



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Análisis retrospectivo y actual de la
físicoquímica de la Laguna de Alvarado,
Veracruz, México en apoyo al
conocimiento futuro**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

Madián Isai Garcés Figueroa



DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Guadalupe Judith de la Lanza Espino

**Ciudad Universitaria, Ciudad de México
2017**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Primero que nada, doy gracias a Dios por permitirme finalizar una etapa más en mi vida.

A mis padres Emilia y Edilberto por guiarme en cada uno de mis pasos, por ser buenos consejeros y un gran apoyo para mí, gracias a su perseverancia y paciencia, porque ante cualquier situación que he vivido ustedes me han guiado por el camino del bien con sabiduría y entendimiento. Por ser mis más grandes admiradores y las personas que darían todo por ver a su hija plena y feliz.

A mi querido hermano Adriel, sabes que somos muy diferentes de carácter, pero sin importar esto, siempre me has apoyado en los momentos en los que más te he necesitado, eres el mejor hermano que pude tener.

A Luis, no tengo nada más que decirte que gracias, gracias por momentos únicos e inolvidables a tu lado.

A toda mi familia en general por sus buenos deseos y sabios consejos en cada etapa de mi vida.

A los profesores que me han enseñado el camino del conocimiento y del saber, pero en especial a la Dra. Guadalupe de la Lanza Espino por su enorme dedicación y compromiso en mi formación profesional y por impulsarme a dar siempre lo mejor de mí. Además de mis sinodales la Dra. Raz-Guzmán, la Dra. Huidobro Campos, la Dra. Ponce Márquez y el Dr. Martín López que me brindaron su valioso tiempo para apoyarme en mi proyecto.

Y a todas las personas que se han cruzado en mi camino, desde amigos hasta conocidos, porque de cada uno de ustedes aprendí cosas buenas y viví momentos agradables y divertidos.

Solo me queda dar las gracias.

Un saludo y mis mejores deseos.

Contenido

Agradecimientos	i
Contenido	ii
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVO	5
Objetivos particulares	5
HIPOTESIS	5
DESCRPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
MÉTODO	9
RESULTADOS	11
Nitritos (NO ²)	11
Nitratos (NO ³)	12
Amonio (NH ⁴)	13
Ortofosfatos (PO ⁴)	14
Fósforo Total (FT)	15

Nitrógeno Total (NT)	16
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	17
Clorofila "α"	18
Coliformes Totales (CT)	19
Coliformes Fecales (CF)	20
DISCUSIÓN	21
Nitritos (NO ²)	21
Nitratos (NO ³)	22
Amonio (NH ⁴)	24
Ortofosfatos (PO ⁴)	26
Fósforo Total (FT)	27
Nitrógeno Total (NT)	29
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	30
Clorofila "α"	31
Coliformes Totales (CT)	33
Coliformes Fecales (CF)	34
CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	38

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros y sus técnicas fisicoquímicas utilizados en el estudio fisicoquímico de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	10
Tabla 2. Concentraciones de superficie y fondo de nitritos en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	11
Tabla 3. Concentraciones de superficie y fondo de nitratos en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	12
Tabla 4. Concentraciones de superficie y fondo de amonio en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	13
Tabla 5. Concentraciones de superficie y fondo de ortofosfatos en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	14
Tabla 6. Concentraciones de superficie y fondo de fósforo total en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	15
Tabla 7. Concentraciones de superficie y fondo de nitrógeno total en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	16
Tabla 8. Concentraciones de superficie y fondo de la DQO en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	17
Tabla 9. Concentraciones de clorofila “a” en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	18
Tabla 10. Concentraciones de coliformes totales en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	19
Tabla 11. Concentraciones de coliformes fecales en las seis estaciones de muestreo de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	20
Tabla 12. Comparación de las concentraciones de nitritos y nitratos con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.	23
Tabla 13. Comparación de las concentraciones de amonio con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.	25
Tabla 14. Comparación de las concentraciones de ortofosfatos con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.	26
Tabla 15. Comparación de las concentraciones de fósforo total con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.	29
Tabla 16. Comparación de las concentraciones de nitrógeno total con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.	30
Tabla 17. Comparación de las concentraciones de clorofila “a” con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.	33

Índice de Figuras

Figura 1. Uno de los principales problemas de los ríos cercanos a las poblaciones es la vertiente de basura al río, contaminando de manera paulatina el sistema de agua.	4
Figura 2. Ubicación del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	6
Figura 3. Localidad de la Laguna de Alvarado y ubicación de estaciones de muestreo para estudios fisicoquímicos.	10
Figura 4. Variación en el contenido de nitritos en los niveles de superficie y fondo.	11
Figura 5. Variación en el contenido de nitratos en los niveles de superficie y fondo.	12
Figura 6. Variación en el contenido de amonio en los niveles de superficie y fondo.	13
Figura 7. Variación en el contenido de ortofosfatos en los niveles de superficie y fondo.	14
Figura 8. Variación en el contenido de fósforo total en los niveles de superficie y fondo.	15
Figura 9. Variación en el contenido de nitrógeno total en los niveles de superficie y fondo.	16
Figura 10. Variación en el contenido de la demanda química de oxígeno en los niveles de superficie y fondo.	17
Figura 11. Variación en el contenido de clorofila "a".	18
Figura 12. Variación en el contenido de coliformes totales.	19
Figura 13. Variación en el contenido de coliformes fecales.	20

RESUMEN

La dinámica productiva de las lagunas costeras del Golfo de México y Pacífico mexicano es de las mayores en el país. Sin embargo, está siendo afectada por factores antropogénicos que modifican las características fisicoquímicas y su intervalo de variación normal, debido al impacto del incremento de las poblaciones y sus diversas actividades antropogénicas con fines económicos, entre los que se encuentran los asentamientos humanos con sus descargas, y el cambio del uso del suelo para la agricultura e industria, fundamentalmente pesquera, que perturban su productividad y su estado trófico. Un caso particular es el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, que muestra cambios ambientales visibles. Por estas razones se realizó el presente estudio, con el fin de determinar la alteración de la fisicoquímica o calidad del agua. Se realizaron tres muestreos en dos épocas (secas y lluvias) en los años 2015 y 2016. Los parámetros fisicoquímicos fueron contrastados con trabajos realizados por otros autores. Los resultados y comparaciones del presente estudio señalaron que los nutrientes incrementaron en mayor medida en los últimos 12 años, teniendo un aumento en el contenido de amonio de 32%, de nitrógeno total de 10%, de fósforo total de 16% y de clorofila "α" de 45%. La mayoría de ellos sobrepasaron los niveles registrados en otras lagunas costeras del Golfo de México. Además, indicaron un nivel alto de eutrofización particularmente cultural, condición resultante del aporte de las descargas provenientes de los ríos Papaloapan, Blanco, Limón y Acula que desembocan en la Laguna de Alvarado y de los asentamientos urbanos e industriales. Dichos incrementos manifestaron un grado significativo de eutrofización asociado a las actividades en la laguna. Tomando en cuenta estos incrementos en los últimos años de registros sería difícil disminuir las altas concentraciones de nutrientes si no se resuelven la cantidad de descargas, incluso considerado un incremento poblacional del 12% en el mismo periodo. Sin embargo, tomando en cuenta dicho incremento porcentual de la población, desde las primeras determinaciones fisicoquímicas se puede asumir que los nutrientes aumentaron más del 56% en los 50 años de estudios (1960-2016), y probablemente se correrá el riesgo de incrementar el nivel de eutrofización si se incrementa la población en más del 12%.

INTRODUCCIÓN

Un sistema estuarino-lagunar se define por ser un cuerpo de agua semicerrado que puede o no tener una conexión libre con el mar de manera permanente o efímera, y dentro del cual el agua de mar se diluye con el agua dulce derivada de los ríos y puede presentar una barrera física o no (Lankford, 1977). Estos ambientes son complejos por sus características hidrológicas, climáticas, geomorfológicas, fisicoquímicas y biológicas, con una dinámica espacial y temporal variable que le condicionan una alta productividad. Sin embargo, son ecosistemas altamente vulnerables que están sometidos a características de su entorno (Yáñez Arancibia, 1987).

La dinámica de estos cuerpos de agua está determinada por la presencia de patrones climáticos temporales, con un periodo de secas, uno de lluvias y uno de nortes que definen el comportamiento hidrológico, e incluso por la variación intra-anual e interanual; dando como resultado una amplia oscilación de los procesos físicos, así como de los constituyentes químicos del agua en diferentes intervalos de tiempo que se consideran como normales (Gómez Aguirre, 1974; Vázquez Botello *et al*, 2005; de la Lanza Espino, 2017).

En las últimas décadas, muchos cuerpos de agua costeros a nivel mundial han sido receptores de ingresos excesivos de nutrientes aportados por las actividades humanas, generando eutrofización, que es un proceso definido como “un incremento en la tasa de suministro de materia orgánica a un ecosistema” (Nixon, 1995). Este efecto está relacionado y normalmente afecta la calidad del agua y la salud de los ecosistemas costeros, con impactos negativos que tienen su efecto en pesquerías, salud pública y otras actividades productivas que impulsan desarrollos urbanos e industriales, además de la importancia económica que representa (Kennish, 2000).

En México existen 137 lagunas costeras y estuarios que cubren una superficie de 1'567,000 ha; en la costa del Pacífico se encuentran 92 y en la del Golfo de México y el Caribe 45 (Contreras Espinoza, 1993).

En México, los indicadores generales de calidad del agua muestran que 73% de los cuerpos de agua están contaminados, debido a que 80% de las descargas de los

centros urbanos y 85% de las descargas industriales se han vertido directamente en ellos sin tratamiento previo (CONABIO, 2006). Estos datos muestran la necesidad de implementar estudios y análisis ambientales efectivos para evitar su pérdida.

Sin embargo, en los últimos años el incremento de las actividades antropogénicas aunado al cambio climático, han traído consigo la modificación de los factores abióticos y bióticos de estos cuerpos lagunares; un ejemplo de ello es el Sistema Lagunar Alvarado (SLA) en Veracruz, México, que ha sido estudiado desde la década de 1960 hasta 2016, por ser un ambiente complejo, importante por sus características ambientales y por los servicios que ofrece y que son aprovechados por las poblaciones aledañas, pero que las descargas de aguas residuales o grises (provenientes del uso doméstico) durante varias décadas han mermado la calidad del agua (de la Lanza Espino, 2017).

El SLA es uno de los más importantes del Golfo de México; ha sido estudiado bajo varios puntos de vista por diferentes autores, entre los que destacan Villalobos *et al.* (1975), Lozano Montes (1993), Contreras Espinoza (1993), de la Lanza Espino (2017), entre otros, principalmente por ser un ambiente estuarino lagunar de características diversas, que sustentan distintas actividades ecológicas y económicas.

No obstante, en los últimos años este cuerpo de agua ha sido expuesto de manera alarmante por su incremento en diferentes aspectos ambientales, como la contaminación.

Si bien los sistemas tienen capacidad de reciclamiento y autodepuración, el aporte continuo generado por los procesos de origen antrópico es mayor a los niveles óptimos, con la tendencia a sobrepasar la oscilación normal dando como consecuencia una condición eutrófica. De acuerdo con Ramírez (2008), el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), a pesar de ser un ambiente de alta productividad pesquera, es un sitio afectado por la contaminación, ya que recibe descargas de los ríos Blanco y Papaloapan, entre otros que llevan desechos de industrias, descargas de asentamientos urbanos, aportes de lixiviados de pesquerías, zonas de cultivo agrícola, desechos de ingenios azucareros, además de los agroquímicos utilizados

en las plantaciones de caña y otros productos. Lo anterior tiende a disminuir la calidad del agua haciéndola deletérea no solo para los organismos acuáticos, sino para el hombre también (de la Lanza Espino, 2017) (Figura 1).



Figura 1. Uno de los principales problemas de los ríos cercanos a las poblaciones es la vertiente de basura al río, contaminando de manera paulatina el sistema de agua.
<https://agua.org.mx/noticias/not-nacionales/30959-no-retomaran-juicio-por-contaminacion-del-rio-papaloapan>

Actualmente, las amenazas antropogénicas sobre las lagunas costeras ponen en riesgo tanto la funcionalidad de los ecosistemas como los recursos que sustentan a las poblaciones locales, que dependen económicamente de los productos y servicios que ofrecen los cuerpos de agua costeros. Para tal efecto, buena parte de las citas bibliográficas referidas en el presente trabajo, está compuesta por conceptos alusivos ampliamente por los autores antes mencionados.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como finalidad continuar con los registros de las características ambientales a mediano y largo plazo, además de aportar nuevos conocimientos para determinar su predisposición a la contaminación. Para ello, el analizar la variación espacio-temporal de parámetros fisicoquímicos del agua, así como la consulta bibliográfica correspondiente a cinco décadas, permitirá establecer su tendencia y sus cambios futuros.

OBJETIVO

Determinar el cambio en los factores fisicoquímicos (nutrientes) en un periodo de tiempo de dos años (2015-2016) en el Sistema Lagunar de Alvarado y su tendencia al incremento debido al aporte de las diversas actividades antropogénicas.

