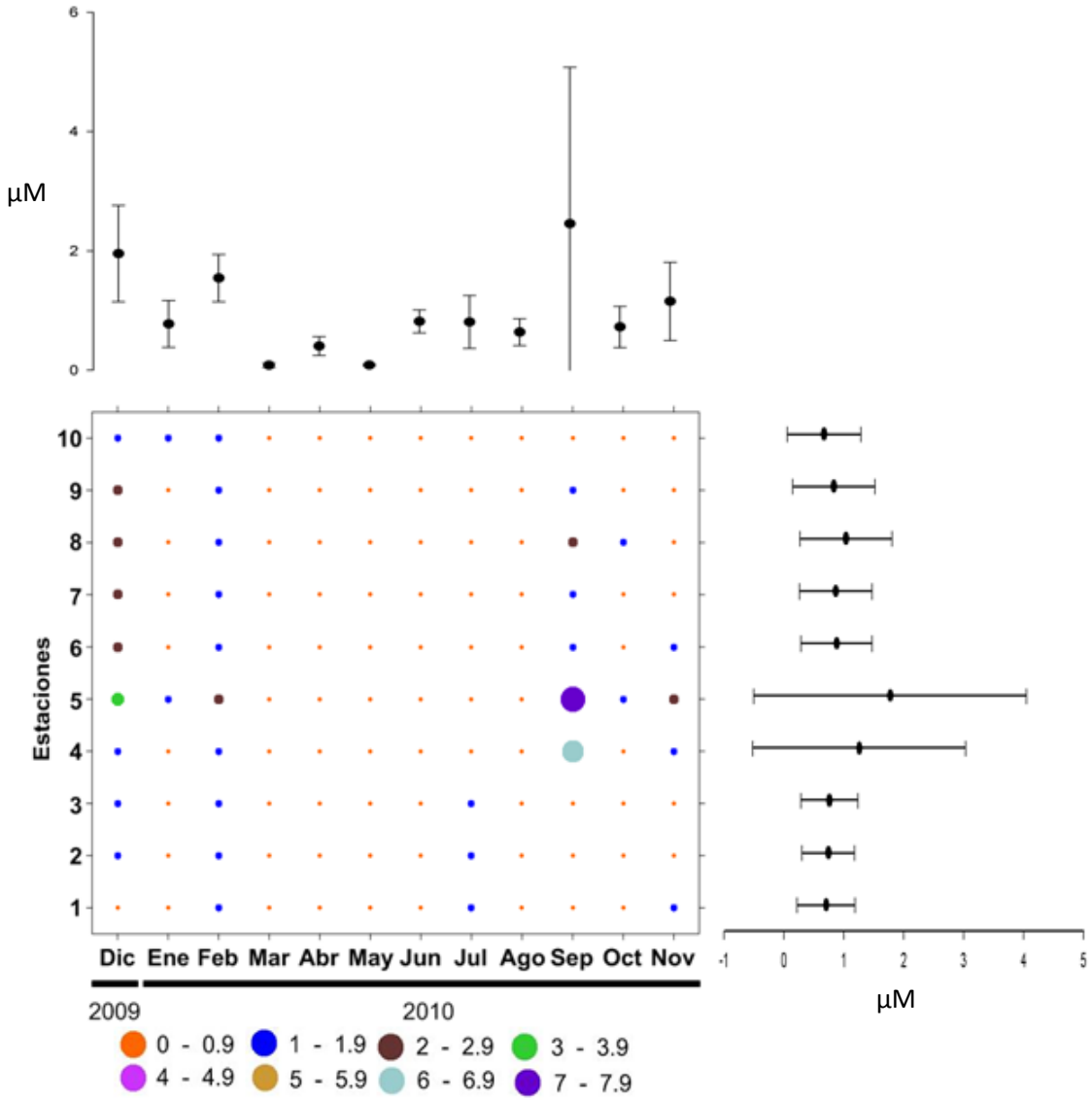

Figura 14. Variación espacio-temporal de nitritos (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

7.1.12 Ortofosfatos

El comportamiento de los ortofosfatos (Figura 15) se presenta de la siguiente manera, con un promedio general de 2,41 ± 1,38 µM, con un valor mínimo de 0,83 µM y máximo de 11,16 µM. El mes de febrero presento el valor más alto en la estación 5, se registró un promedio mensual de 5,09 ± 2,29 µM con un máximo de 11,16 µM y un mínimo de 3,38 µM. En general se observan valores bajos para todo el año en las 10 estaciones.

La forma más común del Fósforo en aguas marinas y residuales es el fosfato, el cual puede ser limitante para la producción primaria en algunos estuarios y sistemas marinos costeros (Cloern, 1999), aunque la forma predilecta del fitoplancton sea el ortofosfato, la incorporación del fósforo orgánico puede ocurrir, especialmente cuando hay períodos de deficiencia de este nutriente (Magaña, 2004). Desafortunadamente las mediciones de ortofosfatos en el estero de Urías son muy escasas, sin embargo para la bahía de Mazatlán y de la interacción que tiene con el estero de Urías los trabajos son más accesibles, como el que realizo García de la Parra (1992) reportando un valor promedio de 0.25 µm/L; Alonso-Rodríguez *et al.* (1998) registro valores de 1.48 µm/L,

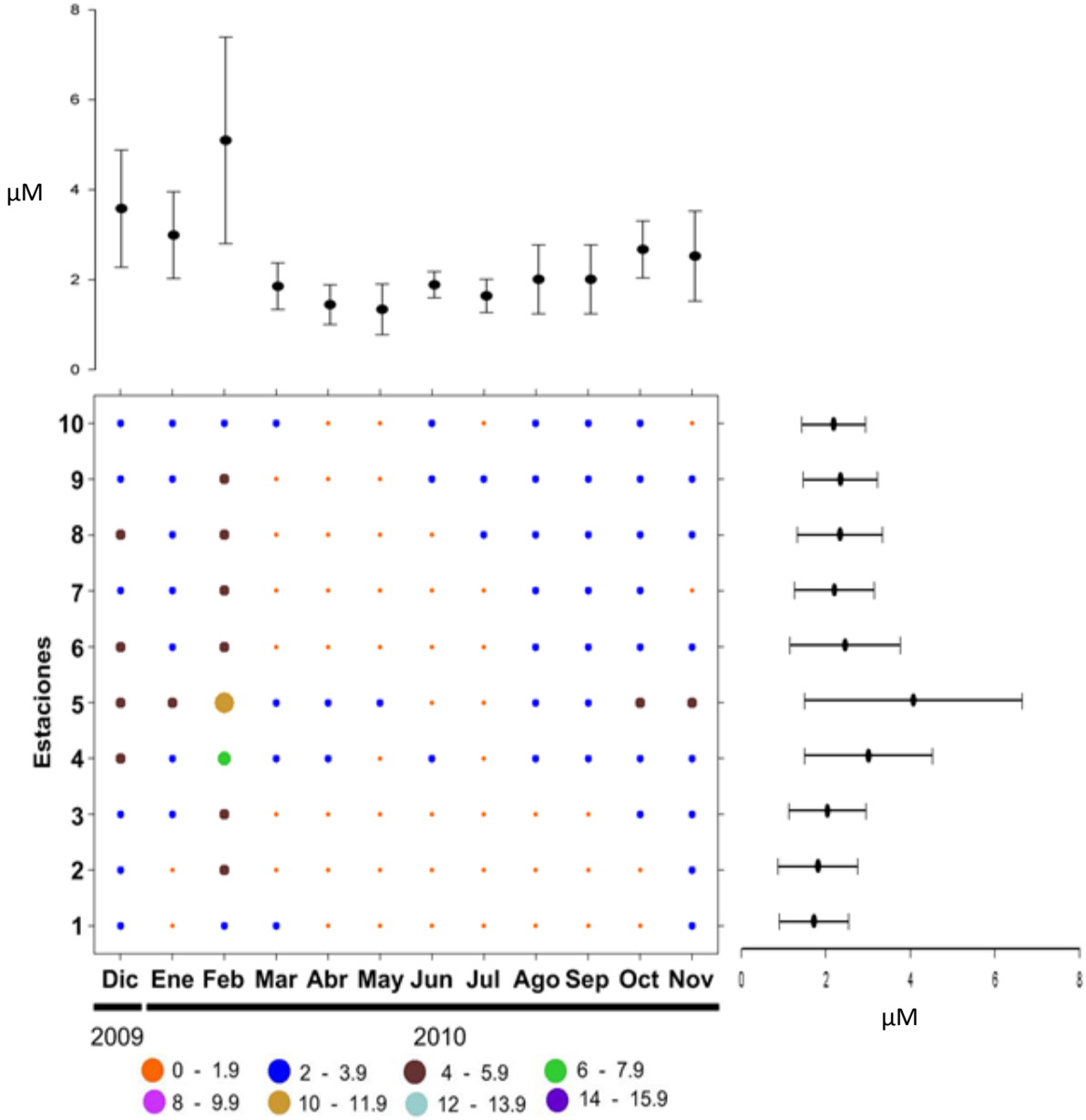

Figura 15. Variación espacio-temporal de ortofosfatos (µM) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

Alonso-Rodríguez (2000) menciona una concentración promedio de ortofosfatos para la bahía de Mazatlán de 0.76 µM para la temporada de secas y por su parte Pérez-Verdugo (2007) presentó un intervalo de concentración que va desde 1.39 - 10.17 µM. Para el estero de Urías el promedio general es de 2,41 ± 1,38 µM con un valor mínimo de 0,83 µM y máximo de 11,16 µM. El mes de febrero presento el valor más alto en la estación 5, se registró un promedio mensual de 5,09 ± 2,29 µM con un máximo de 11,16 µM (época de secas 2010) y un mínimo de 3,38 µM (época de secas 2010). La distribución de este nutriente a lo largo del sistema estuarino no tuvo mucha variación, a excepción del mes de febrero donde se presento la mayor concentración de ortofosfatos.

Los valores máximos de fósforo corresponden a la época de secas (2010) donde se presenta una temperatura baja, mayor concentración de oxígeno disuelto lo cual provoca una menor concentración de fitoplancton debido a lo cual existe una mayor disponibilidad de nutrientes. Por el contrario la disminución de este nutriente durante la época de lluvias (2010), implica la rápida fijación de este nutriente compuesto para la síntesis de materia orgánica por el fitoplancton, influenciadas por las altas temperaturas (Domínguez *et al.,* 2005).

