

2018-08

Reporte de análisis de datos de calidad del agua del Lago de Chapala

Sánchez-Torres, Juan D.; Nuño-Sánchez, Saúl A.; Martínez-Alvarado, Juan C.; Ruiz-Cruz, Riemann

Sánchez-Torres, J.D.; Nuño-Sánchez, S.A.; Martínez-Alvarado, J.C. y Ruiz-Cruz, R. (2018). Reporte de análisis de datos de calidad del agua del Lago de Chapala. Departamento de Matemáticas y Física. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO.

Enlace directo al documento: <http://hdl.handle.net/11117/5614>

Este documento obtenido del Repositorio Institucional del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente se pone a disposición general bajo los términos y condiciones de la siguiente licencia:
<http://quijote.biblio.iteso.mx/licencias/CC-BY-NC-2.5-MX.pdf>

(El documento empieza en la siguiente página)

Tlaquepaque, Jalisco a 16 de agosto de 2018

Reporte de análisis de datos de Calidad del Agua del Lago de Chapala

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

ITESO

Departamento de Matemáticas y Física

Equipo de Trabajo:

Dr. Juan Diego Sánchez Torres

Dr. Saúl Alonso Nuño Sánchez

M. Juan Carlos Martínez Alvarado

Dr. Riemann Ruiz Cruz

Revisión: Ing. Ana Sofía Macías Ascanio

Contenido

1	Descripción General de los Datos	6
2	Resultados del análisis estadístico	12
2.1	Arsénico total (AS_TOT)	13
2.1.1	Distribución geográfica de las concentraciones de AS_TOT	14
2.2	Coliformes Fecales (COLI_FEC)	15
2.2.1	Distribución geográfica de las concentraciones de COLI_FEC.....	17
2.3	Cromo Total (CR_TOT)	19
2.3.1	Distribución geográfica de las concentraciones de CR_TOT	20
2.4	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_TOT)	21
2.4.1	Distribución geográfica de las concentraciones de DBO_TOT	23
2.5	Demanda Química de Oxígeno (DQO_TOT).....	25
2.5.1	Distribución geográfica de las concentraciones de DQO_TOT.....	27
2.6	<i>Escherichia Coli</i> (E_COLI).....	27
2.6.1	Distribución geográfica de las concentraciones de E_COLI.....	29
2.7	Mercurio total (HG_TOT)	31
2.7.1	Distribución geográfica de las concentraciones de HG_TOT	32
2.8	Nitrógeno Amoniacal (N_NH3)	33
2.8.1	Distribución geográfica de las concentraciones de N_NH3	35
2.9	Nitrito (N_NO2).....	36
2.9.1	Distribución geográfica de las concentraciones de N_NO2	38
2.10	Nitratos (N_NO3)	39
2.10.1	Distribución geográfica de las concentraciones de N_O3	41
2.11	Nitrógeno orgánico (N_ORG).....	42
2.11.1	Distribución geográfica de las concentraciones de N_ORG.....	44
2.11.2	Distribución geográfica de las concentraciones de N_TOT.....	47
2.12	Orto Fosfato (ORTO_PO4)	48
2.12.1	Distribución geográfica de las concentraciones de ORTO_PO4.....	49
2.13	Fósforo total (P_TOT).....	50
2.13.1	Distribución geográfica de las concentraciones de P_TOT	52
2.14	Plomo total (PB_TOT)	53
2.14.1	Distribución geográfica de las concentraciones de PB_TOT	55
2.15	pH Campo superficial (PH_CAMPO_SUP)	55

2.15.1	Distribución geográfica de las concentraciones de PH_CAMPO_SUP	57
2.16	Sólidos disueltos totales (SDT).....	57
2.16.1	Distribución geográfica de las concentraciones de SDT	59
2.17	Sólidos suspendidos totales (SST)	60
2.17.1	Distribución geográfica de las concentraciones de SST	62
3	Resultados interpretados con referencia en normas establecidas.....	63
3.1	Norma Oficial Mexican NOM-127-SSA1-1994	63
3.1.1	Distribución geográfica de la concentración promedio de Arsénico Total con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.....	65
3.1.2	Distribución geográfica de la concentración promedio de Coliformes Fecales con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.....	65
3.1.3	Distribución geográfica de la concentración de Cromo Total con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.....	66
3.1.4	Distribución geográfica del E_COLI con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994	67
3.1.5	Distribución geográfica de la concentración promedio de Mercurio Total con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.....	68
3.1.6	Distribución geográfica de la concentración promedio de Nitrógeno Amoniacal con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.....	68
3.1.7	Distribución geográfica de la concentración promedio de Nitritos con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.....	69
3.1.8	Distribución geográfica de la concentración promedio de Nitratos con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994	70
3.1.9	Distribución geográfica de la concentración promedio de Plomo Total con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994	71
3.1.10	Distribución geográfica de la concentración promedio de Sólidos Disueltos Totales con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.....	72
3.2	Norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática.	73
3.2.1	Distribución geográfica del AS_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) ‘	74
3.2.2	Distribución geográfica del COLI_FEC con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)	75
3.2.3	Distribución geográfica del CR_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.).....	75
3.2.4	Distribución geográfica del DBO_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)	76

3.2.5	Distribución geográfica del E_COLI con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.).....	77
3.2.6	Distribución geográfica del HG_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.).....	78
3.2.7	Distribución geográfica del N_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.).....	79
3.2.8	Distribución geográfica del P_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) ‘.....	80
3.2.9	Distribución geográfica del PB_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) ‘.....	81
3.2.10	Distribución geográfica del SST con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) ‘.....	82
3.3	Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud 2017....	83
3.3.1	Distribución geográfica del AS_TOT con referencia en las guías de agua potable de la OMS	85
3.3.2	Distribución geográfica del COLI_FEC con referencia en las guías de agua potable de la OMS	85
3.3.3	Distribución geográfica del CR_TOT con referencia en las guías de agua potable de la OMS	86
3.3.4	Distribución geográfica del E_COLI con referencia en las guías de agua potable de la OMS	87
3.3.5	Distribución geográfica del HG_TOT con referencia en las guías de agua potable de la OMS	87
3.3.6	Distribución geográfica del N_NO2 con referencia en las guías de agua potable de la OMS	88
3.3.7	Distribución geográfica del N_NO3 con referencia en las guías de agua potable de la OMS	89
3.3.8	Distribución geográfica del PB_ con referencia en las guías de agua potable de la OMS	90
3.3.9	Distribución geográfica del SDT con referencia en las guías de agua potable de la OMS	90
4	Conclusiones.	91

A petición del equipo de trabajo representado por el Dr. Carlos Peralta, la Lic. Loreto Irene Soto Rivas y la Ing. Ana Sofia Macías Ascanio, del Departamento de Estudios Sociopolíticos y Jurídicos (DSOJ) del ITESO, quienes estuvieron a cargo de realizar la denuncia que se presentará ante la próxima audiencia del Tribunal Latinoamericano del Agua, a realizarse en el ITESO en octubre del presente año, sobre las violaciones sistémicas al Derecho Humano al Agua y al Saneamiento, Derecho Humano a la Salud y Derecho Humano a un Medio Ambiente Sano y a los derechos de los pueblos indígenas, a nombre de los y las habitantes de las comunidades indígenas coca de San Pedro Itzicán y Mezcala, se realizó un análisis estadístico acerca de una base de datos que contenía información sobre los parámetros que son monitoreados dentro del Lago de Chapala.

La información proporcionada por los solicitantes fue obtenida a través de una solicitud de transparencia realizada el día 2 de marzo de 2018 a la Comisión Nacional del Agua con el número de folio 1610100154118, misma que solicitaba toda la información que tuvieran relacionada con la calidad del agua del Lago de Chapala.

Esta base de datos, dispone de información generada por la Comisión Nacional del Agua acerca de las concentraciones de diversos parámetros a partir de muestras obtenidas en las 34 estaciones de monitoreo ubicadas en diferentes puntos geográficos del Lago de Chapala, en un periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018. Para fines del presente reporte, se seleccionaron únicamente algunos de los parámetros que contenía la base de datos, los cuales son: Arsénico, Coliformes Fecales, Cromo, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Escherichia Coli, Mercurio, Nitrógeno Amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Orgánico, Nitrógeno Total, Ortofosfato, Fósforo, Plomo, pH, Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

El análisis consistió en la sistematización de información y obtención de promedios globales de las concentraciones de los parámetros evaluados, así como del promedio por estación y por parámetro, la ubicación geográfica de éstos dentro del Lago de Chapala, y la comparación con los límites establecidos según las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-127-SSA1-1994 y con las concentraciones máximas recomendadas por las guías de agua potable, realizadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Cabe señalar que estas referencias son aplicables para la distribución del agua en las redes de suministro (127 y OMS) o bien, para las aguas residuales que se descargan en cuerpos de aguas nacionales (001) mas no para el Lago de Chapala *per se*.

Los resultados del presente análisis dieron cuenta de que las estaciones de monitoreo que, en general han obtenido mayores concentraciones promedio se encuentran localizadas a lo largo de toda la periferia del Lago, también se da cuenta de que todos los parámetros, a excepción del Plomo se han detectado en todas las estaciones de monitoreo.

1 Descripción General de los Datos

Los resultados que se presentan a continuación se obtuvieron a través del manejo de los datos que se encuentran en el archivo “Lago de Chapala Calidad.xlsx”. De forma general se puede mencionar lo siguiente sobre la base de datos proporcionada.

- Se cuenta con datos generados a partir del muestreo en 34 estaciones de monitoreo localizadas en diferentes puntos dentro del Lago de Chapala. Estos datos son las concentraciones medidas a través de los diferentes muestreos que se han realizado en este cuerpo de agua.
- Se identifican 37 parámetros o variables medibles en cada estación de monitoreo. Estos parámetros no son medidos en todas las estaciones, y las mediciones no son realizadas en la misma fecha. Es decir, no hay un calendario definido ni constante para realizar las visitas a las estaciones, por lo que se presentan datos de cada estación en diferentes días; en el peor de los casos no se cuenta con información de todos los parámetros en algunas estaciones o no existen registros de medición de algunos parámetros para ciertas estaciones.
- Los parámetros pueden ser clasificados en 3 tipos generales de acuerdo a su propia naturaleza: parámetros químicos, parámetros de biológicos y parámetros físicos.
- Existen registros de 11 estaciones de monitoreo que fueron visitadas el mismo día, por otro lado, hay días que solo se visitó una sola estación. No se logró determinar una periodicidad o frecuencia de visita de las estaciones.
- Las primeras mediciones reportadas son de fecha 21/Nov/2012 y la última medición es de 08/Feb/2018.
- Todas las estaciones han sido visitadas al menos 9 veces en este periodo. Es importante mencionar que, en cada visita a la estación, sólo se miden las concentraciones de algunos de los 37 parámetros, mas no se evalúan todos los parámetros en cada visita. Esto se puede apreciar con mayor claridad en la Figura 1.
- En 26 de las 37 variables medidas, se encontraron valores que pueden resultar ambiguos:
 - Los valores “< CMC”, “< LD”, “<LD” son términos que, para fines de este análisis, fueron interpretados como si el valor de ese parámetro se encontrara en un rango aceptable o seguro, por lo tanto, estos valores fueron sustituidos por un valor numérico igual a “0”, para indicar que no hubo presencia de este contaminante.
 - Se encontraron también datos con un rango de valores: “>1250”, “>300”, “<3”. Estos datos pueden resultar confusos ya que no se tiene certeza del valor correcto, por lo que se procedió simplemente a solo eliminar los símbolos “<” y “>” para cada caso.
 - Los términos “ND” y “NE” fueron considerados como datos no disponibles y fueron reemplazados por el valor numérico “-1”. Es importante mencionar que estos valores no fueron incluidos en los cálculos estadísticos del presente análisis.

A continuación en la Figura 1 se muestran las veces que fueron visitadas las estaciones de monitoreo durante el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018.

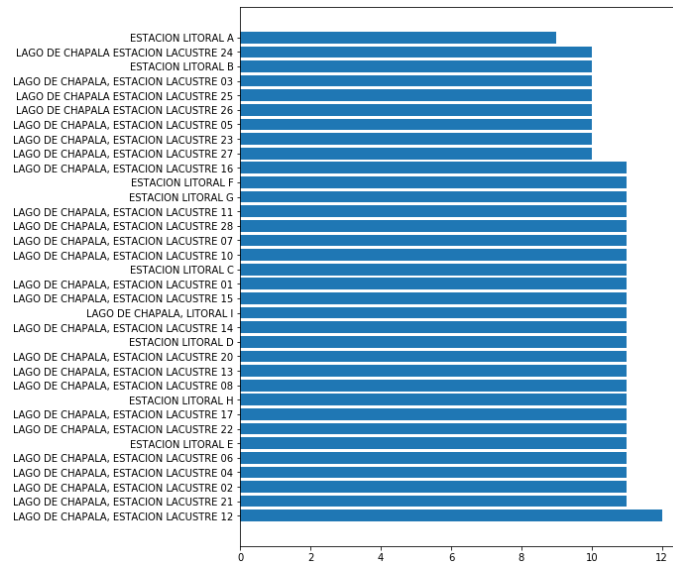


Figura 1. Número de visitas a cada estación lacustre.

Todas las estaciones fueron visitadas cuando menos nueve veces durante el periodo de tiempo establecido y sólo una estación cuenta con 12 visitas realizadas. La mayor parte de las estaciones han recibido 11 visitas y otro cuanto menos 10 veces.

De una reunión anterior con el equipo de trabajo del SOJ ITESO, se acordó que los parámetros prioritarios a analizar serían 'AS_TOT', 'COLI_FEC', 'CR_TOT', 'DBO_TOT', 'DQO_TOT', 'E_COLI', 'HG_TOT', 'N_NH3', 'N_NO2', 'N_NO3', 'N_ORG', 'N_TOT', 'ORTO_PO4', 'P_TOT', 'PB_TOT', 'PH_CAMPO_SUP', 'SDT', 'SST', ya que resultan más significativos para la interpretación de la calidad del agua del Lago de Chapala y abonan mayor precisión al caso a presentarse ante el Tribunal Latinoamericano del Agua. La definición de cada parámetro prioritario fue proporcionado por el equipo del DSOJ del ITESO. Todas las definiciones de los parámetros prioritarios se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición de parámetros prioritarios

PARÁMETRO	DEFINICIÓN
AS_TOT	Arsénico total
COLI_FEC	Coliformes fecales
CR_TOT	Cromo total
DBO_TOT	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO_TOT	Demanda Química de Oxígeno
E_COL	<i>Escherichia Coli</i>

HG_TOT	Mercurio Total
N_NH3	Nitrógeno Amoniacal
N_NO2	Nitrito
N_NO3	Nitratos
N_ORG	Nitrógeno Orgánico
N_TOT	Nitrógeno Total
ORTO_PO4	Orto Fosfato
P	Fósforo total
PB_TOT	Plomo total
PH-CAMPO_SUP	PH Campo superficial
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SST	Sólitos Suspendidos Totales

Asimismo, con el fin de tener una referencia en torno a las concentraciones obtenidas a través de los muestreos, el equipo de trabajo del DSOJ proporcionó valores de concentraciones establecidas y recomendadas en normas y estándares nacionales e internacionales, también conocidas como límites permisibles (LP) o límites máximos permisibles (LMP) de las concentraciones de algunos de los parámetros medidos. Estas normas y estándares ayudan a ubicar qué tan buena es la calidad del agua, pues si las concentraciones de los parámetros obtenidos superan lo indicado según los LMP, el agua del Lago de Chapala puede representar un riesgo para la salud de las personas y de los ecosistemas, así como reducir los posibles usos que se le puede dar al agua. Estas referencias se mencionan a continuación:

- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, “Salud Ambiental, Agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”. Al ser una norma que no interfiere directamente en el lago, se obtuvieron los LMP para la Protección vida acuática, pues si se superan estos, se pone en riesgo al ecosistema del lago.
- Guías para la calidad del agua potable, de la Organización Mundial de la Salud (OMS), cuarta edición 2017.

En el caso de la normatividad mexicana, el agua dentro del Lago de Chapala *per se* no debe de cumplir estrictamente ninguna de estas normas, pues no aplica para cuerpos de agua nacionales sino para el agua que se descarga a estos cuerpos de agua nacionales (NOM-001-SEMARNAT-1996) o bien, para la que se extrae y se coloca en redes de distribución de agua para uso público urbano (NOM-127-SSA1-1994). En lo que respecta a las referencias de la OMS, estas son recomendaciones

que se realizan a los estados y sus agencias de distribución de agua sobre las concentraciones máximas que deben de tener ciertos compuestos para no atentar o detonar un problema de salud pública. Es decir, si para algunos parámetros el agua del Lago de Chapala no cumple con la NOM-127-SSA1-1994 o con lo establecido según la OMS, lo que indica es que necesita un proceso potabilizador que extraiga el excedente de este compuesto, para que pueda ser utilizada para consumo humano.

Es importante mencionar que no todos los parámetros proporcionados contaban con referencias en estas normas. En la Tabla 2, se muestran los valores referencia de los que se tiene información.

Tabla 2. Niveles permitidos por normas de calidad del agua.

Parámetro	NOM-127-SSA1-1994 ¹	NOM-001-SEMARNAT-1996 ² Protección vida acuática (P.M.)	Unidades	OMS ³	Unidades
AS_TOT	0.05	0.1		0.01	mg/L
COLI_FEC	0	1000	NMP/100ML	0	NMP/100ML
CR_TOT	0.05	0.5		0.05	mg/L
DBO_TOT	NA	30		NA	
DQO_TOT	NA	NA		NA	
E_COLI	0	1000		0	
HG_TOT	0.001	0.005		0.006	mg/L
N_NH3	0.5	NA		NA	
N_NO2	0.05	NA		3	mg/L
N_NO3	10	NA		50	mg/L
N_ORG	NA	NA		NA	
N_TOT	NA	15	mg/L	NA	mg/L
ORTO_PO4	NA	NA		NA	
P_TOT	NA	5		NA	
PB_TOT	0.025	0.2		0.01	mg/L
PH_CAMPO_SUP	NA	5 a 10			
SDT	1000	NA		600	mg/L
SST	NA	40		NA	

Por ejemplo, la Demanda Química de Oxígeno no cuenta con una referencia en la NOM-127-SSA1-1994 ni en la NOM-001-SEMARNAT-1996, y tampoco en las guías de agua potable de la OMS.

Además, se cuenta con la información de la ubicación geográfica de todas las estaciones de monitoreo localizadas dentro del Lago de Chapala. Éstas se pueden apreciar en la Figura 2.

¹ Fuente: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>

² Fuente: <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/nom-aguas-residuales>

³ Fuente: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=2550B3FD75861CBA3FE5C25F2C6DA94?sequence=1>

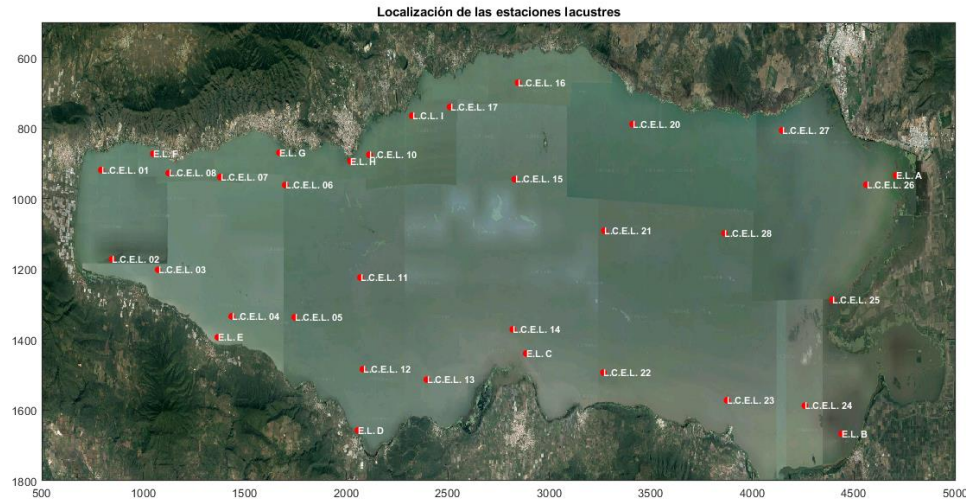


Figura 2. Localización de las 34 estaciones de monitoreo en el Lago de Chapala.

Con la finalidad de no saturar la imagen, se redujeron los nombres de las estaciones de monitoreo para que todas contaran con el nombre que le corresponde. Los nombres cortos, con su respectivo nombre extensivo se enlistan en la Tabla 3.

Tabla 3. Lista de nombres de cortos de las estaciones de monitoreo.

ESTACIÓN LACUSTRE	NOMBRE CORTO
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 12',	'L.C.E.L. 12',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 21',	'L.C.E.L. 21',
'ESTACION LITORAL E',	'E.L. E',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 16',	'L.C.E.L. 16',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 14',	'L.C.E.L. 14',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 04',	'L.C.E.L. 04',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 17',	'L.C.E.L. 17',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 22',	'L.C.E.L. 22',
'ESTACION LITORAL C',	'E.L. C',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 11',	'L.C.E.L. 11',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 15',	'L.C.E.L. 15',
'LAGO DE CHAPALA LITORAL I',	'L.C.L. I',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 20',	'L.C.E.L. 20',
'ESTACION LITORAL G',	'E.L. G',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 07',	'L.C.E.L. 07',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 28',	'L.C.E.L. 28',
'ESTACION LITORAL D',	'E.L. D',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 13',	'L.C.E.L. 13',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 02',	'L.C.E.L. 02',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 01',	'L.C.E.L. 01',
'ESTACION LITORAL H',	'E.L. H',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 08',	'L.C.E.L. 08',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 10',	'L.C.E.L. 10',
'ESTACION LITORAL F',	'E.L. F',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 06',	'L.C.E.L. 06',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 24',	'L.C.E.L. 24',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 23',	'L.C.E.L. 23',
'ESTACION LITORAL B',	'E.L. B',

'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 03',	'L.C.E.L. 03',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 27',	'L.C.E.L. 27',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 05',	'L.C.E.L. 05',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 25',	'L.C.E.L. 25',
'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 26',	'L.C.E.L. 26',
'ESTACION LITORAL A'	'E.L. A'

2 Resultados del análisis estadístico

El análisis estadístico realizado para la base de datos “Lago de Chapala Calidad.xlsx” comenzó con la obtención del promedio global de todas las concentraciones de cada parámetro prioritario en el periodo de tiempo en que se realizaron las mediciones. Debido a que los datos carecen de una periodicidad de medición clara, se asume que este promedio es una aproximación cercanamente acertada.

Después, se obtuvo el valor promedio de cada parámetro prioritario por estación de monitoreo, con el fin de realizar una comparación entre los valores promedio por estación, el promedio global y las referencias nacionales e internacionales. Hay que aclarar que los datos no disponibles no fueron considerados en el cálculo de este promedio.

Para visibilizar los resultados de los promedios globales y por estación de cada parámetro prioritario, se realizaron gráficos que además de contar con esta información, muestran las concentraciones de referencia establecidas según la NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-127-SSA1-1994 y los valores recomendados por la OMS (siempre y cuando existan). Es importante aclarar que, por la naturaleza de las normas, para fines de calidad del agua para consumo humano, es indispensable que los valores sean menores a los establecidos en las dos últimas (127 y OMS), ya que la 001 es una norma que se utiliza para las descargas de aguas residuales en cuerpos de aguas nacionales, en ese sentido y por los valores de referencia obtenidos (protección de vida acuática), si los valores promedio de los parámetros prioritarios superan lo establecido en esta norma, se entiende que se está afectando la salud de la vida acuática.

Para organizar y facilitar la lectura de este análisis, se compiló la información para cada parámetro prioritario que se analizó y se muestra de la siguiente manera:

Por parámetro prioritario:

- Gráfico de todas las concentraciones de los muestreos de parámetro prioritario en cuestión, los valores establecidos según las normas de referencia y el valor del promedio global en el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 08 de febrero del 2018.
- Promedio de las concentraciones obtenidas para estación de monitoreo, así como los valores de referencia y el valor del promedio global.
- Mapa con la ubicación de las estaciones de monitoreo con indicador de concentración promedio del parámetro en cuestión.

2.1 Arsénico total (AS_TOT)

En la Figura 3, se muestran las mediciones del parámetro prioritario Arsénico total (AS_TOT) de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala en el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018. Este gráfico evidencia que hubo veces donde se tomaron muestras desde diferentes estaciones de monitoreo en un mismo día, ya que se aprecian diferentes concentraciones en la misma fecha, pero también se manifiesta que hubo días donde toma de muestras se realizó solamente para ciertas estaciones de monitoreo del lago, inclusive se aprecia la toma de muestras aisladas.

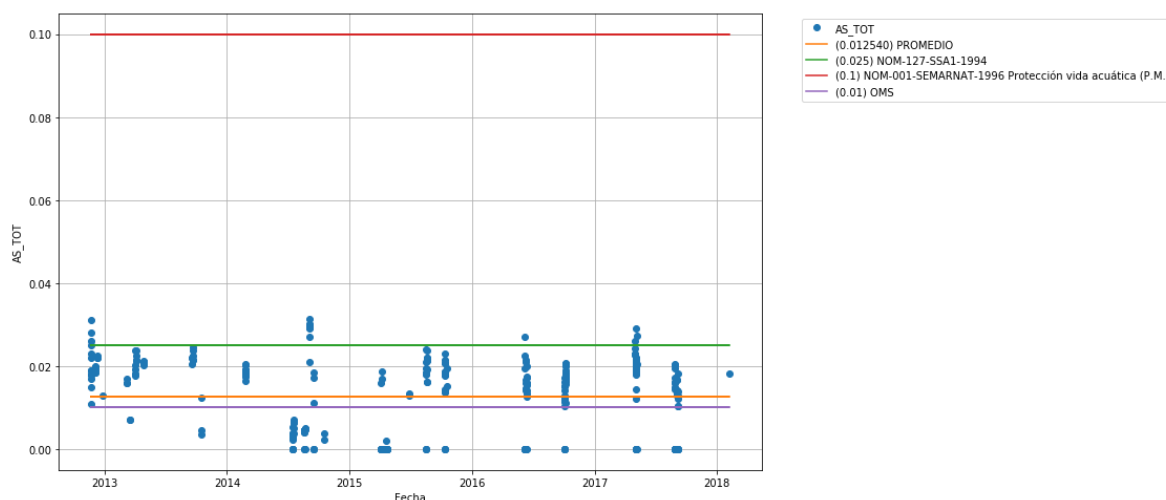


Figura 3. Concentraciones de Arsénico Total obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro.

El promedio global de todas las mediciones es de 0.0125 mg/L. Se puede apreciar que pocas de las concentraciones históricas de Arsénico total se encuentran por encima de lo que establece la NOM-127-SSA1-1994 y no representan un riesgo para la vida acuática, según la NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática. Por otro lado, la mayor parte de las mediciones, e inclusive el promedio global se ubican por encima de la concentración recomendada por la OMS.

Si bien, existen tomas de muestra que indican la ausencia de Arsénico Total, con valores de cero, es importante mencionar que, independientemente de la referencia con la que se comparen los valores de concentración obtenidos, los muestreos realizados demuestran que en el Lago de Chapala se ha detectado Arsénico.

Para apreciar el comportamiento de los promedios de cada estación, con respecto al promedio global y las referencias nacionales e internacionales, se presenta el siguiente gráfico:

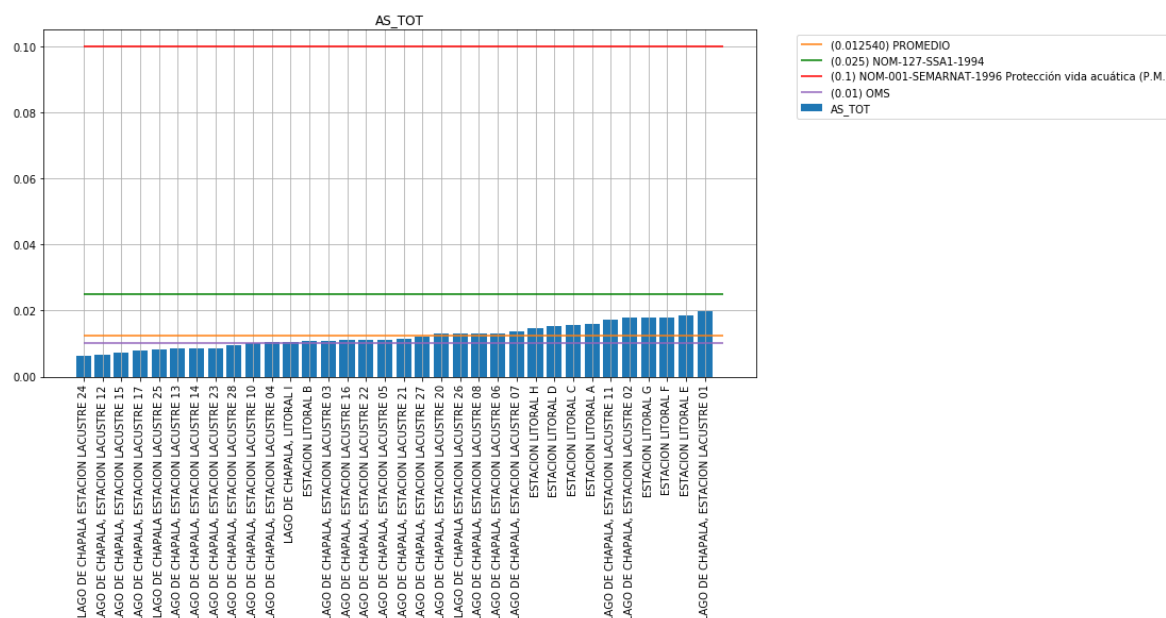


Figura 4. Valores promedio de la concentración de Arsénico Total por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles.