Objetivos particulares

- Determinar los comportamientos espacio-temporales de las concentraciones de nutrientes nitrogenados y fosforados.
- Evaluar las condiciones bióticas y abióticas actuales para determinar si ha habido cambios en el estado trófico de la laguna.
- Con base en las condiciones fisicoquímicas acuáticas efectuadas con anterioridad y actuales, estimar el futuro ecológico de la laguna.

HIPÓTESIS

Las condiciones fisicoquímicas o de calidad del agua del Sistema Lagunar de Alvarado hace 50 años fueron menores a lo registrado actualmente en donde ha habido un aumento en más del 40% de los nutrientes, lo que se interpreta como una condición eutrófica

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) se localiza en la porción sureste del estado de Veracruz, entre las coordenadas geográficas 18°44'00" y 18°52'15" N y 95°44'00" y 95°57'00" W. Su longitud aproximada es de 26 km desde el oeste de la isla Vives hasta el noroeste de la Laguna Camaronera (Flores Coto y Méndez Vargas, 1982) (Figura 2).



Figura 2. Ubicación del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-

Está inmerso en la subregión de la planicie costera del Golfo de México, es una depresión de una cuenca marginal por escurrimientos continentales y dinámica mareal, que comprende una amplia llanura con elevaciones que no sobrepasan los 50 m sobre el nivel del mar y presenta una red de lagunas conectadas por ríos y canales (Castañeda López y Contreras Espinoza, 1995). Cabe mencionar que la Laguna de Alvarado es uno de los principales ecosistemas estuarinos de la zona de

inundación en Veracruz y le corresponde la superficie de inundación costera más grande de ese estado (Moreno Casasola *et al.* 2002; Buenfil Friedman, 2009).

El complejo lagunar es somero, con una profundidad promedio de 2 m, alcanzando la mayor profundidad en la boca de comunicación marina con 15 m; se observa que la dirección de las corrientes para la temporada de lluvias es ligeramente al oeste y del oeste-noroeste para la época de nortes. Dichas corrientes se ven influenciadas por la dirección del viento y el comportamiento de las mareas (Moran Silva *et al.* 1996).

En este sistema lagunar desembocan los ríos Papaloapan y Blanco, así como los de menor caudal: Limón, Acula, Camarón, entre otros. Presenta lagunas costeras salobres como: Alvarado, Camaronera, Buen País, Tlaxcoyan, Popuyeca y Atzizintla, así como más de 100 cuerpos lenticos intercomunicados (Portilla Ochoa *et al.* 2005).

En los alrededores de este SLA, se encuentran algunos municipios como: Alvarado, Tlacotalpan, Tlaxcoyan, Ignacio de Llave, Acula, Lerdo de Tejada, Tierra Blanca, Cosamaloapan e Ixmiquilpan y Carlos A. Carrillo. Algunas de las especies vegetales en la ribera de estos cuerpos de agua son: manglar, selva baja, encinar y vegetación de zonas inundables (Reséndez Medina, 1973; INP/IIB, 2000). Además, tiene áreas de manglares ampliamente distribuidas en las zonas intermareales, siguiendo las orillas de ríos y lagunas, expuestas a la influencia de aguas tanto dulces como saladas, es una comunidad compuesta principalmente por tres especies que se distribuyen en función de los gradientes salinos y de inundación del suelo. Tales especies, de menor a mayor inundabilidad y salinidad son: *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* (FIR, 2003). Los humedales de Alvarado contienen ecosistemas representativos de la planicie costera del Golfo de México, incluyendo la vegetación de dunas costeras, espadinal (*Cyperus spp.*), tular (*Typha spp.*), apompal (*Pachira acuática*), vegetación acuática y subacuática. La diversidad faunística está representada por 45 géneros de fitoplancton, 9 especies de zooplancton, 38 especies de moluscos, 26 familias de crustáceos, 44 especies de peces, más de 5 especies de anfibios y 24 de reptiles y más de 15 especies de mamíferos (Portilla Ochoa *et al.*, 2003). Presenta una temperatura

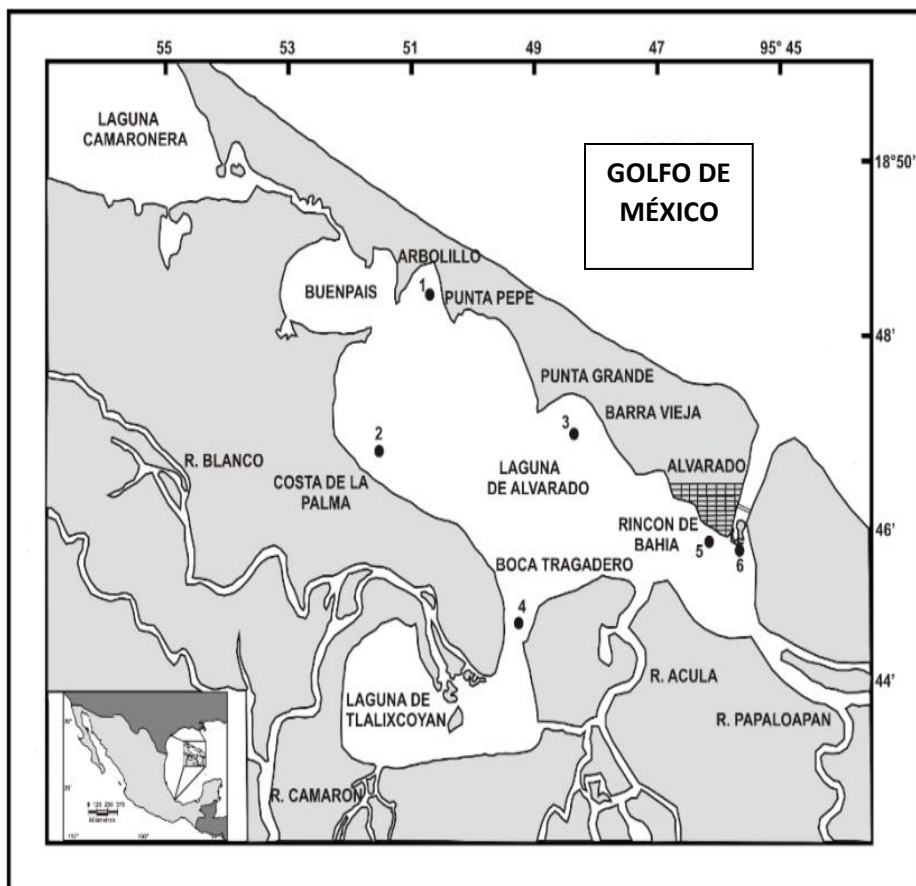
máxima de 31° C y mínima de 25.5°; salinidad máxima de 23.4% y mínima 1.87% (FAO, 1995). El sistema de Alvarado en la época de secas podría clasificarse como mesohalina; al iniciarse la temporada de lluvias desciende marcadamente la salinidad, y las características son oligohalinas. En términos generales se aprecian cuatro zonas con base en su salinidad: a) Zona de influencia dulce acuícola, cercana a la desembocadura de los ríos, en la que hay un aporte continuo que incrementa en la época de lluvia; b) zona de estratificación, ubicada en las regiones de influencia mareal; c) zona de influencia nerítica, que se manifiesta en el canal que corre a lo largo de la barra arenosa interna de la laguna; d) y, zona de mezcla o agua estuarina, que denomina el resto de la laguna (Perkins, 1974).

MÉTODO

Los parámetros fisicoquímicos fundamentales fueron: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y su saturación, demanda química de oxígeno o DQO y los denominados nutrientes (sales del nitrógeno como amonio, nitritos, nitratos, nitrógeno total que incluye al orgánico) y ortofosfatos con el fósforo total (que incluye al orgánico). Los parámetros anteriores, además de la determinación del contenido de clorofila “a” (como un índice de productividad primaria) permiten definir el estado trófico de cualquier ecosistema (Contreras Espinoza *et al.* 1994; de la Lanza Espino, 2017).

Se efectuaron tres muestreos, dos en secas y uno en lluvias (del 23 al 30 de marzo, del 1 al 3 de abril, del 16 al 17 de agosto de 2015, y del 4 al 5 de mayo de 2016). Para la elección de las estaciones de estudio se tomó en cuenta la geomorfología de la laguna, la influencia fluvial y mareal, así como los poblados asentados en las márgenes y sus posibles descargas. Las estaciones se muestran en la figura 3. Se recolectaron muestras de agua superficial y de fondo para los nutrientes NO₂, NO₃, NH₄, PO₄, nitrógeno y fósforo totales, DQO y clorofila “α”, que se congelaron para los análisis químicos en el laboratorio, tomando como base el método de Strickland y Parsons (1972) y APHA (2005) (Tabla 1, Figura 3). En el Laboratorio de Hidrobiología del Instituto de Biología de la UNAM, se descongelaron las muestras de agua y se efectuaron las determinaciones correspondientes, según las técnicas referidas en la tabla 1. Para determinar los cambios que ha experimentado el sistema lagunar de Alvarado, se consultaron diferentes fuentes bibliográficas de diversos años a partir de la década de 1960, por mencionar algunos: Villalobos *et al.* (1975); Flores Coto y Méndez Vargas (1982); Contreras Espinoza *et al.* (1994); Contreras Espinoza *et al.* (1996); de la Lanza Espino y Lozano Montes (1999); Contreras Espinoza y Warner (2004); Morán Silva *et al.* (2005) y de la Lanza Espino (2017). Cabe señalar que algunos de los resultados de oxígeno de las diferentes fuentes de información, fueron reportados en mg/L y otros en ml/L mismos que fueron homogeneizados tomando como base mg/L=1.43 x mL/L (de la Lanza y Hernández Pulido, 2017 informe). Además, se evaluaron parámetros de la cantidad de bacterias presentes en el sistema lagunar, mediante bolsas bacteriológicas

tomadas directamente del agua de la laguna para estimar la cantidad de coliformes totales y fecales de la zona según el equipo comercial COLLILERT.



Núm. de estación	nombre de la estación
1	Arbolillo
2	Costa de la Palma
3	Barra Vieja
4	Tlaxicoyan (boca)
5	Rincón Bahía
6	Boca de Alvarado

Figura 3. Localidad de la Laguna de Alvarado y ubicación de estaciones de muestreo para estudios fisicoquímicos (Tomado de la lanza, 2017)

Tabla 1. Parámetros y sus técnicas fisicoquímicas utilizados en el estudio fisicoquímica de la laguna de Alvarado, Veracruz.

Parámetro	Técnica	Fundamento	Instrumental
Nutrientes NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4	Espectrofotométrica	formación / complejos coloridos	Espectrofotómetro Hach dr 890
Nitrógeno y fósforo totales	Kjeldhal	digestion ácida H_2SO_4 , K_2SO_4 , H_2SO_4	Macro-kjeldhal
DQO	Titulometría	oxido reducción	Titulometría
Clorofila "α"	Espectrofotométrica	extracción con acetona	Espectrofotómetro Hach dr 890
Coliformes totales y fecales	Collilert		Collilert

RESULTADOS

Nitritos (NO₂)

Existieron diferencias entre los meses muestreados y los niveles de superficie y fondo. En agosto se registró el contenido más elevado con 1.00 μM en superficie y 1.14 μM en fondo para Rincón Bahía. Los niveles en secas de marzo tuvieron concentraciones similares con máximos de 0.71 μM para superficie y fondo (Tabla 2, Figura 4).

Tabla 2. Concentraciones de superficie y fondo de nitritos en las seis estaciones de muestreo.