7.1.13 Grasas y Aceites

La concentración de Grasas y Aceites (Figura 16) no presenta mucha variación ya que los valores encontrados a lo largo del estero en el periodo 2009 -2010, son muy semejantes entre sí, excepto por el valor arrojado en la estación 9 del mes de febrero igual a 55,31 mg/L, en general el valor promedio de grasas y aceites es de 5,86 ± 6,75 mg/L, desde no detectable hasta un máximo de 55,31 mg/L

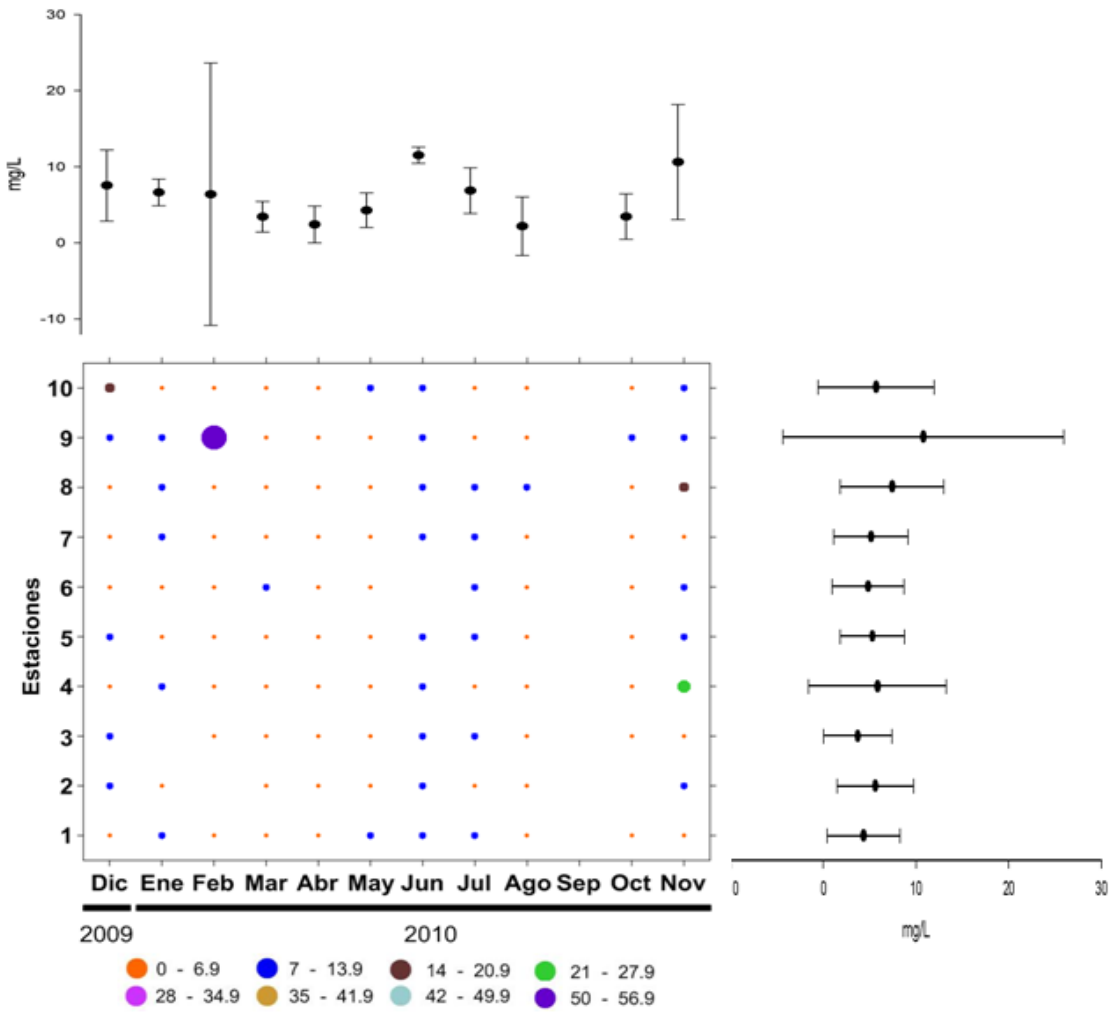

Figura 16. Variación espacio-temporal de Grasas y Aceites (mg/L) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

La determinación de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos. Son muy pocos los datos de grasas y aceites para el estero de Urías, sin embargo los pocos resultados encontrados muestran pocas similitudes al presente trabajo. La Comisión Nacional del Agua (2001) publico que el estero de Urías tiene una concentración de Grasas y Aceites de 12,50 ± 1,25 mg/L, un valor superior al encontrado, dado que fue de de 5,86 ± 6,75 mg/L con valores desde no detectables hasta un máximo de 55,31 mg/L, este valor se encontró en la estación 9 (frente a la termoeléctrica) en el mes de febrero, esto se puede explicar ya que en esta zona, se descarga un pequeño arroyo que proviene de el “basuron” municipal, este arroyo es formado por el lixiviado de la basura y el aporte de la PTAR “El Castillo”, además de que en este mes, se dio una de las mayores precipitaciones del año (Figura 5). Por otra parte la CNA (2001) registró valores para grasas y aceites de 30 ± 6 mg/L para la misma zona en el cual se encontró el valor de 55,31 mg/L.

Es importante destacar que la determinación de Grasas y Aceites no se mide una sustancia específica sino un grupo de sustancias con unas mismas características fisicoquímicas (solubilidad). Entonces la determinación de grasas y aceites incluye ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites, etc. (NMX-AA-005-SCFI-2000).

7.1.14 Coliformes Totales y Fecales

En la Figura 17 se muestran las concentraciones de Coliformes Totales en los 10 puntos de muestreo, se presentaron valores muy grandes tales como los presentados en todo el año en la estación 5 y en todo el estero en el mes de septiembre, el promedio anual fue de 145,163 ± 1’373,309 NMP/100mL, con un mínimo de 3 NMP/100mL y un máximo de 15’000,000 NMP/100mL.

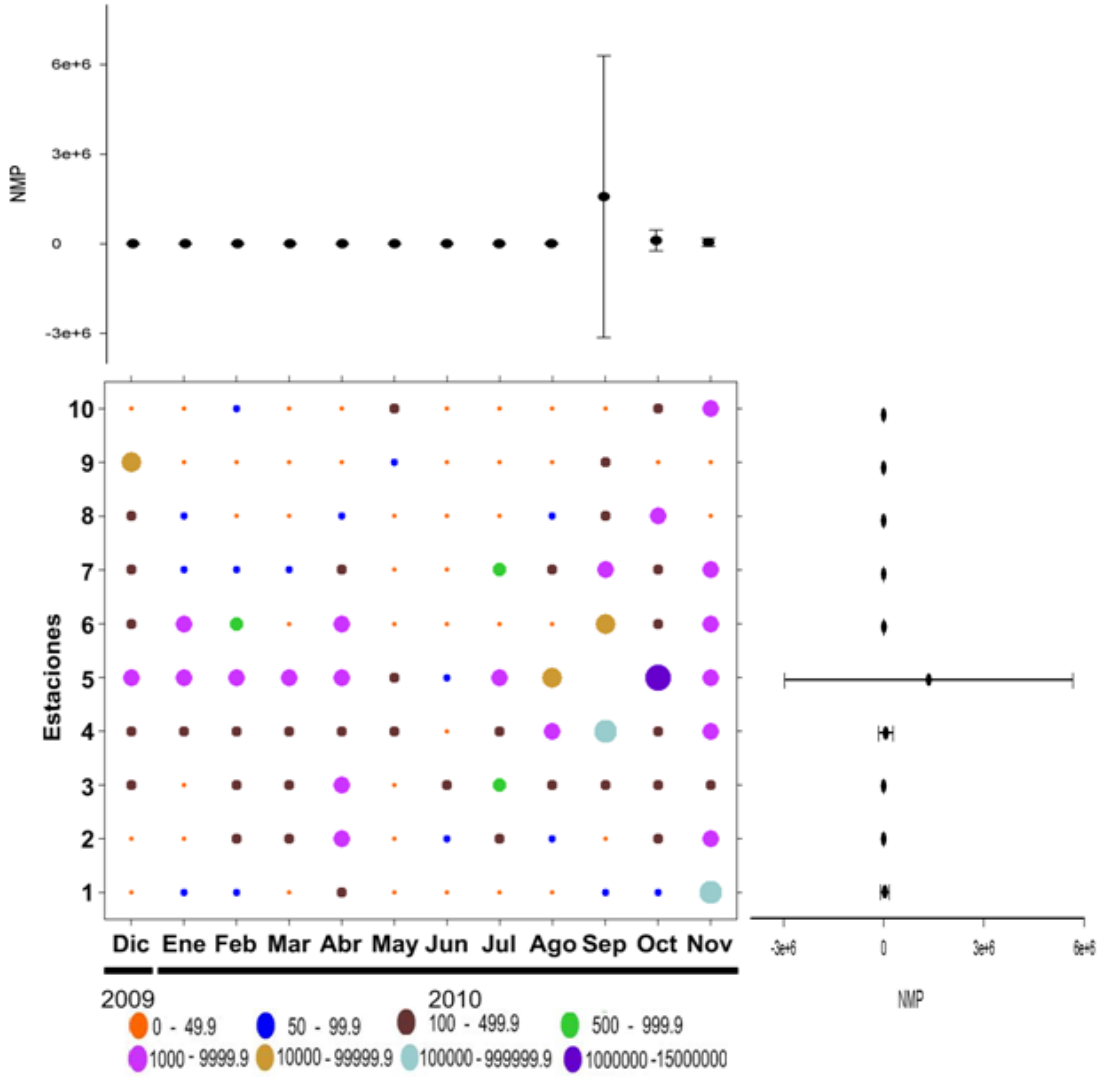

Figura 17. Variación espacio-temporal de Coliformes Totales (NMP/100mL) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

Con respecto a los Coliformes Fecales (Figura 18), los valores son muy similares a los totales, ya que en la estación 5 se presento mayor variación de concentración así como en el mes de septiembre. El valor mínimo anual es de 3 NMP/100mL y el máximo es de 2'400,000 NMP/100mL, con un promedio anual de 37,779 ± 253,815 NMP/100mL