La Figura 4, demuestra que el rango de los valores promedio entre las estaciones ubicadas dentro del Lago de Chapala, es de 0.13 mg/L ya que el valor mínimo es de 0.006 mg/L y el valor máximo es de 0.019 mg/L. Gran parte del promedio de las concentraciones de Arsénico obtenidas a través de los muestreos para cada estación de monitoreo, se encuentran por encima de la concentración máxima recomendada por la OMS, siendo el 73% de las estaciones monitoreadas las que mantienen valores superiores a 0.1 mg/L (OMS, 2017). No se puede dejar de mencionar, que nuevamente el promedio global se encuentra por encima de la concentración recomendada por la OMS.

Si bien, por la carencia de la calidad en el proceso temporal intermitente de la medición, estos promedios pueden ser ambiguos, pero a pesar de ello, todas las estaciones han detectado Arsénico dentro del Lago de Chapala, de menos una vez durante el periodo en el que se han tomado las muestras.

2.1.1 Distribución geográfica de las concentraciones de AS_TOT

Un panorama geográfico de los niveles de AS_TOT en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 5. El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

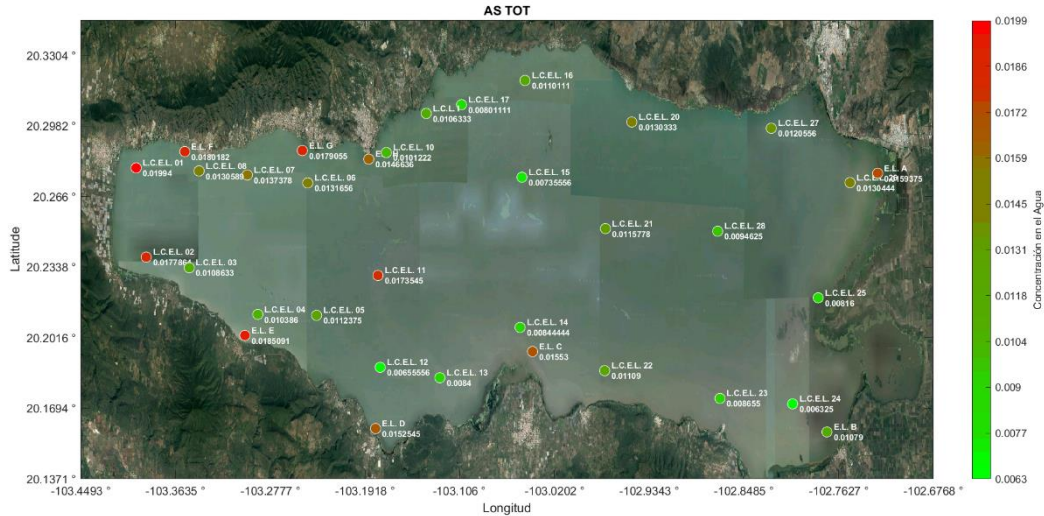


Figura 5. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de Arsénico Total.

Gracias a la Figura 5, es posible apreciar que las estaciones ubicadas en la zona poniente del Lago de Chapala tienen un promedio significativamente mayor a las demás estaciones ubicadas dentro del Lago. Asimismo, en la parte nororiente se aprecian dos estaciones cuyos promedios también se encuentran en el color rojo del espectro utilizado como referencia para este caso, indicando en ese sentido que también son estaciones cuyos promedios resultaron elevados.

2.2 Coliformes Fecales (COLI_FEC)

Las mediciones del parámetro prioritario Coliformes Fecales (COLI_FEC) de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala durante el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018 se muestran en la Figura 6: se aprecia una tendencia muy dispensa de concentraciones obtenidas, así como en la frecuencia de muestreo, habiendo también días en los que únicamente se fue a medir este parámetro prioritario en una estación de monitoreo. Se observa también, que en todos los años existen la misma disparidad en cuanto a las concentraciones obtenidas, es decir, desde el inicio de la toma de muestras, se ha manifestado el mismo comportamiento todos los años.

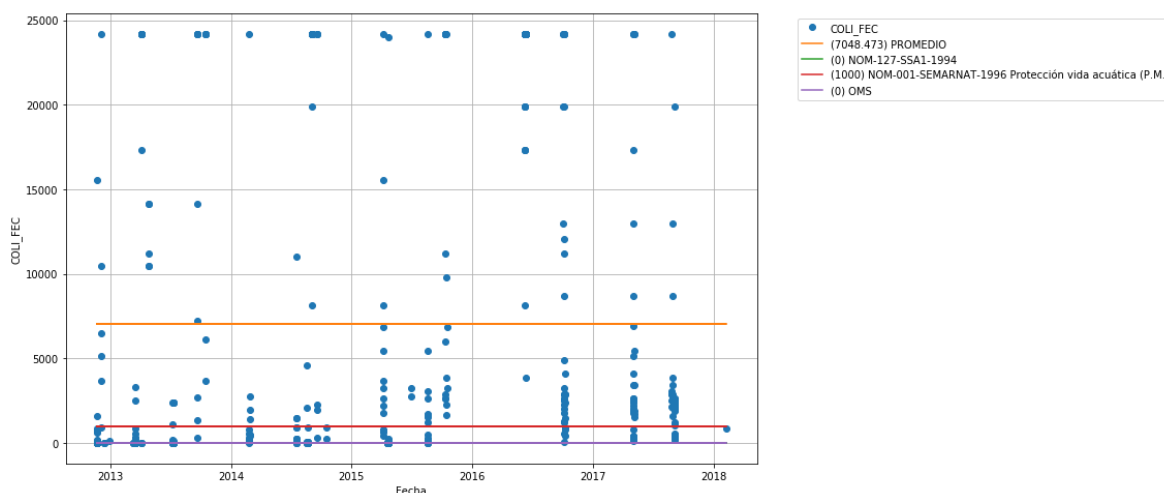


Figura 6 Concentraciones de Coliformes Fecales obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

Si bien, existen muestreos donde se obtuvo una concentración de 0 NMP/100mL, la mayoría de las estaciones muestran valores superiores; es preciso indicar que las Coliformes Fecales son provenientes de descargas de aguas negras, tal como su nombre lo indica, vienen de las heces fecales. En ese sentido, la NOM-127-SSA1-1996 y la OMS, precisan que para que el agua sea de buena calidad no debe haber presencia de estos microorganismos, sin embargo, es evidente que hay presencia de estos en el Lago de Chapala, indicando que el agua del Lago de Chapala, en sí, no es potable.

Asimismo, en el gráfico se observa el promedio global de todas las concentraciones, mismo que tiene un valor de 7,048.47 NMP/100mL. Este valor promedio incorpora valores que van desde los muestreos donde no se detectaron Coliformes Fecales, hasta muestreos donde se obtuvieron concentraciones cercanas o mayores a los 25,000 NMP/100 mL. En ese sentido, es importante manifestar que la concentración de Coliformes Fecales que se permiten en las descargas que se realizan a aguas nacionales, según la NOM-001-SEMARNAT-1994 no debe superar los 1000 NMP/mL, y aunque hablar en términos de concentración puede ser muy ambiguo, con este gráfico se evidencia que se están realizando descargas de aguas residuales sin tratar al Lago de Chapala, y que además, con relación a este parámetro prioritario, tampoco se está protegiendo a la vida acuática.

Para apreciar las concentraciones promedio por estación con relación al promedio global y las concentraciones enmarcadas por los estándares de referencia, se presenta a continuación la Figura 7.

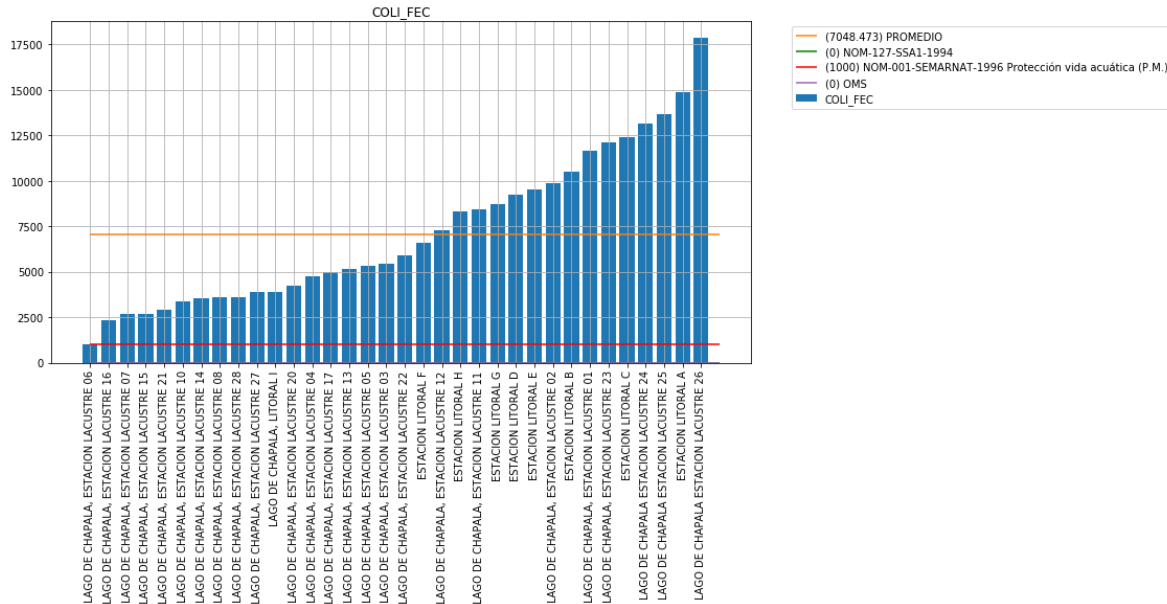


Figura 7. Valores promedio de la concentración de Coliformes Fecales por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles.

Los promedios de todas las concentraciones de Coliformes Fecales para cada estación de monitoreo muestran un comportamiento muy pronunciado, donde la concentración promedio mínima, para la Estación Lacustre 06 es de 1,035 NMP/100 mL, superando el LMP para la protección de la vida acuática, y un máximo de 17,873.5 NMP/100 mL, teniendo un rango de 16,838 NMP/100 mL. En este gráfico es posible apreciar que todas las estaciones han mantenido, en promedio, una concentración que supera por mucho lo establecido según la NOM-001-SEMARNAT-1994. En ese sentido se puede interpretar que el Lago de Chapala no cumple con ninguna de los estándares que protegen la salud tanto de las personas como de los ecosistemas, con relación al parámetro prioritario de Coliformes Fecales (COLI_FEC).

2.2.1 Distribución geográfica de las concentraciones de COLI_FEC

Un panorama geográfico de los niveles de COLI_FEC en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 8, nuevamente el color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

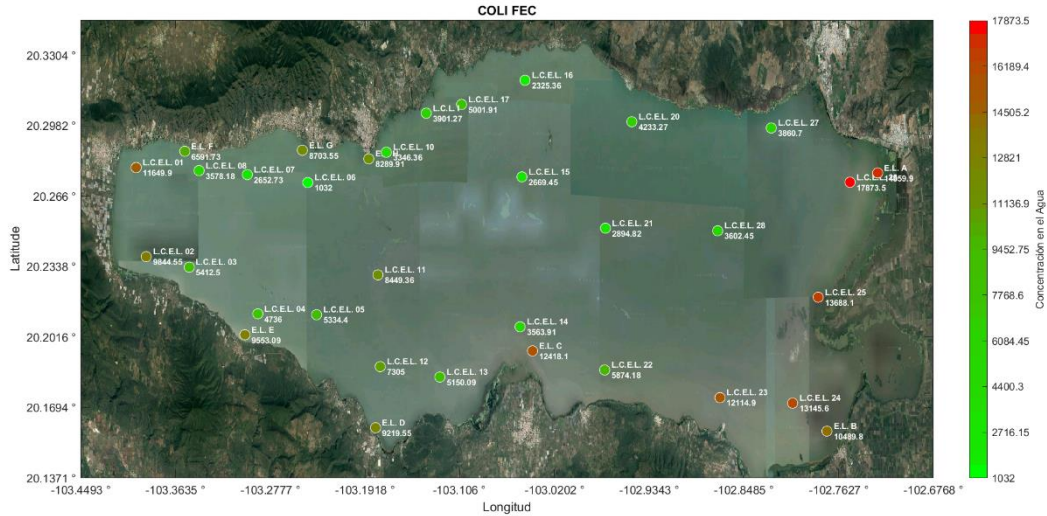


Figura 8. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de COLI_FEC.

Gracias a esta figura, se aprecia que la zona este del Lago de Chapala es la que más Coliformes Fecales ha tenido históricamente en promedio, pues se concentran ahí las estaciones en color rojo. Ubicándose también las estaciones más cercanas al lado oeste las que mantienen altas concentraciones. Es importante recalcar que a pesar de que existen zonas en color verde, esto puede ser confuso e interpretarse como que son las estaciones “menos afectadas” sin embargo, y gracias a la Figura 7, se sabe, que todas las estaciones mantienen concentraciones por encima de la referencia de la Norma 001 que protege la vida acuática.

2.3 Cromo Total (CR_TOT)

A continuación, se muestran las mediciones de Cromo Total (CR_TOT) de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala en el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018. Para este parámetro prioritario, se puede apreciar que sí ha habido presencia de Cromo en el lago, pero en concentraciones muy bajas. Nuevamente se observan tomas de muestras dispersas, al igual que con los parámetros prioritarios previos. Asimismo, se aprecia que la primera muestra que se realizó de Cromo Total, ha sido la más alta en el historial de muestreo del que se tiene registro.

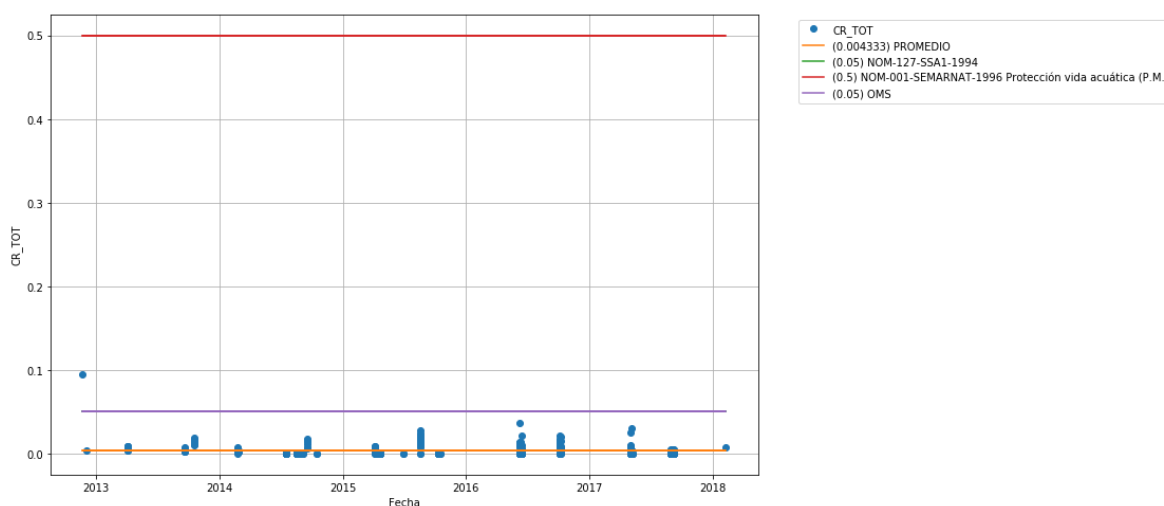


Figura 9. Concentraciones de Cromo Total obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro.

El promedio global de todas las mediciones es de 0.004 mg/L, se encuentra muy por debajo de los límites establecidos tanto a nivel nacional como a nivel internacional. En este sentido, la Figura 9 evidencia que el Lago de Chapala sí ha tenido Cromo disuelto en el agua, pero las concentraciones prácticamente no representan un riesgo para la salud ni atentan contra la calidad del agua, según estos estándares de referencia. Para observar los promedios por estación, se presenta a continuación la Figura 10.

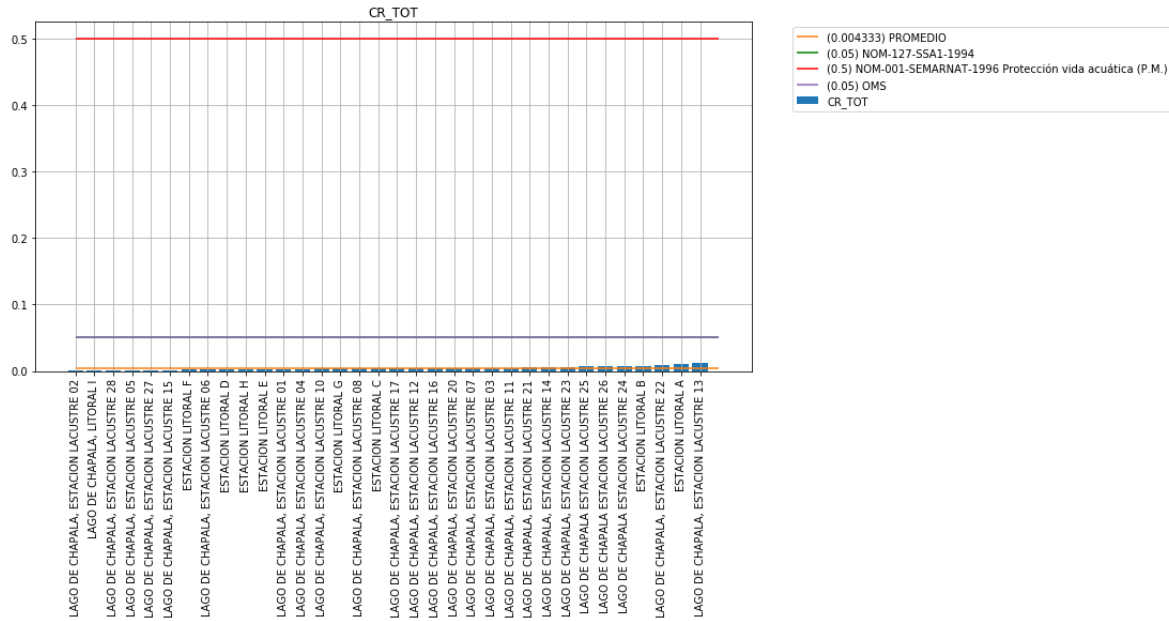


Figura 10. Valores promedio de la concentración de Cromo Total por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles

Para el caso de Cromo Total, los promedios por estación se encuentran muy por debajo del LMP más estricto, que es el de la OMS, sin embargo, nuevamente se logra apreciar que se ha detectado Cromo Total en todas las estaciones al menos alguna vez durante el periodo donde se ha realizado el muestreo: la estación con menor concentración promedio histórica de Cromo Total resultó con un valor de 0.0011 mg/L mientras que la estación con la mayor concentración promedio obtuvo un valor de 0.0012 mg/L, teniendo un rango de 0.0001 mg/L entre el valor mínimo y el máximo.

2.3.1 Distribución geográfica de las concentraciones de CR_TOT

La Figura 11 muestra las concentraciones promedio de cada estación y su ubicación dentro del Lago de Chapala. El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

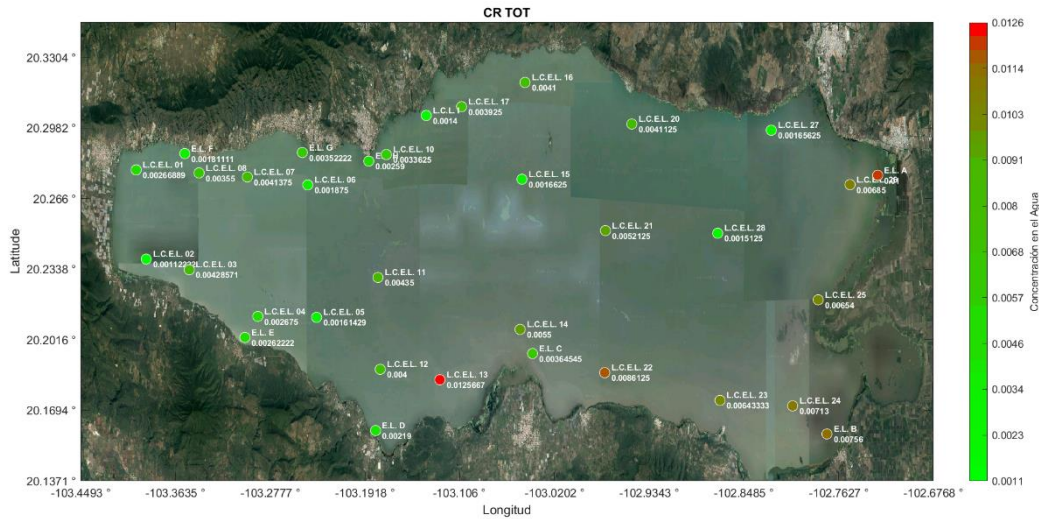


Figura 11. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de Cromo Total.

La distribución de Cromo Total en el Lago de Chapala, según los promedios históricos para cada estación, predomina en el lado sur, sureste y este, ubicado en la parte del lago cercana al estado de Michoacán, manteniendo al resto del lago con niveles muy bajos de Cromo Total.

2.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_TOT)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_TOT) es el primer parámetro prioritario analizado que la misma CONAGUA le da un carácter oficial con relación a la evaluación de la calidad del agua de los cuerpos superficiales y subterráneos y lo define como indicador que “utilizan para medir la materia orgánica biodegradable”. La Figura 12 muestra las mediciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_TOT) de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala en el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018. A través de esta figura se aprecia claramente que en años anteriores se tenía una mayor concentración de este parámetro prioritario dentro del agua. Nuevamente, como con los parámetros prioritarios previos, se da cuenta de se realizaron muestreos aislados, sin una periodicidad clara y que no es realizada en todas las estaciones de monitoreo dentro del Lago de Chapala.

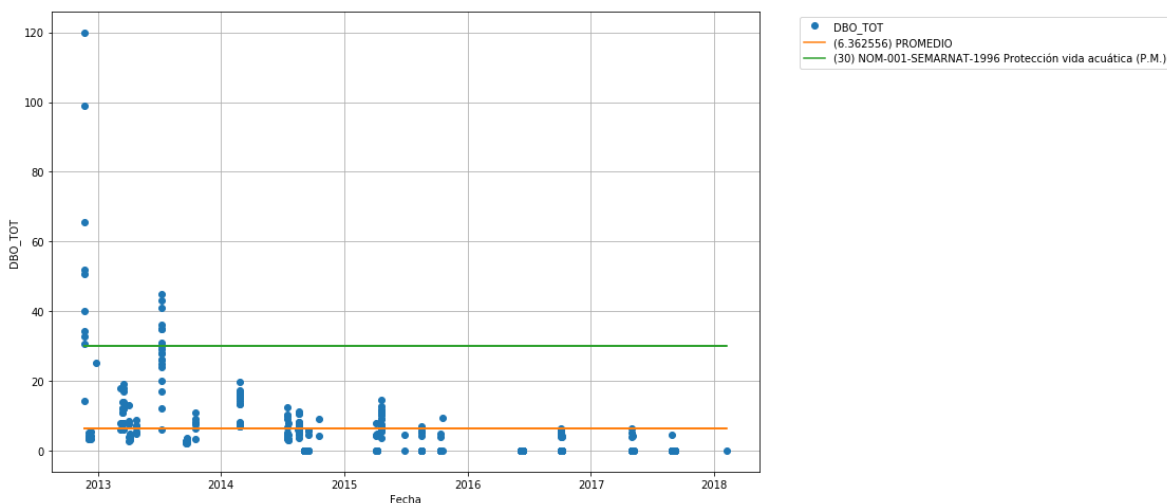


Figura 12. Concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Total obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro.

Para el caso de la DBO_TOT, el promedio global de todas las mediciones se encuentra en 6.36 mg/L. En el caso de este parámetro prioritario específicamente, se cuenta con otra referencia, además de la ya mencionada Norma 001, pues al ser un indicador oficial la CONAGUA, se muestran en el portal del Sistema Nacional del Agua⁴ (SINA) los resultados de las concentraciones de éste en todos los cuerpos de agua ubicados en el territorio nacional, y utiliza una clasificación según los rangos de concentración en los que se encuentre la estación de monitoreo en cuestión: define como un agua de “excelente calidad” aquella que tiene una concentración menor a 3 mg/L; como de “buena calidad” cuando se tiene una concentración mayor a 3 y menor o igual que 6 mg/L; “aceptable” cuando se encuentra en un rango mayor a 6 y menor a 30 mg/L; “contaminada” de 30 a 120 mg/L y “fuertemente contaminada” cuando tiene se obtiene una concentración mayor a 120 mg/L. De acuerdo a estos rangos, el Lago de Chapala en su historial de registro, mantiene un promedio global que la definiría como “aceptable”, y para los años 2012 y 2013, concentraciones que la ubicarían como “contaminada”.

Asimismo, la Figura 13 muestra que prácticamente desde el año 2013, las concentraciones de DBO_TOT se han mantenido por debajo de lo que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996 para proteger la vida acuática. Para apreciar mejor el comportamiento por estación, a continuación, se presenta la Figura 13, que muestra los promedios históricos por estación.

⁴ Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua>

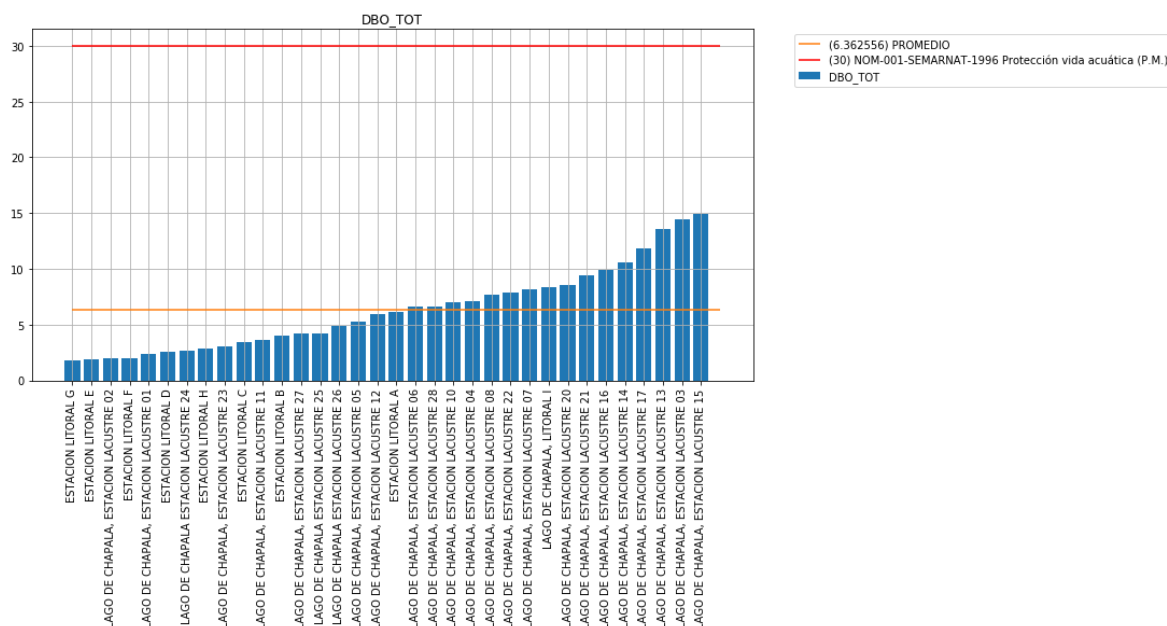


Figura 13. Valores promedio de la concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles.

En la Figura 13, el valor promedio mínimo del que se tiene registro es de 1.76 mg/L, mientras que la concentración promedio mayor es de 14.96 mg/L, habiendo un rango de 13.20 mg/L entre el mínimo y el máximo. Según los rangos de clasificación utilizados por la CONAGUA, mencionados en el párrafo anterior, 18 estaciones de monitoreo se encuentran dentro de rango “aceptable” mientras que las otras 16 estaciones se encuentran dentro del rango “buena calidad”. Ninguna estación ha mostrado tener en promedio, concentraciones mayores a las que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996, en ese sentido, para este parámetro prioritario, se considera que no representa un riesgo para la salud del ecosistema que habita dentro del Lago de Chapala.

2.4.1 Distribución geográfica de las concentraciones de DBO_TOT

Para este parámetro prioritario, nuevamente se muestra el mapa con la ubicación de las estaciones de monitoreo y las concentraciones promedio que cada una tiene con relación al tiempo en el que se han generado los datos. El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

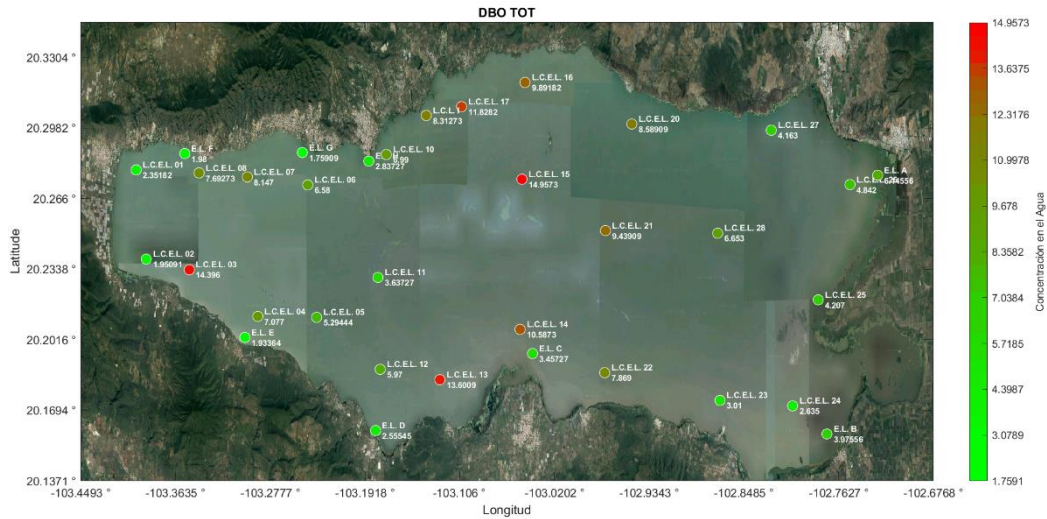


Figura 14. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno..