Estación	Marzo 2015		Agosto 2015		Mayo 2016	
	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM
1	0.71	0.71	0.07	0.21	0.00	0.57
2	0.71	0.71	0.21	0.36	0.00	0.36
3	0.00	0.71	0.43	0.57	0.14	0.36
4	0.71	0.71	0.36	0.50	0.00	0.14
5	0.00	0.71	1.00	1.14	0.07	0.21
6	0.71	0.71	0.00	0.00	0.14	0.36

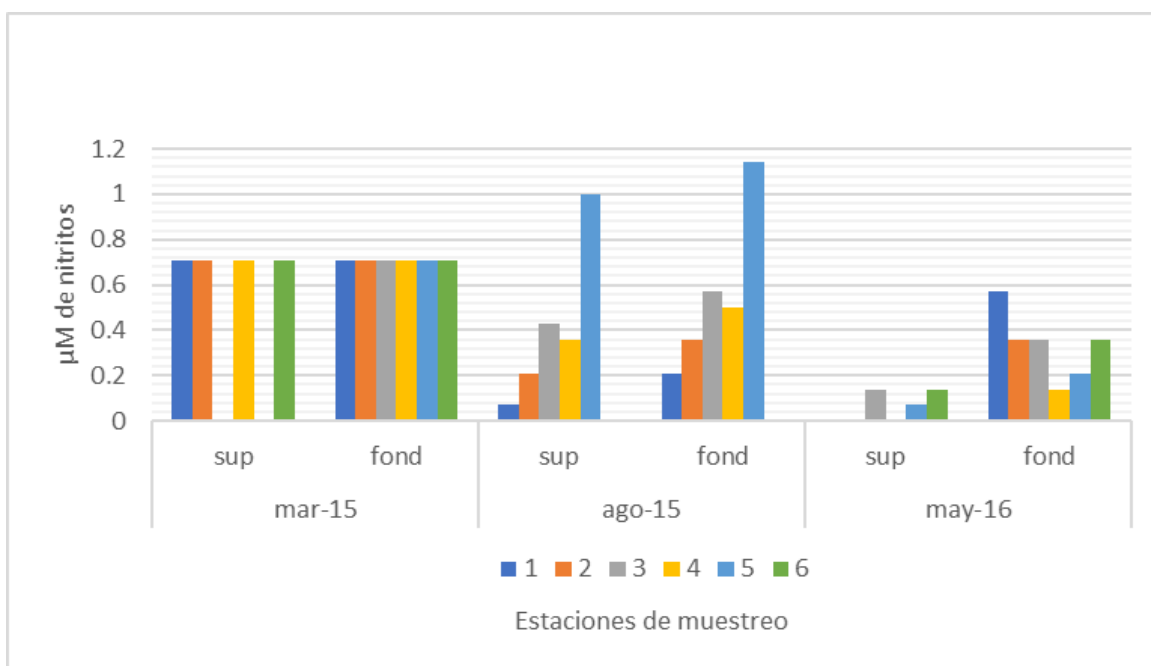


Figura 4. Variación en el contenido de nitritos en los niveles de superficie y fondo.

Nitratos (NO₃)

Los nitratos tuvieron diferencias entre los meses muestreados y los niveles en superficie y fondo. Sin embargo, hubo registros mayores en la Boca de Alvarado con máximos de 3.57 μM en superficie y de 4.29 μM en fondo en la época de lluvias. Cabe mencionar que, en la época de secas de marzo de 2015, el contenido tuvo un intervalo de 0.14 a 0.36 μM , y en mayo de 2016 las concentraciones oscilaron desde indetectable (N.D.) en superficie hasta 1.43 μM en fondo (Tabla 3, Figura 5).

Tabla 3. Concentraciones de superficie y fondo de nitratos en las seis estaciones de muestreo.

Estación	Marzo 2015		Agosto 2015		Mayo 2016	
	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM
1	0.14	0.14	0.71	1.43	0.71	1.43
2	0.14	0.21	0.71	1.43	0.71	1.43
3	0.21	0.29	0.71	1.43	0.00	0.71
4	0.29	0.36	1.43	2.14	0.00	0.71
5	0.14	0.21	2.14	2.86	0.00	0.71
6	0.14	0.21	3.57	4.29	0.00	1.43

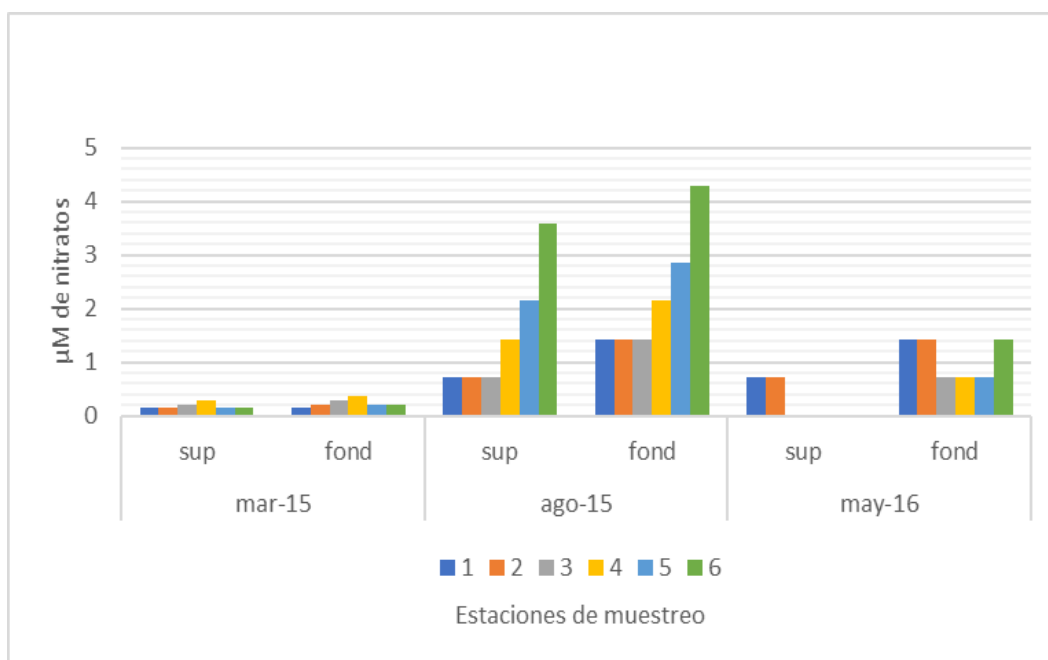


Figura 5. Variación en el contenido de nitratos en los niveles de superficie y fondo.

Amonio (NH₄)

Las concentraciones fueron homogéneas en los tres meses muestreados y los niveles de superficie y fondo. En época de lluvias en agosto se registraron los máximos en Rincón Bahía y Boca de Alvarado tanto en superficie como fondo con contenidos que oscilaron de 22.86 a 26.43 μM y de 24.29 a 25 μM , respectivamente (Tabla 4, Figura 6).

Tabla 4. Concentraciones de superficie y fondo de amonio en las seis estaciones de muestreo.

Estación	Marzo 2015		Agosto 2015		Mayo 2016	
	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM
1	20.00	21.43	17.86	18.57	15.00	15.71
2	16.43	18.57	17.14	18.57	14.29	17.86
3	15.00	17.14	17.86	18.57	19.29	20.71
4	21.43	21.43	19.29	20.00	16.43	17.86
5	17.14	17.86	22.86	26.43	17.14	18.57
6	16.43	17.86	24.29	25.00	16.43	17.86

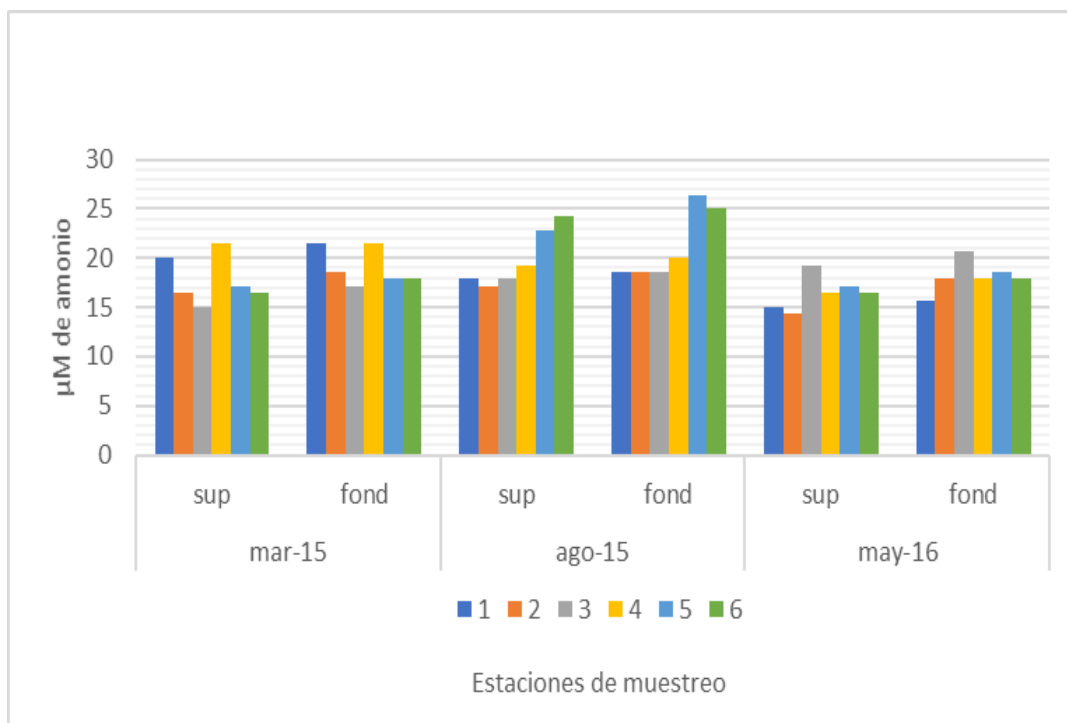


Figura 6. Variación en el contenido de amonio en los niveles de superficie y fondo.

Ortofosfatos (PO₄)

Las concentraciones de este nutriente fueron heterogéneas espacial y temporalmente. En agosto, época de lluvias se registraron en general los mayores contenidos en todas las estaciones; sin embargo, se cuantificaron aumentos puntuales en Tlaxicoyan en superficie y fondo en secas en marzo con 9.68 y 10.65 μM y en lluvias con 14.19 y 15.16 μM respectivamente (Tabla 5, Figura 7).

Tabla 5. Concentraciones de superficie y fondo de ortofosfatos en las seis estaciones de muestreo.

Estación	Marzo 2015		Agosto 2015		Mayo 2016	
	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM
1	2.58	4.19	9.68	10.97	2.26	2.58
2	2.90	3.55	10.00	11.29	1.94	2.58
3	1.94	3.55	9.68	11.94	5.16	5.81
4	9.68	10.65	14.19	15.16	6.45	7.74
5	1.61	1.94	7.42	7.74	6.77	7.42
6	0.32	0.65	1.94	3.23	5.81	9.68

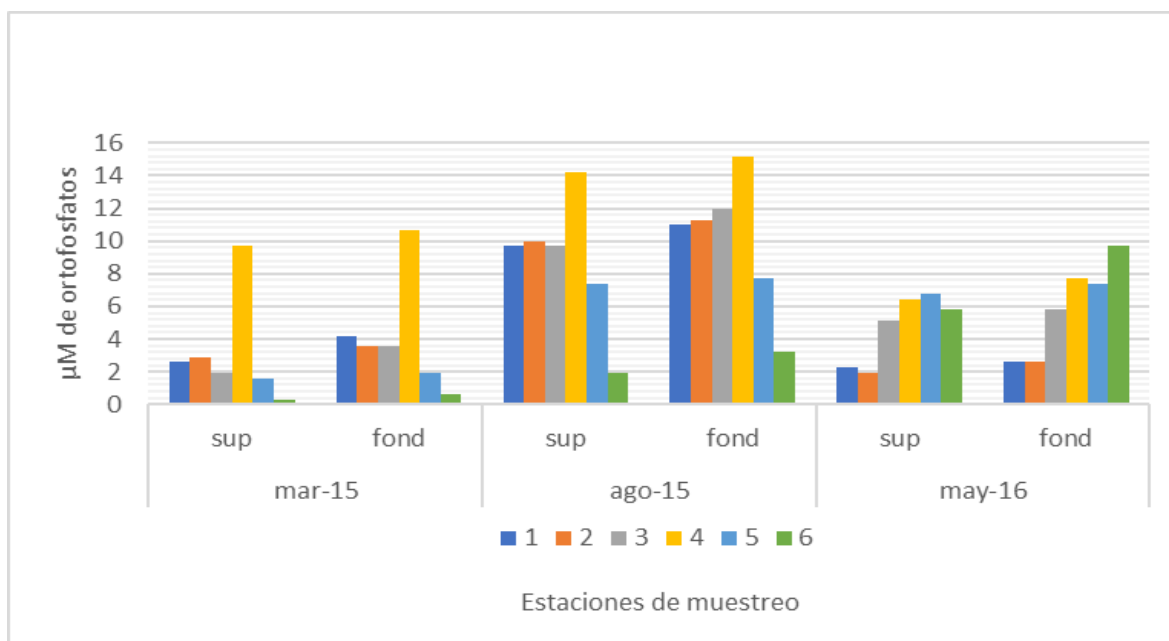


Figura 7. Variación en el contenido de ortofosfatos en los niveles de superficie y fondo.

Fósforo Total (FT)

La concentración de este nutriente mostró variaciones temporales y espaciales en los tres muestreos incluyendo superficie y fondo. Sin embargo, en mayo de 2016 se registraron los contenidos más elevados tanto en superficie como fondo, particularmente en Costa de la Palma con 45.48 y 89.68 μM respectivamente. En marzo y agosto las concentraciones fueron menores a 50 μM (Tabla 6, Figura 8).

Tabla 6. Concentraciones de superficie y fondo de fósforo total en las seis estaciones de muestreo.