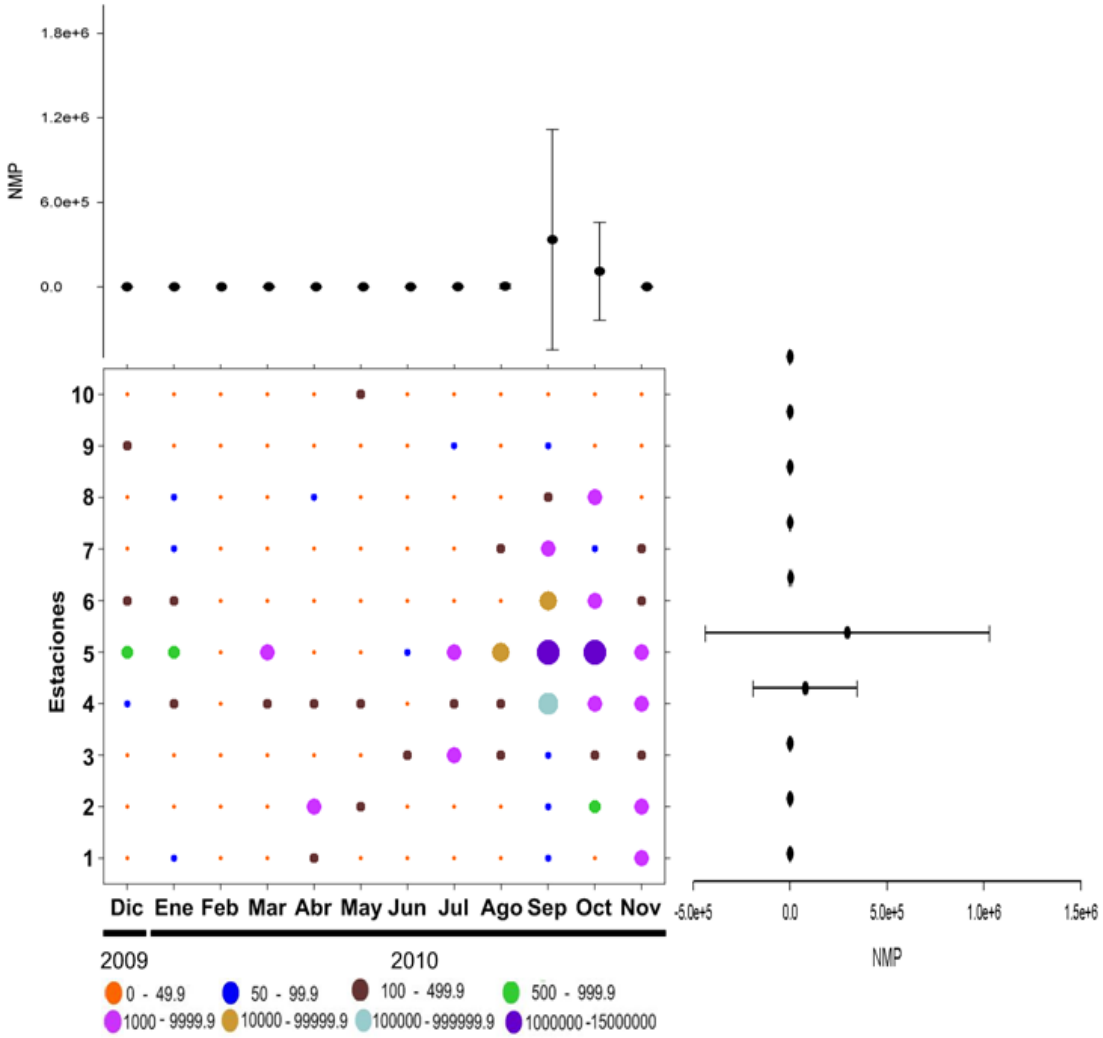

Figura 18. Variación espacio-temporal de Coliformes Fecales (NMP/100mL) durante el periodo 2009-2010 en el estero de Urías, Sinaloa

Los indicadores de contaminación fecal más utilizados en los diferentes países son los Coliformes Totales y los Coliformes Fecales, (US EPA, 1986). Herrera y Suárez (2005) observaron que uno de los indicadores más apropiados para determinar la presencia de contaminación de origen fecal en el cuerpo de agua son los coliformes fecales. Los estándares y las recomendaciones se fundamentan sobre criterios desarrollados en aguas contaminadas por efluentes cloacales, es decir, fuentes puntuales de contaminación de origen humano (Emiliani y Gonzalez de Paira 1997), es por esto que la NOM-001-SEMARNAT-1996, menciona que para Coliformes Totales el límite es de 1,000 NMP/100mL para uso recreativo y 10,000 NMP/100mL para explotación pesquera y para coliformes fecales el límite establecido es de 1,000 NMP/100mL. Los resultados obtenidos en este trabajo, sobrepasan el límite establecido por esta norma ya que para Coliformes Totales se registraron valores que van desde 3 NMP/100mL hasta 15’000,000 NMP/100mL, y para coliformes fecales valores de 3 NMP/100mL hasta 2’400,000 NMP/100mL. Es importante mencionar que los límites establecidos por esta norma son para descargas de agua y los resultados de este estudio son directamente del agua, lo que significa que ya esta diluida, sin embargo, sigue pasando el limite permisible, a pesar de que ya ha sido diluida.

Las mayores cargas correspondieron a las estaciones de muestreo que reciben aportes de efluentes y a aquellas ubicadas aguas debajo de las mismas, siendo el caso de la zona del estero del Infiernillo (estación 5) y las menores cargas se presentan en la zona donde existe una mayor interacción con el agua marina (boca). La CNA (2001), publico valores de 131,333 NMP/100mL para coliformes fecales y 412,000 NMP/100mL para Coliformes

Totales, estos valores también sobrepasan los límites, a pesar de que son menores comparados con los resultados del 2009-2010. Por su parte, en el trabajo publicado en el 2001 por la Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca se menciona una carga de Coliformes Fecales para el estero de Urías de 13,000 NMP/100mL y 460,000 NMP/100mL para coliformes fecales. Estudios realizados años anteriores por Mares-Hernández (1983) menciona que la carga de coliformes totales fueron de 70,000, 1'600,000 y 90,000 NMP/100mL, para los años 1981 y 1982 respectivamente, esto nos indica que la contaminación por coliformes ha existido en el estero de Urías de varios años atrás y no se ha podido combatir o minimizar este fenómeno, es importante considerar que hay tres fuentes principales de contaminación fecal humana del agua estuarina: desagües domésticos, descargas de ríos y otros cursos de agua, asi como por la población que utilizan el agua directamente (Galv, 2003).

Por su parte Hunter *et al.* (1999) mostraron un aumento de la contaminación por bacterias fecales en estos ambientes, particularmente en meses cálidos, lo que constituye un riesgo potencial para el uso recreacional. En este caso la carga más alta se dio en el mes de septiembre, considerando este mes como época de lluvia, difiere con lo antes mencionado, el hecho de que se concentrara mas en este mes se puede explicar basándose en las precipitaciones durante el mes de septiembre, Mazatlán presencio fuertes lluvias, lo que provoco que el agua de la lluvia barriera con todo tipo de material que se encontraba presente en las orillas del estero del Infiernillo (zona urbana), lo que provoco el aumento de carga bacteriana en el sitio.

7.2 Índices de calidad

7.2.1 Índice de calidad TRIX

De acuerdo al TRIX (Vollenweider *et al*., 1998) y al criterio de la clasificación de la legislación italiana (Tabla 3, Penna *et al.,* 2004), el agua costera del sistema estuarino de Urías presenta valores entre 5 y 8 que corresponde a un nivel trófico entre medio y alto, es decir, que durante el periodo de 2009 - 2010 las aguas de estas zona fueron entre moderada y altamente productivas (Figura 19, Tabla 3).

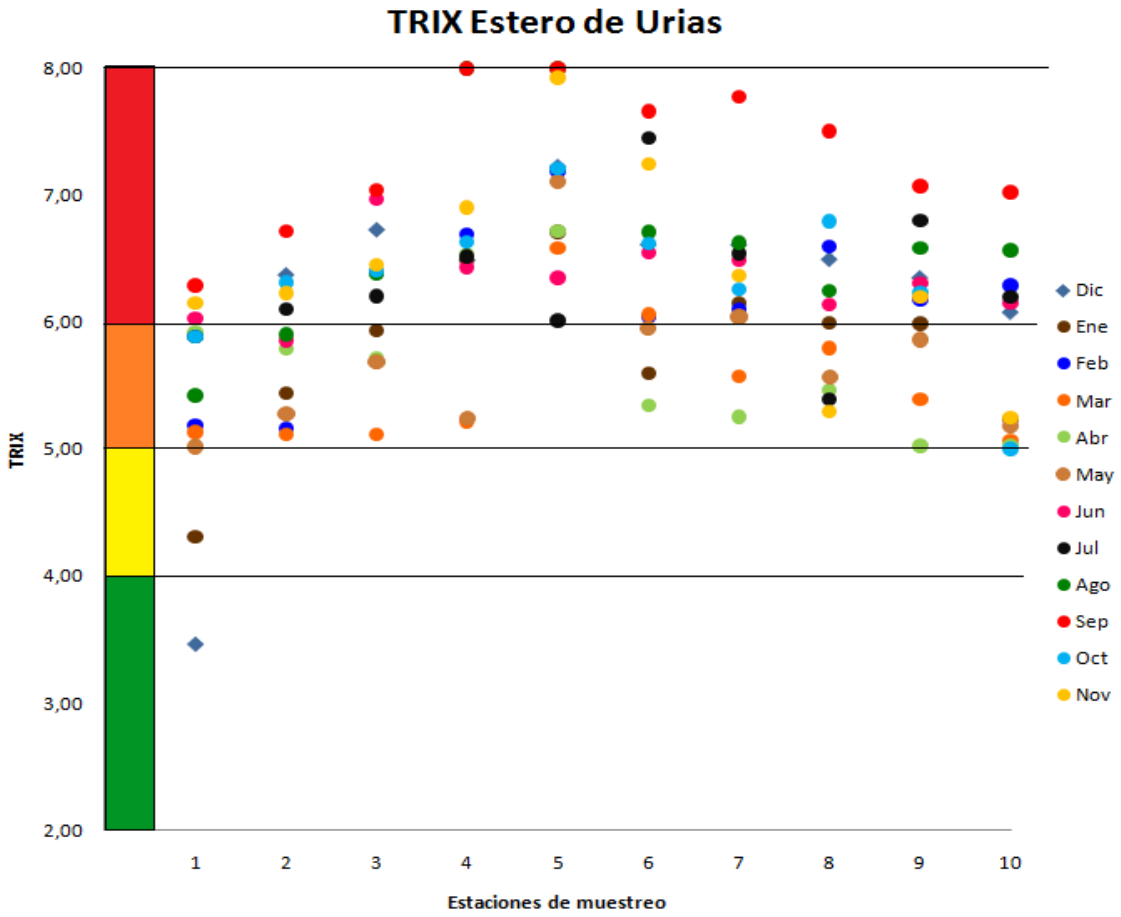

Figura 19. Variación anual del incide de eutrofización TRIX para el estero de Urías, Sinaloa.

En la Tabla 4, se muestran pocas diferencias en la distribución del estado trófico tanto a nivel espacial como temporal. Resalta que en los meses de julio a octubre del 2010 (temporada de lluvias), la mayoría de las estaciones presentaron un nivel de trófico muy alto (eutrófico) es decir una calidad de agua pobre, a excepción de las estaciones 1 y 10 correspondientes a la boca y cabeza del estero que presentan un nivel trófico de medio a alto (mesotrófico a eutrófico) es decir una calidad de agua mala con productividad media. En particular las estaciones 4 y 5 (boca y cuerpo del estero Infiernillo) para este periodo presentaron el nivel trófico más alto con una pobre calidad de agua. El estado trófico general en el estero de Urías para esta temporada fue alto (eutrófico), es decir con una calidad de agua pobre. En los meses de marzo – mayo 2010 (temporada de secas cálidas), se presenta un nivel trófico de medio a alto (mesotrófico a eutrófico) es decir una calidad de agua mala con productividad de media a alta, excepto en las estaciones 4, 5 y 6 que presentan un nivel trófico muy alto (eutrófico) con calidad de agua pobre, lo que nos indica que en la temporada de secas cálidas el estero de Urías continua en estado eutrófico. Por último en los meses de diciembre 2009, enero, febrero y noviembre 2010 se presenta mayor variación ya que hay estaciones (1) que presentan nivel trófico bajo, lo que nos indica una buena calidad del agua, esto debido a que en esta estación es donde se encuentra la entrada de agua marina al sistema estuarino y por efecto de la dilución y mezcla de aguas es que el índice TRIX disminuye.