La distribución de las estaciones de monitoreo cuyos valores promedio de DBO_TOT es más dispersa que en ocasiones anteriores, pues no se muestra una tendencia en cuanto a la ubicación y distribución de éstas. En las partes periféricas del lago, se encuentran en la zona sur, oeste y norte, tres de las estaciones cuyos valores promedio son los mayores. La estación de monitoreo cuya concentración es la máxima, en promedio, registrada, se encuentra en una zona muy adentrada del lago. En cualquier caso, es importante remarcar que ninguna de las estaciones del lago ha mantenido concentraciones de este parámetro prioritario mayores a lo que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996, para la protección de la vida acuática.

2.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO_TOT)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO_TOT), es también un parámetro prioritario al que la CONAGUA le otorga un carácter oficial, pues presenta los resultados de las evaluaciones de éste en el portal del Sistema Nacional del Agua, y la define como “la DQO mide la materia orgánica ocasionada por descargas de agua residuales industriales”. En ese sentido, este parámetro oficialmente relaciona la calidad del agua con las descargas de aguas industriales, y sirve para indicar qué tan afectada se ve el agua –del lago– por los residuos acuosos de las industrias con las que tiene alguna conexión.

Para este parámetro prioritario, no se cuentan con referencias sobre los límites máximos permisibles, sin embargo, al ser un parámetro oficial, la CONAGUA establece la siguiente clasificación: se tiene un agua de calidad “excelente” si la concentración es menor o igual a 10 mg/L; es de “buena calidad” si se encuentra en un rango mayor a 10 y menor o igual a 20 mg/L; “aceptable” si es mayor a 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L; “contaminada” si es mayor a 40 y menor o igual a 200 mg/L y “fuertemente contaminada” si es mayor a 200 mg/L.⁵

En la Figura 15, se muestran las mediciones de DQO_TOT de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala durante el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018. En este caso, también es evidente que se realizaron muestreos aislados, o en días diferentes, en prácticamente todo el periodo de medición.

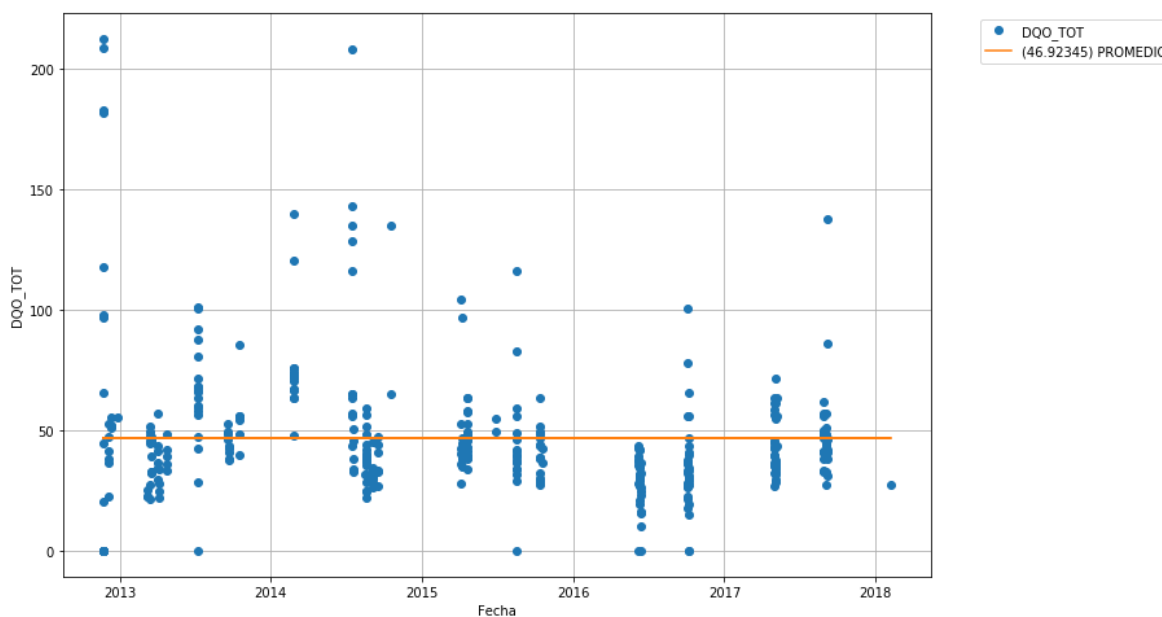


Figura 15. Concentraciones de Demanda Química de Oxígeno obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

⁵ <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=mapa&o=1&n=nacional>

El promedio global de todas las mediciones se encuentra en 46.92 mg/L, encontrándose “contaminado” el lago, según la clasificación establecida por la misma CONAGUA. Asimismo, la gráfica muestra, según las concentraciones obtenidas en todas las mediciones que se han realizado sobre este parámetro prioritario, que prácticamente la mayoría de los datos se ubican entre una calidad “aceptable” y “contaminada”, según la clasificación de la CONAGUA. Los años 2012 y 2014 muestran mediciones con concentraciones mayores a los 200 mg/L indicando que fueron sitios cuya agua estaba “fuertemente contaminada”.

Para apreciar mejor el comportamiento de las concentraciones promedio históricas por estación a continuación se muestra la Figura 16.

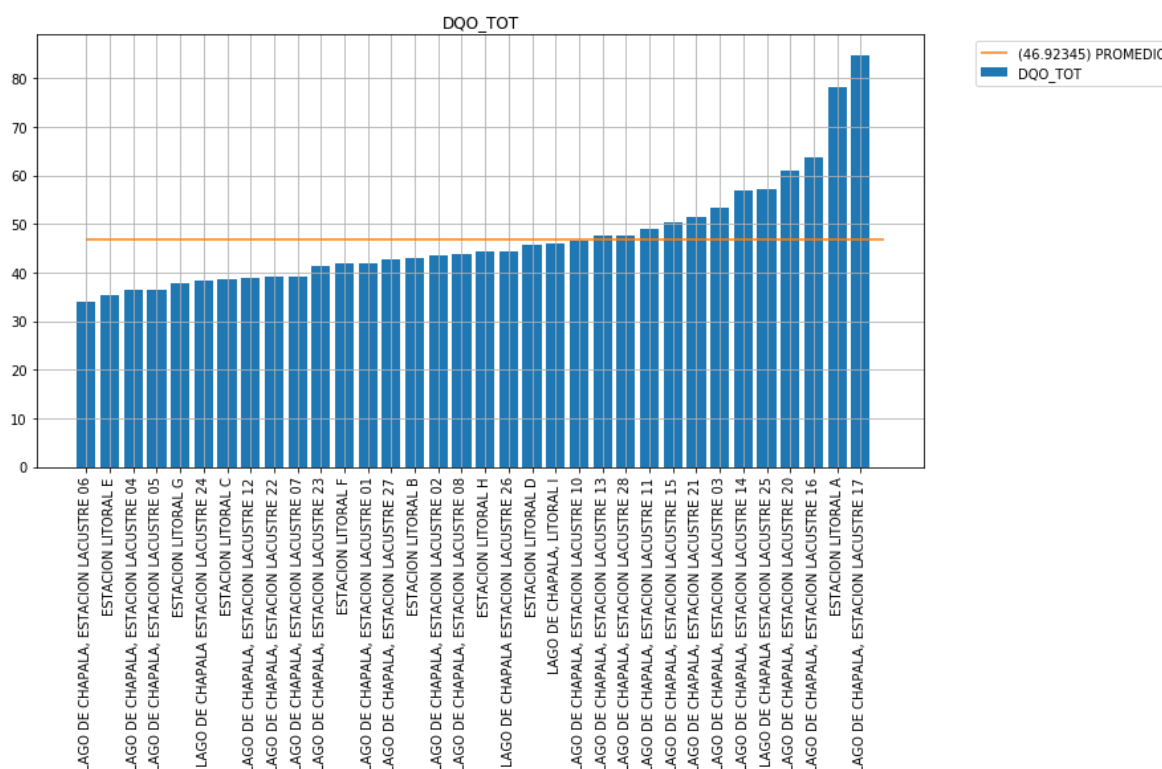


Figura 16. Valores promedio de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno Total por estación de monitoreo y promedio global.

De acuerdo con la Figura 16, las estaciones ubicadas dentro del Lago de Chapala muestran concentraciones elevadas. La estación cuya concentración resultó mínima cuenta con un valor de 34.036 mg/L, mientras que 84.74 mg/L es la máxima concentración calculada para una estación, habiendo un rango de 50.70 mg/L. De acuerdo con la clasificación de la CONAGUA y con estos promedios, la calidad del agua del Lago de Chapala con relación a la Demanda Química de Oxígeno va de “aceptable” a “contaminada”.

Al ser este parámetro un indicador, se puede interpretar la información únicamente en términos cuantitativos “qué tan contaminada está el agua” mas no cualitativos “qué compuestos tiene el

agua”. A pesar de eso, este parámetro prioritario da a conocer que el estado que guarda la calidad del agua del Lago de Chapala, no es la óptima.

2.5.1 Distribución geográfica de las concentraciones de DQO_TOT

Para observar un panorama geográfico de los niveles de DQO_TOT en el Lago de Chapala se presenta la Figura 17, que muestra una escala de concentraciones promedio por estación, siendo el color rojo un indicador de aquellas estaciones que muestran mayores concentraciones, y los valores verdes los que tienen menores concentraciones.

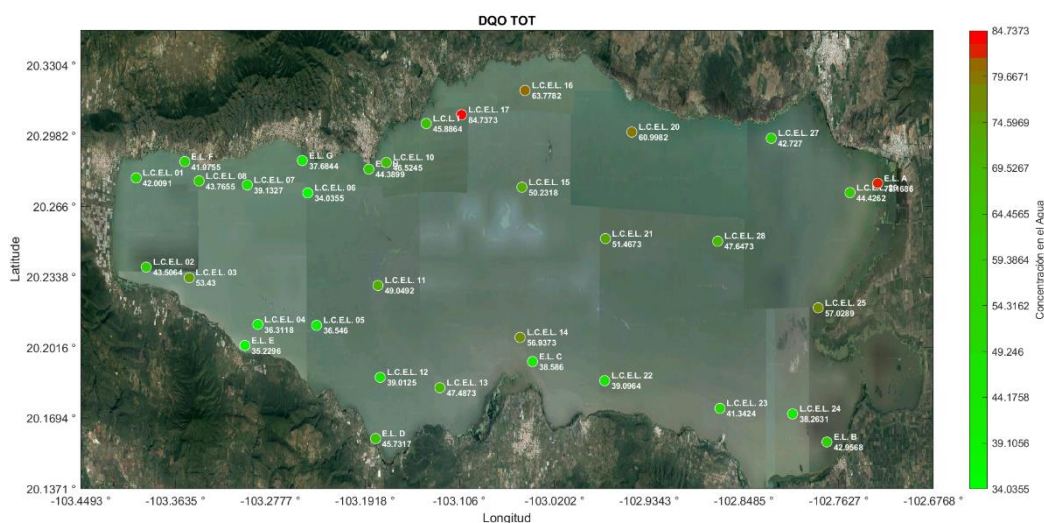


Figura 17. Localización de concentraciones de DQO_TOT.

La Demanda Química de Oxígeno indica dónde hay agua con características de descargas de aguas con residuos químicos orgánicos e inorgánicos. Según la clasificación de CONAGUA, aquellas estaciones cuyas concentraciones promedio sean mayores a 40 mg/L están contaminadas, y éstas se encuentran ubicadas a lo largo de prácticamente todo el lago, pues únicamente tres estaciones juntas, ubicadas en la parte suroeste del lago, muestran que esa parte mantiene valores que le dan la categoría de “aceptable”; de ahí en más, se ubican estaciones colindantes que se clasifican como “aceptables” y “contaminadas”.

2.6 *Escherichia Coli* (E_COLI)

El parámetro prioritario *Escherichia Coli* (E_COLI) evalúa específicamente la presencia de esta bacteria, a diferencia del parámetro prioritario Coliformes Fecales que busca un conjunto de bacterias presentes en las heces fecales. Las mediciones de este parámetro prioritario de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala durante el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018 se presentan en la Figura 18.

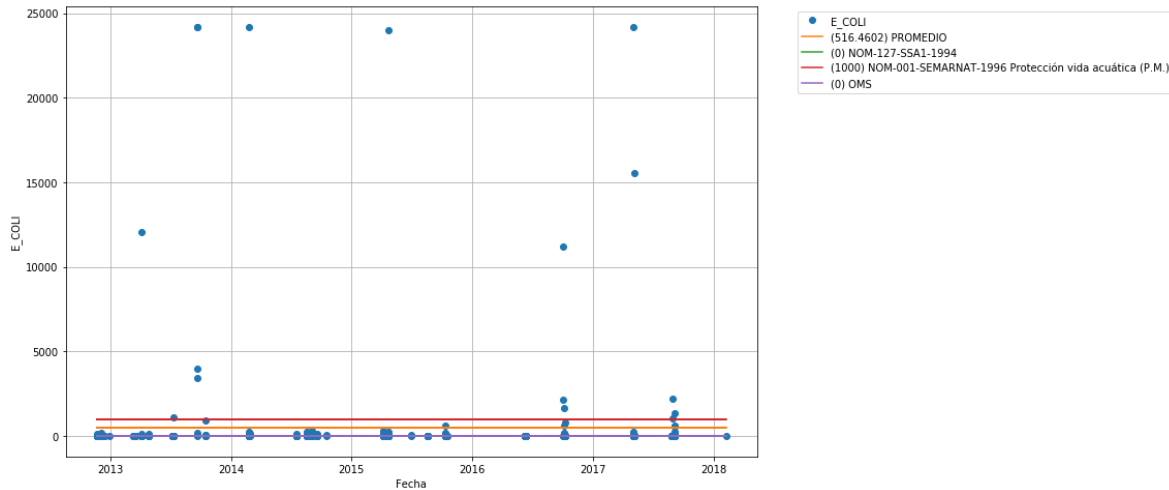


Figura 18. Concentraciones de *Escherichia Coli* obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

La concentración promedio global, obtenida para este parámetro es de 516.46 NMP/100mL. Según las referencias nacionales e internacionales, el agua para ser potable no debe de tener presencia de *Escherichia Coli*, además, las descargas de aguas residuales deben de tener una concentración de 1000 NMP/100mL para proteger la vida acuática, según la Norma 001. En ese sentido, con el promedio global se tiene la aproximación de que el agua del Lago de Chapala *per se*, no es potable, y necesita un proceso potabilizador para eliminar a estas bacterias, pues son patógenas. Por otro lado, se interpreta que, de acuerdo al promedio global, no representa un riesgo para la vida acuática.

Para observar con mayor claridad de dónde se obtiene este promedio global, se muestra a continuación el promedio global por estación dentro del Lago de Chapala.

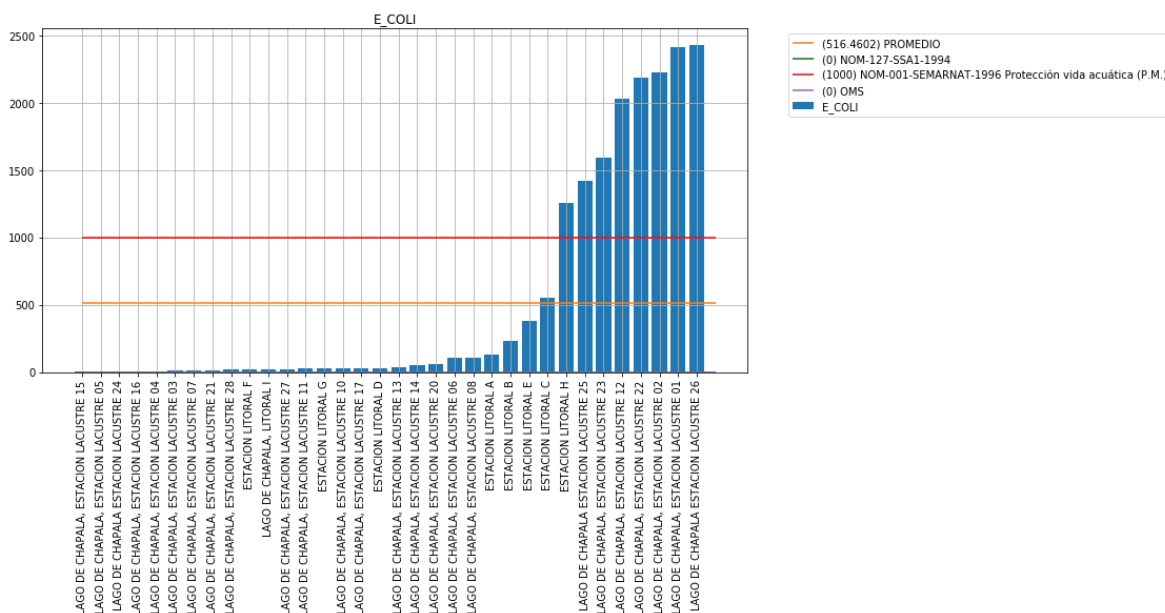


Figura 19. Valores promedio de la concentración de *Escherichia Coli* por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles

El gráfico muestra que ciertas estaciones tienen concentraciones promedio muy bajas, así como muy altas. Las estaciones cuyas concentraciones promedio son altas pueden indicar que cercano a este punto geográfico, existen descargas puntuales de aguas residuales sin tratamiento previo. Así mismo, la concentración promedio mínima que se ha detectado en el Lago de Chapala es de 5.73 NMP/100 mL, mientras que la concentración promedio más alta es de 2,429.1 NMP/100 mL, habiendo un rango de 2,423.37 NMP/100mL entre el valor mínimo y el máximo. La Figura 19 muestra que ocho estaciones de monitoreo tiene como promedio histórico, concentraciones mayores que a la norma que establece los límites máximos permisibles para la protección de la vida acuática. Asimismo, demuestra que todas las estaciones han detectado en alguna ocasión durante el periodo de medición, la presencia de esta bacteria patógena.

2.6.1 Distribución geográfica de las concentraciones de *E_COLI*

Un panorama geográfico de los niveles de *Escherichia Coli* en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 20, misma que ayuda a identificar en cuáles estaciones de monitoreo se han detectado altas concentraciones de esta bacteria dentro del lago.

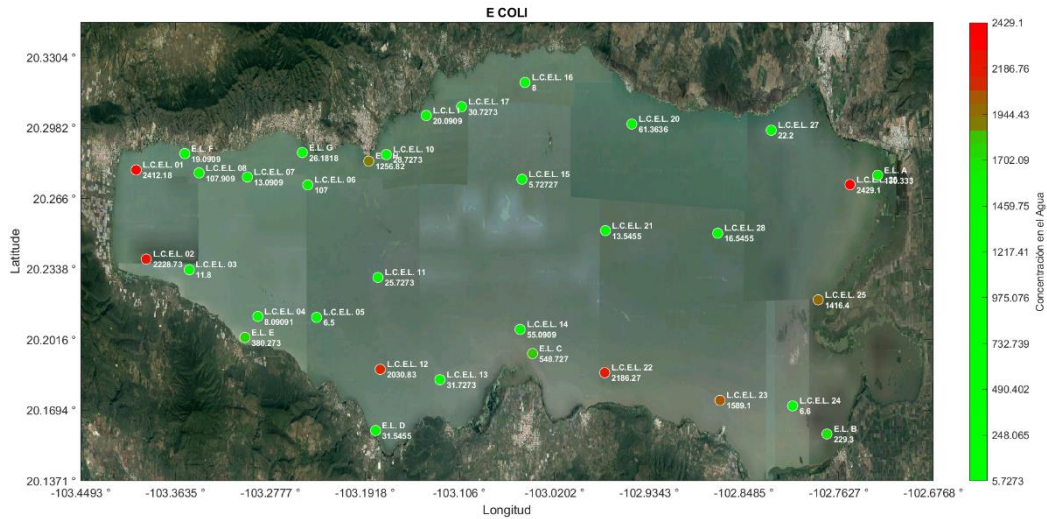


Figura 20. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de *Escherichia Coli*.

Las zonas donde se han detectado concentraciones altas, en promedio, se encuentran tanto en la parte este como en la parte oeste, así como en algunas partes de la zona sur del lago. Las concentraciones promedio calculadas para cada estación, se distribuyen de manera que, donde hay una estación con valores muy bajos promedio, también puede haber una cuya concentración promedio es más elevada, por lo que no se identifica una tendencia clara sobre la posible distribución de *Escherichia Coli* dentro del lago. Asimismo, las estaciones cuyos promedios de concentraciones son elevados, se encuentran próximas a establecimientos humanos, pudiendo interpretar que se realizan descargas de éstos, sin un tratamiento previo.

2.7 Mercurio total (HG_TOT)

Las mediciones del parámetro prioritario Mercurio Total (HG_TOT) de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala durante el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018 se presentan en la Figura 21. La dispersión de los datos se acentúa por una medición puntual realizada en el año 2015 que muestra una concentración muy por encima de los que usualmente se han obtenido durante las otras mediciones anteriores y posteriores. El resultado de este muestreo puntual se puede interpretar como una descarga directa que coincidió con el día en que se tomó la muestra.

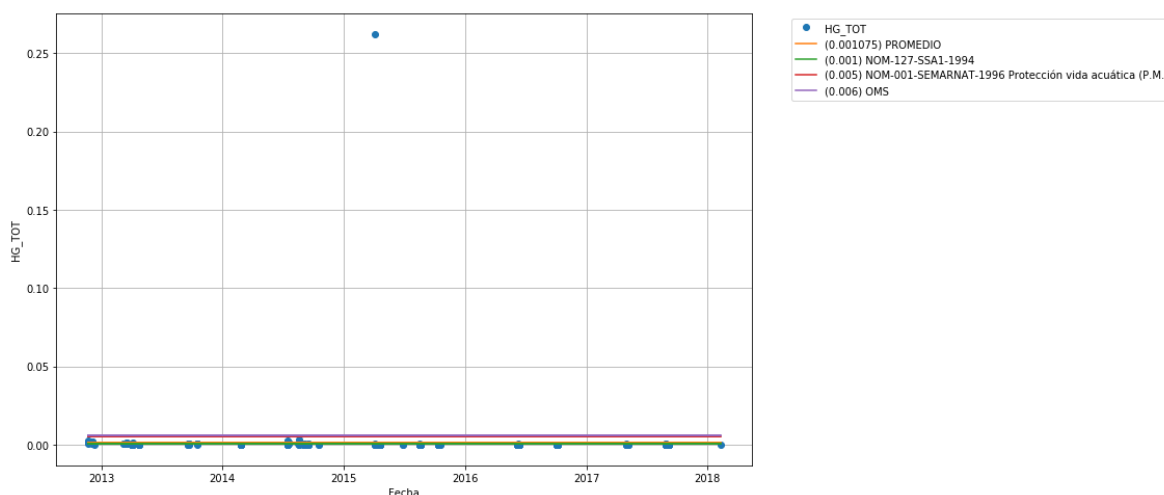


Figura 21. Concentraciones de Mercurio Total obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

Asimismo, el promedio global de todas las mediciones se ve afectado por la medición puntual, que como resultado obtuvo una concentración de 0.001075 mg/L. En ese sentido, este promedio global resultante se encuentra por encima del límite máximo permitido establecido por la NOM-127-SSA1-1994.

Es importante mencionar que el elemento mercurio puede tomar diversas formas, tales como mercurio metálico, metilmercurio, dimetilmercurio, mercurio orgánico, mercurio inorgánico, etc. De acuerdo al ciclo del mercurio, cuando entra en un cuerpo de agua, este tiende a precipitarse, o irse hasta el fondo y sedimentarse, así como absorberse con gran facilidad en la cadena trófica (Figueroa, 1985). En ese sentido, es comprensible que, a pesar de que la Figura 21 demuestre que se han dado posibles descargas puntuales en el lago, es comprensible que, debido a sus dinámicas, este parámetro prioritario ya no se encuentre disuelto en el agua que se toma para analizar. Sin embargo, no quiere decir que el ecosistema que habita en el Lago de Chapala esté ausente de mercurio.

Con el fin de apreciar los promedios de Mercurio Total por estación, se presenta la Figura 22.

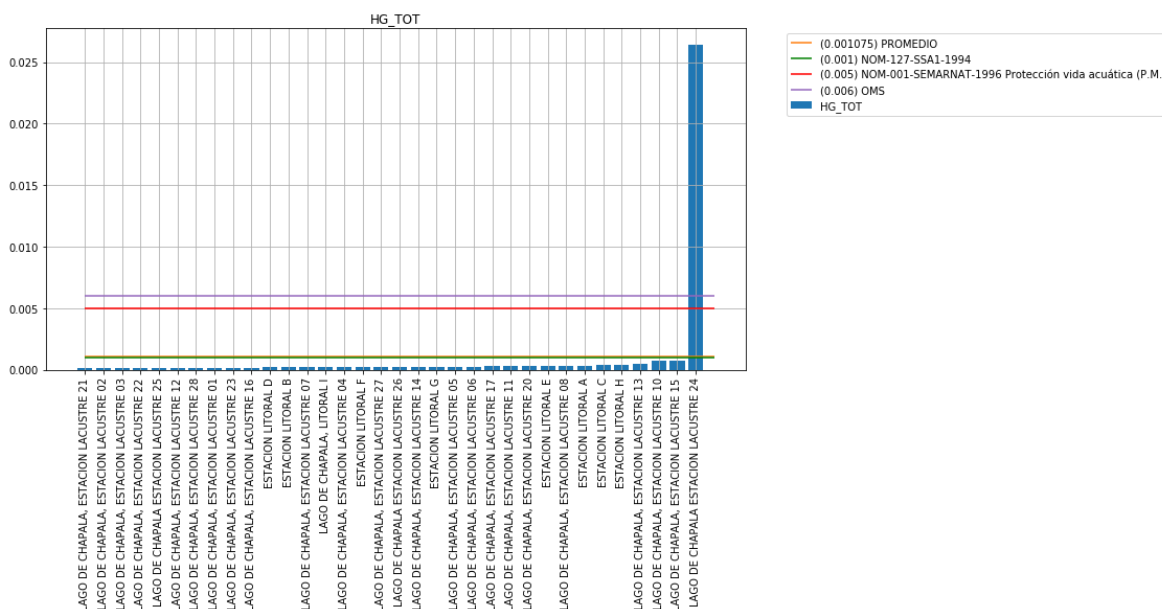


Figura 22. Valores promedio de la concentración de Mercurio Total por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles

El gráfico recién presentado, se ve notoriamente afectado por lo que se consideró como descarga puntual, misma que se ve reflejada en la Figura 21. Para este caso, la norma más estricta a cumplir es la NOM-127-SSA1-1994; prácticamente todas las estaciones han mantenido en promedio, concentraciones menores a los límites máximos permisibles establecidos y utilizados como referencia para este análisis; el valor mínimo que se obtuvo al obtener los promedios globales fue de 0.0001 mg/L, mientras que el valor más alto fue de 0.023 mg/L. En ese sentido, se puede considerar que la presencia de Mercurio disuelto en el agua del lago, no es riesgoso para la salud, mas no se descarta la ausencia de éste en el ecosistema del lago.

2.7.1 Distribución geográfica de las concentraciones de HG_TOT

A continuación, se presenta un panorama geográfico de los niveles promedio de Mercurio total en el Lago de Chapala. Para la Figura 23, se utiliza una escala de color uniforme, donde nada más se aprecia la ubicación de la estación de monitoreo que obtuvo el promedio más alto debido a lo que se interpreta como la descarga puntual, misma que se ubica en la parte sureste del lago, en el Estado de Michoacán.

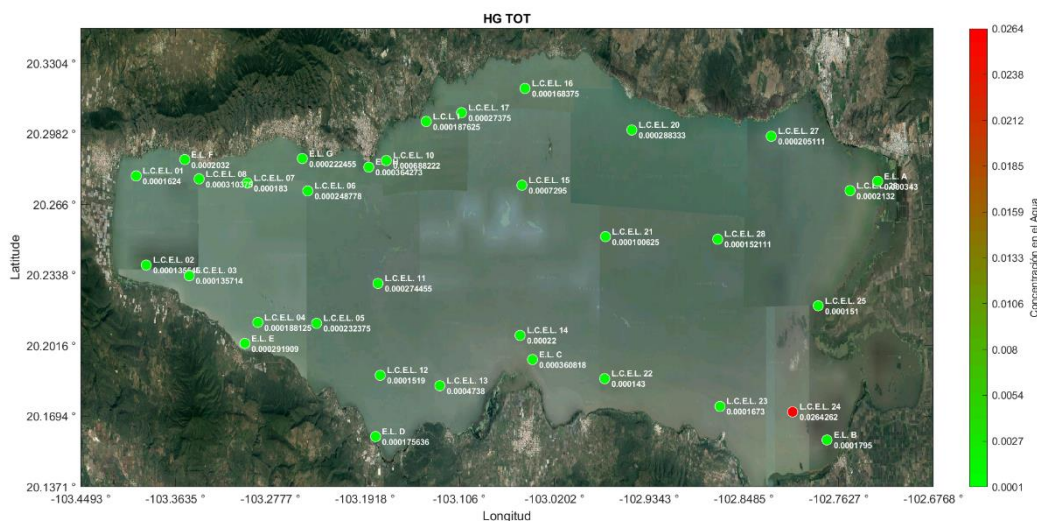


Figura 23. Localización de concentraciones de HG_TOT.