Estación	Marzo 2015		Agosto 2015		Mayo 2016	
	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM
1	10.97	11.29	32.26	35.16	23.23	52.90
2	12.26	13.23	16.77	20.00	45.48	89.68
3	50.32	50.65	23.55	26.77	26.45	60.00
4	28.71	29.35	40.65	42.26	38.71	46.45
5	11.29	11.61	39.35	41.29	22.26	34.52
6	1.29	1.94	18.06	19.68	32.26	45.48

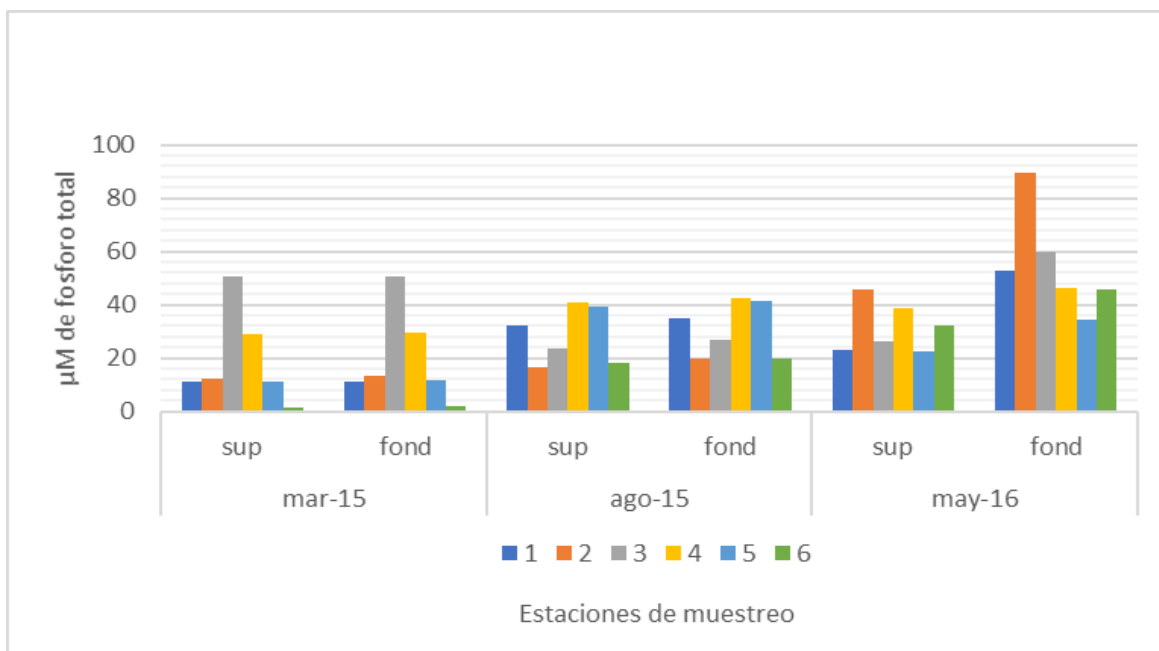


Figura 8. Variación en el contenido de fósforo total en los niveles de superficie y fondo.

Nitrógeno Total (NT)

El nitrógeno total tuvo diferencias espacio-temporales. En la época de lluvias de agosto se registraron los niveles más elevados para las localidades de Rincón Bahía, Boca de Alvarado y Tlalixcoyan. En superficie los contenidos fueron de 314.29, 207.14 y 178.57 μM respectivamente, y para el nivel de fondo fueron mayores con 428.57, 385.71 y 371.43 respectivamente (Tabla 7, Figura 9).

Tabla 7. Concentraciones de superficie y fondo de nitrógeno en las seis estaciones de muestreo.

Estación	Marzo 2015		Agosto 2015		Mayo 2016	
	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM	Superficie μM	Fondo μM
1	35.71	78.57	85.71	185.71	50.00	42.86
2	42.86	42.86	78.57	142.86	35.71	35.71
3	42.86	57.14	35.71	85.71	50.00	114.29
4	35.71	78.57	178.57	371.43	78.57	100.00
5	50.00	64.29	314.29	428.57	71.43	78.57
6	50.00	64.29	207.14	385.71	114.29	121.43

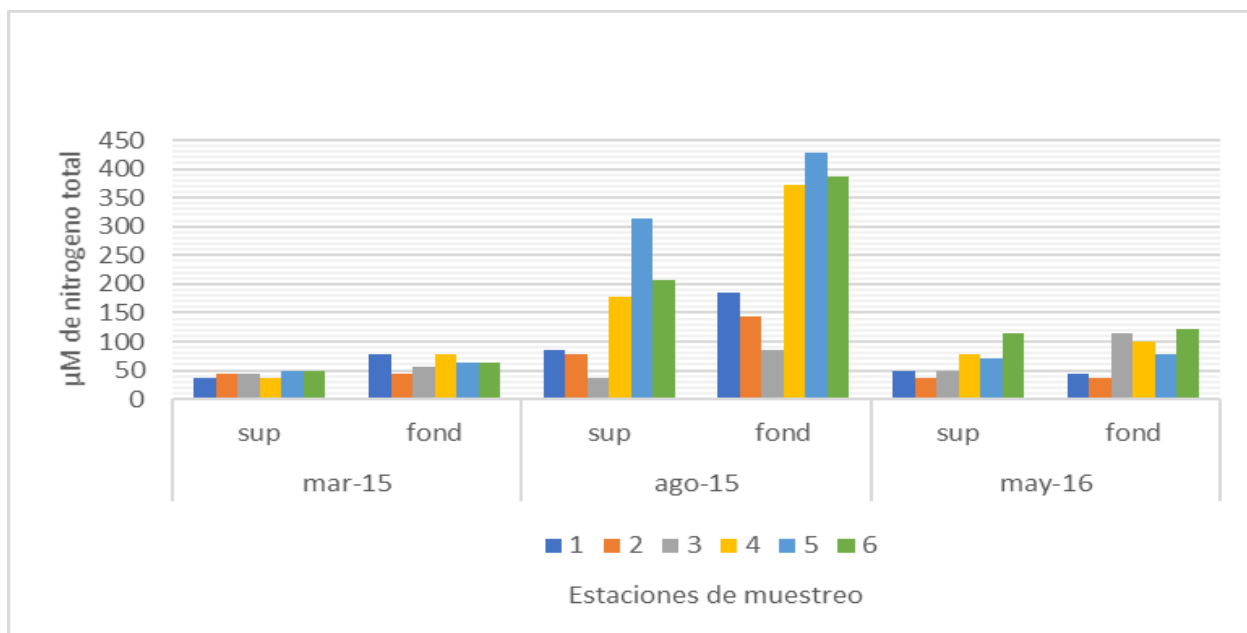


Figura 9. Variación en el contenido de nitrógeno total en los niveles de superficie y fondo.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La concentración de la DQO registró variaciones entre los tres muestreos y los dos niveles, tanto superficie como fondo. Los contenidos fueron mayores en la época de secas, de marzo y mayo. Sin embargo, hubo registros puntuales máximos en Tlaxicoyan; en lluvias los contenidos en superficie y fondo fueron 10.61 y 9.52 mgO₂/L respectivamente, mientras que en secas de marzo fueron 8.98 mgO₂/L en superficie y 8.70 mgO₂/L en fondo (Tabla 8, Figura 10).

Tabla 8. Concentraciones de superficie y fondo de la DQO en las seis estaciones de muestreo.

Estación	Marzo 2015		Agosto 2015		Mayo 2016	
	Superficie mgO ₂ /L	Fondo mgO ₂ /L	Superficie mgO ₂ /L	Fondo mgO ₂ /L	Superficie mgO ₂ /L	Fondo mgO ₂ /L
1	6.80	5.98	8.16	7.62	2.72	2.72
2	6.80	6.80	7.07	7.34	2.72	3.27
3	5.44	5.44	7.34	7.07	2.72	2.992
4	8.98	8.70	10.61	9.52	2.72	3.27
5	5.44	5.44	5.98	6.53	2.72	2.72
6	2.72	2.18	6.53	4.08	2.72	2.72

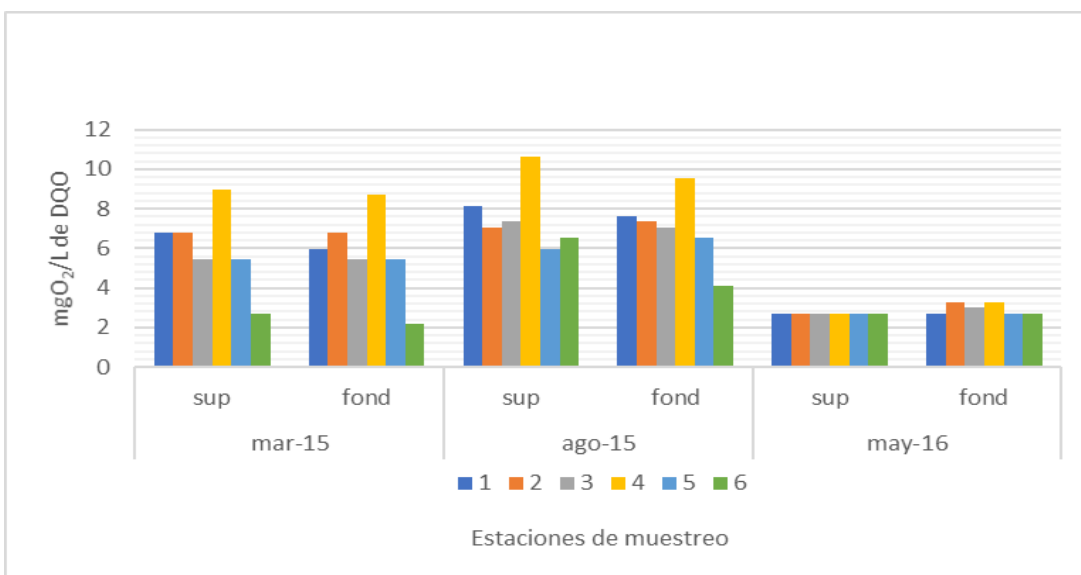


Figura 10. Variación en el contenido de la demanda química de oxígeno en los niveles de superficie y fondo.

Clorofila "α"

La concentración de clorofila "α" tuvo una variación heterogénea en los tres meses muestreados. Sin embargo, hubo un intervalo máximo de variación en la época de secas de marzo con respecto a lluvias en Tlaxicoyan con 0.59 y 48.80 mg/m³ respectivamente. Es decir, la diferencia de concentración fue significativa temporal y espacialmente en las estaciones muestreadas (Tabla 9, Figura 11).

Tabla 9. Concentraciones de clorofila "α" en las seis estaciones de muestreo.

	Marzo 2015	Agosto 2015	Mayo 2016
Estación	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
1	9.41	9.41	7.644
2	7.64	16.46	11.76
3	9.41	6.47	9.996
4	0.59	48.80	8.82
5	22.34	8.82	6.468
6	16.46	7.64	6.468

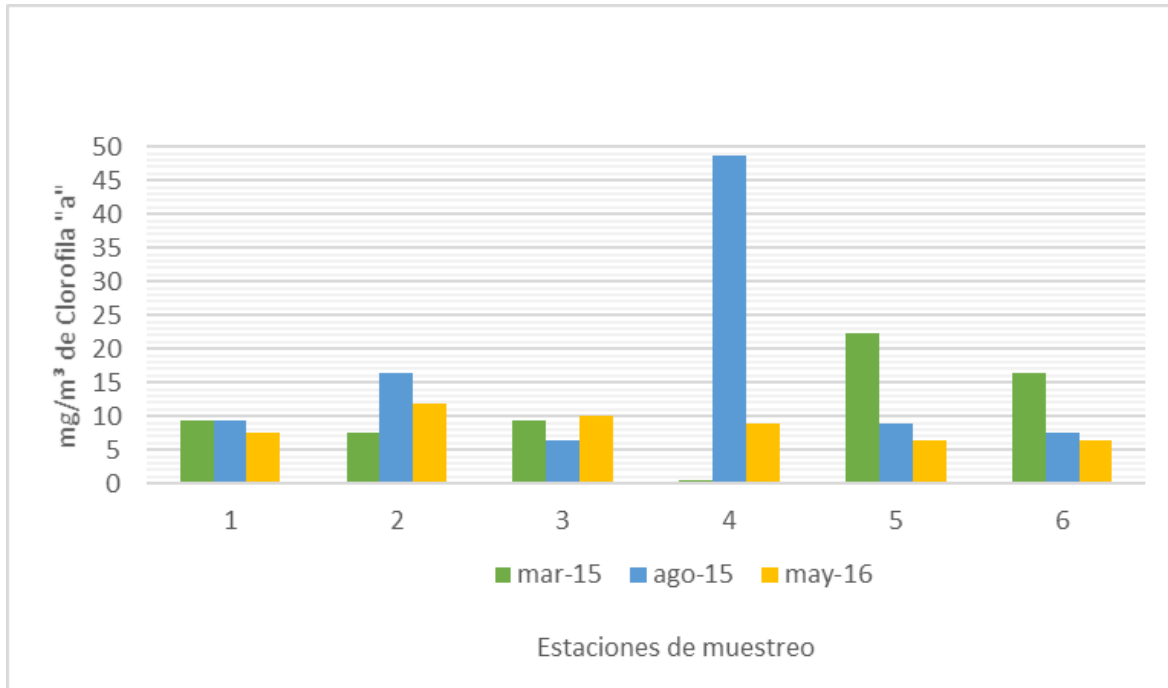


Figura 11. Variación en el contenido de clorofila "α".