Por otra parte se presenta nivel trófico alto (eutrófico) en la mayoría de las estaciones del mes de diciembre 2009, febrero y noviembre 2010, en el mes de febrero 2010, las estaciones 4, 5, y 7 y 8 presentan nivel trófico alto (eutrófico)

con calidad de agua pobre, el resto presenta nivel trófico medio a alto (mesotrófico a eutrófico) con una pobre calidad de agua. En esta temporada se puede caracterizar al estero de Urías como mesotrófico – eutrófico. Es importante mencionar que sin importar la temporada del año, en la estación 5 correspondiente al estero Infiernillo, presento los niveles del TRIX mas altos lo que nos indica que esta zona del estero de Urías presenta un nivel trófico muy alto (eutrófico) con aguas de alta productividad con una calidad pobre. Por otro lado la boca del estero (estación 1) presenta los niveles de TRIX más bajos en comparación de las otras estaciones debido a la mezcla de aguas como se menciono anteriormente.

Tabla 4. Variación anual del índice de eutrofización TRIX para el estero de Urías, Sinaloa.

Estacion de muestreo	TRIX											
	dic-09	ene-10	feb-10	mar-10	abr-10	may-10	jun-10	jul-10	ago-10	sep-10	oct-10	nov-10
1. Boca Estero	3,46	4,31	5,19	5,14	5,92	5,02	6,03	5,89	5,43	6,29	5,89	6,15
2. Canal Pemex	6,37	5,44	5,17	5,12	5,79	5,28	5,86	6,10	5,91	6,72	6,32	6,23
3. Canal Marinos	6,72	5,93	6,39	5,12	5,72	5,69	6,97	6,21	6,38	7,04	6,41	6,45
4. Boca infiernillo	6,49	6,50	6,69	5,22	6,53	5,25	6,44	6,52	8,00	8,00	6,63	6,90
5. Estero infiernillo	7,22	6,71	7,19	6,59	6,72	7,11	6,35	6,02	8,37	8,00	7,21	7,93
6. Canales	6,61	5,60	6,05	6,06	5,35	5,95	6,55	7,45	6,71	7,66	6,62	7,25
7. Maz Industrial	6,61	6,15	6,10	5,57	5,26	6,05	6,49	6,55	6,63	7,78	6,26	6,37
8. Agua Caliente	6,49	6,00	6,60	5,80	5,47	5,57	6,14	5,40	6,25	7,51	6,80	5,30
9. Termoelectrica	6,35	5,99	6,18	5,40	5,03	5,87	6,31	6,80	6,59	7,07	6,24	6,20
10. PTAR El Castillo	6,08	5,24	6,29	5,07	5,03	5,19	6,15	6,20	6,57	7,03	5,00	5,25

7.2.2 Índice de calidad ICAC

Para el índice ICAC (Mendoza *et al.,* 2004), la calidad del agua del estero de Urías presenta un 78,3 % de los valores por debajo del límite establecido y un 21,7 % por encima del límite (figura 20), lo que nos indica que en la mayor parte del sistema durante los meses de diciembre 2009 y enero – noviembre 2010, la calidad del agua es mala.

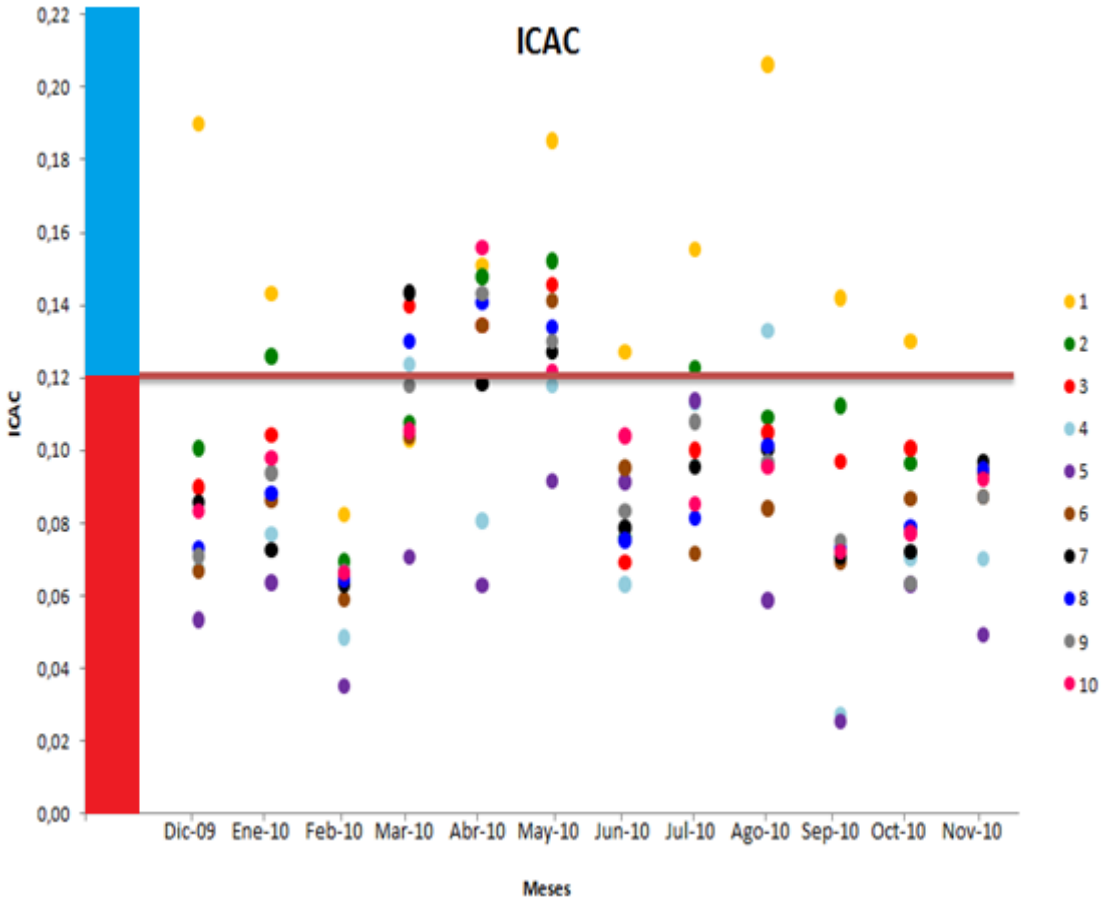

Figura 20. Variación anual del incide de calidad de aguas costeras ICAC para el estero de Urías, Sinaloa.

En la Tabla 5 se muestra la variación anual de la calidad del agua del estero de Urías según el método de Mendoza *et al.,* (2004). De una manera espacial y temporal, en la época de lluvias (julio – octubre 2010) la calidad fue mala para la mayoría de las estaciones de muestreo, excepto por la estación 1 y 4 de esta temporada, donde presenta una calidad de agua buena. En los meses de diciembre 2009, enero, febrero y noviembre 2010 (temporada de secas frías), no varía mucho de la época de lluvias, ya que en su mayoría las estaciones presentan calidad de agua mala, excepto la estación 1 y 2 con calidad de agua buena. Al contario de estas dos épocas, en la época de secas cálidas correspondiente a los meses de marzo – mayo 2010, la mayoría de las estaciones presentan calidad de agua buena, aunque también se presentan estaciones con mala calidad de agua. Al igual que en el TRIX, la estación 5 (estero Infiernillo) presenta una mala calidad de agua sin importar la temporada del año y la estación 1 (boca) presenta en su mayoría las mejores condiciones del estero (Figura 20).

Tabla 5. Variación anual del índice de calidad de aguas costeras ICAC para el estero de Urías, Sinaloa

Estación de muestreo	ICAC											
	dic-09	ene-10	feb-10	mar-10	abr-10	may-10	jun-10	jul-10	ago-10	sep-10	oct-10	nov-10
1. Boca Estero	0,19	0,14	0,08	0,10	0,15	0,19	0,13	0,16	0,21	0,14	0,13	0,10
2. Canal, Pemex	0,10	0,13	0,07	0,11	0,15	0,15	0,08	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09
3. Canal, Marinos	0,09	0,10	0,07	0,14	0,13	0,15	0,07	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09
4. Boca infiernillo	0,07	0,08	0,05	0,12	0,08	0,12	0,06	0,11	0,13	0,03	0,07	0,07
5. Estero infiernillo	0,05	0,06	0,03	0,07	0,06	0,09	0,09	0,11	0,06	0,03	0,06	0,05
6. Canales	0,07	0,09	0,06	0,10	0,13	0,14	0,10	0,07	0,08	0,07	0,09	0,09
7. Maz Industrial	0,09	0,07	0,06	0,14	0,12	0,13	0,08	0,10	0,10	0,07	0,07	0,10
8. Agua Caliente	0,07	0,09	0,06	0,13	0,14	0,13	0,08	0,08	0,10	0,07	0,08	0,09
9. Termoelectrica	0,07	0,09	0,07	0,12	0,14	0,13	0,08	0,11	0,10	0,08	0,06	0,09
10. PTAR El Castillo	0,08	0,10	0,07	0,11	0,16	0,12	0,10	0,09	0,10	0,07	0,08	0,09

En el estudio del proceso de eutrofización en ambientes costeros, numerosos métodos se han desarrollado para la evaluación cuantitativa de la eutrofización tales como técnicas estadísticas, así como modelos de simulación e indicadores de calidad del agua, siendo estos últimos dos los más ampliamente utilizados para evaluar los niveles tróficos (Karydis, 2009). En las costas del noroeste de México, muchos de los puertos y de las ciudades costeras han empezado a mostrar síntomas locales de contaminación por nutrientes, se ha observado una alta contribución de actividades antropogénicas en la descarga global de los dos nutrientes cuantitativamente más importantes, nitrógeno y fósforo (Páez-Osuna *et al*., 1998).

Para el estero de Urías, no hay referencias de el uso y aplicación de un índice de calidad, sin embargo para la bahía de Mazatlán, se han realizado estudios de eutrofización, como pueden ser el trabajo realizado por Cortés *et al.* (1994) señalando que el aumento de la eutrofización de las costas de Sinaloa se debe al aporte de aguas residuales de zonas turísticas. Alonso-Rodríguez *et al.* (2000) y la Comisión Nacional de Agua (2001) atribuyeron la eutrofización a fuentes antropogénicas. Pérez-Verdugo (2007) también concluyó que las diferentes actividades antropogénicas afectaban el ambiente de la bahía, debido a que el nitrito, nitrato y ortofosfatos presentaron concentraciones promedio muy elevadas, características de un sistema con alto nivel de eutrofización, Quiñones-Gallardo (2008), en una de sus conclusiones menciona que la contaminación por nutrientes es debido a la descarga de las granjas acuícolas.

El índice TRIX no muestra mucha diferencia, ya que en todo el año y en todas las estaciones estudiadas, el sistema esta eutrofizado, la diferencia que se logra captar es debido a la temporada del año, ya que en los meses correspondientes a secas cálidas (marzo - mayo 2010) el índice TRIX presenta valores promedio de 5,63 ± 0,55, en cambio en la época de lluvias (julio – octubre 2010) se presenta un valor promedio de 6,65 ± 0,74, ambos datos caen en el índice TRIX eutrofizado. Por su parte en el índice ICAC presenta la misma tendencia, en secas cálidas (marzo - mayo 2010) el promedio es de 0,13 ± 0.03 y para lluvias (julio – octubre 2010) los valores son de 0,09 ± 0,03, en las dos temporadas, el índice esta debo de su límite lo que indica una calidad de agua mala.