A pesar de que las concentraciones promedio detectadas para cada estación de monitoreo no rebasan (en su mayoría) los límites máximos permisibles y estándares de referencia utilizados para el presente estudio, es importante dejar en evidencia que en todas las estaciones de monitoreo se ha detectado de menos una vez, la presencia de Mercurio. Se identifica la descarga puntual en la zona sureste del Lago, específicamente en la parte que pertenece al estado de Michoacán.

2.8 Nitrógeno Amoniacal (N_{NH3})

El Nitrógeno es el elemento más abundante en la atmósfera terrestre, y es un nutriente esencial para la vida vegetal. Desafortunadamente las plantas no pueden asimilar directamente el Nitrógeno atmosférico, pues tiene que transformarse en diversos compuestos para que funja como nutriente. Los fertilizantes, y diversos agroquímicos contienen en gran medida, compuestos de Nitrógeno y Fósforo, ya que ambos son considerados nutrientes esenciales. Se considera que el exceso de éstos son fuente de contaminación ya que provocan la eutrofización, debido a que muchas veces no son absorbidos por los cultivos donde son aplicados y escurren con el agua (de lluvia) que termina transportando estos compuestos a otro lugar: en este caso, el Lago de Chapala.

Otra fuente de Nitrógeno se puede localizar en las aguas residuales, ya que tiene que ver con materia orgánica en descomposición, especialmente la derivada de aguas residuales urbanas.

La Comisión Nacional del Agua monitorea el elemento Nitrógeno en el Lago de Chapala en diversos compuestos: Nitrógeno Amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Orgánico y Nitrógeno Total, todos estos han sido identificados como parámetros prioritarios, debido a que es posible vincular la fuente con mayor precisión de cada una de las formas en las que se presenta este elemento.

A continuación, se presenta la Figura 24 que contiene las mediciones de Nitrógeno Amoniacal (N_{NH3}) que se realizaron en todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala durante el

periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018. Nuevamente se aprecian concentraciones elevadas en los primeros años, y una dispersión en cuanto a la toma de muestras.

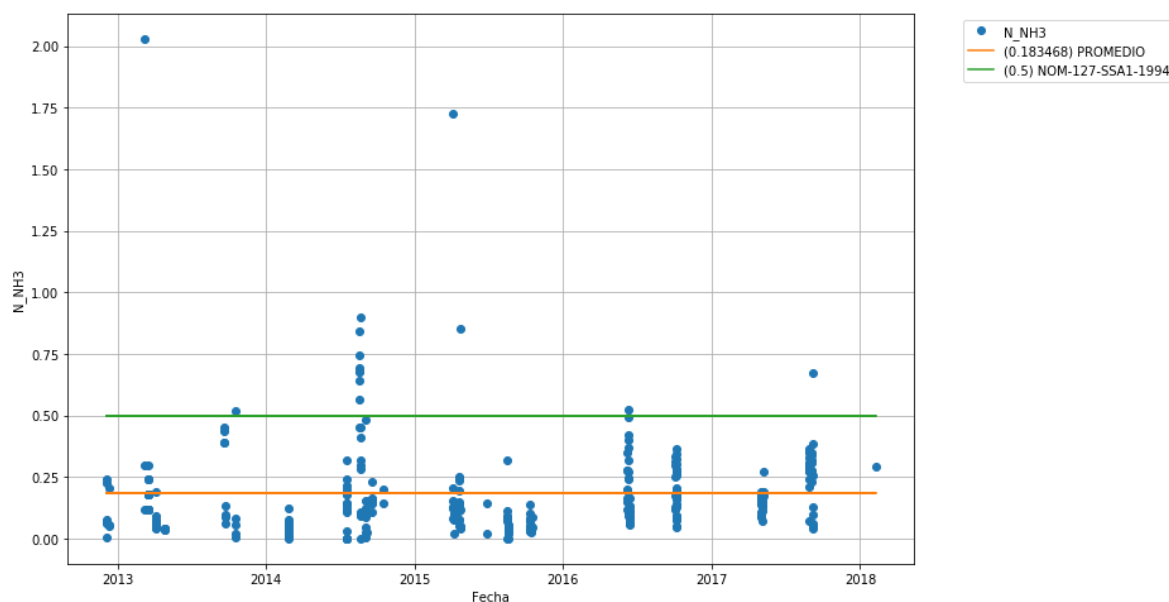


Figura 24. Concentraciones de Nitrógeno Amoniacal obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

Para el caso del Nitrógeno Amoniacal, únicamente se cuenta con la norma mexicana de agua potable de referencia. El promedio global de todas las mediciones es de 0.18 mg/L, mismo que no supera al LMP establecido por esta norma. Sin embargo, de acuerdo a mediciones puntuales, desde el 2013 se han presentado muestreos cuyas concentraciones están por encima del límite máximo permitido, que es 0.5 mg/L.

Para poder apreciar el comportamiento promedio por estación del parámetro prioritario Nitrógeno Amoniacal, se presenta la Figura 25.

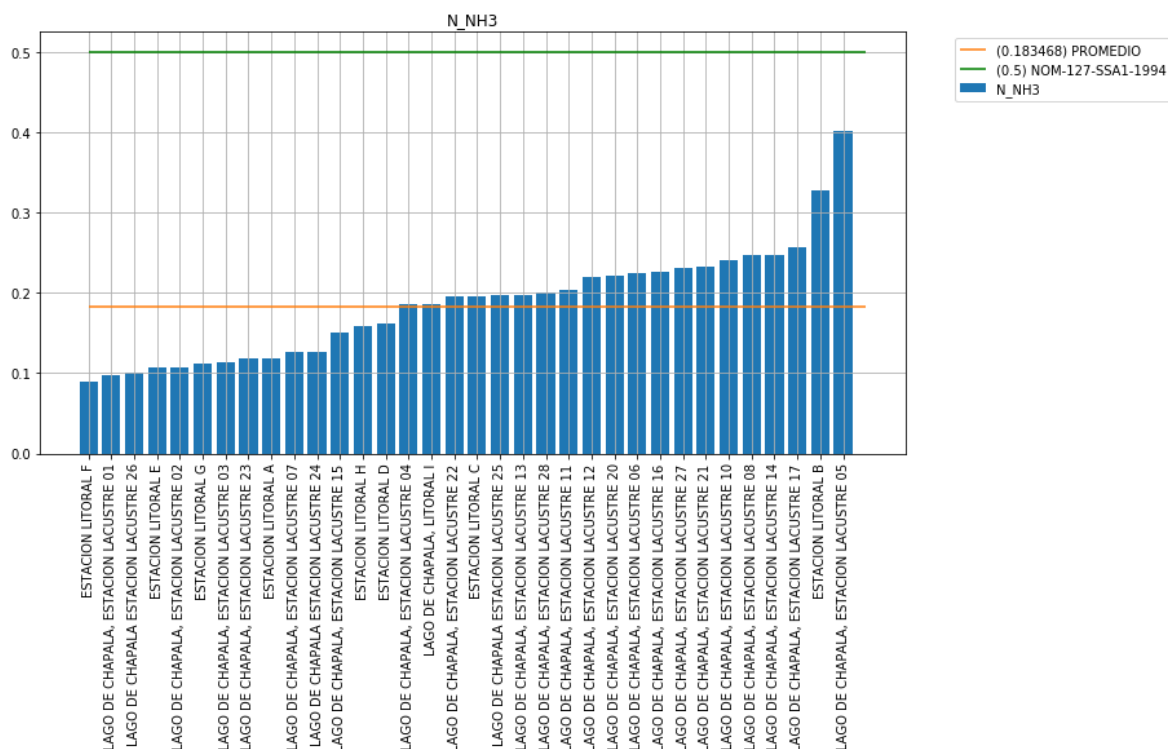


Figura 25. Valores promedio de la concentración de Nitrógeno Amoniaco por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles

Aun cuando existen muestreos que superan lo establecido por la normatividad mexicana, cuando se aprecian los promedios por estaciones se da cuenta de que históricamente no se han obtenido valores que, según ésta, condicionen la calidad del agua. La estación cuyo promedio histórico ha sido más bajo, cuenta con una concentración de 0.09 mg/L, mientras que la estación que mayor promedio histórico tiene, cuenta con una concentración de 0.4 mg/L.

2.8.1 Distribución geográfica de las concentraciones de N_{NH3}

Para poder apreciar la localización de las estaciones y sus promedios globales, se presenta la Figura 26, El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

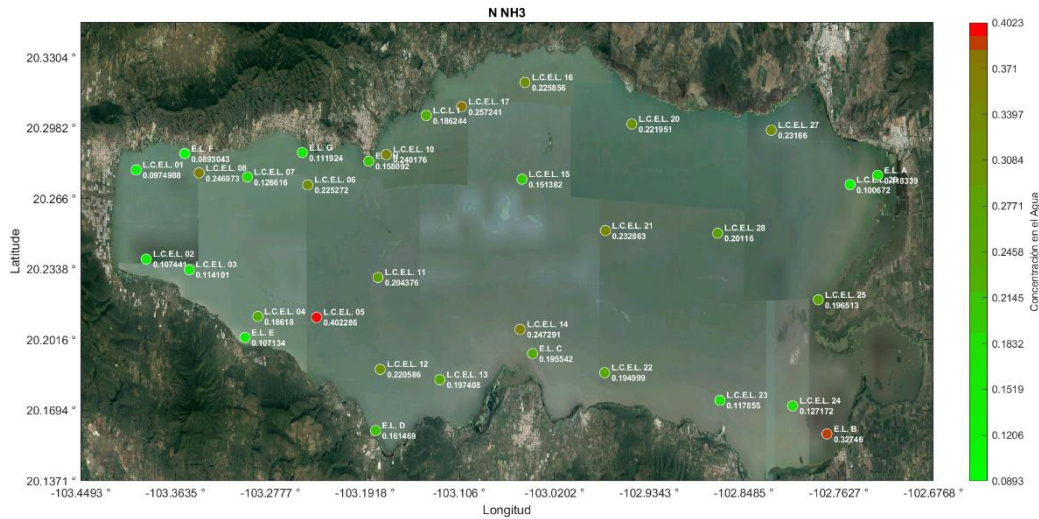
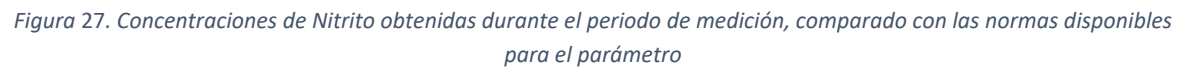


Figura 26. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones Nitrógeno Amoniacal.

La Figura 26 muestra la localización de todas las estaciones y los promedios históricos de la concentración de Nitrógeno Amoniacal. En términos generales, la zona sur del lago es donde mayores concentraciones promedio se han detectado, así como en la parte norte. En este caso las zonas en las que menor concentración promedio se han detectado son este y oeste.

2.9 Nitrito (N_NO2)

Las mediciones de Nitrito (N_NO2) de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala, realizadas durante el periodo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018 se muestran en la Figura 27. Para este parámetro prioritario se cuentan con dos referencias para evaluar el riesgo que pudiese representar para la salud, la establecida según las guías de la OMS y la norma mexicana para agua potable NOM-127-SSA1-1994.



El promedio global de Nitrito en el Lago de Chapala es de 0.011 mg/L, mientras que la norma más estricta, en este caso la NOM-127-SSA1-1994, considera que el agua debe de tener una concentración mayor a 0.05 mg/L para considerarla riesgosa para la salud humana. Sin embargo, no hay que descartar que existen muestreos puntuales que sobrepasan este valor, especialmente para los años 2014, 2016 y 2017. Para apreciar mejor el comportamiento promedio de Nitritos por estación, se presenta a continuación la Figura 28:

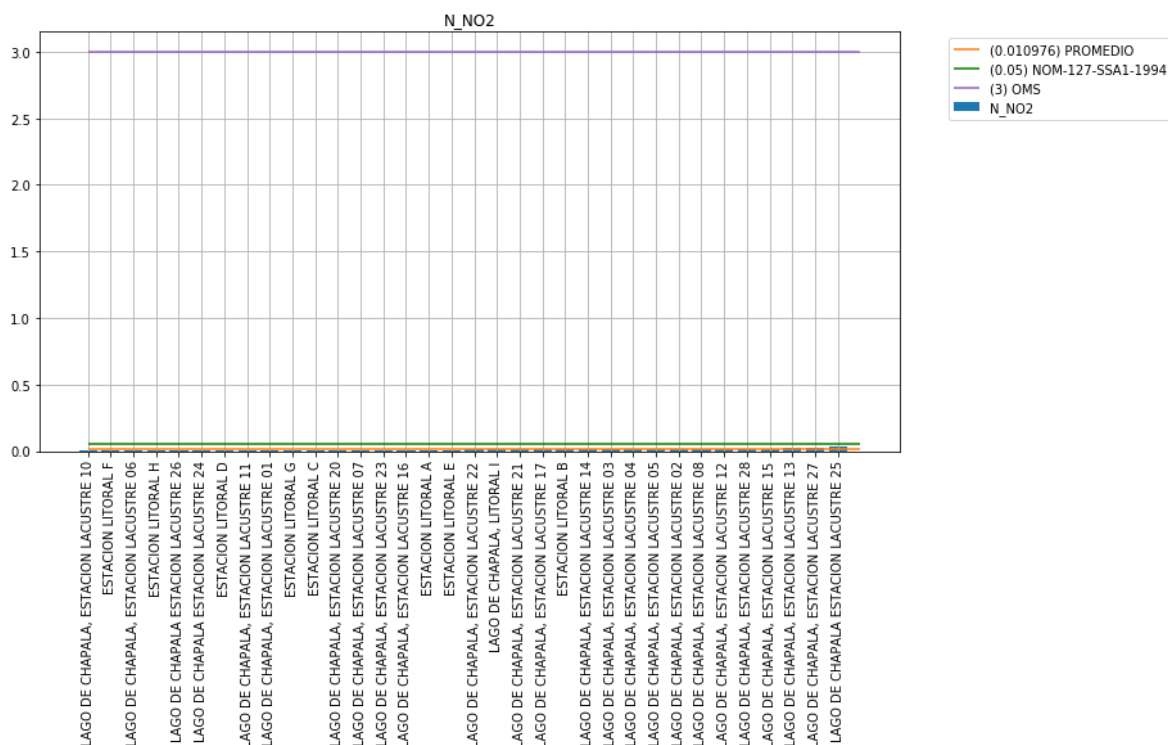


Figura 28. Valores promedio de la concentración de Nitritos por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles

Gracias a este gráfico, es posible apreciar que las concentraciones promedio por estación se han mantenido por debajo del límite establecido en la norma de agua potable NOM-127-SSA1-1994, inclusive aún menos según lo establecido por la OMS. De alguna manera esto quiere decir que el compuesto presente en el agua del lago no ha representado un riesgo para la salud. Sin embargo, es de considerar que sí se han detectado nitritos en el Lago de Chapala, pues la concentración promedio mínima para una estación de monitoreo es de 0.003 mg/L, mientras que la máxima es de 0.035 mg/L, existiendo un rango de 0.032mg/L rango entre estos valores.

2.9.1 Distribución geográfica de las concentraciones de N_NO2

Un panorama geográfico de los niveles de Nitrito presentes en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 29. El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

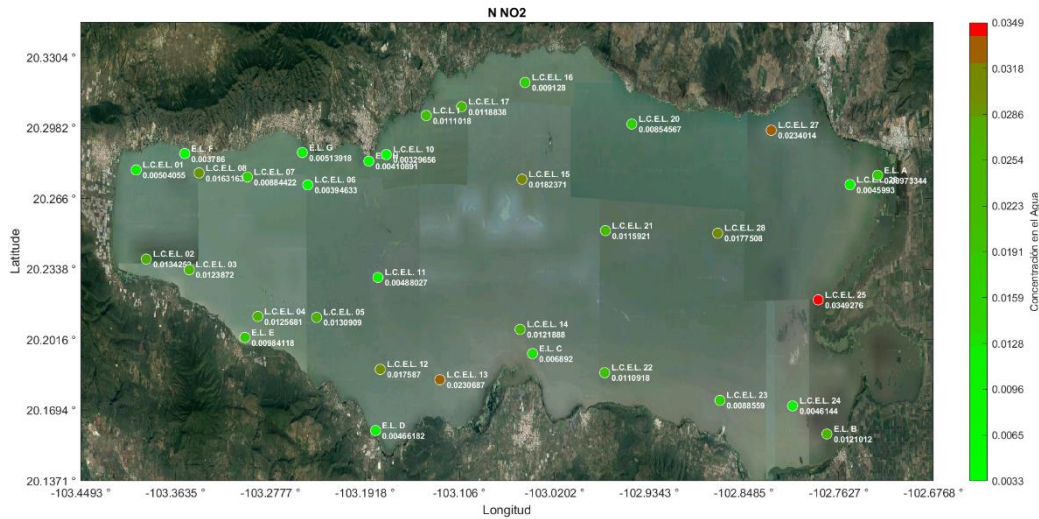
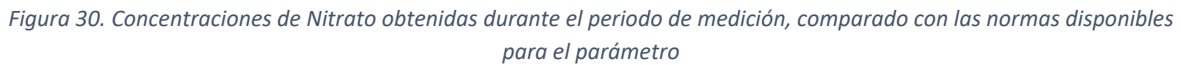


Figura 29. Localización de concentraciones de N_{NO2} .

La estación de monitoreo con la concentración promedio máxima se localiza en la parte este del Lago de Chapala, y colinda con cuatro estaciones cuyas concentraciones son muy bajas. Asimismo, las estaciones que mantienen concentraciones altas, se encuentran muy distantes unas de otras; inclusive hay estaciones en medio del lago con concentraciones mayores a las que se encuentran en su periferia, evidenciando una aleatoriedad en el comportamiento de los promedios de Nitritos presentes en el Lago.

2.10 Nitratos (N_{NO3})

Los Nitratos tienden a encontrarse de manera natural en aguas superficiales, pero también se puede presentar por diversas actividades humanas y económicas, tales como el vertido de aguas residuales, escurrimientos agrícolas, y descargas industriales. Las mediciones del parámetro prioritario Nitrato (N_{NO3}) de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala realizadas durante el periodo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018 se muestran en la Figura 30.



A continuación, se muestra el gráfico que contiene las concentraciones promedio por estación:

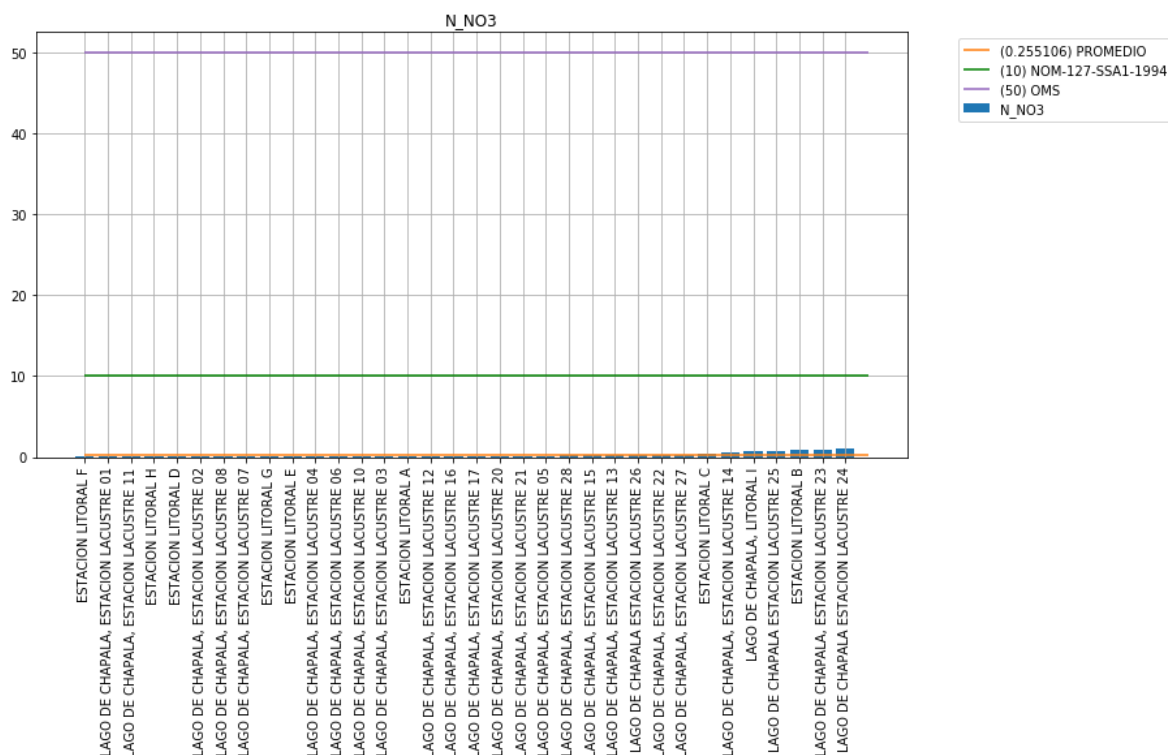


Figura 31. Valores promedio de la concentración de Nitrato por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles

Gracias a la Figura 31, es posible apreciar que ninguna estación de monitoreo ha presentado valores elevados o cercanos al límite más estricto, establecido por la OMS, lo que indica que la cantidad de Nitratos presentes en el Lago de Chapala no representan un riesgo para la salud, pues la concentración promedio mínima es de 0.02 mg/L y la máxima de 1.08 mg/L.

2.10.1 Distribución geográfica de las concentraciones de N_O3

Para apreciar panorama geográfico de los niveles de Nitratos presentes en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 32. El color rojo indica las estaciones cuya concentración promedio es más elevada, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

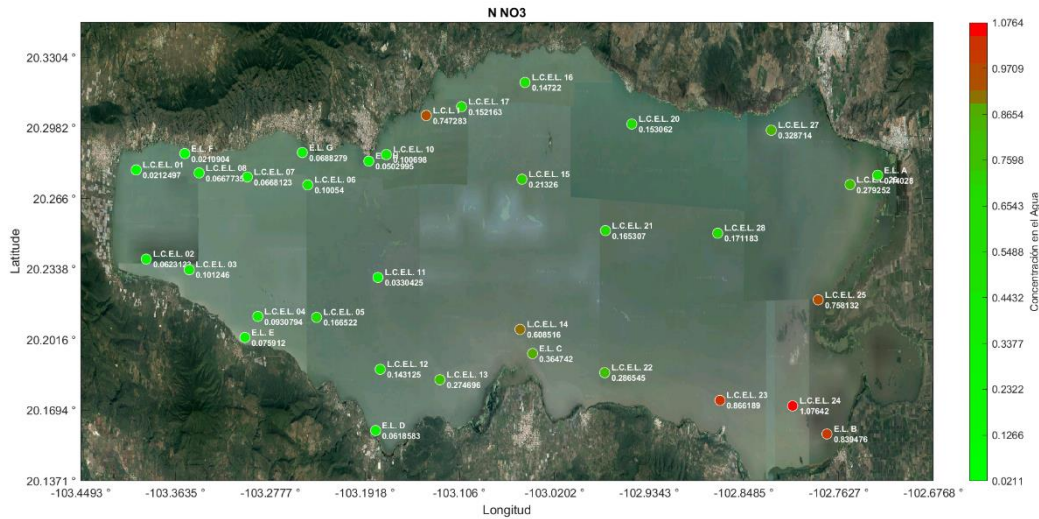


Figura 32. Localización de concentraciones de N_{O3} .

La zona sureste del Lago de Chapala es la que más Nitratos contiene, según la Figura 32, pues las tres estaciones de monitoreo con las concentraciones promedio más elevadas, se encuentran colindando específicamente en esta zona. Así mismo se ubican colindando con esta zona, otras estaciones que han detectado en promedio mayores concentraciones de nitratos, además de una estación con un valor alto según la escala de color, cercano al municipio de Chapala, así como en las zonas aledañas a la parte sureste

2.11 Nitrógeno orgánico (N_{ORG})

El parámetro Nitrógeno orgánico (N_{ORG}) es medido dentro del Lago de Chapala para rastrear otra forma en la que se presenta el Nitrógeno. Todas las mediciones de Nitrógeno Orgánico de las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala, se encuentran ubicadas en La Figura 33. Para esta forma de Nitrógeno, no existe referencia alguna con la cual comparar las concentraciones obtenidas del muestreo. El periodo de medición del Nitrógeno orgánico es nuevamente del 21 de noviembre de 2012 al 8 de febrero de 2018.

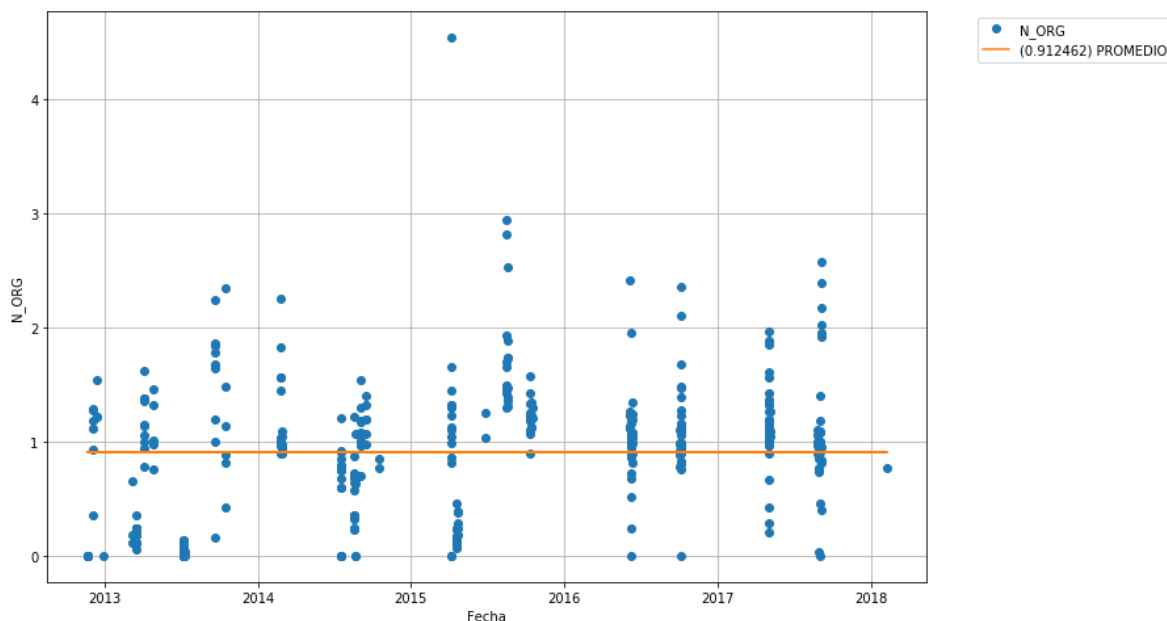


Figura 33 Concentraciones de Nitrógeno Orgánico obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

El promedio global de todas las concentraciones de Nitrógeno Orgánico detectadas en el Lago de Chapala es de 0.9 mg/L: el valor más elevado superó los 4 mg/L y se presentó en el 2015, asimismo, durante ese año se presentaron las concentraciones más altas. Nuevamente se aprecia una tendencia muy dispersa con respecto a los días de medición, pues hay días en los que solo se presenta uno o dos muestreos. A continuación, se presentan las concentraciones promedio obtenidas para cada estación de monitoreo para el parámetro prioritario Nitrógeno Orgánico.

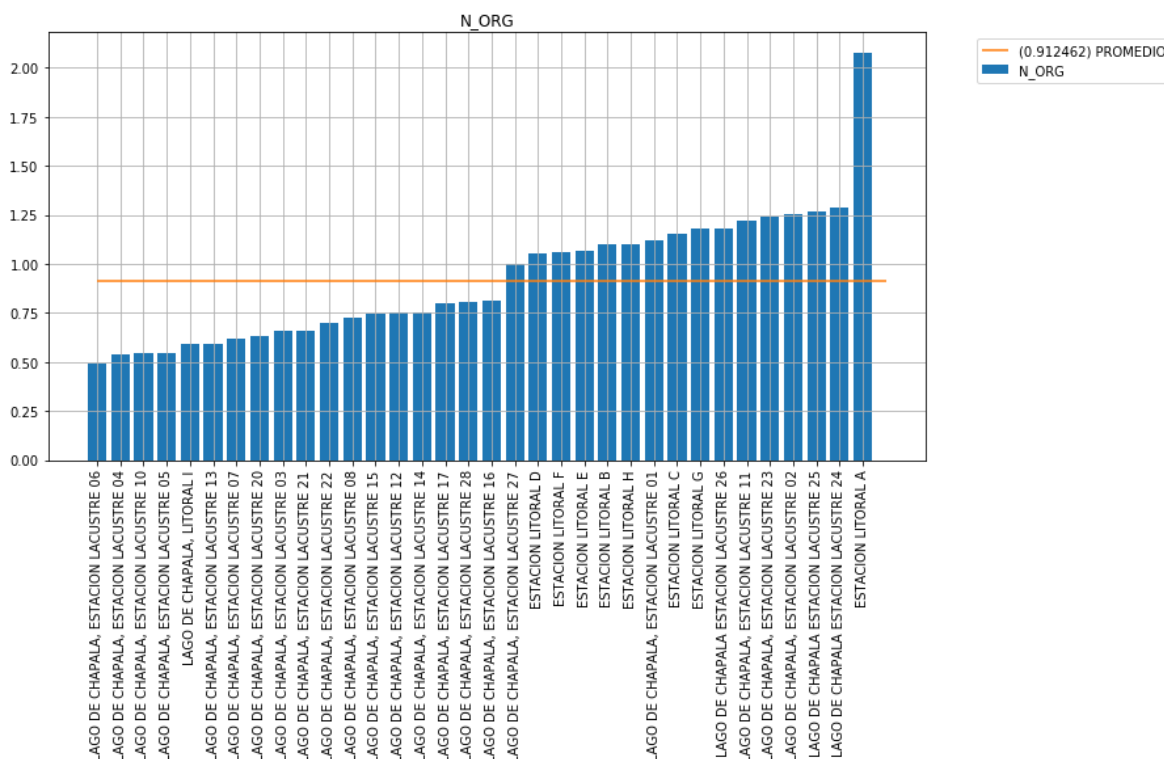


Figura 34. Valores promedio de la concentración de Nitrógeno Orgánico por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles

La estación de monitoreo cuya concentración promedio resultó mínima fue la Estación Lacustre 06, con un valor de 0.5 mg/L, mientras que la Estación Litoral A obtuvo una mayor concentración promedio con 2.07 mg/L. Al no tener una referencia con qué comparar estos valores.