Coliformes Totales (CT)

Los coliformes registraron variaciones espacio-temporales. En la época de lluvias se cuantificaron los niveles más elevados con máximos de 1011 NMP/100 ml para Costa de la Palma, Barra Vieja y Rincón Bahía; mientras que en secas de marzo y mayo el máximo fue en Tlalixcoyan y Rincón Bahía, respectivamente con 1011 NMP/100 ml. Los mínimos generales fueron en secas de mayo con 98 NMP/100 ml (Tabla 10, Figura 12).

Tabla 10. Concentraciones de coliformes totales en las seis estaciones de muestreo.

Estación	Marzo 2015	Agosto 2015	Mayo 2016
	NMP/100 ml	NMP/100 ml	NMP/100 ml
1	755	960	549
2	501	1011	98
3	143	1011	188
4	1011	689	1011
5	755	1011	1011
6	870	689	473

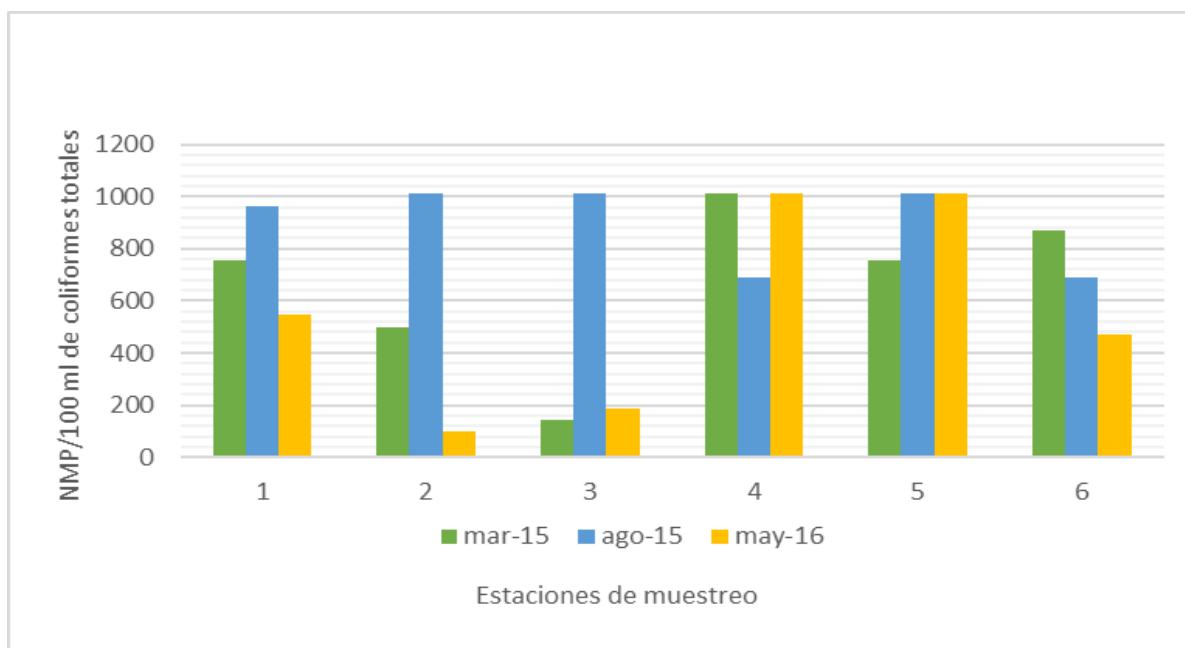


Figura 12. Variación en el contenido de coliformes totales.

Coliformes Fecales (CF)

Los coliformes fecales tuvieron una amplia variación espacial y temporal con grandes contrastes entre los mínimos y máximos de cada época. En la época de lluvias de agosto se cuantificó el contenido más elevado con 960 NMP/100 ml en Costa de la Palma (Tabla 11, Figura 13).

Tabla 11. Concentraciones de coliformes fecales en las seis estaciones de muestreo.

	Marzo 2015	Agosto 2015	Mayo 2016
estación	NMP/100 ml	NMP/100 ml	NMP/100 ml
1	108	101	11
2	21	960	4
3	27	1	6
4	12	3	5
5	22	6	123
6	13	2	388

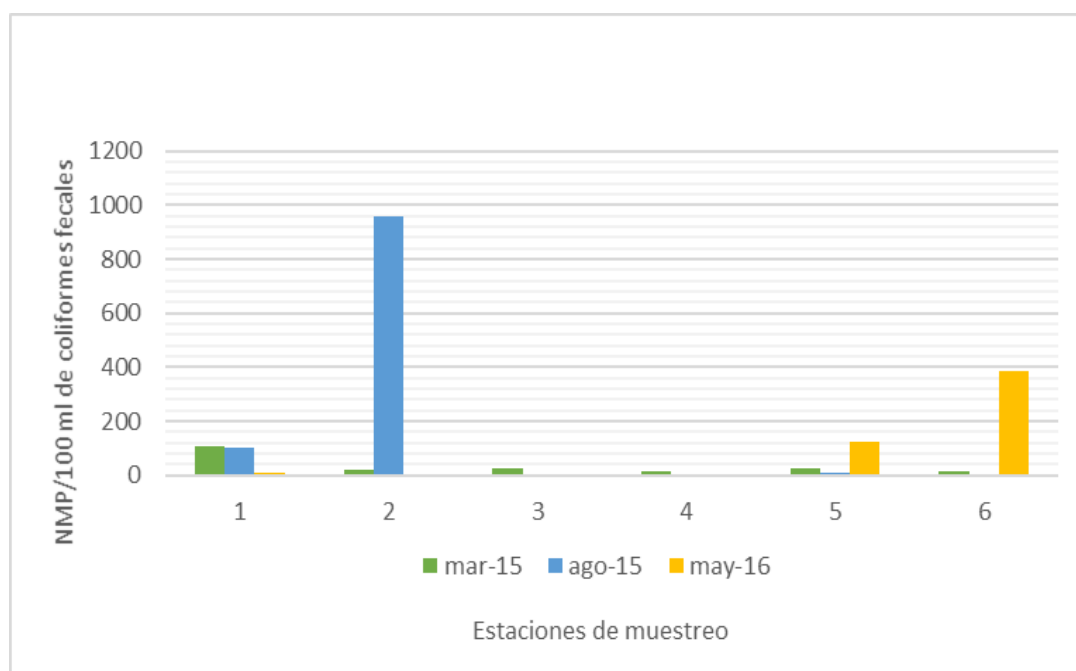


Figura 13. Variación en el contenido de coliformes fecales.

DISCUSIÓN

Nitritos (NO_2)

La concentración de nitritos tuvo variaciones escasas, pero se registró un intervalo de $1 \mu\text{M}$ en superficie y $1.14 \mu\text{M}$ en fondo en la zona centro en Tlalixcoyan; en las demás estaciones se cuantificaron de lo indetectable (N.D.) a $0.71 \mu\text{M}$. Este nutriente es menor al amonio y nitratos debido a los procesos de oxidación-reducción en la columna de agua y la menor preferencia de éste en el ciclo del nitrógeno (Martínez Gaspar *et al.*, 2011).

Los anteriores resultados se compararon con lo registrado por otros autores se pudo observar que no existieron variaciones significativas. En la década de los 80s se realizaron dos muestreos. El primero de éstos realizado por Lozano Montes (1993) con un intervalo de 0.3 a $4.8 \mu\text{M}$ y el segundo realizado por Contreras y Gutiérrez (1989) con un intervalo de concentración de 0.72 a $4.90 \mu\text{M}$, el incremento se debió en principio a la descarga de los ríos con desechos de poblados cercanos. Lo anterior coincidió con lo mencionado por Vázquez Botello (1978) que sugirió que la contaminación en las lagunas costeras se consideró normal debido a que la localidad se encontraba en una etapa de preindustrialización, es decir, la condición era natural y estuvo inalterada (Tabla 12).

A inicios de los años noventa, García Leal y Muñoz Castilla (1991) registraron una variación no significativa con un máximo de $0.6 \mu\text{M}$. Contreras Espinoza *et al.* (1996) determinaron una concentración máxima de $5.0 \mu\text{M}$ debido a la incidencia de descargas agrícolas e industriales en la zona (Tabla 12).

A finales de esta década, de la Lanza Espino y Lozano Montes (1999) cuantificaron contenidos desde indetectables (N.D.) hasta $13.3 \mu\text{M}$, por efecto de los aportes fluviales y escurrimientos periféricos agrícolas que contenían fertilizantes nitrogenados (Tabla 13). Desde entonces, el incremento en las concentraciones de este nutriente se ha mantenido en los registros de los años 2000 y 2001 (Martínez Franco, 2003). Morán Silva *et al.* (2005) registraron un intervalo de variación de 0.1 a $1.00 \mu\text{M}$, estando dentro de los niveles normales (Tabla 12).

Cabe mencionar que el contenido de nitritos no ha tenido una variación significativa en el incremento (0.1%) desde los años ochenta, con un mínimo de 0.3 μM referido por Lozano Montes (1993) y un máximo de 1.14 μM en la década del 2016.

Nitratos (NO_3)

Los nitratos tuvieron diferencias escasas, los contenidos más elevados se registraron en agosto (época de lluvias) tanto en superficie como en fondo con 3.57 y 4.29 μM respectivamente. Estas concentraciones fueron en la Boca de Alvarado, cabe señalar que es el sitio de los pescadores del puerto, si bien el nivel no es alto, puede tener una influencia debido a las actividades pesqueras de la zona, los desechos urbanos y la descarga del río Papaloapan y su dinámica con la entrada del agua proveniente del mar.

Los resultados obtenidos en este muestreo y su comparación con los registros de anteriores autores manifestaron variaciones en aumento en el contenido a lo largo de los años. Hace más de 25 años, en 1987 Lozano Montes (1993) determinó que el contenido osciló entre 4.7 y 13.3 μM , a su vez Contreras y Gutiérrez (1989) cuantificaron el contenido de nitratos de 0.72 a 4.9 μM , atribuyendo esto al aporte de residuos vertidos por las descargas de los ríos y a las épocas climáticas de la zona (Tabla 12).

Posteriormente, García Leal y Muñoz Castilla (1991) registraron concentraciones de 0.06 a 2.94 μM ; mientras que Contreras Espinoza *et al.* (1996), en su estudio sobre 39 lagunas costeras mexicanas, reportaron un nivel promedio de 3.5 μM para la laguna de Alvarado (Tabla 12). Después, de la Lanza Espino y Lozano Montes (1999) realizaron un estudio comparativo entre la Laguna de Alvarado y la Laguna de Términos; en la primera el máximo se alcanzó en la época de lluvias (165 μM) que pudo obedecer a posibles escurrimientos de materiales nitrogenados de origen antropogénico a la laguna, mismos que se pueden asociar al área circundante donde se encuentran amplios campos agrícolas (Tabla 12). Lo anterior coincide con lo mencionado por Barreiro y Aguirre (1999) donde el aumento de estos nutrientes se debió a las descargas urbanas y los lixiviados del Puerto de Alvarado, además del registro de un boom fitoplanctónico.

Años más tarde, Martínez Franco (2003) registró un contenido de 0.5 a 16.06 μM , por efecto de un aumento del caudal de los ríos Blanco, Papaloapan y Acula, así como a la resuspensión de sedimentos por efecto del viento y la marea (Tabla 12).

Los años siguientes, Contreras Espinoza y Warner (2004) y Morán Silva *et al.* (2005) determinaron concentraciones distintas, de 0.5 a 20.1 μM y de 0.3 a 10.2 μM respectivamente; diferencias que pudieron deberse a las descargas urbanas intermitentes de la población, a la adición de fertilizantes para la agricultura y las pesquerías en las zonas cercanas al Puerto de Alvarado (Tabla 12).

Con base en lo anterior, destaca que el contenido de nitratos en 29 años ha tenido fluctuaciones en un 19% desde la década de los ochentas, con un mínimo de 4.7 μM referido por Lozano Montes (1993) a un máximo de 13.3 μM en 2016.

Tabla 12. Comparación de las concentraciones de nitritos y nitratos con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.