El comportamiento en la variación del estado trófico se pude atribuir a la hidrodinámica que se presenta en el sistema estuarino ya que el transporte de nutrientes es en dirección noroeste a lo largo de la costa de acuerdo a la refracción del oleaje (Montaño-Ley y Aldeco-Ramírez, 1996), también se le atribuye al tiempo de recambio de agua del sistema.

7.3 Estadísticos

7.3.1 Prueba Mann-Whitney

De acuerdo a los resultados de temperaturas obtenidos con esta prueba (Tabla 6), no se encontró diferencia significativa entre las estaciones de muestreo, sin embargo, se observaron diferencias entre el grupo de meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre (2010) con el grupo de meses de diciembre (2009), enero, febrero, marzo, abril, octubre y noviembre (2010), como se puede observar en la Figura 3.

Para el pH no se encontró diferencias significativas (Tabla 6) tanto en estaciones como en meses de muestreo (Figura 6).

Como se muestra en la Tabla 6, para la salinidad no se encontró diferencias significativas tanto en estaciones como en meses de muestreo (Figura 4).

No se encontraron diferencias significativas entre los meses y entre las estaciones de muestreo para el amonio (Tabla 6, Figura 12).

Para el caso del Oxígeno Disuelto no se encontró diferencias significativas por estaciones de muestreo, en cambio se observaron diferencias entre los meses de mayo, julio y agosto con el mes de septiembre (Tabla 6, Figura 7).

En la Tabla 6 se observa que no existe diferencia significativa para los nitratos entre las estaciones de muestreo, pero, se observan diferencias entre los meses de marzo (2010) con diciembre (2009), febrero, abril, septiembre y noviembre (2010) así como junio, julio, agosto y octubre (2010) con diciembre (2009), como se puede observar en la Figura 13.

En el caso de los nitritos, es similar a los nitratos, ya que no se observan diferencias significativas entre estaciones, pero, si se existen diferencias significativas entre los meses de marzo, abril y mayo (2010) con febrero (2010) y a su vez con septiembre (2010), también existe diferencia significativa entre diciembre (2009) con agosto (2010), esto se puede observar en la Tabla 6 y Figura 14.

No existen diferencias significativas para Fósforo Total, entre los meses y las estaciones de muestreo (Tabla 6, Figura 11).

Para la clorofila *a* no se observan diferencias significativas (Tabla 6), tanto en estaciones como en meses de muestreo (Figura 9).

Al igual que el fosforo total, no se observan diferencias significativas entre estaciones y meses de muestreo, como se puede observar en la Tabla 6y Figura 15).

Tanto para coliformes totales como para fecales, no se observan diferencias significativas entre las estaciones y los meses de muestreo (Tabla 6, Figura 17 y 18).

Para la DBO5 se observan diferencias significativas entre los meses de diciembre (2009) y octubre (2010) con los meses de febrero, marzo, abril y julio (2010), además existe diferencia entre los meses enero, agosto, septiembre y noviembre (2010) con febrero (2010), para las estaciones de muestreo no se encontró diferencias significativas como se observa en la Tabla 6 y Figura 8.

En la Tabla 6 y Figura 10, se observa que no existen diferencias significativas entre las estaciones de muestreo para los SST, sin embrago, si existen diferencias entre el grupo de meses de marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto (2010) con los meses de septiembre y octubre (2010).

Como se observa en la Tabla 6, no se encontró diferencias significativas para grasas y aceites, tanto en meses como en estaciones de muestreo (Figura 16).

Tabla 6. Resultados del ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney (*P*<0,05) para las variables fisicoquímicas y biológicas en el estero de Urías, Sinaloa.

Variable	Valor de *P* Mes	Diferencia significativa	Valor de *P* Estación	Diferencia significativa
Temperatura	0,0024	Si	0.6861	No
pH	0,9097	No	0,8852	No
Salinidad	0,2568	No	0,8398	No
Oxígeno Disuelto	0,0101	Si	0,1489	No
Amonio	0,8205	No	0,1190	No
Nitratos	0,0233	Si	0,9539	No
Nitritos	0,0019	Si	0,9080	No
Fosforo	0,1736	No	0,0734	No
Clorofila *a*	0,6501	No	1,0000	No
Ortofosfatos	0,5433	No	0,8624	No
Coliformes totales	0,3846	No	0,1333	No
Coliformes fecales	0,2568	No	0,2144	No
DBO_5	0,0019	Si	0,7950	No
Grasas y aceites	0,8382	No	0,3242	No
Sólidos Susp. Totales	0,0101	Si	0,4529	No

7.3.2 Correlación de Pearson

En la Tabla 6 se muestran los resultados de la correlación múltiple realizadas a las variables analizadas en las estaciones del estero de Urías. De manera general para la temperatura se observa una correlación significativa positiva entre las variables Temp-pH, Temp-Sal, Temp-OD, Temp-Chl *a* y Temp-SST, lo que significa que se están incrementando conjuntamente entre ellas. Por otra parte las correlaciones negativas están dadas entre Temp-Amonio, Temp-Nitritos y Temp-Ortofosfatos, es decir, estas variables se correlacionaron inversamente.

Por su parte, el pH se encuentra correlacionado positivamente con la salinidad, OD, Chl *a* y SST, indicando que al aumentar el pH, aumentan la concentración de las otras variables, el contrario de la correlación con el amonio, nitratos, nitritos y ortofosfatos, ya que resulto ser negativa, lo que nos indica que son inversamente proporcionales. También se observan correlaciones negativas de Sal-Amonio, Sal-Nitratos, Sal-Nitritos, Sal-FT, Sal-Chl *a*, y Sal-Ortofosfatos, la única correlación positiva por parte de la salinidad fue con los SST. El Oxígeno Disuelto correlaciono positivamente con los SST y con la Chl a, esto se debe a que es necesario tener mayor concentración de oxígeno para que se reproduzca el fitoplancton, por otra parte, las correlaciones negativas del oxigeno fueron dadas con el amonio, nitratos y nitritos. Con respecto a los nutrientes, se observo una correlación positiva de amonio con nitratos, nitritos, FT y ortofosfatos, lo que nos indica que al

incrementarse un nutriente, incrementan los demás, en cambio, al incrementarse el amonio, reduce la concentración de Chl *a* y SST, ya que dio una correlación negativa. Otra correlación positiva entre nutrientes fue nitratos-nitritos y nitratos-FT así como nitritos-FT y nitritos-ortofosfatos, dando como resultado un incremento conjunto y una correlación negativa de nitratos-ortofosfatos, nitritos-Chl *a* y nitritos-SST, siendo estos inversamente proporcionales. Finalmente se observo la correlación negativa entre SST y ortofosfatos y correlaciones positivas de FT-Chl a, FT-ortofosfatos, Chl a-SST y CT-CF, este último debido a que dentro de los Coliformes Totales se encuentran el tipo de Coliformes Fecales, así cuando incremente la concentración de Coliformes Totales, incrementa la de Coliformes Fecales.

Tabla 7. Resultados anuales del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas.

Anual	Promedio	D.E.	Temp	pH	Sal	OD	Amonio	Nitratos	Nitritos	FT	Chl *a*	Orto	CT	CF	DBO_5	GyA	SST
Temp	27,68	3,1	1,00														
pH	7,78	0,3	0,72	1,00													
Sal	36,04	1,3	0,21	0,21	1,00												
OD	5,94	1,9	0,47	0,50	-0,02	1,00											
Amonio	0,13	0,1	-0,26	-0,42	-0,33	-0,28	1,00										
Nitratos	0,04	0,0	-0,18	-0,30	-0,23	-0,20	0,49	1,00									
Nitritos	0,01	0,0	-0,22	-0,38	-0,35	-0,28	0,69	0,78	1,00								
FT	0,14	0,1	-0,08	-0,09	-0,49	0,06	0,64	0,35	0,52	1,00							
Chl *a*	8,18	18,1	0,38	0,56	-0,20	0,64	-0,20	-0,15	-0,21	0,24	1,00						
Orto	0,08	0,0	-0,29	-0,41	-0,48	-0,18	0,82	0,49	0,67	0,82	-0,06	1,00					
CT	15367,65	113770,7	-0,05	-0,02	-0,14	-0,03	0,16	0,05	0,10	0,09	0,00	0,10	1,00				
CF	11020,44	106363,7	-0,02	-0,00	-0,15	-0,02	0,18	-0,02	0,06	0,11	0,02	0,11	0,93	1,00			
DBO_5	2,39	1,4	-0,06	-0,06	0,02	0,14	-0,09	-0,13	-0,15	0,12	0,15	0,07	-0,01	0,02	1,00		
GyA	5,90	6,7	-0,06	-0,04	0,09	-0,07	0,08	0,11	0,19	0,05	-0,11	0,04	-0,03	-0,01	-0,19	1,00	
SST	61,31	30,2	0,44	0,45	0,31	0,28	-0,24	-0,18	-0,27	0,06	0,52	-0,24	-0,08	-0,04	0,12	-0,06	1,00

7.3.3 Conglomerados

En la Figura 21 se muestra la grafica de conglomerados para las variables fisicoquímicas y biológicas analizadas en este estudio, dicha grafica nos muestra 3 secciones, la parte (a) representa los 120 datos resultado de las 10 estaciones de muestreo en los 12 meses de trabajo de campo, se observa que se formaron 6 grupos (Tabla 8) a menos de 500 unidades de distancia, en la parte (b) se muestran los grupos formados por las variables fisicoquímicas y biológicas estudiadas, se observa la formación de 2 grupos (Tabla 9) a menos de 50 unidades de distancia y la parte (b) representa el porcentaje que obtiene cada grupo al relacionarlos uno con el otro.

Tabla 8. Resultados de los grupos formados en el análisis de conglomerados para meses y estaciones de muestreo.

Grupo 1	Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5		Grupo 6	
94	121	25	84	72	38	13	81	41	68	107
118	115	15	64	58	34	810	71	42	69	108
93	95	85	45	1110	37		59	43	75	109
123	116		111	22	32		128	44	76	112
54	114		57	21	28		39	46	77	119
51	122		56	35	27		110	47	79	129
99	83		53		26		89	48	86	410
96	52		117		16		74	49	88	610
91	127		113		14		78	61	101	710
510	126		97		1210		210	62	102	910
36	19		73		87		11	63	103	1010
310	125		92		55		12	65	104	
33	124		82		17		23	66	105	
31	24		98		18		29	67	106	

Nota: los números son la representación de cada mes y estación de muestreo, el primer número representa el mes de muestreo, va desde 1 hasta 12, siendo 1 el mes de diciembre (2009), 2 el mes de enero (2010) y así consecutivamente hasta llegar al mes 12, siendo este noviembre (2010). El segundo número representa la estación de muestreo, va de 1 al 10, siendo 1 la estación de la boca del estero de Urías y 10 la estación frente a la PTAR El Castillo.

Tabla 9. Resultados de los grupos formados en el análisis de conglomerados para variables fisicoquímicas y biológicas.