2.11.1 Distribución geográfica de las concentraciones de N_ORG

Para apreciar la ubicación de las estaciones de monitoreo, así como las concentraciones promedio de Nitrógeno orgánico que se han obtenido en ellas, se presenta la Figura 35, nuevamente el color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

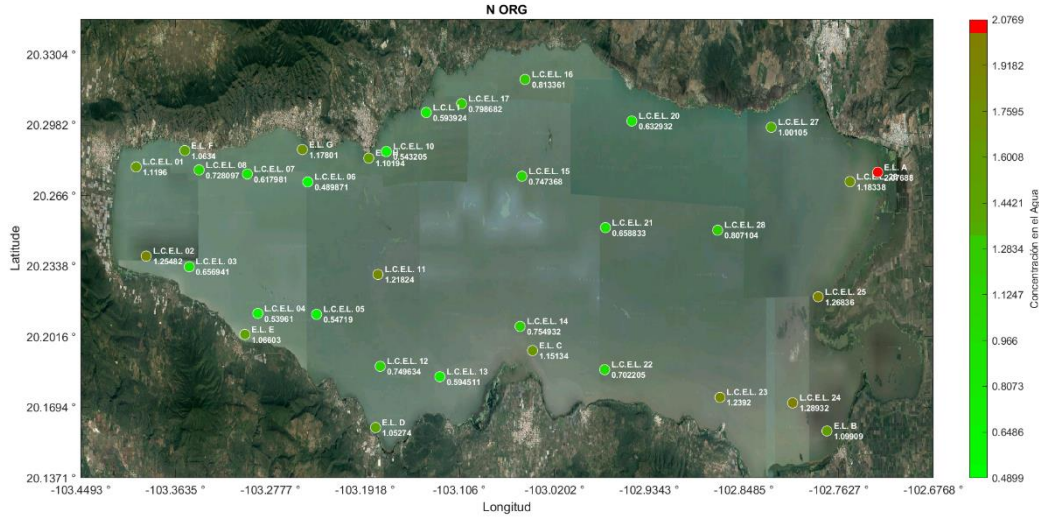


Figura 35. Localización de concentraciones de N_{ORG} .

La estación cuya concentración promedio ha resultado más elevada se encuentra en la zona noreste del Lago de Chapala, coincidiendo con los otros parámetros prioritarios relacionados con Nitrógeno, cuyas mayores concentraciones se encuentran también en la parte este del Lago.

2.12 Nitrógeno total (N_{TOT})

El Nitrógeno Total es la última forma de Nitrógeno que se monitorea en el Lago de Chapala. Las mediciones de N_{TOT} de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala en el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018 se muestran en la Figura 36. Para el caso de este parámetro prioritario, nuevamente se aprecia una dispersión en los datos obtenidos, pues hay días en los que se realizaron toma de muestras aisladas, como en el año 2018, donde únicamente se tiene el registro de una sola muestra.

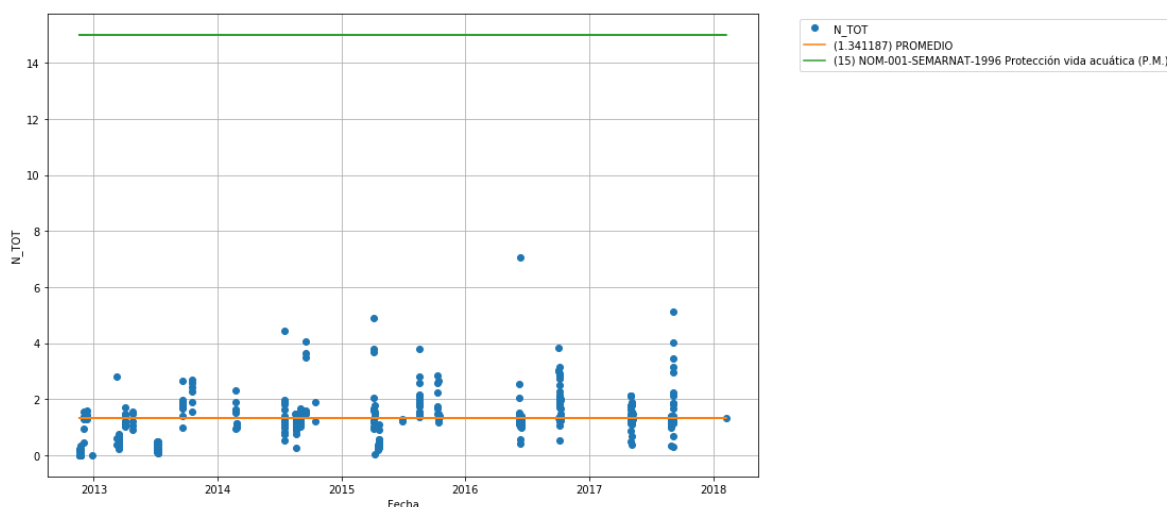


Figura 36. Concentraciones de Nitrógeno Total obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

El promedio global de todas las mediciones es de 1.3 mg/L. La única referencia que se tiene con respecto al Nitrógeno total es la NOM-001-SEMARNAT-1996, con el límite máximo permisible que protege la vida acuática, mismo que es de 15 mg/L, en ese sentido, el Nitrógeno en esta forma no ha representado un riesgo para la salud de la fauna local perteneciente al Lago de Chapala.

Para apreciar el comportamiento de los promedios históricos que se han presentado por estación de monitoreo, se presenta la Figura 37 a continuación:

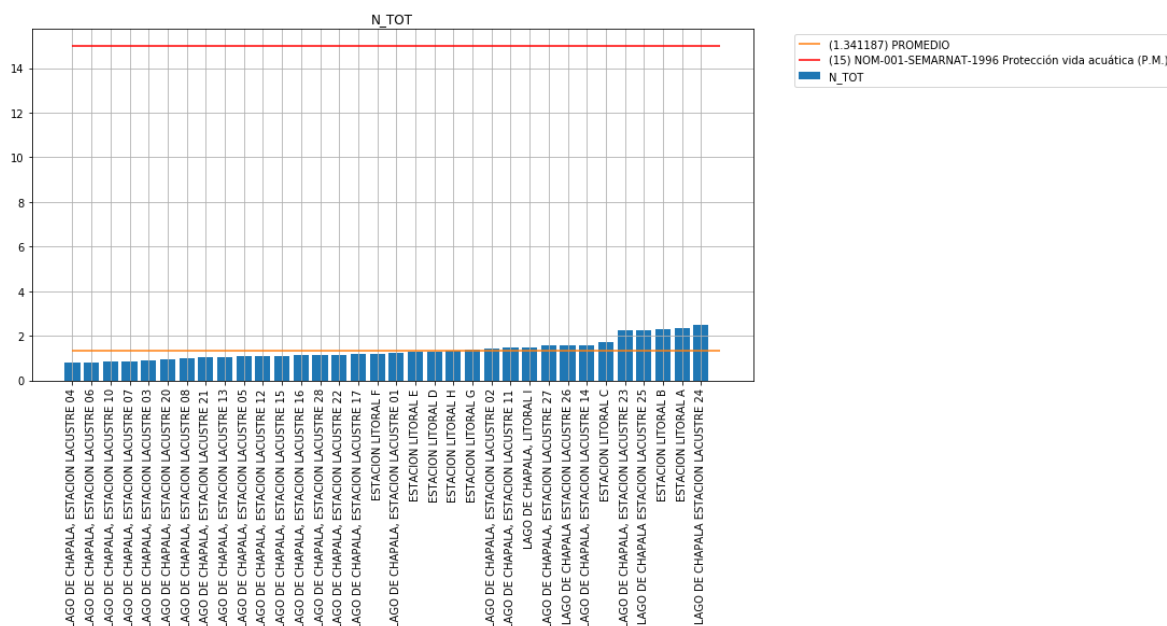


Figura 37. Valores promedio de la concentración de Nitrógeno total por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles.

La Figura 37 demuestra que el rango de los valores promedio entre las estaciones ubicadas dentro del Lago de Chapala es de 1.7 mg/L, debido a que el valor promedio mínimo es de 0.8 mg/L, mientras que la concentración promedio más elevada fue de 2.5 mg/L. Nuevamente se aprecia que todas las estaciones de monitoreo han presentado concentraciones promedio mucho menores a la referencia de protección a la vida acuática que ofrece la NOM-001-SEMARNAT-1996. Aun así, es de considerar que, según estos promedios, en todas las estaciones dentro del Lago de Chapala se ha detectado mínimo una vez este parámetro prioritario.

2.12.1 Distribución geográfica de las concentraciones de N_{TOT}

Para apreciar la distribución de las estaciones de monitoreo y sus respectivos promedios con relación al Nitrógeno total, se presenta el siguiente mapa, donde el color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

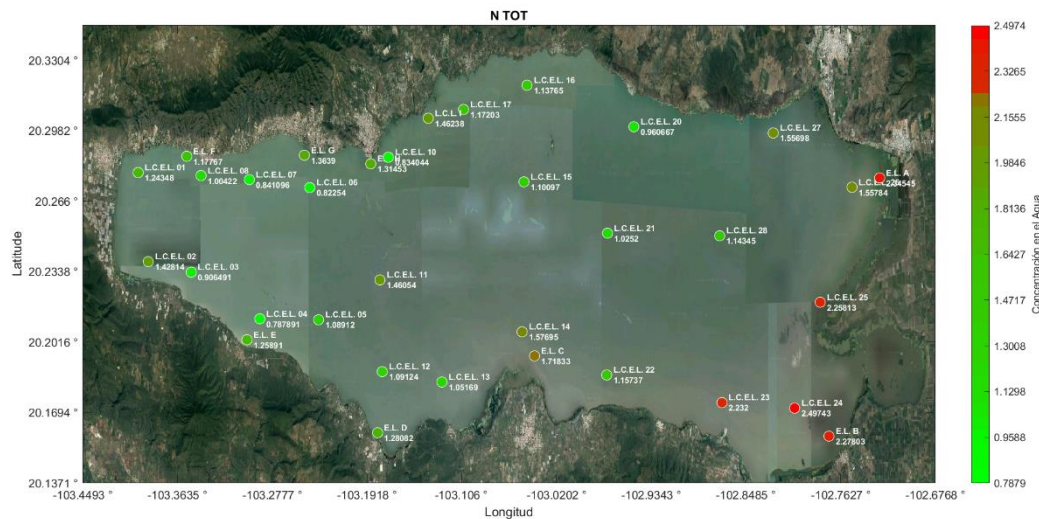


Figura 38. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de Nitrógeno total.

Con la misma tendencia que los parámetros prioritarios analizados previamente relacionados con alguna forma de Nitrógeno, la Figura 38 muestra que la zona este del Lago de Chapala es la que mayores concentraciones promedio ha manifestado durante el periodo de tiempo en que se efectuaron las mediciones. Asimismo, se aprecia una distribución aleatoria de las concentraciones promedio de las demás estaciones de monitoreo dentro del Lago de Chapala.

2.13 Orto Fosfato (ORTO_PO4)

Las mediciones de Orto Fosfato de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala realizadas del 21 de noviembre de 2012 al 8 de febrero de 2018 se presentan en la Figura 39. Para el caso de este parámetro, no se cuentan con referencias nacionales ni internacionales para comparar y determinar si la concentración en la que se presenta este compuesto puede representar un riesgo para la salud, sin embargo, es importante mencionar que el Fósforo (P) es, junto con el Nitrógeno, un nutriente esencial para la vida vegetal, por lo que es utilizado frecuentemente en agroquímicos; es decir, si se cuentan con valores elevados de Orto Fosfato se puede hacer una relación directa con los problemas de eutrofización que pudiera sufrir el lago.

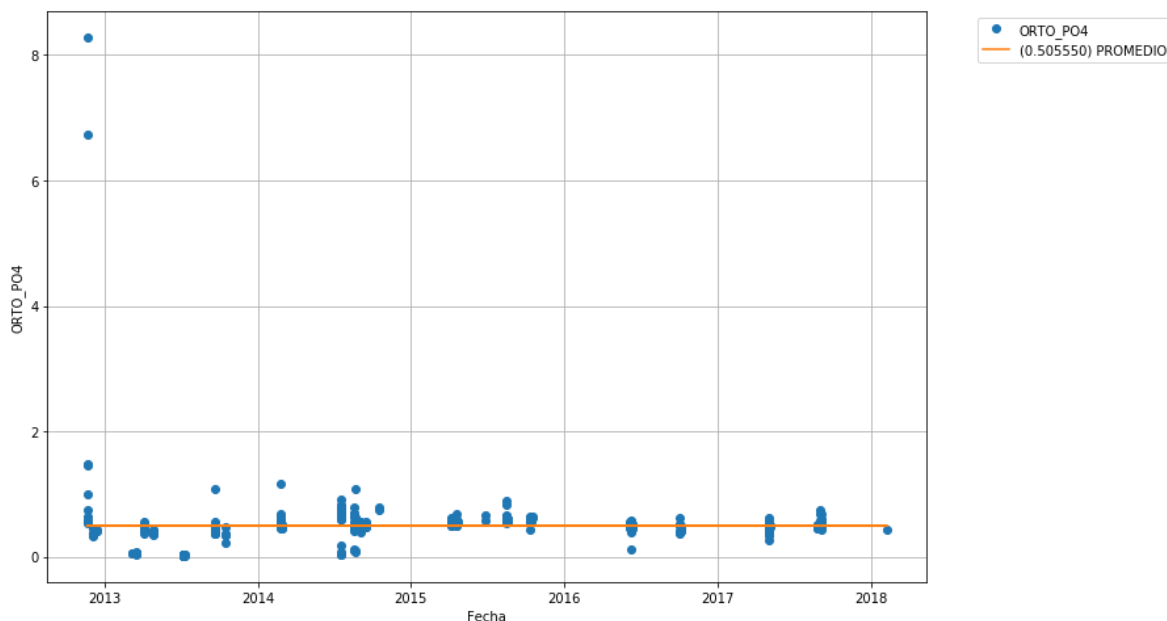


Figura 39. Concentraciones de Orto Fosfato obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

El promedio global de todas las mediciones de Orto Fosfato se encuentra en 0.5 mg/L. Se identifican concentraciones más elevadas de lo normal para el año 2012, especialmente para las primeras mediciones realizadas. No se alcanza a apreciar una periodicidad constante, al igual que con los parámetros previos. Sobre las concentraciones obtenidas de los muestreos, sólo se puede inferir que el Lago de Chapala ha mantenido niveles de Orto Fosfato, mas no si son perjudiciales para la salud de los ecosistemas o para el consumo del agua de Chapala.

Para apreciar el comportamiento de las concentraciones promedio de Orto Fosfato por estación, se presenta el siguiente gráfico:

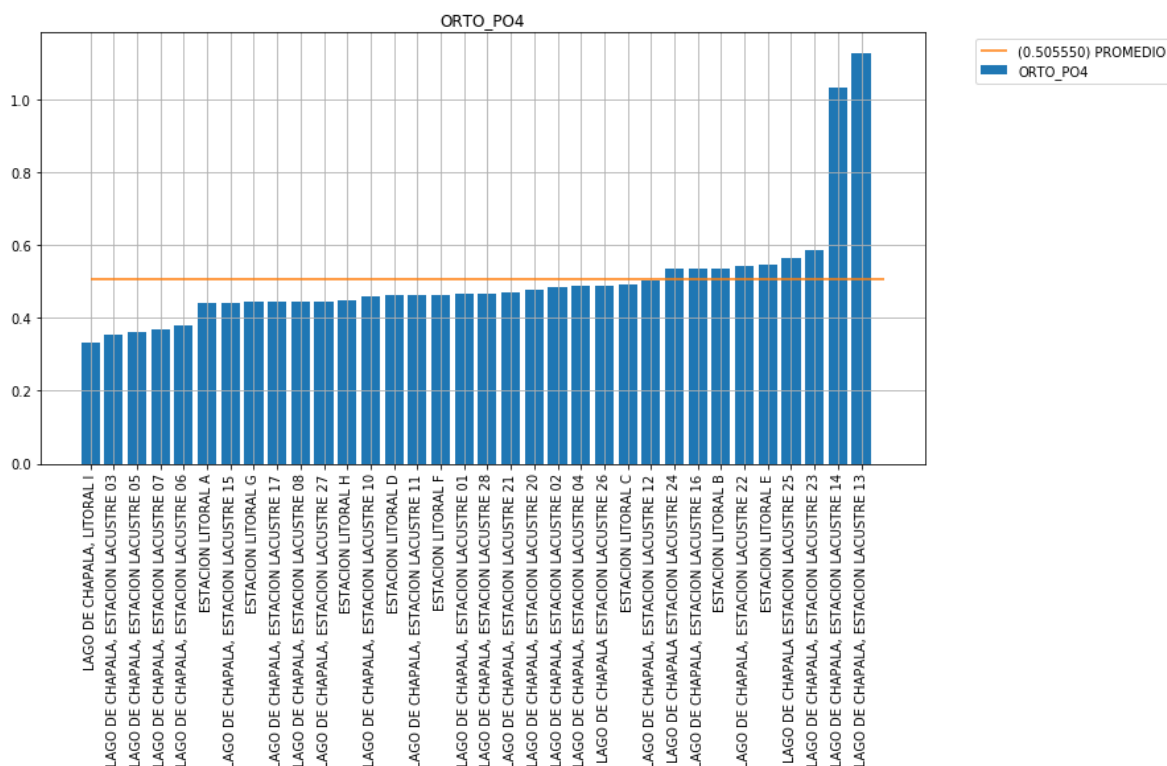


Figura 40. Valores promedio de concentración de Ortofosfato por estación de monitoreo.

Sobre las concentraciones promedio por estación, se tiene un valor mínimo de 0.3 mg/L de Orto Fosfato y un máximo de 1.13 mg/L, habiendo un rango de 0.83 entre estos. Nueve estaciones se encuentran por encima del promedio global y 25 estaciones por debajo. Gracias a la Figura 40 se puede inferir que, durante el periodo de medición, se ha detectado en todas las estaciones de monitoreo la presencia de Orto Fosfato.

2.13.1 Distribución geográfica de las concentraciones de ORTO_PO4

Un panorama geográfico de los niveles de Orto Fosfato en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 41. El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

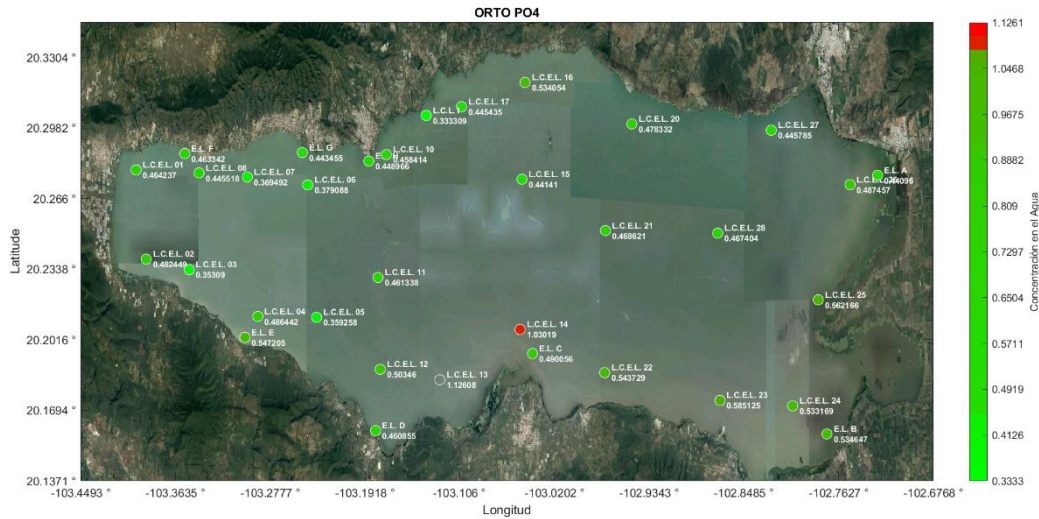


Figura 41. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de ORTO_PO4.

Gracias a la Figura 40 se sabe que solamente dos estaciones de monitoreo son las que han presentado concentraciones promedio más elevadas; éstas se encuentran ubicadas colindando en la zona sur. Las demás estaciones, que rondan entre los 0.3 y 0.6 mg/L se encuentran dispersas a lo largo de todo el Lago de Chapala.

2.14 Fósforo total (P_TOT)

Las mediciones del parámetro prioritario Fósforo total de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala durante el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018 se presentan en la Figura 42. Para este caso, únicamente se cuenta con la NOM-001-SEMARNAT-1996 como referencia, que establece un límite máximo permisible para la protección de la vida acuática. Es importante mencionar que la presencia de Fósforo en el agua propicia el fenómeno de eutrofización, mismo que se considera como un problema de contaminación por las

alteraciones al equilibrio y a las dinámicas de la flora y fauna que tienen al Lago de Chapala como ecosistema.

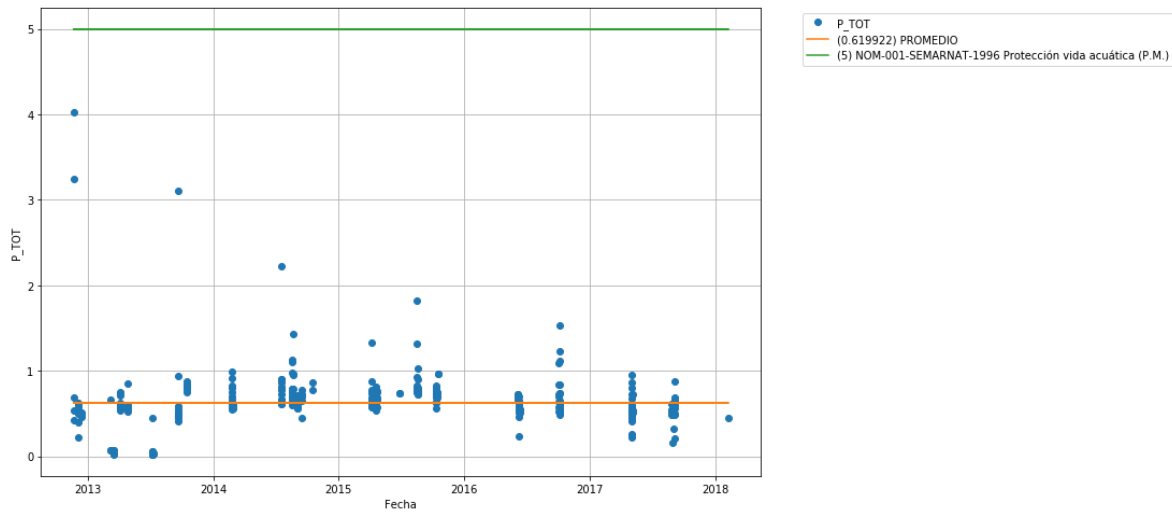


Figura 42. Concentraciones de Fósforo Total obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

El promedio global de todas las concentraciones se encuentra en 0.62 mg/L . Se aprecia que las concentraciones más elevadas se presentaron durante los primeros años en que se realizaron los muestreos. Nuevamente es clara la falta de periodicidad regular en la toma de muestras para medir Fósforo en el Lago de Chapala. Ninguna toma supera el límite máximo permisible establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996. Para observar el comportamiento promedio de las concentraciones detectadas por estación de monitoreo, se presenta la Figura 43.

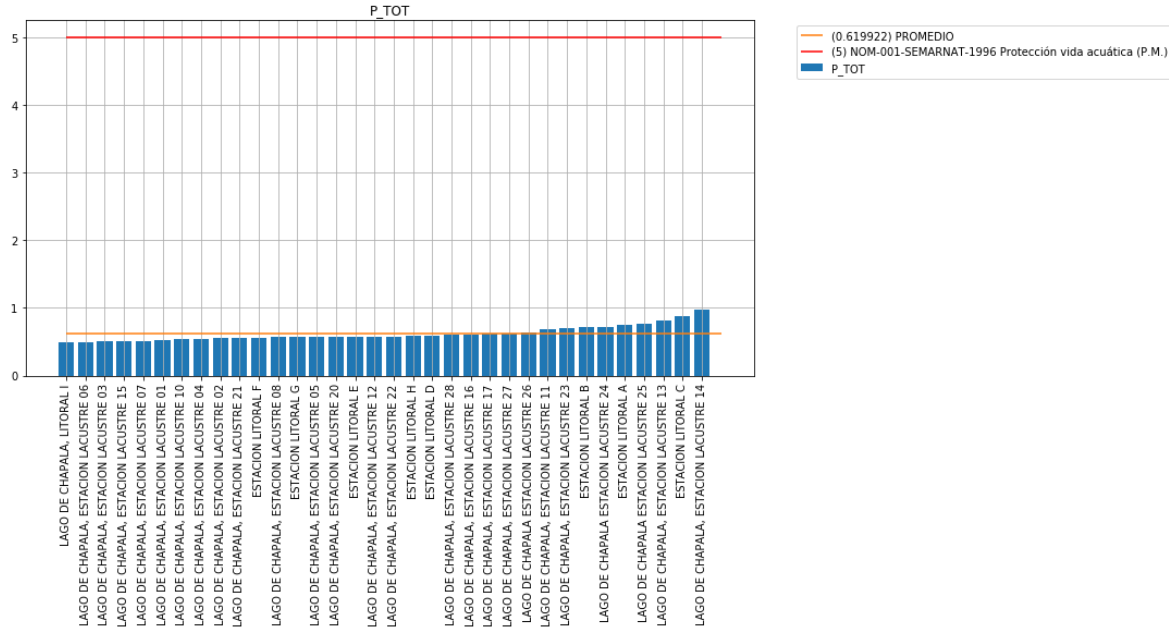


Figura 43. Mediciones promedio por estación lacustre comparado con las normas disponibles

En la Figura 43, se observa que todas las concentraciones promedio por estación se encuentran muy por debajo del límite máximo permisible. El valor mínimo es de 0.5 mg/L mientras que el máximo es de 0.98 mg/L, existiendo un rango de 0.48 mg/L entre el mínimo y el máximo. Únicamente se encuentran 9 estaciones por encima de la concentración promedio. Todas las estaciones han detectado Fósforo total durante todo el periodo en que se han tomado las muestras.

2.14.1 Distribución geográfica de las concentraciones de P_TOT

Un panorama geográfico de los niveles de Fósforo Total en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 44. Nuevamente, el color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

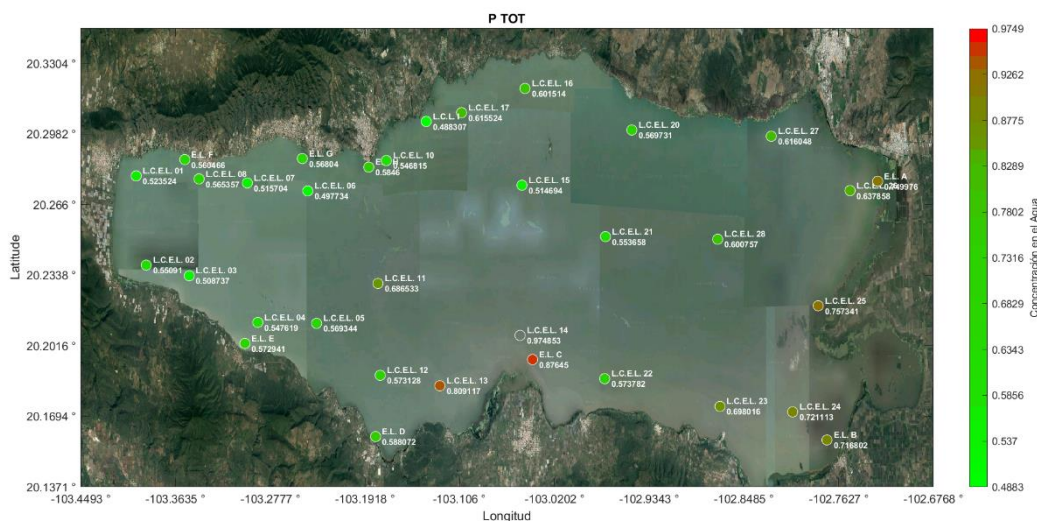


Figura 44. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de P_{TOT} .