Año	Autor	Concentración ($\mu\text{g-at/L} = \mu\text{M}$) nitratos			Concentración ($\mu\text{g-at/L} = \mu\text{M}$) nitritos		
		Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes
1987	Lozano Montes, 1993	Min 0 Max 4.7	Min 4.7 Max 5.82	Min 0 Max 13.3	Min 0.3 Max 4.8		
1989	Contreras y Gutiérrez	Nitratos + nitritos = Min. 0.72 - Max. 4.9					
1991	García Leal y Muñoz Castilla	0.24	2.94	-	0.06	0.66	-
1996	Espinoza Contreras et al.	Nitratos + nitritos = 3.5 promedio Min 0.01 y Max 5					
1999	de la Lanza Espino y Lozano Montes	N.D.	Min 4.8 Max 165	Min 0 Max 74.3	N.D.	Min 2.8 Max 7.2	Min 0 Max 13.3
2000 2001	Martínez Franco, 2003	0.5	16.06	0.07	13.06	N.D.	N.D.
2004	Contreras Espinoza y Warner	Nitratos + nitritos = 5.8 en promedio					
2005	Morán Silva et al.	2 a 6	0.3 a 4	2 a 10.2	0 a 3.5	0.1 a 1	0.25 a 0.7
2015	Este estudio	Max 1.43	Min 0.71	-	Max 0.71	Max 1.14	-
2016			Max 4.29	-			-

Amonio (NH₄)

El amonio tuvo en general concentraciones elevadas en la mayoría de los muestreos, con mínimos de 14 a 15 μM y máximos de 20 a 26 μM . Sin embargo, los contenidos menores se localizaron en las tres primeras estaciones, Arbolillo, Costa de la Palma y Barra Vieja se localizan al norte del SLA, debido a las características de su ubicación no existió una aparente influencia de aportes fluviales o de descargas urbanas; asimismo su dinámica de circulación fue menor. Mientras que en las estaciones restantes de Tlalixcoyan, Rincón Bahía y Boca de Alvarado, ubicadas en la región centro-sur, se cuantificaron los mayores niveles en la época de lluvias lo cual se puede asociar con los aportes de la descarga de los principales ríos como Blanco y Papaloapan; además la contribución de material de desecho de las poblaciones aledañas que aumentaron los contenidos de amonio hasta un máximo de 26.4 μM en fondo, sobrepasando los niveles normales (20 μM) para estos cuerpos de agua (de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2017 informe).

La comparación del contenido de este nutriente con muestreos anteriores de otros autores señaló amplias diferencias espaciales y temporales; es decir, en la década de los 80s Contreras y Gutiérrez (1989) y Lozano Montes (1993) registraron que los contenidos oscilaban de 1.5 a 20.5 μM y de 0.5 a 7 μM respectivamente, atribuyendo estas variaciones a las descargas de los ríos y sus incipientes aportes de residuos agrícolas al sistema; además de la relación con las características climáticas (Tabla 13). Lo anterior señala que el amonio es no conservativo y varía en espacio y tiempo cortos.

En esta misma década, García Leal y Muñoz Castilla (1991) determinaron niveles de amonio semejantes a los autores anteriores; con interpretaciones ambientales parecidas (Tabla 13). Por su parte, Contreras Espinoza *et al.* (1996), en un estudio para diferentes lagunas costeras mexicanas, mencionaron que este nutriente oscilaba de manera general entre 5 y 10 μM ; aunque con la excepción de la Laguna de Alvarado donde registraron contenidos puntuales hasta de 22 μM .

Entre 1999 y 2005 Martínez Franco (2003) refirió que las concentraciones oscilaban desde no detectable (N.D.) hasta 25 μM ; sin embargo, hubo registros que

sobresalieron esa concentración; en la temporada de secas con 76.74 a 42.43 μM . Los aumentos de este nutriente en la laguna fueron por la resuspensión de los sedimentos, por las corrientes de los ríos y factores antropogénicos, como lo señala el autor. A pesar de los altos contenidos de amonio determinados por Martínez Franco (2003), Contreras Espinoza y Warner (2004) determinaron concentraciones bajas de 11.7 μM , lo que representa su carácter no conservativo de este nutriente, sino también a la variedad del muestreo, incluyendo la heterogeneidad de resultados, Morán Silva et al. (2005) determinaron un mayor intervalo de variación con un incremento en el máximo (42 μM), justificados por el aumento poblacional y sus actividades económicas (Tabla 13).

Destaca con base en lo anterior, que el contenido de amonio se ha incrementado en 29 años un 59%, con un mínimo de 0.5 μM referido por Lozano Montes (1993) en la década de los ochentas y un máximo de 21.43 μM en 2016.

Tabla 13. Comparación de las concentraciones de amonio con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.

		Concentración ($\mu\text{g-at/L} = \mu\text{M}$)		
Año	Autor	Secas	Lluvias	Nortes
1987	Lozano Montes (1993)	Min 0.5 Max 5.5	Min 3 Max 7	Min 0.9 Max 3.1
1989	Contreras y Gutiérrez	1.48 a 20.45		
1991	Muñoz Castilla	7.1	1.25	13.9
1996*	Contreras Espinoza et al.	5 a 10 en lagunas costeras 5 a 22 en Alvarado		
1999	de la Lanza Espino y Lozano Montes	N.D. (marzo) 2 a 5.5 (mayo)	Min 2.4 Max 7.1	Min 0.9 Max 2.8
2000-2001	Martínez Franco (2003)	Max 76.74	N.D.	N.D.
2004	Contreras Espinoza y Warner	11.7 en promedio Min 1.2 y Max 11.7		
2005	Morán Silva et al.	42.43	5 a 25	19
2015	Este estudio	Min 14.29	Max 26.43	-
2016		Max 21.43		-

Ortofosfatos (PO₄)

Los ortofosfatos registraron diferencias, el contenido en Tlalixcoyan, Rincón Bahía y Boca de Alvarado que se ubican de la mitad hacia el sur del SLA tuvieron las concentraciones más elevadas; el máximo se alcanzó en la época de lluvias de agosto y en específico en Tlalixcoyan con contenidos de hasta 15.16 µM, por efecto de los desechos en la zona que es una de las más afectadas por las descargas del Río Blanco, siendo uno de los ríos más contaminados que trae consigo todos los escurrimientos de fábricas aledañas, además de la contaminación generada por los diversos asentamientos urbanos, lo que incrementó la cantidad de nutrientes disueltos en el agua (Vázquez Botello *et al.* 2005).

En la década de los 80s Contreras y Gutiérrez (1989) cuantificaron la concentración de ortofosfatos con un mínimo de 0.51 µM y un máximo de 4.48 µM, determinando que el intervalo estuvo dentro del límite promedio para las lagunas costeras (3.5 µM). A su vez, Conteras Espinoza *et al.* (1996) registraron un intervalo de 0.01 a 5.0 µM, ellos atribuyeron este intervalo como normal para un sistema lagunar (Tabla 14).

De la Lanza Espino y Lozano Montes (1999) realizaron un estudio comparativo entre la Laguna de Alvarado y la de Laguna Términos, donde determinaron un intervalo de 0.8 a 3.8 µM para la primera, por efecto de una mayor perturbación de los aportes pluviales y escurrimientos periféricos agrícolas que contienen fertilizantes fosforados que son acarreados por la descarga de los ríos Papaloapan y el Blanco, entre otros (Tabla 14).

Para la década de los 2000s, se realizaron tres muestreos en diferentes años, el primero de ellos en 2000 y 2001 por Martínez Franco (2003), el intervalo osciló de 0.17 a 9.66 µM en septiembre por efecto de la entrada de agua proveniente de los ríos, así como por la resuspensión de los sedimentos provocada por el aumento de las descargas. Además de la presencia de cooperativas pesqueras que vierten sus desechos cerca de la laguna incrementando la concentración durante todo el año, pero con contenidos más elevados en la época de lluvias (alvarado.gob.mx) (Tabla 14).

Contreras Espinoza y Warner (2004) registraron un intervalo de 0.01 a 13.4 μM como consecuencia de la cantidad de descargas urbanas, agrícolas e industriales de los alrededores. Morán Silva *et al.* (2005) refirieron un intervalo mayor en la temporada de secas con 0.37 μM a 6.2 μM , la variación se debió al incremento de la descarga de los ríos durante las lluvias. La variación en los ortofosfatos que se observó fue probablemente resultado directo de las tierras agrícolas y fertilizantes dentro de la cuenca de drenaje del Río Papaloapan (Tabla 14).

Con base en lo anterior que el contenido de ortofosfatos se ha incrementado en 27 años un 19% de un mínimo de 0.51 μM referido por Contreras y Gutiérrez (1989) en los 90s hasta un máximo de 15.16 μM en 2016.

Tabla 14. Comparación de las concentraciones de ortofosfatos con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.

Año	Autor	Secas	Lluvias	Nortes
1989	Contreras y Gutiérrez	Min. 0.51 y Max. 4.48		
1996	Conteras Espinoza et al.	Min. 0.01 y Max. 5		
1999	de la Lanza Espino y Lozano Montes	Promedio 1.2 Min. 0.8 y Max. 3.8		
2000-2001	Martínez Franco (2003)	Min. 0.17 y Max. 9.66		
2004	Contreras Espinoza y Warner	(0.01 – 13.4)		
2005	Morán Silva et al.	4.5 – 6.2	0.37 – 0.48	
2015	Este estudio	Min. 0.34	Min. 1.94	-
2016		Max. 10.65	Max. 15.16	-

Fósforo total (FT)

El contenido de fósforo total en el SLA tuvo diferencias espaciales y temporales, especialmente a nivel de fondo, esto se pudo atribuir a los sedimentos que llevan a cabo procesos de descomposición de la materia orgánica, descargas fluviales y el constante aporte pluvial de la época de lluvias que quedó almacenado en la zona norte del SLA, donde los pequeños asentamientos urbanos e industriales (agropecuaria) tuvieron como efecto la acumulación de este nutriente en Arbolillo, Costa de la Palma, Barra Vieja y Tlalixcoyan para mayo de 2016; cabe mencionar

que la zona norte de la laguna tiene poca dinámica de circulación de agua debido a su morfología, lo que implica la permanencia de las aguas en la época de secas.

García Leal y Muñoz Castilla (1991) determinaron que el contenido de fósforo total oscilaba de 4.7 μM a un máximo de 15.2 μM , y existía una disminución marcada en la época de lluvias seguida de la época de nortes (Tabla 15).

Contreras Espinoza *et al.* (1996) registraron un intervalo de variación de 4 a 9 μM ; ellos consideraron a la Laguna de Alvarado como un sistema de marcada influencia marina y determinaron que este sistema tuvo una limitante de fósforo (Tabla 15).

Para inicios de los 2000s se realizaron tres estudios; el primero de ellos fue en 2001 por Martínez Franco (2003) que registró un intervalo de concentración desde lo indetectable (N.D.) hasta un máximo 26.53 μM , debido a la influencia directa de los ríos sobre el sistema lagunar por el aumento de las descargas de éstos ríos. El segundo estudio realizado por Contreras Espinoza y Warner (2004) cuantificó un mínimo de 0.1 μM y un máximo de 13 μM , observando que las partículas enriquecidas con fósforo se depositaron en el fondo y formaban una abundante reserva de nutrientes en los sedimentos del fondo. Según Moreno Franco *et al.* (2010) si existe una reserva de fósforo o “carga interna”, ésta puede dificultar los procesos de restauración de lagunas costeras para combatir el nivel de eutrofización.

Morán Silva *et al.* (2005) registraron un intervalo de concentración de 2 μM en época de secas a 15 μM , y refirieron que este último contenido fue en lluvias y provino de la materia orgánica, además de la producción de este nutriente por procesos autóctonos, la resuspensión de los sedimentos y la remoción mediante escorrentía (Tabla 15).

Destaca con base en lo anterior que el contenido de fósforo total se ha incrementado en 25 años un 31% con un mínimo de 4.7 μM referido por García Leal y Muñoz Castilla (1991) en los ochentas y un máximo de 89.68 μM en el 2016.

Tabla 15. Comparación de las concentraciones de fósforo total con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.

Año	Autor	Secas	Lluvias	Nortes
1991	García Leal y Muñoz Castilla	Min. 4.7 aprox. y Max. 15.2 aprox.		
1996	Contreras Espinoza et al.	4 a 9 en promedio		
2003	Martínez Franco (2001)	2	26.53	N.D.
2004	Contreras Espinoza y Warner	Min. 0.1 y Max. 13		
2005	Morán Silva et al.	2 a 11	5 a 15	3 a 9
2015	Este estudio	Min. 1.29	Min. 16.77	-
2016		Max. 89.68	Max. 42.26	-

Nitrógeno total (NT)

La concentración del nitrógeno total tuvo amplias diferencias temporales, las concentraciones bajas se registraron en Arbolillo, Costa de la Palma y Barra Vieja que se ubican al norte del SLA, en donde no hay aporte significativo de nutrientes provenientes de la descarga de los ríos; pero, sí existen asentamientos urbanos y pequeñas industrias agrícolas y pesqueras que utilizan fertilizantes; eso explicaría algunos de los datos puntuales a nivel de fondo de 114.29, 142.86 y 185.71 μM . Sin embargo, en Tlalixcoyan, Rincón Bahía y Boca de Alvarado se registraron intervalos más elevados de 371.43 a 428.57 μM , lo anterior puede ser explicado debido a los procesos que ocurren en superficie y fondo de la laguna, además de estar influenciados por los aportes de descargas domésticas, aportes de fertilizantes y agroquímicos de las industrias de los alrededores y sus efectos de erosión y deforestación de suelos. Cabe mencionar que lo anterior tiene relación directa con los aportes fluviales que aumentan por efecto de las lluvias de agosto.