Grupo A	Grupo B
pH	Amonio
OD	NID
Chl *a*	FT
DBO_5	Ortofosfatos
Salinidad	nitratos
SST	nitritos
CT	
CF	
GyA	

Claramente se observa que los 2 grupos formados por las variables son el grupo A como variables ambientales y el grupo B como nutrientes. En el caso de los grupos de mes/estación no es muy clara la diferencia, ya que no existe una tendencia marcada para cada grupo, excepto en el grupo 6 donde se agrupan en su mayoría la estación 10 (frente a la PTAR El Castillo) y el mes de septiembre.

El grupo A con el grupo 1 representa un 6,56 % de relación existente, con el grupo 2 tiene un 7,96 %, con el grupo 3 representa un 9,37 %, con el grupo 4 un 7,5 %, con el grupo 5 un 13,59% siendo este el porcentaje de relación más alto entre todos los grupos y con el grupo 6 un 11,25 %.

El grupo B se relaciona en un 5,10% con el grupo 1, con el grupo 2 tiene un 6,19%, con el grupo 3 un 7,29 % de relación, con el grupo 4 un 5,83 %, con el grupo 5 un 10,57 % reflejando la mayor relación con este grupo y con el grupo 6 una relación de 8,75 %, dados estos resultados, tanto en el grupo de las variables ambientales (A) como en el grupo de los nutrientes (B) tiene una mayor relación con el grupo 5 de mes/estación.

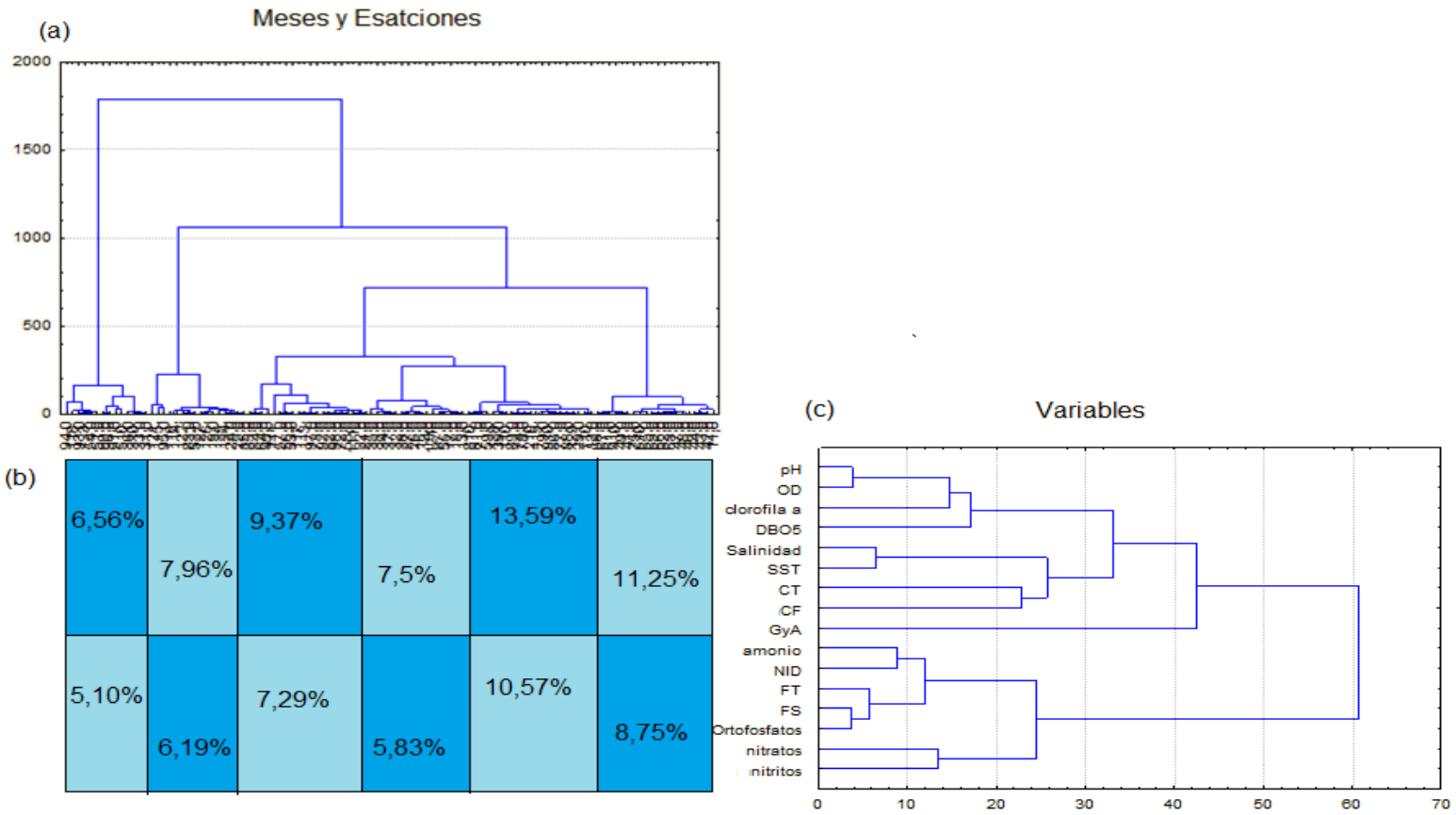

Figura 21. Análisis anual de conglomerados (NODAL), para las variables fisicoquímicas y biológicas en el estero de Urías, Sinaloa. Los numero del eje de las X en la figura (a) está representado en la Tabla 8

VII. **CONCLUSIONES**

- La temperatura superficial del estero de Urias fue más elevada en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, y en las estaciones correspondientes a la salida de la termoeléctrica, mientras que las más bajas se dieron en los meses de enero y febrero a lo largo del estero.

- La salinidad en el estero de Urias fue homogénea para todo el año, la salinidad más alta se dio en la zona de la cabeza del estero, donde se encuentran las granjas acuícolas.

- Los valores de pH más altos se dieron en los meses de mayo, junio, julio y agosto, siendo el valor más alto el correspondiente a la estación del estero del Infiernillo.

- El comportamiento del Oxigeno Disuelto alcanzo fue homogéneo durante todo el año.

- La DBO_5 no represento un problema para el estero de Urias ya que solamente se registraron valores entre 0 y 5 mg/L excepto en la cabeza del estero en el mes de julio donde se presento una DBO_5 de 7 mg/L.

- La concentración de Grasas y Aceites no presento una variación importante en el estero de Urias.

- El comportamiento de los SST presento sus valores máximos en la zona de asentamientos urbanos y en la zona de las granjas acuícolas a lo largo del año.

- Los Coliformes Totales y Fecales, presentaron el mismo patrón para todo el año, teniendo los niveles más altos en el estero de Infiernillo y los más bajos en la boca del estero de Urias.

- La concentración de clorofila *a* para el estero de Urias presento sus valores máximos en el mes de agosto en la zona de asentamientos urbanos, el resto del año presento homogeneidad.

- En cuanto a los nutrientes (amonio, nitritos, nitratos, fósforo y ortofosfatos) el estero de Urias presento los valores más altos en el mes de septiembre en la cabeza del estero y en el estero del Infiernillo, por lo contrario los valores más bajos se obtuvieron en la boca del estero en el resto del año.

- La dispersión de la carga de los nutrientes tiende a distribuirse según el recambio de agua en el estero. Las estaciones de la zona de la cabeza son influenciadas por las granjas acuícolas y la planta de tratamiento El Castillo, cercana a la zona, mientras que las estaciones de la zona cercanas a la boca son influenciadas por la interacción que hay entre el agua del océano con la del estero de Urías.

- Las altas concentraciones de nutrientes son indicadores de la influencia de la descarga de agua residual que se presentan en el estero a partir de las industrias y granjas que se encuentran al margen del sistema.

- El aumento de la concentración de nutrientes causado por aportes antrópicos es una de las mayores presiones ambientales que impacta actualmente a los ecosistemas costeros de todo el mundo.

- La clasificación temporal del estado trófico TRIX en el estero de Urías, durante el periodo de lluvias (2010) corresponde a un nivel trófico alto (eutrófico) lo cual le confiere una calidad de agua pobre, durante la temporada de secas (2009 a 2010), presenta un nivel trófico medio (mesotrófico – eutrófico), cuya calidad de agua es de media a pobre.

- El índice ICAC muestra la misma tendencia que el TRIX ya que demuestra que en el periodo de lluvias (2010) la calidad del estero es mala, mientras que en el periodo de secas (2009 a 2010) la calidad es buena en la mayoría de los casos.

- Las estaciones que representan al Infiernillo independientemente de la época del año presentan un nivel trófico alto (calidad de agua pobre), debido a la influencia que genera las descargas urbanas. Esta zona obtiene el valor de TRIX y de ICAC más alto en todo el estero.

- La boca del estero de Urías, en todo el año presento valores de TRIX y de ICAC más bajos, representado una calidad de agua de buena a mala con un nivel trófico medio a alto.

- En general el estero de Urías es un sistema claramente impactado reflejando una pobre calidad de agua, lo que nos indica un nivel trófico muy alto.

VIII. **RECOMENDACIONES**

A pesar de la existencia de índices o metodologías para establecer el estado trófico de la zona costera, el encontrar una herramienta simple pero robusta que describa una respuesta general de eutrofización, es una tarea que conlleva investigaciones a largo plazo en diferentes ambientes, ya que la productividad biológica en aguas estuarinas está influenciada por una multitud de factores que regulan las transformaciones biogeoquímicas.

Desarrollar estudios de calidad de agua con la utilización de índices de calidad durante un periodo de tiempo largo para así poder proveer información a personas que toman las decisiones sobre las prioridades del recurso; se podrá determinar si se están sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes y de ser necesario modificarlas; comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas, permitirá un análisis de tendencia mostrando si la calidad ambiental está empeorando o mejorando; además, simplificaría una gran cantidad de datos de manera que se puedan analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

Evitar los asentamientos urbanos no planeados para que las condiciones del estero de Urias no sea afectado por las descargas descontroladas vertidas al sistema.

Realizar una concientización por parte de los organismos gubernamentales, instituciones públicas y privadas y de la población en general para conservar en buen estado el estero de Urias.

IX. **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Acosta-Ruiz, J. M. y Lara-Lara, J. R. 1978. Resultados físicos y químicos de un estudio de variación diurna del área central de Bahía Magdalena, B. C. S. Ciencias Marinas. 7(1):37-46.

Alonso, R. R., 1998. Ocurrencia de mareas rojas y calidad de agua en la zona sur de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México Tesis. Universidad nacional Autónoma de México UNAM., Mazatlán Sinaloa. 165 pp.

Alonso-Rodríguez, R., Páez-Osuna, F., Cortés-Altamirano, R. 2000. Trophic Conditions and Stoichiometric Nutrient Balance in Subtropical Waters Influenced by Municipal Sewage Effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California). Marine Pollution Bulletin 40: 331-339.

Álvarez-León, R. 1977. Estudio hidrobiológico de los esteros del Astillero, Urías y la Sirena adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría. UACPyP, CCH, UNAM, 130 pp.

AMBIO. 1990. Special Issue: Marine Eutrophication. AMBIO 19:1-3, 176pp.

Amparo-Galeana, Maria N. 2011. Evaluacion espacio-temporal del estado trófico de la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Tesis profesional. Facultad de estudios superiores Iztacala. UNAM. 84 pp.