Las concentraciones promedio de Fósforo más elevadas se aprecian especialmente en las estaciones ubicadas en la parte este, sureste y sur del Lago, encontrándose las tres estaciones con las mayores concentraciones colindantes y exactamente en la parte sur del Lago. En el resto del Lago de Chapala se ubican las estaciones que tienen concentraciones menores al promedio global de este parámetro.

2.15 Plomo total (PB_TOT)

Las concentraciones de Plomo total (PB_TOT) de todas las muestras obtenidas en las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala durante el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 al 8 de febrero de 2018 se presentan en la Figura 45. Para el caso de este parámetro prioritario, se cuentan con las tres referencias que se han utilizado a lo largo de este análisis. Es de considerar que el límite máximo permisible para la protección de vida acuática es mucho mayor que los otros límites y que las concentraciones de las muestras tomadas, motivo por el cual se pierde la escala del rango en que se encuentran la mayoría de los valores.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 es la referencia menos estricta con relación a la concentración permitida de Plomo, esto quiere decir que las descargas pueden contener concentraciones que representan un riesgo para la salud; la referencia más estricta es la establecida por la OMS en sus guías de agua potable

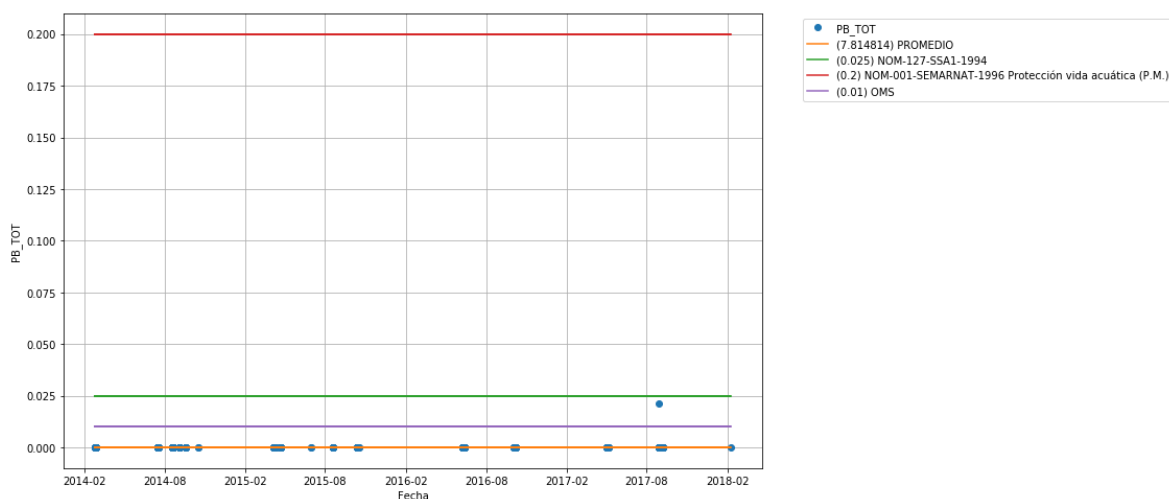


Figura 45. Concentraciones de Plomo Total obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro.

La concentración promedio de Plomo total es de $0.0008 \mu\text{g/L}$. Este parámetro prioritario presenta un caso similar al Mercurio, mismo que sucedió durante el año 2017, pues se detecta un valor que difiere de las concentraciones que usualmente suelen encontrar en las muestras, para este caso también se puede interpretar como una descarga puntual que coincidió con el día de muestreo, este valor es el único que sobrepasa la referencia más estricta, establecida por la OMS, ya que se encuentra por encima de 0.01mg/L .

Para apreciar el comportamiento por estación de las concentraciones de Plomo total, se presenta a continuación la Figura 46.

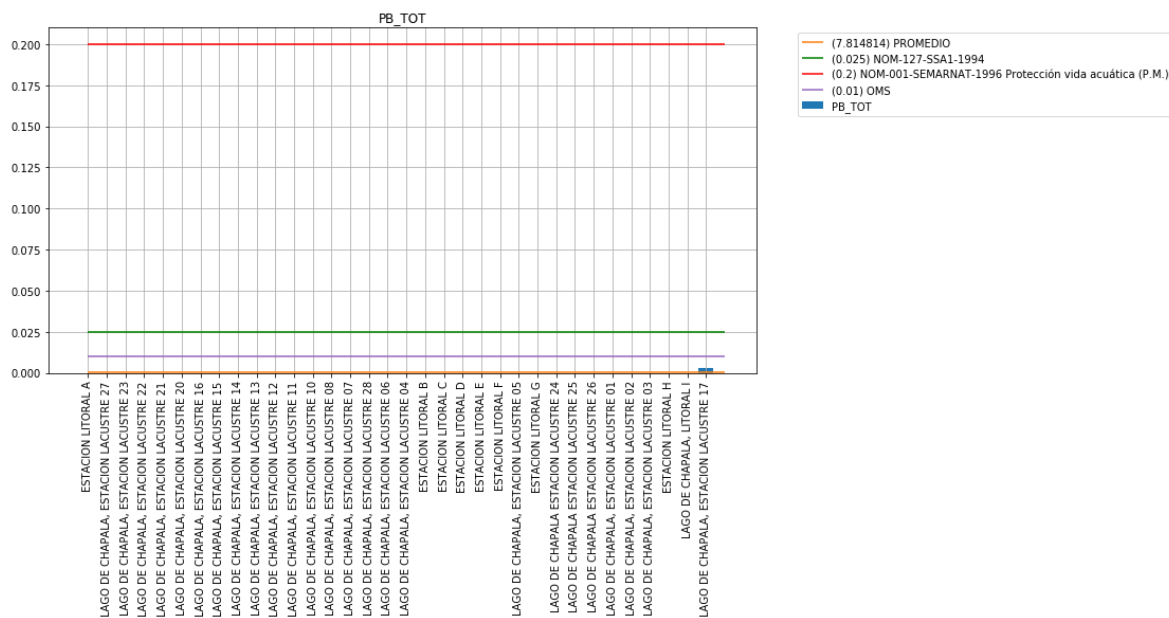


Figura 46. Valores promedio de concentración de Plomo total por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles

Nuevamente se torna difícil apreciar el comportamiento de las concentraciones de Plomo total, por la escala que genera en el gráfico la referencia de la NOM-001-SEMARNAT-1996. El valor mínimo se encuentra en los 0.0 mg/L mientras que el valor máximo es de 0.0026 mg/L. Este es el primer parámetro prioritario del que se puede decir con mayor certeza que no está presente en gran parte del Lago de Chapala, sin embargo, sí existe evidencia de que en alguna zona del Lago ya fue detectada la presencia de Plomo.

2.15.1 Distribución geográfica de las concentraciones de PB_TOT

Un panorama geográfico de los niveles de Plomo total presentes en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 47. El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio

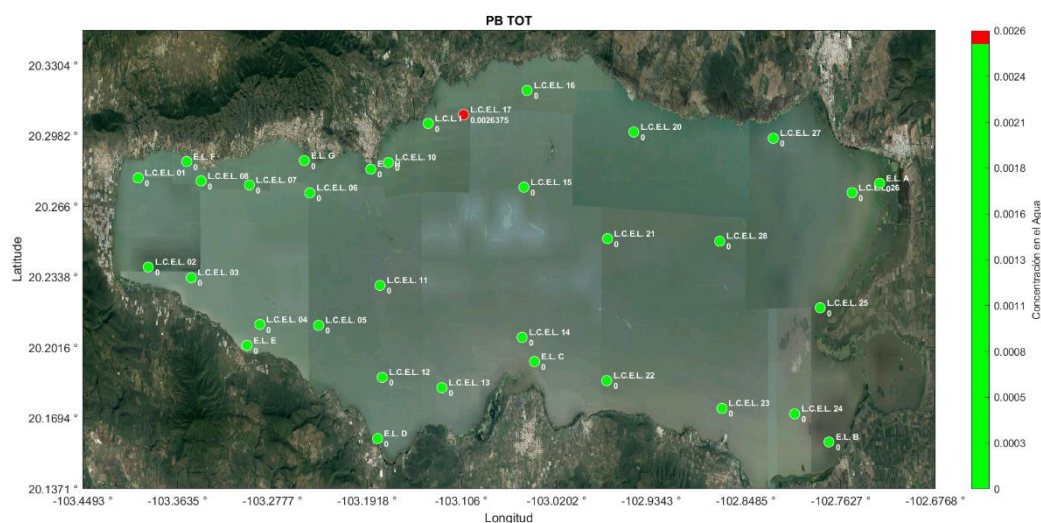


Figura 47. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de PB_TOT.

La Figura 47 muestra claramente la única estación que ha detectado alguna vez, durante el periodo de medición, la presencia de Plomo total, misma que se ubica en el norte del Lago de Chapala, muy cercano al poblado de Chapala.

2.16 pH Campo superficial (PH_CAMPO_SUP)

Para el caso del pH Campo Superficial, los valores esperados rondan entre un pH 5 y un pH 10, pues suele mantenerse cercano al pH 7 siempre y cuando no se realicen descargas alcalinas o ácidas que logren impactar severamente, pues normalmente se diluyen las descargas si estas son relativamente pequeñas en comparación del cuerpo de agua.

Todas las mediciones realizadas en campo del pH en las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala, efectuadas durante el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 al 8 de febrero de 2018 se presentan en la Figura 48. La única referencia con que se cuenta con relación al pH es la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la protección de la vida acuática, misma que establece como aceptables descargas que mantengan un pH en el rango de 5 a 10.

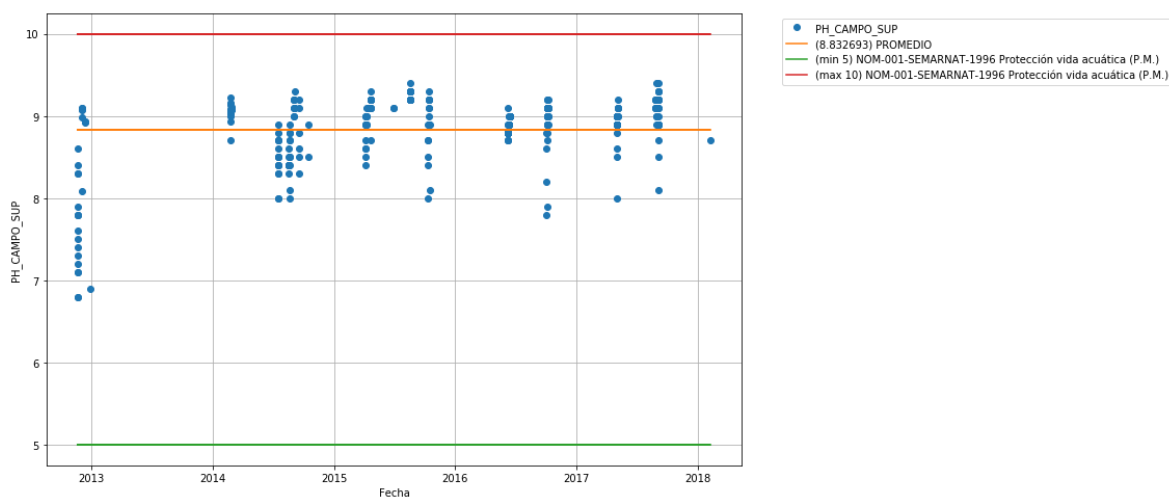


Figura 48. Mediciones de pH obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro.

El pH promedio que se ha obtenido durante el periodo de medición en la superficie del Lago de Chapala es de 8.8, es decir alcalino, y se encuentra dentro del rango que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la protección de la vida acuática. Se observa que, durante el primer año de medición, se obtuvieron los valores más bajos de pH de todo el registro, llegando casi a la neutralidad e inclusive con dos registros ácidos menores a pH 7. No se cuenta con información del pH superficial del Lago de Chapala durante el año 2013.

Para observar los promedios por estación del pH de la superficie del Lago de Chapala se presenta la Figura 49.

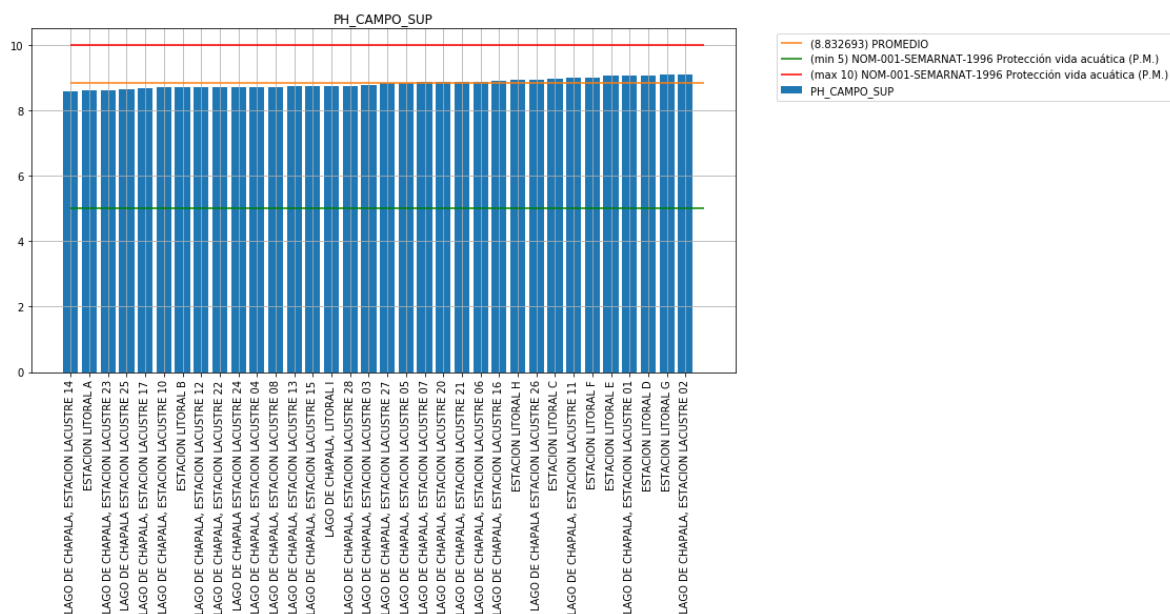


Figura 49. Valores promedio del pH Campo Superficial por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles

Los valores promedio de pH superficial monitoreados en las estaciones del Lago de Chapala oscilan entre 8.6 y 9.1, indicando que se mantienen con valores de pH alcalinos. Para el caso de pH, los valores promedio obtenidos se mantiene en el rango establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1991, para la protección de la vida acuática.

2.16.1 Distribución geográfica de las concentraciones de PH_CAMPO_SUP

Un panorama geográfico de los niveles de pH_CAMPO_SUP en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 50. El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o promedio, y el color verde indica las estaciones con menor pH promedio.

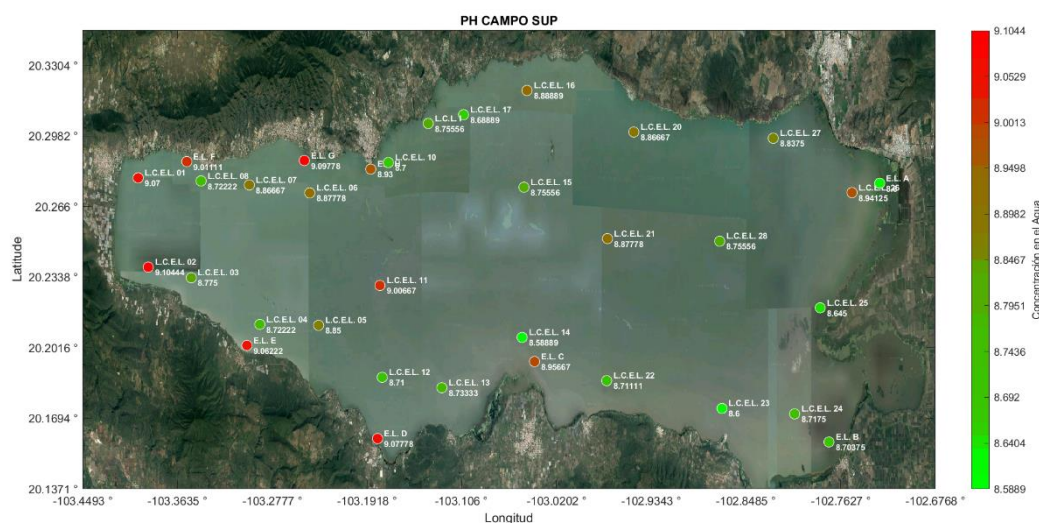


Figura 50. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las mediciones de PH_CAMPO_SUP.

Gracias a la Figura 50, es posible apreciar que la parte oeste del Lago de Chapala es la que se encuentra con mayor alcalinidad, incluyendo nada más una estación puntual en la zona noreste del Lago, cerca de la desembocadura del río Zula. Las demás estaciones ubicadas al centro, norte y sur del Lago se encuentran con valores más cercanos al pH 8.

2.17 Sólidos disueltos totales (SDT)

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT), al igual que los otros parámetros prioritarios, se monitorean en el Lago de Chapala desde el 21 de noviembre de 2012, el último registro con el que se cuenta es el día 8 de febrero de 2018. Para este caso, se cuentan con dos referencias: la nacional e internacional, asimismo, este parámetro prioritario es también utilizado por la misma CONAGUA como un indicador de la calidad del agua dentro SINA, mismo que incluye la DQO, DBO5 Coliformes Fecales y Sólidos Suspendedos Totales⁶.

⁶ <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=mapa&o=4&n=nacional>

La clasificación de la CONAGUA según la concentración del parámetro SDT es la siguiente: dulce si es menor a 1,000 mg/L; ligeramente salobre si se encuentra entre 1,000 mg/L y 2,000 mg/L; salobre si se encuentra entre 2,000 mg/L y 10,000 mg/L y salina si es mayor a 10,000 mg/L.

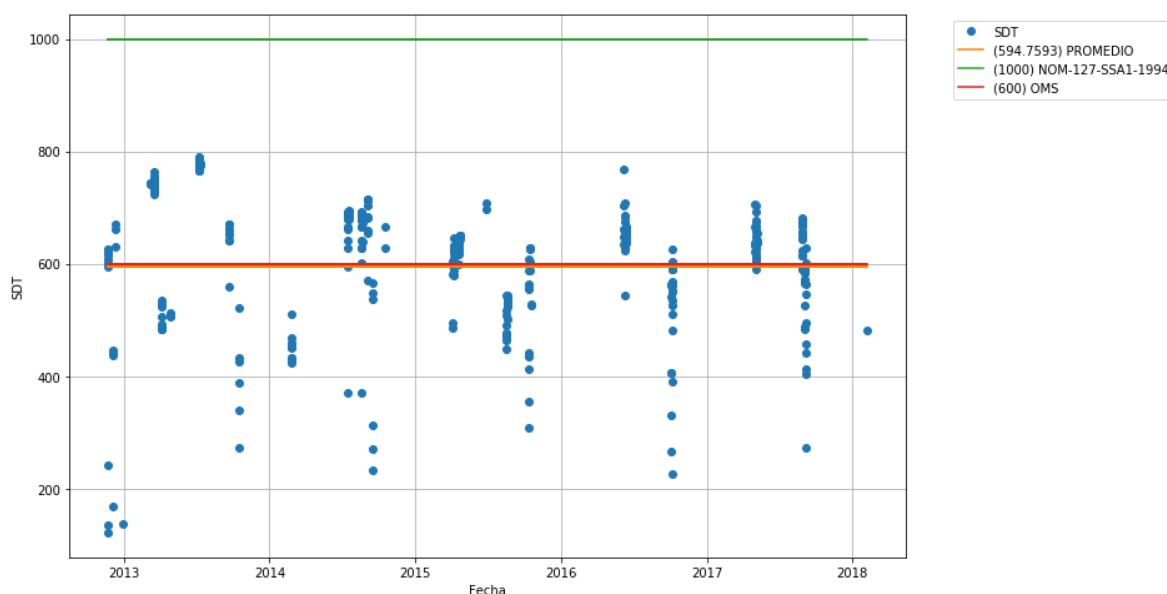


Figura 51. Concentraciones de Sólidos Disueltos Totales obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro.

El promedio global de todas las mediciones de SDT es de 594.76 mg/L, encontrándose dentro de los estándares nacionales SINA CONAGUA y NOM-127-SSA1-1994, e inclusive en el límite según la OMS. La distribución de las concentraciones medidas de SDT no es periódica, ni homogénea, pues existen días donde se monitorean muy pocas estaciones, inclusive una o dos, sin existir una periodicidad constante en la toma de muestras, mismo patrón que se refleja en los parámetros prioritarios previos. Los valores máximos de concentración se presentan muy similares entre todos los años: solo en el año 2015 los valores máximos resultaron ser de menor concentración.

Para apreciar con mayor claridad las concentraciones promedio por estación se presenta a continuación la Figura 52.

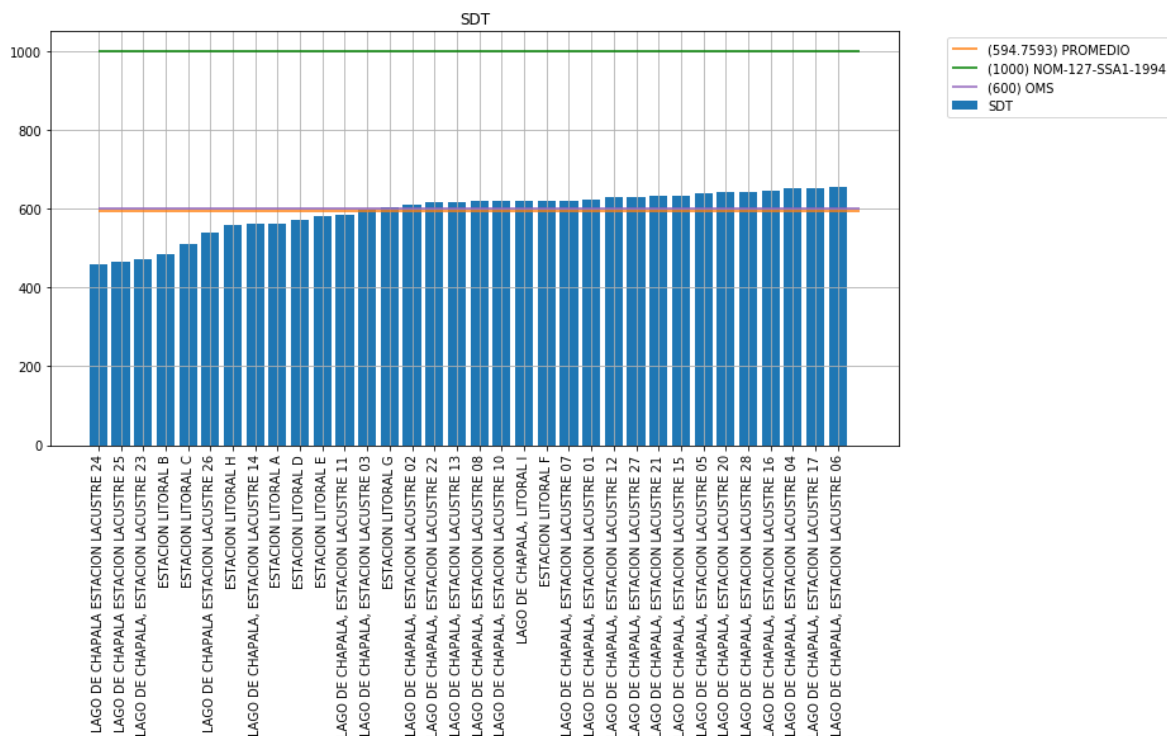


Figura 52. Valores promedio de la concentración de Sólidos Disueltos Totales por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles.

La estación cuya concentración fue mínima obtuvo un promedio de 546 mg/L mientras que el de la estación cuyo valor fue máximo fue de 655.7 mg/L. Estos valores promedio oscilan entre el valor establecido por la OMS que es de 600 mg/L indicando que la cantidad de SDT presentes en el Lago de Chapala están al límite de lo recomendado según la OMS.

2.17.1 Distribución geográfica de las concentraciones de SDT

La distribución de las estaciones de monitoreo dentro del Lago de Chapala se puede observar en la Figura 53. El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio. Para este caso específico los valores más cercanos al límite máximo establecido por la OMS se encuentran en color rojo, tanto si están próximos a llegar como si lo superan.

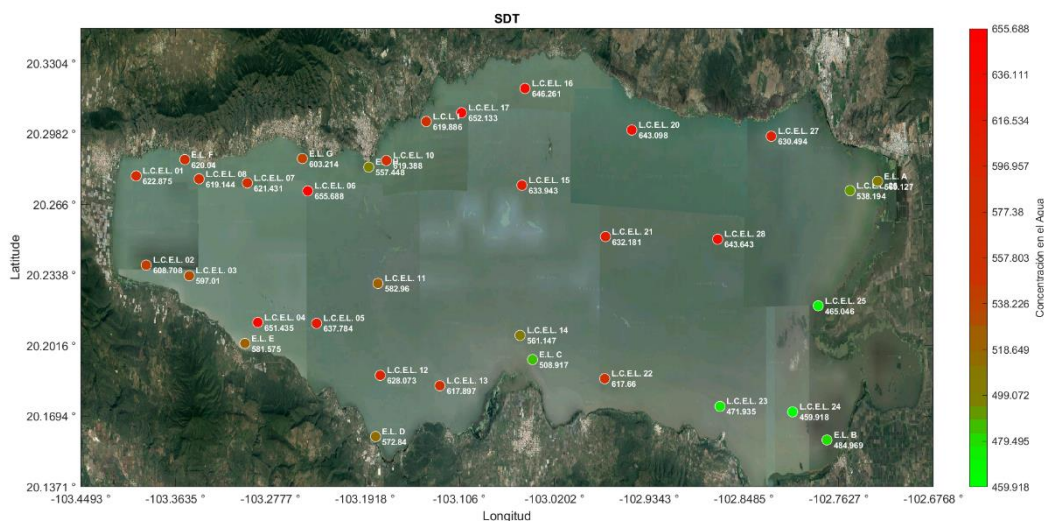


Figura 53. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de SDT.

La Figura 53 manifiesta que la zona sureste del lago es la que menor concentración de SDT contiene en el Lago, mientras que la zona noroeste es la que mayores concentraciones en promedio han tenido. La distribución de concentraciones a lo largo de la demás parte del Lago se muestra aleatoria. Es importante recordar que, como indicador, este parámetro es una aproximación a la cantidad de compuestos sólidos que han quedado disueltos en el agua.

2.18 Sólidos suspendidos totales (SST)

Todas las mediciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) realizadas durante el periodo de tiempo del 21 de noviembre de 2012 hasta el 8 de febrero de 2018 se presentan en la Figura 54. Este parámetro cuenta con la referencia del LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la protección de la vida acuática, además se encuentra también dentro de los indicadores que la CONAGUA utiliza para determinar la calidad del agua a nivel nacional, dentro del SINA. La clasificación que la CONAGUA otorga a este parámetro es la siguiente: excelente calidad cuando tiene una concentración menor o igual a 25 mg/L; buena calidad cuando es mayor a 25 y menor o igual a 75 mg/L; aceptable si es mayor a 75 mg/L y menor o igual a 150 mg/L; contaminada si es mayor a 150 mg/L y menor o igual a 400 mg/L y fuertemente contaminada cuando es mayor a 400 mg/L.⁷

⁷ <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=mapa&o=2&n=nacional>

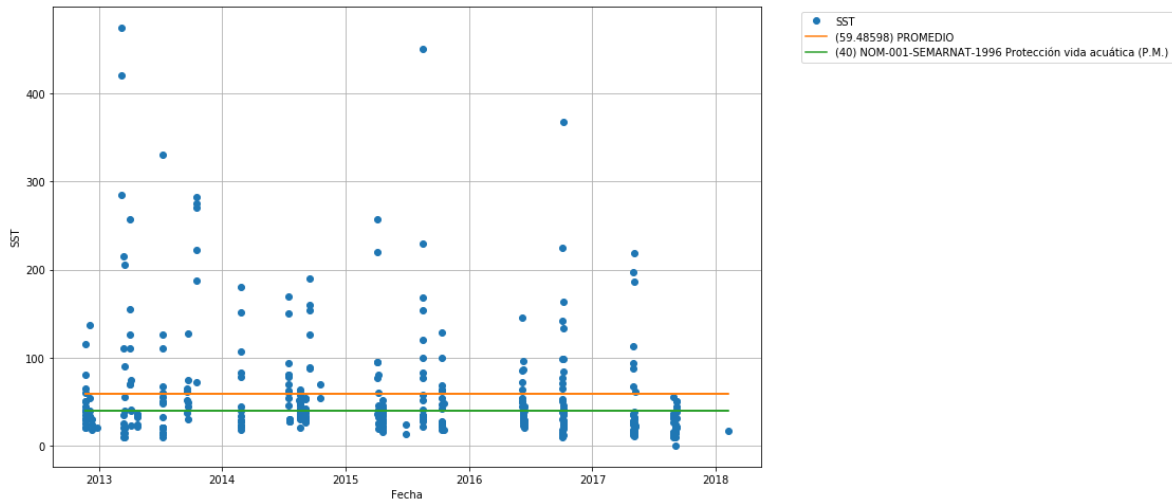


Figura 54. Concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales obtenidas durante el periodo de medición, comparado con las normas disponibles para el parámetro

El promedio global de todas las mediciones es de 59.5 mg/L, encontrándose en el rango de “buena calidad” establecido por el SINA, pero sobrepasando el LMP que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996. En ese sentido, la concentración promedio del Lago de Chapala de SST no protege la vida acuática. A continuación, se presentan los promedios de las concentraciones obtenidas por cada estación de monitoreo.