Contreras y Gutiérrez (1989) determinaron un contenido de NT que oscilaba de 18.99 a 25.38 μM . Contreras Espinoza *et al.* (1996) realizaron un estudio sobre lagunas costeras de México, el intervalo fue de 5 a 15 μM coincidiendo con las zonas más aisladas en Arbolillo, donde la recirculación del agua es menor (Tabla 16).

En el siglo XXI, el nitrógeno total tuvo un incremento de concentración para el SLA; Contreras Espinoza y Warner (2004) registraron un intervalo de 4.9 a 45.8 μM , influenciado por los aportes de residuales domésticos con altas concentraciones de aminoácidos, y también de urea y ácido úrico derivados del metabolismo de las proteínas (Tabla 16).

Se destaca con base en lo anterior que el contenido de nitrógeno total se ha incrementado en 27 años un 89%, con un mínimo de 18.99 μM referido por Contreras y Gutiérrez (1989) hasta un máximo de 428.57 μM en el 2016.

Tabla 16. Comparación de las concentraciones de nitrógeno total con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.

Año	Autor	Secas	Lluvias	Nortes
1989	Contreras y Gutiérrez	Min. 18.99 y Max. 25.38		
1996	Contreras Espinoza et al.	5 a 15 aprox.		
2004	Contreras Espinoza y Warner	Min. 4.9 y Max. 45.8		
2015	Este estudio	Min. 35.71	Min. 35.71	-
2016		Max.121.43	Max. 428.57	-

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO tuvo variaciones espaciales y temporales; sin embargo, existió una tendencia de contenidos más elevados en Tlalixcoyan en ambos niveles de superficie y fondo de todos los muestreos, tomando en cuenta la clasificación de CONAGUA, el SLA se cataloga como un cuerpo de agua de “buena calidad” (nivel verde) $>10 \text{ mg O}_2/\text{L}$ con aguas superficiales con bajos contenidos de materia orgánica biodegradable y no biodegradable, con un intervalo de 9.52 a 10.61 $\text{mg O}_2/\text{L}$ en época de lluvias de agosto. Mientras que en secas los contenidos fueron menores al mencionado anteriormente, y se podrían catalogar como aguas “excelentes” (nivel azul) $<10 \text{ mg O}_2/\text{L}$ con aguas no contaminadas, como en la Boca de Alvarado de hasta 2.72 $\text{mg O}_2/\text{L}$ por efecto de la marea y la recirculación constante del agua debido a la ubicación de la localidad (Tabla 8) (CONAGUA, 2017).

El SLA a pesar de estar clasificado como un cuerpo de agua de “buena calidad”, si se sigue aumentando la contaminación de origen antropogénico, dejará de tener una condición natural y se provocará una condición eutrófica como resultado de los centros urbanos (como los poblados de Arbolillo, Costa de la Palma, Barra Vieja y Tlalixcoyan) e industriales, por ejemplo los ingenios azucareros asentados desde la zona de Córdoba-Orizaba hasta la región de Tlalixcoyan; que por sus características producen desechos líquidos y sólidos que son vertidos y transportados por los ríos que descargan en la laguna (INAFED); clasificando al SLA como “aceptable” con indicios de contaminación, aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente (INECC, 2015).

La DQO registrada en este estudio tuvo un máximo de 10.61 mg O₂/L; si se compara con las Normas Mexicanas NMX-AA-030-SCFI-2001 y NMX-AA-030/1-SCFI-2012 especifica la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas con valores permisibles de hasta 20 mg O₂/L para catalogarlo como un cuerpo de agua con descargas de aguas residuales con tratamientos previos y que es aceptable para todos los organismos (agua.org.mx.) (DOF, 2014).

Clorofila “α”

El contenido de clorofila “α” como índice de productividad primaria presentó variaciones espaciales y temporales; el mes de agosto tuvo un registro puntual de concentración alcanzando un máximo de 48.80 mg/m³, clasificando a este cuerpo de agua como eutrófico debido a que el contenido se encontró dentro del intervalo (27 a 75 mg/m³) sugerido por Vollenweider y Kerekes (1982), como efecto de la proliferación masiva de organismos debido a un aumento en la concentración de nutrientes en el agua, fundamentalmente de fósforo y nitrógeno que son acarreados por los aportes fluviales por efecto de las lluvias de la época, dando como consecuencia mayores cantidades de fitoplancton, causando que los niveles de este pigmento aumenten y con ello la masa fitoplanctónica, sugiriendo un problema de eutrofización cultural que está relacionado con la cantidad de biomasa algal presente en el cuerpo de agua y con los suministros adicionales de nutrientes por efecto antropogénico en Tlalixcoyan (Mazzeo *et al.* 2007).

En 1966, Villalobos registró el contenido de clorofila “α” en el sistema lagunar considerándolo como normal y catalogado como una eutrofia natural y es un proceso natural que se presenta cuando la productividad de un cuerpo de agua incrementa como resultado del incremento del ingreso de nutrientes. Margalef (1975) registró un intervalo de 0.91 hasta 17.28 mg/m³, en dicho estudio se observó que las zonas con menos influencia marina fueron las que tenían las cantidades más altas, puesto que la circulación de agua es menor en estas zonas y permite la acumulación de este pigmento (Tabla 17).

En 1987 Lozano Montes (1993) observó que las variaciones se relacionaron con la temporalidad de cada región y con los aportes de nutrientes para la actividad fitoplanctónica, y mencionó que la cantidad de clorofila “α” no implica necesariamente una alta tasa de productividad, ya que también está relacionada con otros factores como temperatura, salinidad, metales, etc. (Tabla 17).

Años más tarde, García Leal y Muñoz Castilla (1991) registraron un máximo de 25.8 mg/m³. Contreras Espinoza *et al.* (1994) registraron un máximo de 99 mg/m³ y mencionaron que no existe una relación entre la cantidad de clorofila “α” y la productividad primaria, sin embargo, aluden que la composición de la comunidad fitoplanctónica tiene una dinámica especialmente importante en las aguas costeras y atribuyen esta cantidad de pigmento a la presencia de formas nanofitoplanctónicas (Tabla 17).

De la Lanza Espino y Lozano Montes (1999) mencionaron que el intervalo (3.2 a 15 mg/m³) de clorofila “a” se relacionó con el reciclamiento temporal local de cada región de nutrientes y con los aportes fluviales de éstos, en su estudio el contenido de este pigmento fue mayor en las regiones de influencia marina, lo cual se justifica con una invasión de organismos neríticos, encontrando las condiciones adecuadas para desarrollarse en abundancia. (Tabla 17).

En 2000-2001, Martínez Franco (2003) registró un incremento en la concentración de este pigmento con un máximo de 181.98 mg/m³, donde las concentraciones responden a la regionalización dada por las condiciones ambientales, la influencia

mareal directa disminuye el contenido de clorofila “a”, mientras que en las zonas aisladas este contenido es mayor (Tabla 17).

Moran Silva *et al.* (2005) registraron los valores más bajos de clorofila “α” con un intervalo de 4.3 a 18.8 mg/m³ y los contenidos más altos en la época de nortes (11.5 a 92.6 mg/m³), seguido de la época de lluvias (20 a 40 mg/m³). Ellos justifican que las cantidades de clorofila “α” son significativamente normales y se deben en cierto punto a las condiciones locales (Tabla 17).

Con base en lo anterior el contenido de clorofila “α” en 50 años ha tenido incrementos y fluctuaciones de un 20% desde 1966 con un mínimo de 9.52 mg/m³ referido por Villalobos *et al.* (1966) hasta un máximo de 48.8 mg/m³ en 2016.

Tabla 17. Comparación de las concentraciones de clorofila “α” (mg/m³) con estudios de lagunas costeras, incluido el SLA en diversos años.

Año	Autor	Secas	Lluvias	Nortes
1966	Villalobos <i>et al.</i>	Min. 9.52	Max. 48.79	-
1975	Margalef	Min. 0.91 y Max. 17.28		
1987	Lozano Montes (1993)	Min. 3.2	Max. 10.6	-
1991	García Leal y Muñoz Castilla	Min. 0.34 y Max. 25.8		
1994	Contreras Espinoza et al.	Min. 6 y Max. 99.2		
1999	de la Lanza Espino y Lozano Montes	3.2 a 15		
2003	Martínez Franco (2001)	Max. 181.98		
2005	Morán Silva et al.	Max 18.8 aprox.	20 a 40 aprox.	10 a 90 aprox.
2015	Este estudio	Min. 0.59	Min. 6.47	-
2016		Max. 22.34	Max. 48.8	-

Coliformes totales (CT)

Las concentraciones de coliformes totales tuvieron una amplia variación espacial y temporal. Se registraron concentraciones en los tres meses, tanto en secas como en lluvias, con un máximo de 1011 NMP/100 ml (Tabla 10). Las estaciones de Costa de la Palma y Barra Vieja, debido a su ubicación tienen una influencia primordial, ya

que ciertos poblados carecen de condiciones sanitarias adecuadas y vierten a la laguna constantemente desechos domésticos sin ningún tratamiento previo, lo que fomenta la presencia de microorganismos. En el caso de Rincón Bahía, el Río Papaloapan desemboca en este sitio y aporta una gran cantidad de materiales, incluyendo microorganismos como virus y bacterias entéricas. Estos aportes se reflejan de forma directa durante el mes de agosto, cuando la concentración de coliformes totales en el agua aumentó espacialmente, tiempo en el cual los aportes de agua dulce incrementan el volumen de la laguna. Se puede decir que los coliformes totales tienen un origen urbano y más evidentemente son acarreados por los ríos, dado que las concentraciones más elevadas (680-1011 NMP/100 ml) coinciden con la época de lluvias (Becerra Tapia y Botello Vázquez, 1995).

En la época de secas tiende a disminuir el contenido de CT debido a que durante este periodo la temperatura y salinidad son elevadas, lo cual está ligado a la acción bactericida que ejerce la influencia marina durante el estiaje y al decremento del aporte de los ríos (Becerra Tapia y Botello Vázquez, 1995). Sin embargo, hubo registros puntuales en la época de secas en Tlalixcoyan y Rincón Bahía con 1011 NMP/100 ml, estas estaciones tienen la influencia de descarga de dos ríos: Blanco y Papaloapan, respectivamente; lo que puede explicar el contenido máximo de bacterias.

Además, cabe mencionar que bajo las normas de calidad de agua del país (NOM ECOL 001-1996) estas condiciones son consideradas en un criterio de “no contaminación” y sin afectaciones a la salud, debido a que normalmente se encuentran en el ambiente en esos niveles.

Coliformes fecales (CF)

Las bacterias fecales tuvieron variaciones temporales y estacionales, valores que identifican cuerpos de agua con calidad “excelentes” (nivel azul), es decir, que no están contaminados (CONAGUA, 2007). El SLA en general presenta condiciones naturales sin niveles de contaminación que afecten de manera primordial sus aguas, sin embargo, hubo registros puntuales mayores a 100 NMP/100 ml en diferentes

estaciones, tanto en época de lluvias como en secas, debido al constante aporte de contaminantes al sistema (Tabla 11).

En Arbolillo y Costa de la Palma se cuantificaron 101 NMP/100 ml y 960 NMP/100 ml respectivamente en agosto, con base en el criterio de CONAGUA, Arbolillo representa “buena calidad” (nivel verde) con aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para su uso recreativo con contacto primario, mientras que Costa de la Palma se clasificó como “aceptable” (nivel amarillo) y está caracterizado por aguas superficiales con calidad satisfactoria como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Cabe mencionar que esta estación tiene una población pequeña, sin embargo, carecen de infraestructura para las descargas domésticas, por lo que se vierten directamente a la laguna o por el fecalismo al aire libre (Quiñones Ramírez *et al.*, 2000). Además de la poca circulación de sus aguas debido a la ubicación de estos poblados que se encuentran al norte del sistema y no tienen una dinámica de circulación, trayendo como consecuencia el incremento de bacterias (SEFIPLAN, 2015) (Tabla 11).

En la época de secas de marzo de 2015, el máximo se alcanzó en Arbolillo con 108 NMP/100 ml, mientras que en mayo de 2016 lo que fue para Rincón Bahía y Boca de Alvarado se registraron 123 y 388 NMP/ 100 ml respectivamente. Esta cantidad de bacterias pudo deberse al material fecal vertida por los poblados aledaños, así como a la disminución de los niveles de agua durante la sequía.

Los coliformes fecales registrados estuvieron por debajo del límite máximo permitido de 1240 NMP/100 ml por la NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 para los servicios al público con contacto directo e indirecto en aguas residuales. Los resultados mostraron que la cantidad de coliformes fecales presentes de acuerdo a la normatividad indicaron que no existe contaminación alguna de acuerdo a lo establecido. Una medida eficaz para no incrementar estos niveles de bacterias sería el uso de procedimientos de desecho apropiados en entornos industriales, agrícolas y urbanos que puede reducir significativamente los niveles de bacterias (CONAGUA-SEMARNAT, 2014).