Andersen, J. H., Schlüter, L. y G. Ærtebjerg. 2006. Coastal eutrophication: Recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. Journal of Plankton Research, 28: 621-628.

Aranda-Cirerol, N. 2004. Eutrofización y calidad del agua de una laguna costera tropical. Tesis doctoral. Univesitat de Barcelona, Barcelona, España. 230 pp.

Aranda-Cirerol. N. 2001. Alimentando al mundo, envenenando al planeta: Eutrofización y calidad de agua. Avance y Perspectiva. México. 20: 293-303.

Arrhenius, E. 1992. Protecting Tropical and Subtropical Coastal Waters: A Resource for Future Generations. AMBIO 21:7, 488-490.

Aubriot, L., Conde, D., Bonilla, S., Hein, V. y Britos, A. 2005. Vulnerabilidad de una laguna costera en una Reserva de Biosfera: indicios recientes de eutrofización. Pp. 65-85. En: Vila, I Y J. Pizarro (Eds.). Taller Internacional de Eutrofización de Lagos y Embalses. CYTED XVIIB. Patagonia Impresores, Chile.

Ayala-Castañares, A., Phleger, F. B. y Gutiérrez-Estrada, M. 2003. Bases para el estudio, la interpretación y el manejo de las lagunas costeras. Cifuentes-Lemus J. y J. Gaxiola-López (Eds). Atlas de los ecosistemas de Sinaloa. Colegio de Sinaloa. Colegio de Sinaloa. 127-174 pp.

Barreiro, G. M. A. y Aguirre, L. A. 1999. Distribución espaciotemporal de la biomasa fitoplanctónica en el sistema lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. Revista de Biología Tropical. 47:27–35.

Boyd, C. 1982. Water quality management for pond fish culture. Elsevier. New York, EEUU. 318 pp.

Boynton, W. R., Kemp, W. M. y Keefe, C. W. 1982. A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production. In: V.S. Kennedy (Ed.). Estuarine Comparisons. Academic Press, New York. 69 90.

Bueno, J. L., Sastre, H. y Lavín, A. G. 1997. Contaminación e Ingeniería Ambiental. FICYT, Oviedo.

Calvario-Martínez, O., y Domínguez-Jiménez, P. 2007. Evaluación de la productividad del fitoplancton y de la respiración planctónica en la parte más interna del Estero de Urías, Sinaloa, México. Pp-227-237 En: Hernández de la Torre, B. & G. Gaxiola-Castro, G. Carbono en ecosistemas acuáticos de México. SEMARNAT-INE-CICESE. 508 p.

Cardoso-Mohedano, J. G. 2004. Impacto de la descarga de efluentes de los estanques de cultivo de camarón en un complejo lagunar (estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa, México) con y sin influencia del dragado. Tesis

de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Carlson, B. 1995. The Secchi Disk and The Volunteer Monitor. Lakeline, N. *Am. Lake. Manage. Soc.* 15(1):28-29, 35-37.

Ceseña-Célis, R. y S. Álvarez-Borrego, 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el estero Punta Banda, B. C. Ciencias Marinas. P.98-105.

Chávez Ortiz, E. 1978. Estudio ecológico de dos lagunas costeras del Pacífico de México con especial referencia a la biología pesquera del camarón. Tesis Doctoral. I.P.N.-E.N.C.B. 287 pp.

Cloern, J. E. 1999. The relative importance of light and nutrient limitation of phytoplankton growth: a simple index of coastal ecosystem sensitivity to nutrient enrichment. Aquatic Ecology, 33, 3-16

Cloern, J. E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Marine Ecology Progress Series, 210: 223-253.

Comisión Nacional del Agua. 2001. Estudio de calidad del agua de la Bahía de Mazatlán, Subdirección regional técnica. Culiacán, México.130 pp.

Conde-Gómez., J. y De la Lanza-Espino, G. 1994. Hidrología contra contaminación en la laguna Ensenada del Pabellón, Sinaloa. Oceanología (2): 43-59.

Contreras-Espinosa, F. 1993. Ecosistemas costeros Mexicanos. Primera Edición, 1993. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México.

Contreras-Espinoza F. 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. México, DF. 95-98.

Cortés, A. R., 1994. ¿Las mareas rojas están aumentando en las costas de México? Planctología Mexicana. Boletín Informativo No. 14 de la Sociedad Mexicana de Planctología. A. C.Cortés, A. R., Hernández, B. D. U. y Luna, R. S. 1996. Red tides in México: A review. In Yasumoto T., Y. Oshima, y Y. Fukuyo (eds.). Harmful and Toxic Algal Blooms. IOC-UNESCO. Paris, France.

Covantes R. C. 2005. La percepción de los habitantes sobre los ecosistemas acuáticos en Mazatlán, Sinaloa. Editorial UAS. México. Pág. 95-100, 102-113.

Cruno, E. 2005. Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Municipio de Álamos, Sonora, México. Centro Regional Universitario del Noroeste. Proyectos Ciudad Obregón Sonora, México.

Damar, A. 2003. Effects of enrichment on nutrient dynamics, phytoplankton dynamics and productivity in Indonesian tropical waters: a comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay. PhD. thesis. Christian Albrechts Universita¨t, Kiel. 249 p.

De la Lanza-Espino, G. 1994. Química de las lagunas costeras y el litoral mexicano. 127-198. En: De la Lanza-Espino, G. y Cáceres-Martínez, C. (Eds.). Lagunas costeras de México. UABCS, La Paz.

De la Lanza-Espino, G. y Rodríguez-Medina, M. A. 1993. Caracterización de la laguna, Caimanero, Sinaloa, México a través de algunas variables geoquímicas. Ciencias Marinas 16(3):27-44, México.

Del Río-Chuljak, A. 2006. Distribución espacial y temporal de fosforo y silicio en aguas de las lagunas costeras de Sinaloa. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Mazatlán, Universidad Nacional Autónoma de México. Sinaloa. 135 p.

Del Rio-Chuljak, A., 2003. Concentración y aporte de nutrientes en el Estero de Urías (Puerto de Mazatlán): tiempo de residencia y variabilidad estacional. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Domínguez, R., Barbosa, A., y Galvao, H. 2005. Nutrients, light and phytoplankton succession in a temperate estuary (the Guadiana, south-western Iberia). Est. Coast. Shelf Sci. 64: 249-260.

Emiliani, F. y González de Paira, S. 1997. Bacterias coliformes en ambientes prístinos del río Paraná medio (Santa Fe, Argentina): distribución y correlaciones con variables ambientales. FABICIB 1:39.51.

Epstein, P. R. y Rapport, D. J. 1996. Changing Coastal Marine Environments and Human Health. Ecosystem Health. 2:3, 166-176.

Escobedo, D., Hernández, M. T., Herrera, M. N. y Chiquete, A. Y. 1999. Calidad bacteriológica del sistema lagunar de San Ignacio-Navachiste, Sinaloa. Ciencia y Mar. Vol. lll. Num. 9. pp.17-27.

Escobedo-Urías, D. C. 2000. Diagnóstico y descripción del proceso de eutrofización en lagunas costeras del norte de Sinaloa. Tesis de doctorado. CICIMAR IPN. 274 pp.

Escobedo-Urías, D., Hernández-Real, M. T., Herrera-Moreno, N., Ulloa Pérez, A. E. y Chiquete-Ozono, A. Y. 1999. Calidad bacteriológica del Sistema Lagunar de San Ignacio Navachiste, Sinaloa. Ciencia y Mar, III (9): 17-27.

Fernandez, N., Ramirez, A. y Solano, F. 2004. Indices Fisicoquimicos de calidad del agua, un estudio comparativo. Conferencia Internacional: Usos multiples de Agua, para la vida y el desarrollo sostenible. Universidad de Pamplona, Colombia.

Figueroa, J. R. (2004). Buenas Prácticas de Manejo para el Cultivo de Camarón.

Foyn, E., 1969. Waste disposal and pollution in coastal lagoons. In: UNAM-UNESCO. (Eds.). Memorias del Simposio Internacional Lagunas Costeras. Nov. 28-30, 1967. México, D.F. pp. 281-290.

Frías-Espericueta, M. G. 1996. Hidrología del sistema estuarino, estero Infiernillo – arroyo Jabalines: amonio, nitrito, nitrato y fosfato., en Flores Campaña, L. M. Ordenamiento ecológico, rehabilitación hidrográfica y vigilancia ambiental del sistema arroyo Los Jabalines – estero el Infiernillo, Escuela Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa y H. Ayuntamiento de Mazatlán, México, 1-15 pp.

Frías-Espericueta, M. G., Harfush-Meléndez, M. y F. Páez-Osuna. 2000. Effects of ammonia on mortality and feeding of postlarvae shrimp Litopenaeus vannamei. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 65:98-103.

Frías-Espericueta, M.G., Osuna-Lopez, J.I., Lopez-Lopez, G., Izaguirre-Fierro, G. y Sanchez-Gaxiola, C.M. 2005. El oxígeno y el cultivo de camarón en Sinaloa, Mexico. Industria Acuícola. 1(5): 6-9.

Galindo-Reyes, J. G. 2000. Condiciones ambientales y de contaminación en los ecosistemas costeros de Sinaloa. Universidad Autonoma de Sinaloa, Mexico. 158 pp.

Galindo-Reyes, J.G. 1987. Contaminación por hidrocarburos del petróleo en el estero de Urías. Mazatlán, Sinaloa. Ciencias del Mar. 8: 38-43.

Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., Asner, G. P., Cleveland, C. C., Green, P. A., Holland, E. A., Karl, D. M., Michaels, A. F., Porter, J. H., Townsend, A. R. y J.ŏ Vrŏsmarty, C. 2004. Nitrogen cycles: past, present and future. Biogeochemistry, 70: 153–226.

Galv, L. 2003. A Water Pollution crisis in the Americas. Habitat Debate 9 (3): 10.

García de la Parra, L. M. 1992. Estimación de tasas de fijación de nitrógeno atmosférico en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría en Ciencias. ICMyL, UNAM, Mazatlán, Sinaloa, México. 125 pp.

Garcia-Ballesteros, M. G. y M. Larroque. 1974. Elementos sobre la distribución de la turbidez en el alto Golfo de California. Ciencias Marinas. Vol. 1, No. 2, 31-62 pp.

GESAMP. 1994. The state of the marine environment. Blackwell Science. Oxford, 146 p.

Gilmartin, M. y N. Revelante. 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. Estuarine and Coastal Marine Science 7: 29-47.

Goldberg, E. D. 1995. Emerging Problems in the Coastal Zone for the Twenty First Century. Marine Pollution Bulletin, 31: 4-12, 152-158. Goldenberg, S.B., Landsea, C.W., Mestas-Nuñez, A.M. and Gray, W.M. 2001. The Recent Increase in Atlantic Hurricane Activity: Causes and Implications. Science, 293: 474-479.

González-Farías, F. 1986. Variación estacional de detritus en diversos ecosistemas del Golfo de California. Memorias de Intercambio Académico sobre Investigaciones en el Mar de Cortés. Abril 1986. Hermosillo Sonora.133-148.

Herrera, A y P. Suárez (2005). “Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera”. *INCI,* 30 (3): 171- 176.