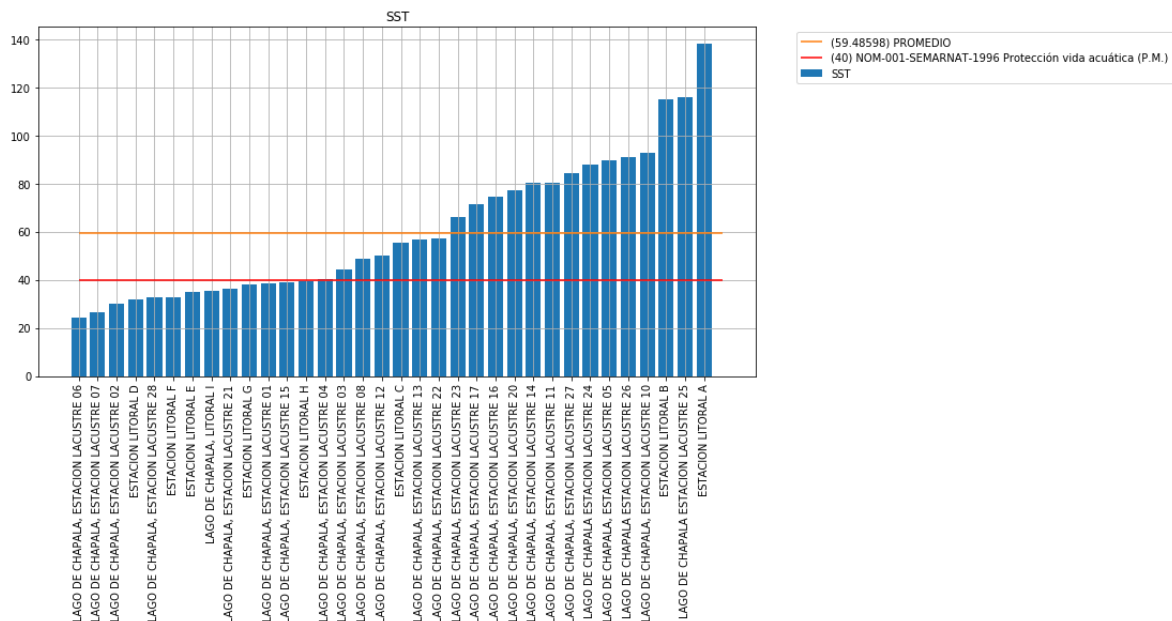


Figura 55. Valores promedio de la concentración de Sólidos Suspendedos Totales por estación de monitoreo comparado con las normas disponibles.

Las concentraciones promedio de SST de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del Lago de Chapala tienen un rango de 114.1 mg/L entre el valor máximo y el mínimo, pues la estación cuya concentración promedio fue menor se encuentra en 24.1 mg/L mientras que la concentración promedio más elevada fue de 138.2 mg/L. En la Figura 55 es posible apreciar con mayor claridad que el promedio global (línea naranja) se encuentra por encima del límite establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1994. Los valores promedio de las concentraciones por estación de monitoreo se encuentran en la clasificación de “buena calidad” y “aceptable” según el SINA de la CONAGUA.

2.18.1 Distribución geográfica de las concentraciones de SST

Un panorama geográfico de las estaciones de monitoreo y las concentraciones promedio de Sólidos Suspendidos Totales en el Lago de Chapala se puede observar en la Figura 56. El color rojo indica las estaciones de mayor nivel o concentración promedio, y el color verde indica las estaciones con menor concentración promedio.

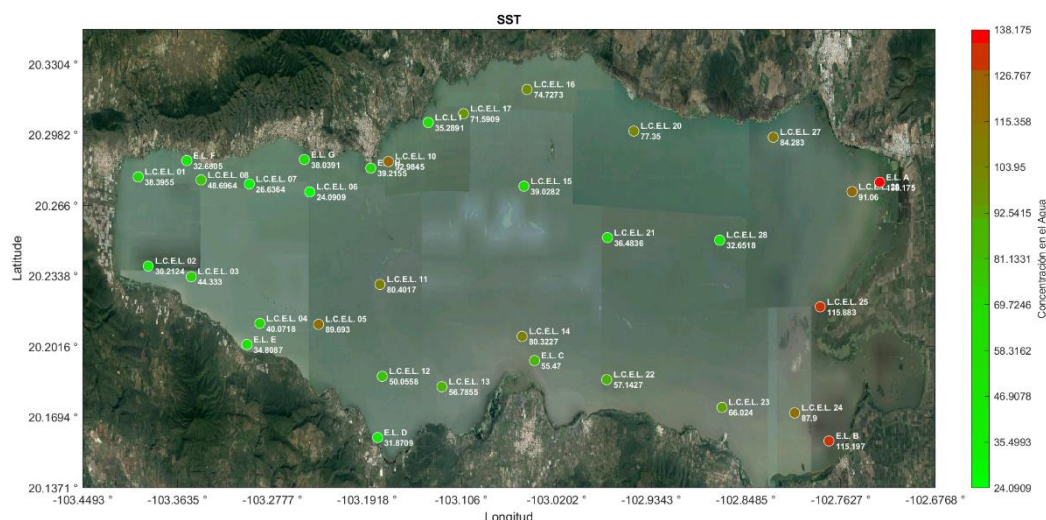


Figura 56. Localización de estaciones de monitoreo y relación con las concentraciones de SST.

Las estaciones de monitoreo cuyos valores promedio de SST fueron los más bajos, se ubican en la parte oeste del Lago, mientras que las estaciones cuyos promedios fueron mayores se localizan en la zona este del Lago. Así mismo, en la zona norte del Lago se ubican estaciones cuyos valores tienden a estar por encima de la clasificación de “buena calidad” establecida por el SINA de CONAGUA, y por encima del límite máximo permisible para la protección de la vida acuática según la NOM-001-SEMARNAT-1996.

3 Resultados interpretados con referencia en normas establecidas

3.1 Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994

La NOM-127-SSA1-1994 “Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización” contiene una lista con los parámetros y las concentraciones máximas que pueden estar presentes en el agua. Los organismos encargados de suministrar agua potable para consumo humano deben garantizar que cumplen con lo establecido en esta norma para prevenir las enfermedades que puedan ser transmitidas por este medio. Los valores permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 solo están disponibles para 10 de los 18 parámetros prioritarios que se han analizado: Arsénico, Coliformes Fecales, Cromo *E-Coli*- Mercurio, Plomo, SST, Nitrógeno Amoniacal, Nitratos y Nitritos.

La Figura 57 muestra una matriz que concentra el resumen de las concentraciones promedio de cada estación de todos los parámetros prioritarios que se encuentran normados en la NOM-127-SSA1-1994. La escala de colores indica el porcentaje de cumplimiento del valor establecido por la norma: es decir, un valor cercano a 1 (color amarillo) indica que el valor promedio del parámetro se encuentra en el valor permitido o por arriba de este valor. Un porcentaje cercano a cero (morado), indica que la concentración o nivel promedio del parámetro es muy por debajo del valor máximo permitido. El color blanco significa que el valor máximo permitido se sobrepasó considerablemente (mayor a 1000% sobre el valor máximo permitido).

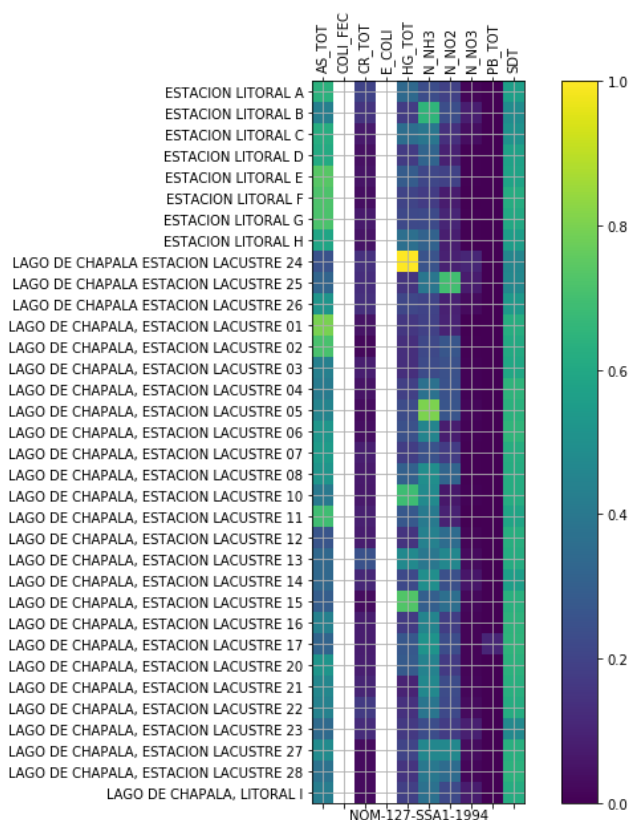


Figura 57. Resumen de comparaciones de las concentraciones promedio de ciertos parámetros prioritarios por estación de monitoreo contra los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

El parámetro Coliformes Fecales (COLLI_FEC) y *Escherichia Coli* (E_COLI) se encuentran muy por arriba del valor máximo permitido, es decir incumplen por mucho la NOM-127-SSA1-1994 y en ese sentido se puede decir que el agua del Lago de Chapala ha contenido Coliformes Fecales, y en especial *E-Coli* en concentraciones que pueden representar un riesgo para la salud y que debe de ser atendido con procesos potabilizadores previo a la distribución en la red de suministro. Además, la concentración de la esta estación llamada ‘LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 24’ supera el LMP de Mercurio Total (HG_TOT); en el caso los Sólidos Disueltos Totales (SDT) todas las estaciones cumplen con la norma, pero se encuentran muy cerca de superarla, ya que los colores verdes indican que la concentración promedio se acerca al valor máximo permitido.

A continuación, se presentan las representaciones geográficas de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del Lago de Chapala, coloreadas en función del porcentaje del nivel máximo permitido establecido por la Norma 127. La escala de colores de este gráfico se encuentra entre los valores 0 y 1. Cuando el valor es muy cercano a 1 (color rojo) indica que el nivel promedio del parámetro se encuentra ‘sobre’ o ‘muy cerca’ del límite máximo permitido. Cualquier valor que sobrepase el permitido por la norma se coloreará de color rojo. Si en dado caso, la norma es superada considerablemente, la estación no se mostrará coloreada e indicará un nivel crítico de la concentración en esa estación. Si el color tiende a verde, significa que la concentración o nivel de ese parámetro se encuentra dentro o muy por debajo del límite permitido.

3.1.1 Distribución geográfica de la concentración promedio de Arsénico Total con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Arsénico Total (AS_TOT) y el LMP establecido por la NOM-127-SSA1-1994 se muestra en la Figura 58.

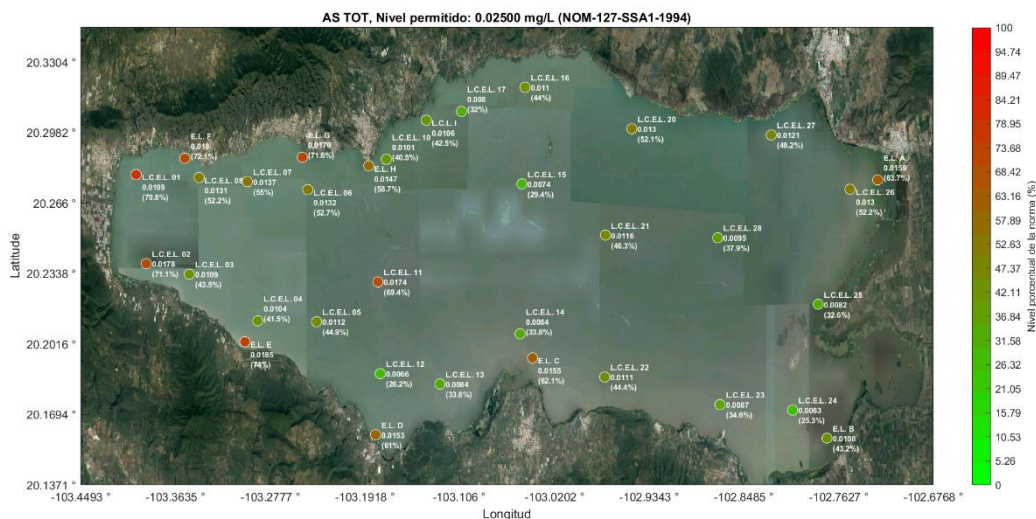


Figura 58. Concentraciones de AS_TOT con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

Para el caso del Arsénico Total, todas las estaciones cuentan con concentraciones promedio que se encuentran por debajo de lo mencionado por esta norma.

3.1.2 Distribución geográfica de la concentración promedio de Coliformes Fecales con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Coliformes Fecales y el LMP establecido por la NOM-127-SSA1-1994, se presentan en la Figura 59. Para el caso de este parámetro, el agua no debe de contener rastro alguno de Coliformes Fecales para que no represente un riesgo para la salud, es decir, el LMP es de 0.00 NMP/100 mL.

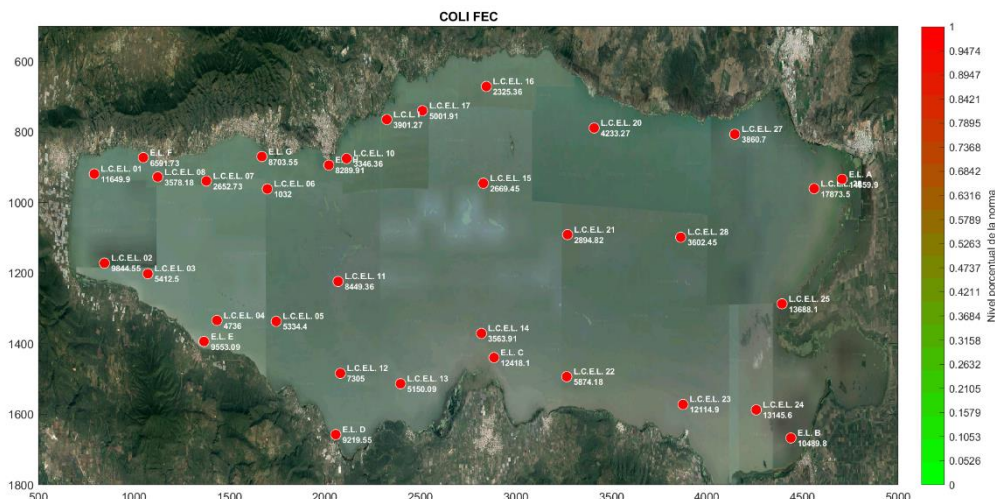


Figura 59. Concentraciones de COLI_FEC con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.

Como bien lo demuestra la matriz con el resumen de los parámetros (Figura 57) y su relación con los LMP de la norma en cuestión, todas las estaciones dentro del Lago de Chapala, han obtenido concentraciones promedio muy elevadas, puesto que la Figura 59 muestra todas las estaciones en color rojo.

3.1.3 Distribución geográfica de la concentración de Cromo Total con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de Cromo Total (CR_TOT) y el LMP establecido por la NOM-127-SSA1-1994 mismo que se encuentra en 0.05 mg/L, se presenta en la Figura 60.

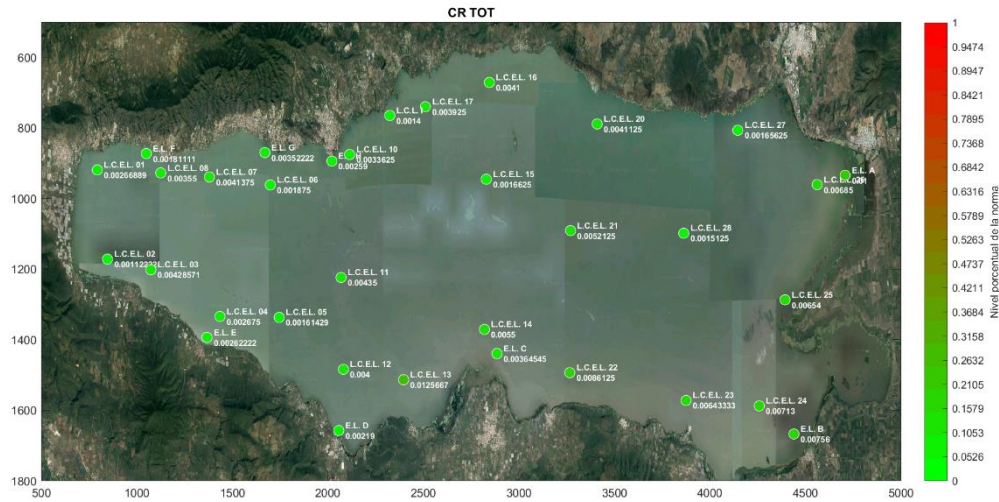


Figura 60. Concentraciones de CR_TOT con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.

Para el caso de Cromo Total, todas las estaciones de monitoreo han obtenido concentraciones promedio que no rebasan ni se acercan al LMP en cuestión.

3.1.4 Distribución geográfica del E_COLI con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de *Escherichia Coli* (E_COLI) y el LMP establecido por la norma NOM-127-SSA1-1994, se presenta en la Figura 61. Este parámetro al estar directamente relacionado con la presencia de descargas de aguas negras, no se debe de encontrar en el agua, es decir, para este parámetro también el LMP es de 0.00 NMP/100 mL.

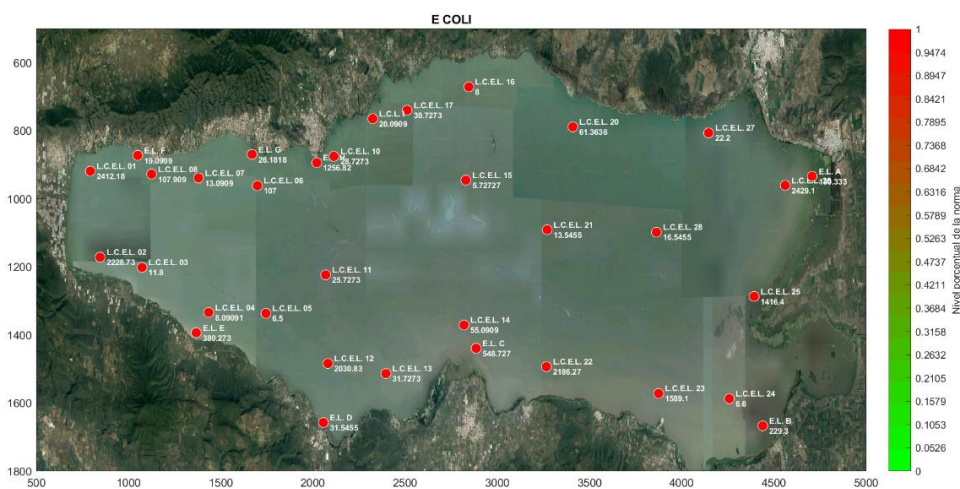


Figura 61. Concentraciones de E_COLI con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.

Todas las estaciones del Lago de Chapala muestran haber obtenido concentraciones promedio muy superiores a lo establecido por la norma en cuestión, pues todas se encuentran en color rojo.

3.1.5 Distribución geográfica de la concentración promedio de Mercurio Total con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Mercurio Total (HG_TOT) y el LMP establecido por la NOM-127-SSA1-1994, que se encuentra en 0.001 mg/L, se presenta en la Figura 62.

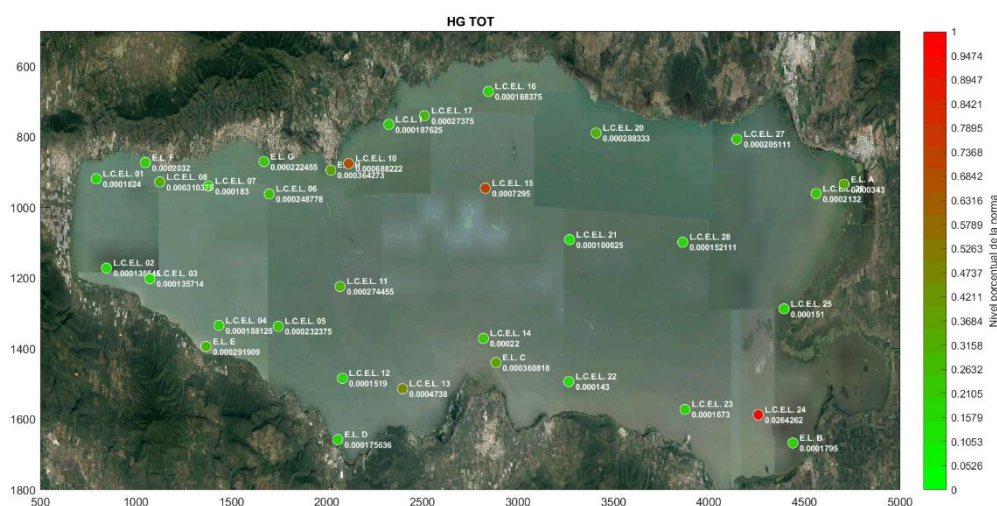


Figura 62. Concentraciones de HG_TOT con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.

El Mercurio Total es el primer parámetro que muestra valores que oscilan cercanos al LMP, en ese sentido, la estación que ha presentado una concentración histórica promedio que se encuentra en el límite o sobrepasándolo, se encuentra en la parte sureste del Lago. Es importante recordar lo mencionado en el apartado 2.7 del presente reporte, que contiene la información general sobre este parámetro, y en el que se menciona un muestreo que obtuvo una concentración muy elevada de Mercurio y que se interpretó como una descarga puntual.

Así mismo, en la zona norte del lago también se encuentran estaciones que obtuvieron promedios globales cercanos al LMP, así como una estación ubicada en la zona sur.

3.1.6 Distribución geográfica de la concentración promedio de Nitrógeno Amoniacal con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Nitrógeno Amoniacal (N_{NH3}) y el LMP establecido por la NOM-127-SSA1-1994, que se encuentra en 0.5 mg/L se presenta en la Figura 63.

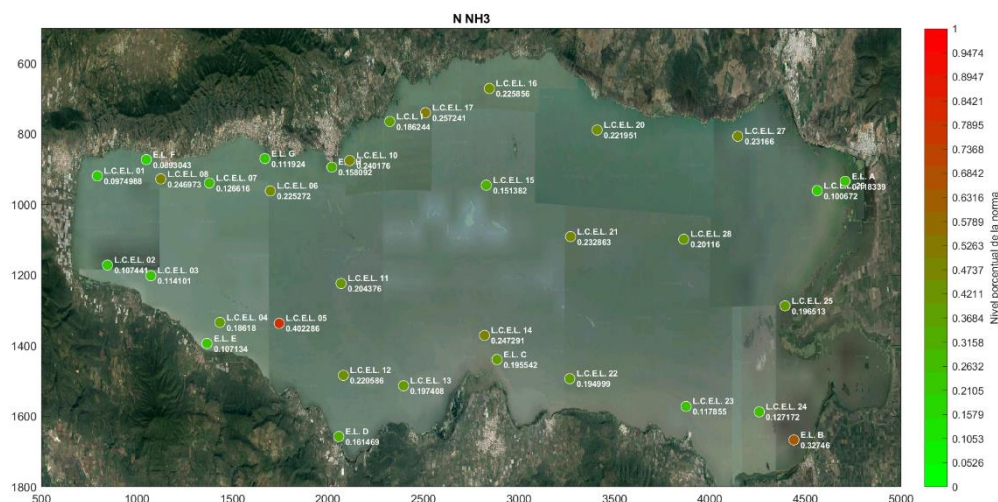


Figura 63. Concentraciones de N_{NH3} con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.

La Figura 63 muestra la ubicación de aquellas estaciones que se encuentran cercanas al LMP en cuestión, mismas que están distribuidas a lo largo de la parte central del Lago, así como cierta extensión de la zona este. Una estación con una concentración promedio cercana al LMP está localizada en la zona sureste del Lago.

3.1.7 Distribución geográfica de la concentración promedio de Nitritos con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Nitritos (N_{NO2}) y el LMP establecido por la NOM-127-SSA1-1994, que se encuentra en 0.05mg/L, se presenta en la Figura 64.

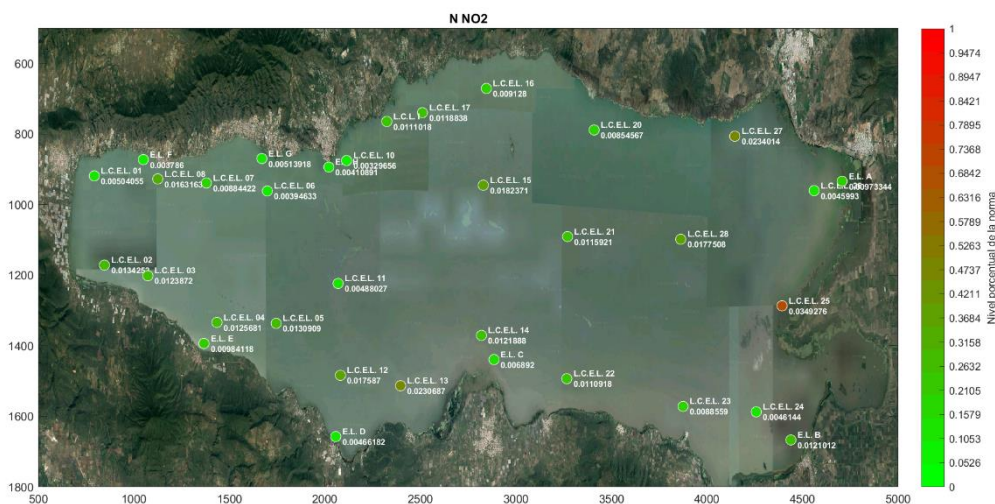


Figura 64. Concentraciones de N_{NO2} con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.

Para el caso de los Nitritos, únicamente se ha presentado una concentración promedio muy cercana al LMP en cuestión, y esta se encuentra exactamente en la zona este. Asimismo, estaciones localizadas en todo el lago presentan valores que oscilan en el espectro del color verde, indicando cierta cercanía con el LMP.

3.1.8 Distribución geográfica de la concentración promedio de Nitratos con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Nitratos (N_{NO3}) y el LMP establecido por la NOM-127-SSA1-1994, que se encuentra en 10 mg/L, se presenta en la Figura 65.

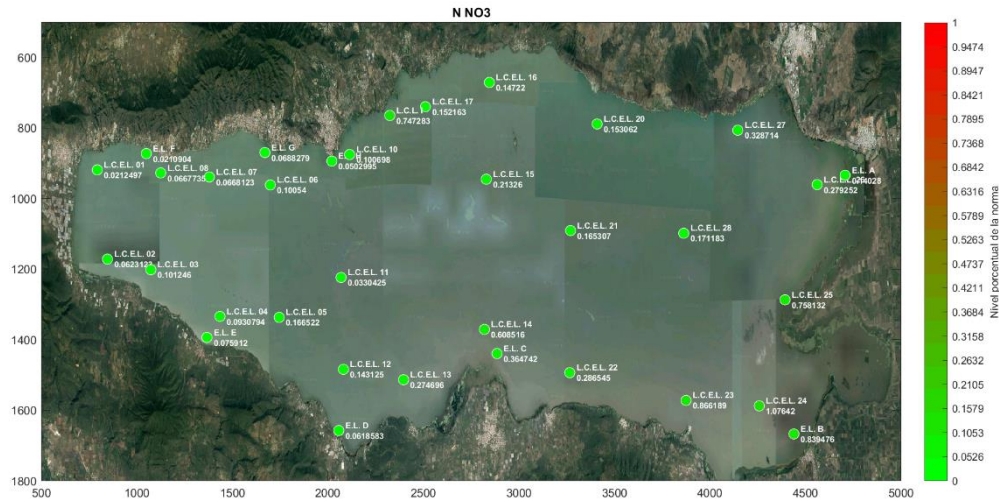


Figura 65. Concentraciones de N_{NO3} con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.

Con relación a este parámetro prioritario, ninguna estación ha mostrado valores próximos al LMP para Nitratos según la norma en cuestión.

3.1.9 Distribución geográfica de la concentración promedio de Plomo Total con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Plomo Total (PB_TOT) y el LMP establecido por la NOM-127-SSA1-1994 que se encuentra en 0.025 mg/L, se presenta en la Figura 66.

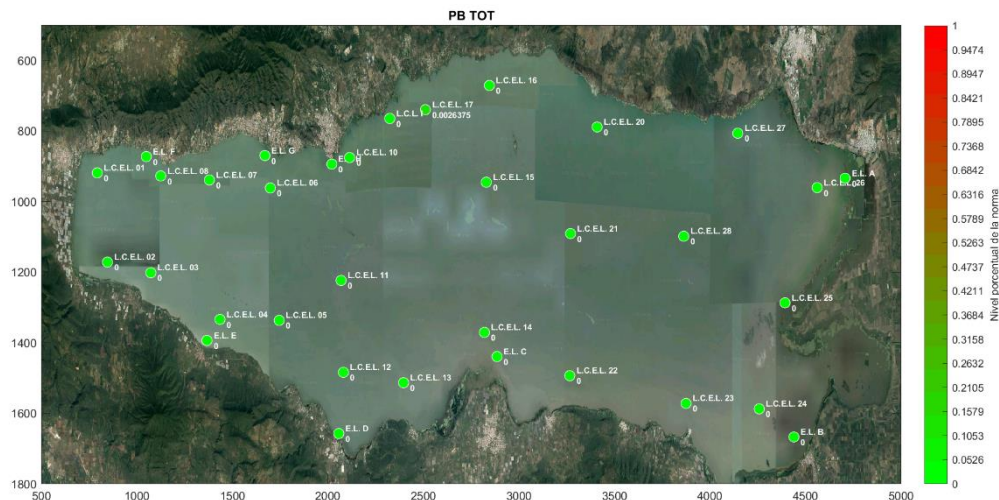


Figura 66. Concentraciones de PB_{TOT} con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.