CONCLUSIONES

La importancia ecológica y económica de las lagunas costeras radica en su dinámica, su alta productividad y la abundancia de nutrientes. La Laguna de Alvarado presenta condiciones de eutrofia en diferentes niveles, tanto espacial como temporalmente, observando una relación con la época de lluvias (agosto) debido al aumento de los niveles de agua y la ubicación de las estaciones muestreadas; también asociado a los disturbios de los poblados y los muchos asentamientos industriales, agrícolas y urbanos, debido a que es un sistema que brinda múltiples servicios ambientales como provisión de agua, aire y alimentos, protección contra desastres naturales y recreación. Por lo anterior, es importante comprender su dinámica particular para la generación de propuestas que permitan su manejo e interpretación a lo largo del tiempo.

En 1960 la condición eutrófica era natural con respecto al contenido de clorofila "α", por tanto, la demanda hacia el sistema era escasa, por lo que ahora con la creciente expansión de las actividades de los poblados, el incremento en los desechos ha ido en aumento considerable de hasta un 20%, motivo por el cual ahora la eutrofización se denomina como eutrofización cultural.

Los nutrientes como el amonio (59%), nitrógeno total (89%) y fósforo total (31%) tuvieron concentraciones mayores a lo registrado en años anteriores, debido a la contaminación y los desechos de los poblados que han mermado la calidad del agua (físicoquímica) y acelerando los procesos de eutrofización por efecto de la acumulación de nutrientes; a partir del 2005 al presente se observó el incremento asociado a actividades antropogénicas; si estos problemas continúan de manera frecuente, los niveles en el contenido de los nutrientes fósforo y nitrógeno provocarán un problema de hipereutrofía por el considerable crecimiento de los centros urbanos y el consiguiente aumento en la producción de residuos sólidos y líquidos, los cuales aumentan la concentración de ciertos nutrientes en las lagunas costeras, ocasionando una degradación del ambiente que, muchas veces, es irreversible.

En Alvarado el desarrollo y la expansión poblacional en la zona costera representan un serio problema para resguardar las condiciones sanitarias y ambientales de los ecosistemas acuáticos, las variables microbiológicas se muestran como indicadores certeros para la estimación de los procesos eutróficos; en el caso de las coliformes totales y fecales éstas registraron contenidos dentro del límite máximo permitido por la Norma Oficial Mexicana y con criterio aceptable por CONAGUA; motivo por el cual no existe un riesgo ambiental o sanitario de manera inmediata; sin embargo, el incremento en los aportes antropogénicos a causa de las pesquerías, ingenios azucareros o campos de cultivo que descargan sus subproductos directamente en el sistema lagunar o son acarreados por los ríos que desembocan en la zona repercutirá directamente en la calidad del agua (condiciones fisicoquímicas).

En un futuro, el creciente aporte de nutrientes a las lagunas costeras deberá ser controlado para evitar que los procesos de eutrofización sigan avanzando, para ello resulta fundamental tomar medidas preventivas de mitigación del problema (especialmente en los sitios más contaminados o de mayor población), e implementar programas de monitoreo que enseñen y eduquen a los pobladores e industrias en los alrededores y que dependen del recurso, a utilizar este sistema de manera favorable y no invasiva al medio; continuar y reforzar con campañas de apoyo y concientización dirigidos a las industrias, a las comunidades campesinas, pobladores (de cualquier edad) para hacer conciencia en la importancia de mantener esta laguna en las mejores condiciones posibles y seguir con proyectos que aborden el grado de impacto en las condiciones fisicoquímicas de la Laguna de Alvarado a través de los años.

BIBLIOGRAFÍA

American Public Health Association (APHA) (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. Washington DC. (21): 1220.

Becerra-Tapia N. y Vázquez-Botello A. (1995) Bacterias coliformes totales, fecales y patógenas en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. Hidrobiológica 5 (1-2): 87-94.

Buenfil-Friedman J. (2009) Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 1 (2): 435-456.

Castañeda-López O. y Contreras-Espinoza F. (1995) El centro de documentación "Ecosistemas costeros mexicanos" como una herramienta de diagnóstico. CONABIO-UAM. ContactoS. Unidad Iztapalapa. Universidad Autónoma Metropolitana (48): 5-17.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2006) Capital natural y bienestar social. México 71.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2007) Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Cárcamos de bombeo para alcantarillado, funcional e hidráulico. www.cna.gob.mx

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2017) Monitoreo de la calidad de agua. <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf>

CONAGUA-SEMARNAT (2014) "Estadísticas del Agua en México en 2013".

Contreras F. y Gutiérrez F. (1989) Hidrología, nutrientes y productividad primaria en lagunas costeras. Temas de oceanografía biológica en México. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada 3: 57-59.

Conteras-Espinoza F. (1993) Ecosistemas costeros mexicanos. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F. 16: 415.

Contreras-Espinoza F., Castañeda-López O., García-Nagaya A. (1994) La clorofila "a" como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. Anales del Centro Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Contreras-Espinoza F., Castañeda-López O., García-Nagaya A., Torres-Alvarado R. y Gutiérrez-M. F. (1996) Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. Revista de Biología Tropical 44 (2): 417-425.

Contreras-Espinoza F. y Warner, G. (2004) Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. Hidrobiológica 511: 233-245.

De la Lanza Espino G. y Lozano Montes H. (1999) Comparación fisicoquímica de las lagunas de Alvarado y Términos. Hidrobiológica 9 (1): 15-30.

De la Lanza Espino G. y Hernández Pulido S. (2017) Cambios fisicoquímicos del agua de la laguna de Alvarado, Veracruz, México en periodos interrumpidos en medio siglo. (INFORME).

De La Lanza Espino G. (2017) Physicochemical Changes of the Water of Alvarado Lagoon, Veracruz, Mexico in Interrupted Periods in Middle Century. Journal of Aquaculture & Marine Biology 5 (3): 1-6.

Diario Oficial de la Federación (DOF) (2014) www.dof.gob.mx

FIR Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. (2003) Instituto de Investigaciones Biológicas. Universidad Veracruzana.

Flores-Coto C. y Méndez-Vargas L. (1982) Contribución al conocimiento del ictioplancton de la Laguna de Alvarado, Veracruz. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma México (1): 141-160.

Fondo para la comunicación y educación ambiental, A.C. (2004) www.agua.org.mx

García-Leal M. L. C. y Muñoz-Castilla M. L. (1991) Variación estacional del fitoplancton en la laguna de Alvarado, Veracruz. Reporte final de servicio social. Departamento de Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana: 94.

Gómez-Aguirre S. (1974) Reconocimientos estacionales de hidrología y plancton en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 1 (1): 61-82.

INP/IIB (2000). Caracterización de los Ecosistemas Lagunares Costeros. Universidad Veracruzana (Instituto de Investigaciones Biológicas), Instituto Nacional de Pesca (Centro Regional de Pesca Veracruz), Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT). Informe Técnico: 68.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2015) Evaluación de la calidad del agua y clasificación de cuerpos de agua superficial. http://www.emapas.inecc.gob.mx/download/lch_calidad_del_agua.pdf

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). Consultado en 2017 www.gob.mx/inafed

Kennish M. J. (2000) Estuary restoration and maintenance. The National Estuary Program. CRC Press, Boca Raton, Florida: 359.

Lankford R. R. (1977) Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification, p. 215. *Estuarine Processes*. Academic Press, Inc., New York (2): 428.

Lozano-Montes H. M. (1993) Comparación hidrológica entre la laguna de Alvarado, Veracruz y Términos, Campeche durante el ciclo anual de 1987. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México: 43.

Margalef R. (1975) Comunidades planctónicas en lagunas litorales. *Lagunas Costeras un Simposio*. Memorias del Simposio Internacional en: Ayala-Castañares A. y F. B. Phleger (eds). UNAM-UNESCO México: 645-652.

Martínez-Franco L. A. (2003) Dinámica espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos, concentración de nutrientes y su relación con la clorofila "a" del sistema lagunar Alvarado, Veracruz, durante tres temporadas climáticas (julio de 2000 a junio de 2001). Tesis de licenciatura. Laboratorio de Ecología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México: 85.

Martínez-Gaspar F. J., Ojeda-Barrios L. O., Hernández-Rodríguez A., Martínez-Téllez J. J. y de la O-Quezada G. (2011) El exceso de nitratos: un problema actual

en la agricultura. Aventuras del pensamiento. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua (1): 1-6.

Mazzeo, N., Goyenola, G. y Fosalba, C. (2007) Eutrofización de ecosistemas acuáticos: causas, consecuencias y estrategias de conservación y rehabilitación. El rol del Monitoreo Ambiental Participativo. Dictado para Docentes de Enseñanza Media en el Centro Regional de Formación de Atlántida, Florida, Rivera & Salto. 48 horas.

Morán-Silva A., Franco-López J., Chávez-López R., Altamirano-Álvarez T. y de Sucre-Medrano A. (1996) Aspectos generales del comportamiento hidrológico del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México. Revista Zoológica. Núm. Esp. (2): 1-16.

Morán-Silva A., Martínez-Franco L. A., Chávez-López R., Franco-López J. y Bedia-Sánchez C. M. (2005) Seasonal and Spatial Patterns in Salinity, Nutrients and Chlorophyll α in the Alvarado Lagoonal System, Veracruz, Mexico. Gulf and Caribbean Research 17 (1): 133-143.

Moreno-Cassasola P., Rojas-Galaviz J., Zárate-Lomelí D., Ortiz-Pérez M., Lara-Domínguez A. L. y Saavedra-Vázquez T. (2002) Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problema. Madera y Bosques 1 (8): 61-88.

Moreno-Franco D. P., Manzano J. Q. y López-Cuevas A. (2010) Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofía. ContactoS. Unidad Iztapalapa. Universidad Autónoma Metropolitana (78): 25-33.

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

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Norma Mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua – determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.

Norma mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Análisis de agua - medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba - parte 1 - método de reflujó abierto - (cancela a la NMX-AA-030-SCFI-2001).

Perkins E.J. 1974. The biology of estuaries and coastal waters. Academic Press. New York. In: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1995. Estudio Piloto para un plan de Desarrollo Acuícola en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México DF: 68.

Portilla-Ochoa E., Sánchez-Hernández A., Juárez-Eusebio A., Gutiérrez-García R., Montejó-Díaz J. y Cortina-Julio B. (2003) Establecimiento de Unidades de Gestión Ambiental en el Humedal de Alvarado, Veracruz, México: Bases para su Ordenamiento Ecológico y Social. Informe Técnico. Instituto de Investigaciones Biológicas. Universidad Veracruzana: 45.

Portilla-Ochoa E., Sánchez-Hernández A., Juárez-Eusebio A., Gutiérrez-García R., Montejó-Díaz J. y Cortina-Julio B. (2005) Establecimiento de Unidades de Gestión Ambiental en el Humedal de Alvarado, Veracruz, México: Bases para su Ordenamiento Ecológico y Social. Informe Técnico. Instituto de Investigaciones Biológicas. Universidad Veracruzana. Inédito: 167.

Quiñones-Ramírez E. I., Vázquez-Salinas C., Pedroche-F., Moreno-Sepúlveda L. y Rodas-Suárez O. R. (2000) Presencia de los géneros *Vibrio* y *Salmonella* y detección de coliformes fecales en almejas del Golfo de México. Hidrobiológica 10 (2): 131-138.

Ramírez E. (2008) Sitio piloto Río Papaloapan - Laguna de Alvarado. www.researchgate.net

Reséndez-Medina A. (1973) Estudio de los peces de la Laguna de Alvarado, Veracruz, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. (3) 31: 183-281.

Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz (SEFIPLAN) (2015) Sistema de información municipal de Alvarado. Cuadernillo municipal. www.veracruz.gob.mx

Strickland J. D. H. y Parsons T. R. (1972) *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fisheries Research Board of Canadá. Ottawa, Canadá 167 (2): 310.

Vázquez-Botello A. (1978) Variación de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequía y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la laguna de Términos, Campeche, México. *Anales Centro Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 5 (1): 159-177.

Vázquez-Botello A., Rendon von-Osten J., Gold-Bouchot G. y Agraz H. C. (2005) Golfo de México, contaminación e impacto ambiental. *Diagnóstico y Tendencias* (2): 25-52.

Villalobos F. A., Suárez C. J., Gómez S., de la Lanza G., Aceves M., Manrique F. y Cabrera J. (1966) Considerations on the hydrography and productivity of Alvarado Lagoon, Veracruz, México. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Nineteenth Annual Sessions*. (19): 75-85.

Villalobos F. A., Gómez S., Cabrera V., de la Lanza G. y Manrique F. (1975) Estudios hidrobiológicos en la Laguna de Alvarado (febrero-agosto, 1966) *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie de Zoología (1): 1-34.

Vollenweider R. A. y Kerekes J. (1982) *Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control*. OECD, Organization for Economic Cooperation and Development 1982. Paris: 154.

Yáñez-Arancibia A. (1987) Lagunas costeras y estuarios: cronología, criterios y conceptos para una clasificación ecológica de sistemas costeros. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural (29): 1-25.