Hunter, C., Perkins, J., Tranter, J. y Gunn, J. 1999. Agricultural land use effect on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire peak district in the U.K. *Water* Res*.* 33(17):3577.3586.

INE. 2000. La calidad del agua en los ecosistemas costeros tropicales. Programa de Medio Ambiente 1995-2000. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México.

Karydis, M. 2009. Eutrophication assessment of coastal waters based on indicators: A literature Review. Global NEST Journal, 11(4):373-390.

Karydis, M., Ignatiades, L. y Moschopoulou, N. 1983. A Index associated with Nutrient Eutrophication in the Marine Environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 16:339-344.

Krom, M. D., Brenner, S., Kress, N., Neori, A. y Gordon, L. I. 1992. Nutrient dynamics and new production in a warm-core eddy from the E. Mediterranean. Deep-Sea Res. 39: 467-480.

Lankford, R. A. 1977. Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification. 183-125. En: Estuarine processes. vol. II. Wiley, M. (Ed.). Academic Press. New York.

Lara-Lara J. R. y S. Álvarez-Borrego. 1975. Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B. C. Ciencias Marinas. Vol.2, No.1. p. 77-97.

Li, M., A. Gargett, y K. Denman. 2000. What determines seasonal and interannual variability of phytoplankton and zooplankton in strongly estuarine systems? Application to the semi-enclosed estuary of Strait of Georgia and Juan de Fuca Strait. Estuarine, Coastal and Shelf Science 50:467- 488.

López-Aguiar, L. l. K. 2006. Distribución espacial y estacional de las principales especies químicas del nitrógeno en aguas de las lagunas costeras de Sinaloa. Tesis de Maestría. ICMYL-UNAM. México. 119 p.

Magaña, Á. M. 2004. Distribución de nutrientes y su efecto en el nivel trófico de la laguna de Macapule, Sinaloa. Tesis de Maestría CIIDIR-IPN. Guaymas, Sonora, México. 52-75 pp.

Maldonado-Alcudia, S. E., Ortiz-Ruiz, A., Ramírez-López J. A., Mastachi-Pérez, J. L. y Ponce de León J. M. 1980. Medición de algunos parámetros físico químicos y biológicos del canal de navegación y áreas adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. Escuela Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa. Mazatlán, Sinaloa. Pág. 20 – 27

Manahan, S. E. 1979. Environmental chemistry. Willard Grant Press. Boston Massachussets, 489 p.

Mares-Hernández, F. 1983. Estudio de la calidad del agua de la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Laboratorio Regional de Contaminación y Prevención de la Calidad del Agua, Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Mazatlán, México, 70 pp.

Margalef, R. 1982. Ecología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 951 pp.

Mee, L.D. 1980. Primer Informe Parcial del Proyecto PCMANAL 790001. Estudio Integral de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Estación de Investigaciones Marinas, UNAM, Mazatlán, Sinaloa.

Mendoza-Salgado, R. A., Lechuga-Devéze, C. H., Ortega-Rubio, A. 2005. First approach of a method to assess wáter quality for arid climate bay in teh Gulf of California. Science of the Total Environment . 347: 208-216.

Millán-Núñez, R. y Rivas-Lozano, A. M. 1988. Nutrientes y clorofilas en la bahía de Todos los Santos (mayo 1983). Ciencias Marinas. 14(4): 23-42.

Millán-Núñez, R. y S. Álvarez-Borrego. 1978. Series de tiempo de clorofilas a, b, c y sus feofitinas en las bocas de 2 lagunas costeras. Ciencias Marinas. 5(2):41-52.

Miller, A. 2002. Subset Selection in Regression, Second Editon. Chapman & Hall/CRC, 480 pp.

Millero, F. J. 2006. Chemical oceanography. (3rdo ed.). CRC Press, Boca Raton. 496 pp

Montaño-Ley, Y, Páez-Osuna, F. y R. Peraza-Vizcarra. 2000. Suspended and bed load sediment transport through a coastal lagoon entrance in Mazatlán, Sinaloa, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 16(1): 27-36.

Montaño-Ley, Y. y Aldeco-Ramírez, J. 1986. Estudio de refracción del oleaje frente a la zona centro-sur de Mazatlán, Sin. México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México 13(3): 57-72.

Morales-Serna, F. N. 2006. Variación espacial y temporal de la densidad y diversidad de los copépodos bentónicos en el estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestria. ICMYL-UNAM. México. 98 p.

Morales-Soto J. C., J. E. Valdez-Holguín, y R. Cervantes-Duarte. 2000. Cambio diurno y estacional de la clorofila a y algunas variables fisicoquímicas en Laguna La Cruz, Sonora México. *Oceánides,* 15 (1):25-33.

Morán-Silva, A., Martines-Franco, L. A., Chávez-López, R., Franco-López, J., Bedia-Sánchez, M. Contreras- Espinoza, F., Gutiérrez-Mendieta, F., Brown-Peterson, N. J. Y M. S. Peterson, 2005. Seasonal and spatial patterns in salinity, nutrients and chlorophyll a in the Alvarado Lagoonal System, Veracruz, Mexico. Gulf and Caribbean Research. 17:133-143.

NAS (National Academy of Sciences). 1969. EUTROPHICATION: Causes, Consequences, Correctives. Washington, D.C. 661 pp.

Newton, A. y Mudge, S. M. 2005. Lagoon-sea exchanges, nutrient dynamics and water quality management of the Ria Formosa (Portugal). Est. Coast. Shelf Sci. 62: 405-414.

Nixon, S. W. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41:199–219.

Norma Mexicana- NMX-AA-004-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana. NMX-AA-005-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana. NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO_5) y residuales tratadas.

Norma Mexicana. NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas. Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana. NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana. NMX-AA-042-1987. Calidad del agua. Determinacion del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva.

Norma Mexicana. NMX-AA-081-1986. Contaminación del agua. Determinación de nitrógeno de nitrato en agua marina. Método de reducción de nitrato a nitrito en columna de cadmio

Norma Mexicana. NMX-AA-099-SCFI-2006. Análisis de agua. Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales.

Norma Oficial Mexicana. Criterios de calidad de agua. NOM-001-SEMARNAT-006. Publicado en el Diario Oficial de la Federación. 13 de diciembre de 1989.

NRC (National Research Council). 2000. Clean Coastal Waters. Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution. National Academy of Science. National Academic Press. Washington, D.C. USA. 405 pp.

Ochoa-Izaguirre, M. J., 1999. Composición y distribución de macroalgas en el sistema lagunar de Urías (Mazatlán, Sinaloa, México): variación estacional de la biomasa en relación con la disponibilidad de nutrientes y algunos factores ambientales. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ortega-Salas, A. y Stephenson, R. 1976. Some aspects of the hydrography and hydrochemistry of the Yavaros and Huizache –Caimanero Lagoon Complex in North-West Mexico. Universidad Autónoma de México. Informe del Centro de Ciencias del Mar y Limnologia.

Osuna-López, J. I., Cervantes, A., Zazueta, H., Roiz, R. e Ibarria, A. 1994. Efectos letales de aguas residuales urbanas sobre organismos acuáticos del Estero del Infiernillo, Mazatlán, Sinaloa. Ciencias del Mar (UAS). 13: 5-10.

Páez-Osuna, F. 2001. Descarga de nutrientes procedente de la camaronicultura, agricultura y las aguas municipales en la zona costera del Golfo de California. 213:229. En Páez-Osuna, F. (Ed.). Camaronicultura y medio ambiente. ICMyL, UNAM, Mazatlán y El Colegio de Sinaloa, México, D.F.

Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S. R. y Ruiz-Fernández, A. C. 1998. The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in Mexico. Mar. Poll. Bull. 36: 65-72.

Páez-Osuna, F., Montaño-Ley, Y., y Bojorquez-Leyva, H. 1990. Intercambio de Agua, Fósforo y Material Suspendido entre el Sistema Lagunar Puerto de Mazatlán y las Aguas Costeras Adyacentes. Rev. Int. Contam. Ambient. 6: 19 32

Parsons, T., Maita, C. y Lally, C. 1984. A manual of chemical and biological methods of seawater analysis. Pergamon Press, Oxford. 173 pp.

Penna, N., Capellacci, S. y Ricci, F. 2004. The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. Marine Pollution Bulletin, 48: 3-4, 321-326.

Pérez Verdugo, F. 2007. Determinación de variables físicas, químicas y nutrientes (nitratos y fosfatos) en el Estero de Urías y en la Bahía de

Mazatlán, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. UAS, FACIMAR. Mazatlan, Sinaloa, México. 47 pp.

Quiñonez-Gallardo, W. E. 2008. Aportes de nitrógeno por efluentes acuícolas al estero de Urías: concentración de las especies químicas y composición isotópica. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Mazatlán. Mazatlán, Sinaloa, México. 84 pp.

Ramírez-Zavala, J. R. 1998. Estimación de las tendencias de cambio ambiental en el estero de Urías, Sinaloa, México por medio de un análisis multitemporal (1973-1997) con imágenes LADSAT. Tesis de Maestría en Ciencias. CIAD, Unidad Mazatlán, Mazatlán, Sinaloa, México.

Ruelas-Inzunza, R. J. 1998. Balanos (*Balanus eburneus*, *Fistulobalanus dentivarians* y *Megabalanus coccopoma*) como Biomonitores de la Contaminación por Metales Pesados en las Aguas del Puerto de Mazatlán, Sinaloa. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.121 pp.

Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y pesca (SEMARNAP). 2001. “Informe de resultados”, Centro Regional de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CREDES), Mazatlán, México, 7 pp.

Sigala-Morales, R., 1994. Distribución superficial de algunas variables fisicoquímicas y clorofila a en el sistema lagunar de Topolobampo, Sinaloa. Res. V Congreso de la Asociacion de Investigadores del Mar de Cortés, A. C. 104.

Soto-Jiménez, M. F., Páez-Osuna. F. y Ruiz-Fernández, A. C. 2003. Organic matter and nutrients in an altered subtropical marsh system, Chiricahueto, N.W., Mexico. Envoronmental Geology, 43: 913-921.

United States Environmental Protection Agency. 1986. Ambient water quality criteria availability. Fed. Regist 51 (45): 8012.

US-EPA. 1997. Protecting Coastal Waters from Nonpoint Source Pollution. n: U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. USA. 841-F-96-004E.

Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., Schlesinger, W. H. y Tilman, D. G. 1997. Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. Ecological Applications, 7: 3, 737-750.

Vollenweider, R. A., 1992. Coastal marine eutrophication: principles and control. In Marine coastal eutrophication, R. A. Vollenweider, R. marchetti, R. Viviani (eds) Elsevier. 1 -20 pp.

Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G. y Rinaldi, A. 1998. Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. Environmetrics, 9: 329-357

.

Wasmund, N., Andrushaitis, A., Lysiak-Pastuszak, E., Müller-Karulis, B., Nausch, G., Neumann, T., Ojaveer, H., Olenina, I., Postel, L. y Witek, Z. 2002. Trophic Status of the South-Eastern Baltic Sea: A Comparison of Coastal and Open Areas. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 53: 6, 849-864.

Digitografia.

INE. (2001). La calidad del agua en los sistemas costeros de México. (25/feb./2010). Disponible en http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=308&id_tema=12&dir=Consultas.