Las concentraciones promedio de Plomo de todas las estaciones de monitoreo se encuentran muy lejanas al LMP para Nitratos de la norma en cuestión.

3.1.10 Distribución geográfica de la concentración promedio de Sólidos Disueltos Totales con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y relación entre las concentraciones promedio de Sólidos Disueltos Totales (SDT) y el LMP establecido por la NOM-127-SSA1-1994, que se encuentra en 1000 mg/L, se presenta en la Figura 67.

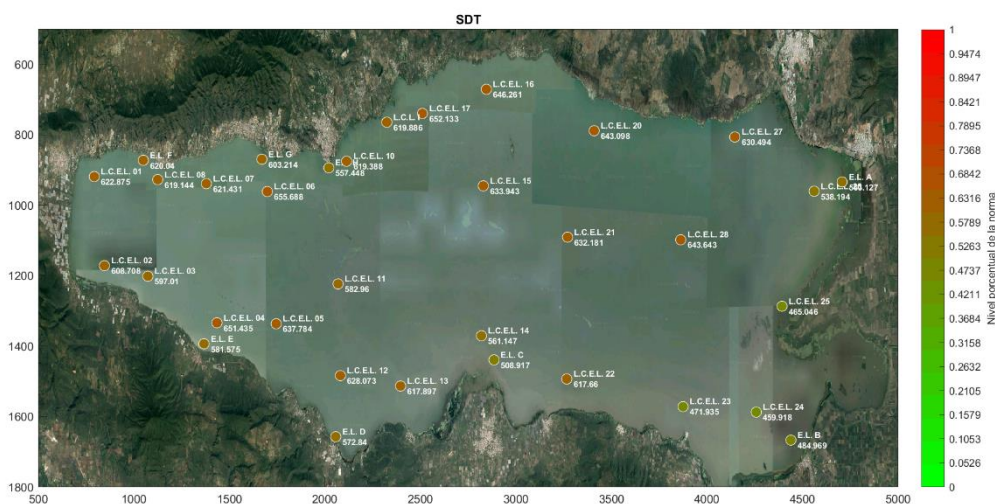


Figura 67. Concentraciones de SDT con referencia en la norma NOM-127-SSA1-1994.

Para el parámetro SDT, todas las estaciones dentro del Lago de Chapala se encuentran próximas al LMP establecido por la norma en cuestión, sin embargo, ninguna estación llega al límite, pues no hay estaciones en color rojo. Tampoco hay estaciones que se encuentren en el espectro del verde.

3.2 Norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática.

La NOM-001-SEMARNAT-1996⁸ “Qué establece los límites máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales” contienen matrices donde se relacionan cada parámetro con sus LMP según el cuerpo de agua donde se realice la descarga. Para fines de este análisis se consideraron los valores correspondientes a “Ríos” y a “Protección vida acuática”, cuyos LMP son los más estrictos a comparación de cualquier otro tipo receptor. Para esta norma nuevamente se encuentran disponibles 10 de los 18 parámetros prioritarios: Arsénico, Coliformes Fecales, Cromo, DBO, *E-Coli*- Mercurio, Nitrógeno, Fósforo, Plomo y SST.

La Figura 68, muestra una matriz que concentra el resumen de las concentraciones promedio de cada estación de todos los parámetros prioritarios que se encuentran normados en la NOM-001-SEMARNAT-1996. La escala de colores indica el porcentaje de cumplimiento del valor establecido por la norma: es decir, un valor cercano a 1 (color amarillo) indica que el valor promedio del parámetro se encuentra en el valor permitido o por arriba de este valor. Un porcentaje cercano a cero (morado), indica que la concentración o nivel promedio del parámetro es muy por debajo del valor máximo permitido. El color blanco significa que el valor máximo permitido se sobrepasó considerablemente (mayor a 1000% sobre el valor máximo permitido).

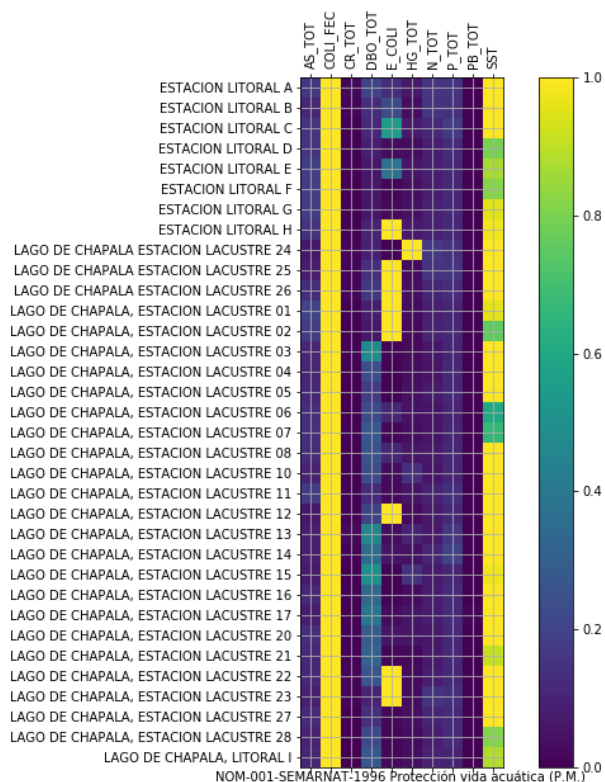


Figura 68. Resumen de comparaciones de las concentraciones promedio de ciertos parámetros prioritarios por estación de monitoreo contra los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996

⁸ <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3290/1/nom-001-semarnat-1996.pdf>

Según esta norma, todo el Lago de Chapala ha obtenido concentraciones promedio que llegan o sobrepasan el LMP; después, para los SST, la mayoría de las estaciones se encuentran de color amarillo, mientras que las concentraciones promedio de las otras estaciones se encuentran rondando entre el 60% y el 80% según el LMP, dentro del espectro del verde. Para el parámetro *E-Coli*, existen 5 estaciones que se encuentran por encima del LMP establecido en la norma y la esta estación 'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 24' supera el LMP permitido de Mercurio Total (HG_TOT).

A continuación, se presentan las representaciones geográficas de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del Lago de Chapala coloreadas en función del porcentaje del nivel máximo permitido establecido por la norma. La escala de colores de estos gráficos se encuentra entre los valores 0 y 1. Cuando el valor es muy cercano a 1 (color rojo) indica que el nivel promedio del parámetro se encuentra 'sobre' o 'muy cerca' del límite máximo permitido. Cualquier valor que sobrepase el valor permitido por la norma se coloreará de color rojo. Si el color tiende a verde, significa que la concentración o nivel de ese parámetro se encuentra dentro o muy por debajo del límite permitido. Cuando la estación se muestre transparente significa que el valor máximo permitido se sobrepasó considerablemente (mayor a 1000% sobre el valor máximo permitido).

3.2.1 Distribución geográfica del AS_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Arsénico Total y el LMP establecido por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) que se encuentra en 0.1 mg/L, se presenta en la Figura 69.

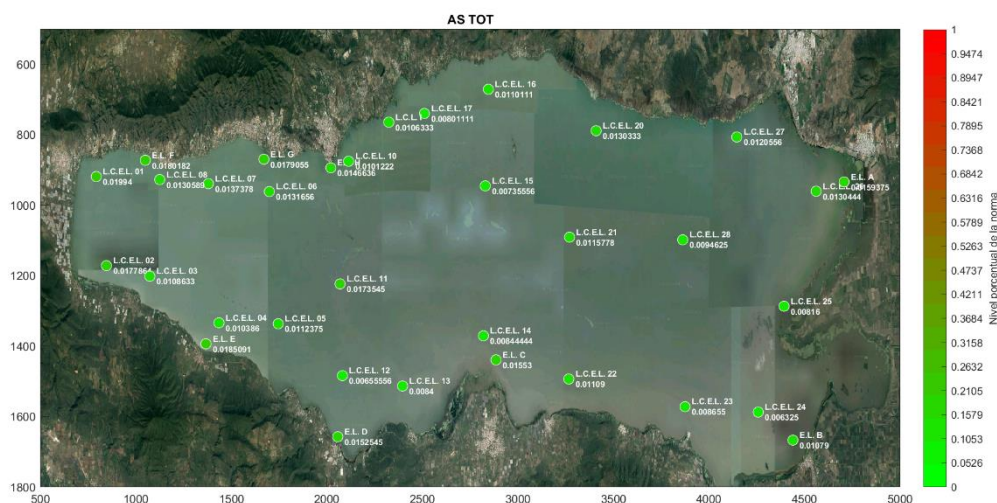


Figura 69. Concentraciones de AS_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

Las concentraciones promedio de Arsénico Total de todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala se presentan considerablemente menores a lo establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996, ya que todas se muestran en color verde claro.

3.2.2 Distribución geográfica del COLI_FEC con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Coliformes Fecales y el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) ' que se encuentra 1000 NPM/100mL, se presenta en la Figura 70.

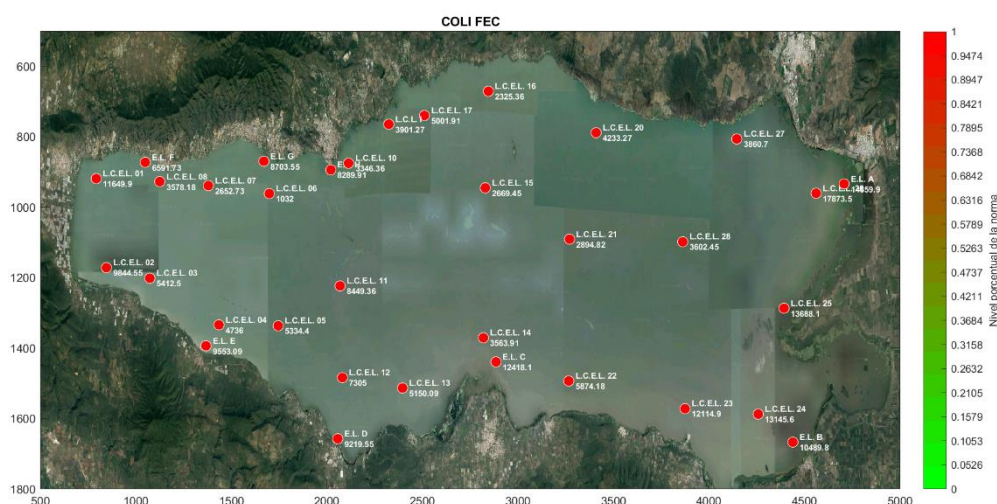


Figura 70. Concentraciones de COLI_FEC con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

En esta figura, es posible apreciar que todas las estaciones de monitoreo del Lago de Chapala, han detectado en promedio, valores que sobrepasan a lo establecido según la norma en cuestión. Es importante mencionar que esta norma sirve de referencia con relación a los valores máximos permitidos de compuestos que pueden tener las aguas residuales que se descargan en el Lago. En ese sentido, y al observar los resultados del análisis sobre Coliformes Fecales, es evidente que la norma no se ha cumplido en lo que respecta a las descargas, pues, a pesar de que la medición de concentraciones suele ser compleja al depender del volumen de agua donde es disuelto, estos promedios dan cuenta de que el Lago de Chapala tiene Coliformes Fecales en concentraciones muy superiores a todas las normas de referencia.

3.2.3 Distribución geográfica del CR_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de Cromo Total y el LMP establecido por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) , mismo que se encuentra en 0.5 mg/L se presenta en la Figura 71.

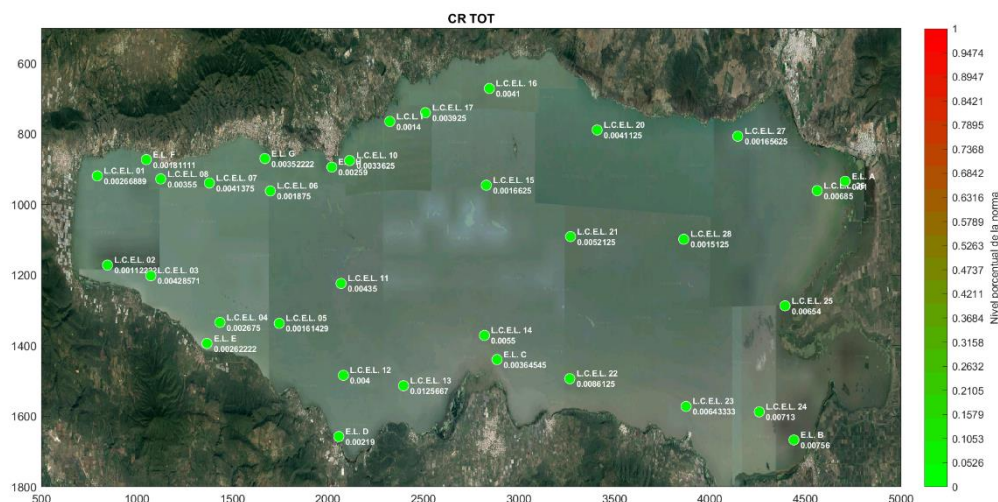


Figura 71. Concentraciones de CR_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

Para el caso de las concentraciones promedio de Cromo Total, ninguna estación de monitoreo demuestra concentraciones cercanas al LMP establecido por la norma en cuestión.

3.2.4 Distribución geográfica del DBO_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)' mismo que se encuentra en 30 mg/L se presenta en la Figura 72.

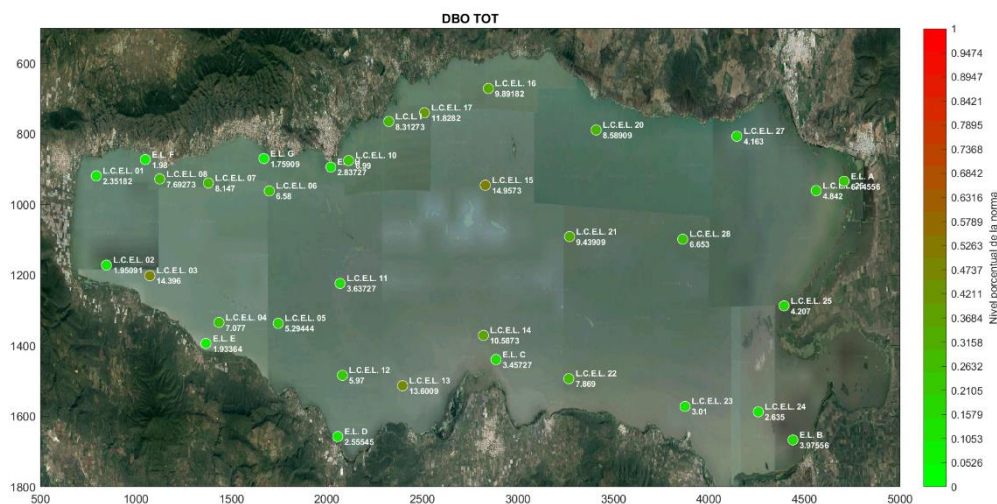


Figura 72. Concentraciones de DBO_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

Las concentraciones promedio de DBO de todas las estaciones de monitoreo dentro del Lago de Chapala se encuentran en el espectro del color verde, indicando que la DBO dentro del Lago sí respeta el LMP establecido por la norma en cuestión principalmente para la protección de la vida acuática.

3.2.5 Distribución geográfica del E_COLI con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de *Escherichia Coli* y el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) que se encuentra en 1000 NPM/100mL se presenta en la Figura 73.



En el caso de los promedios por estación de E_COLI, la Figura 73 demuestra claramente que aquellas estaciones cercanas a la periferia del Lago, son las que se encuentran cercanas o superan el LMP establecido para las descargas de aguas residuales y la protección de la vida acuática. Existen algunas otras estaciones que se encuentran en el espectro del verde-café, y las demás en el tono de verde que indica concentraciones promedio bajas con relación a la norma en cuestión.

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Mercurio Total y el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) cuyo valor es de 0.005 mg/L se presenta en la Figura 74.

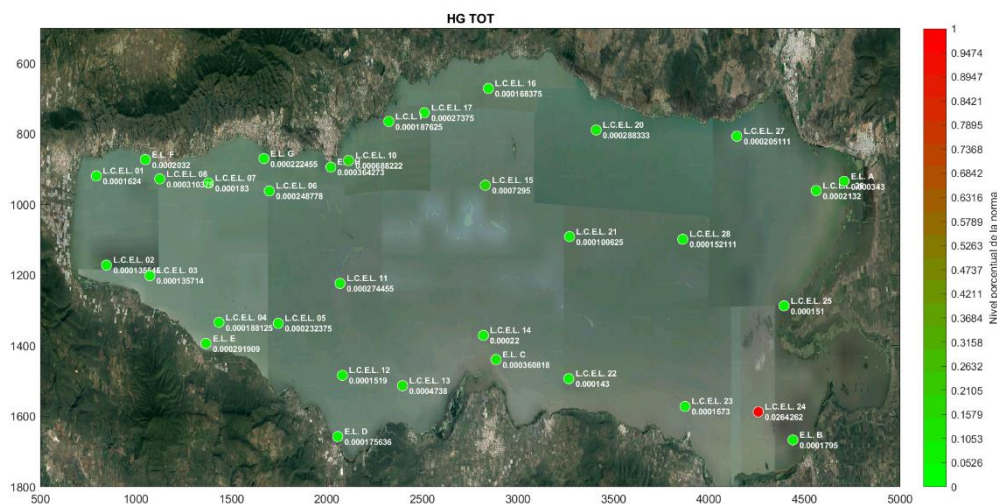


Figura 74. Concentraciones de HG_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

Todas las estaciones de monitoreo se encuentran dentro del LMP en cuestión y muy por debajo de éste, a excepción de una única estación, que según el presente análisis supera lo establecido según la NOM-001-SEMARNAT-1996, indicando de este modo que también supera las otras normas de referencia, pues la Norma 001 es más laxa al tratarse únicamente de concentración de Mercurio en descargas de aguas residuales. En ese sentido se reitera la interpretación de que se trató de una descarga puntual que coincidió con el día del muestreo.

3.2.7 Distribución geográfica del N_TOT con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Nitrógeno Total y el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) que se encuentra en 15 mg/L, se presenta en la Figura 75.

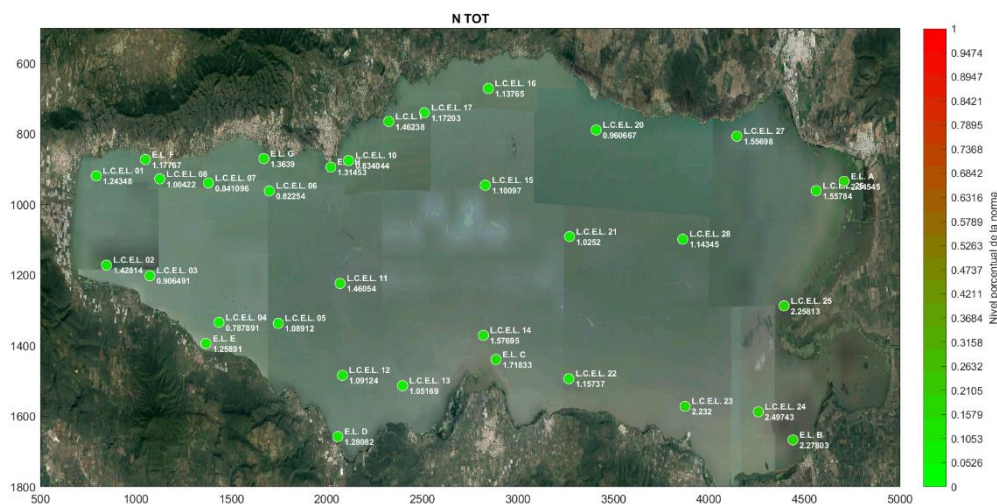


Figura 75. Concentraciones de N_{TOT} con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

Las concentraciones promedio de Nitrógeno Total se encuentran muy por debajo de lo que establece la norma en cuestión: todas las estaciones de monitoreo dentro del Lago de Chapala se encuentran coloreadas en color verde claro.

3.2.8 Distribución geográfica del P_{TOT} con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Fósforo Total y el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.), que se encuentra en 5 mg/L se presenta en la Figura 76.

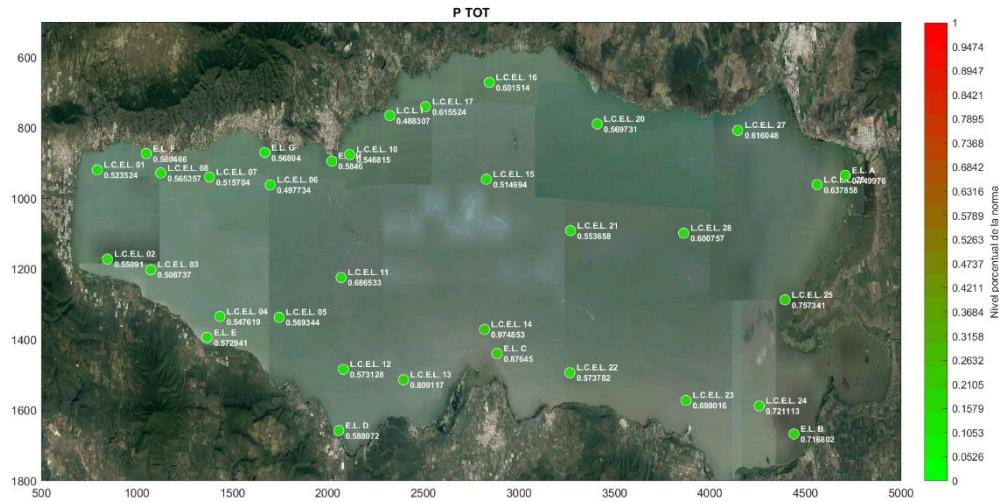


Figura 76. Concentraciones de P_{TOT} con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

Las concentraciones promedio de Fósforo Total se encuentran muy por debajo de lo que establece la norma en cuestión: todas las estaciones de monitoreo dentro del Lago de Chapala se encuentran coloreadas en color verde claro.

3.2.9 Distribución geográfica del PB_{TOT} con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Plomo Total y el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.), que se encuentra en 0.2 mg/L se presenta en la Figura 77.

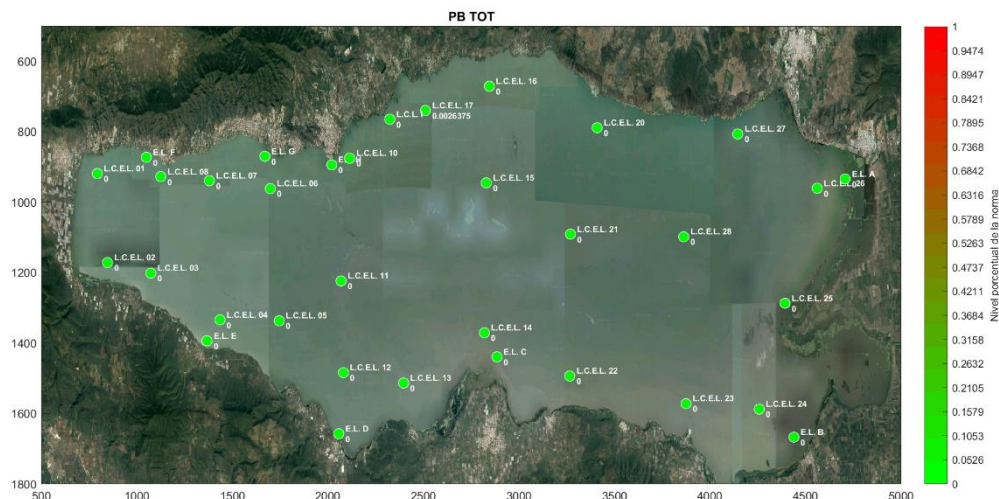


Figura 77. Concentraciones de PB_{TOT} con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

Las concentraciones promedio de Plomo Total se encuentran muy por debajo de lo que establece la norma en cuestión: todas las estaciones de monitoreo dentro del Lago de Chapala se encuentran coloreadas en color verde claro.

3.2.10 Distribución geográfica del SST con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.) ‘

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de los Sólidos Suspendedos Totales y el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.), que se encuentra en 40 mg/L, se muestra en la Figura 78.

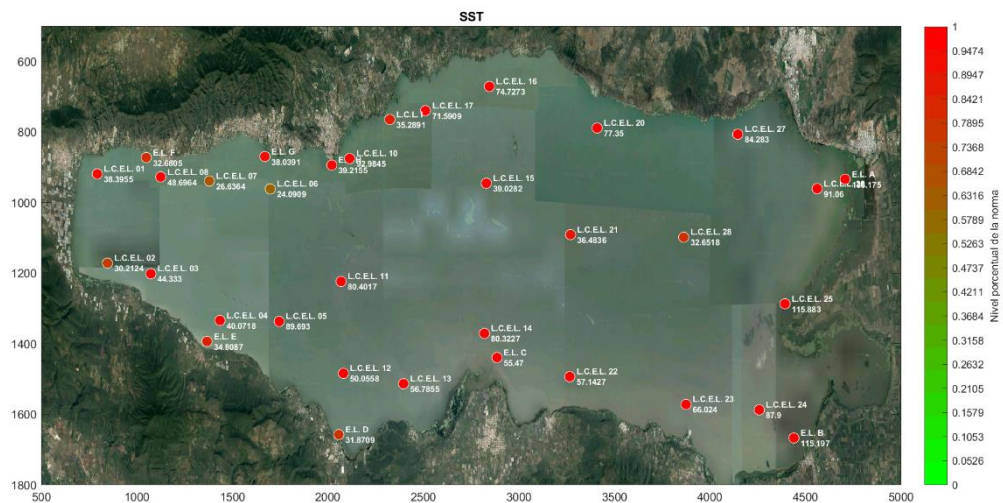


Figura 78. Concentraciones de SST con referencia en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Protección vida acuática (P.M.)

Casi todas las estaciones de monitoreo localizadas dentro del Lago de Chapala han mostrado concentraciones promedio que se encuentran fuera de la norma en cuestión; solamente las concentraciones promedio de dos estaciones de monitoreo, localizadas en la zona noroeste del Lago, se encuentran dentro de lo que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996.

3.3 Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud 2017

Las Guías para la calidad del agua potable, realizadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), tienen como objetivo ser un referente para el cuidado y la protección de la salud pública a través de recomendaciones sobre el manejo de los riesgos que puedan comprometer la seguridad del agua potable. En ese sentido, la OMS sí establece claramente que su prioridad se centra en la preservación de la salud pública, contrario a las otras normas que se enfocan únicamente en el cuidado de la calidad del agua y la prevención de enfermedades. Las referencias establecidas según la OMS sólo se encuentran disponibles para 9 de los 18 parámetros prioritarios analizados: Arsénico, Coliformes Fecales, Cromo Total, *Escherichia Coli*, Mercurio, Nitritos, Nitratos, Plomo y Sólidos Disueltos Totales.

La Figura 79, muestra una matriz que concentra el resumen de las concentraciones promedio de cada estación de monitoreo de todos los parámetros prioritarios que cuentan con una referencia de las guías para la calidad del agua potable de la OMS. La escala de colores indica el porcentaje de cumplimiento del valor establecido por la OMS. Es decir, un valor cercano a 1 (color amarillo) indica que el valor promedio del parámetro se encuentra en el valor permitido o lo sobrepasa. Un porcentaje cercano a cero (morado), indica que la concentración o nivel promedio del parámetro es muy por debajo del valor máximo permitido. El color blanco significa que el valor máximo permitido se sobrepasó considerablemente (mayor a 1000% sobre el valor máximo permitido).

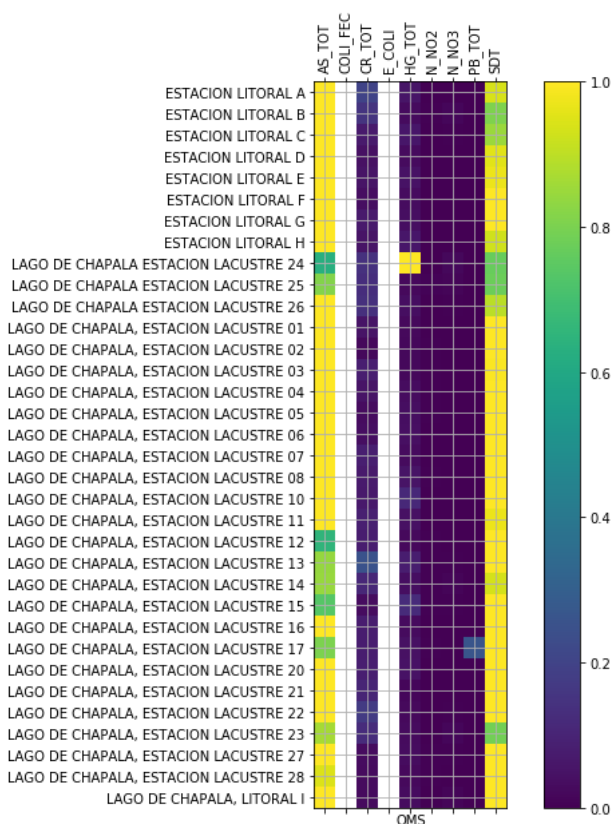


Figura 79. Resumen de comparaciones de las concentraciones promedio de ciertos parámetros prioritarios por estación de monitoreo contra los valores establecidos por la OMS

En este caso, tomando como referencia lo establecido según la OMS, los parámetros Arsénico Total, Coliformes Fecales, *Escherichia Coli* y Sólidos Disueltos Totales se encuentran por encima o cercanos al valor máximo recomendado en todas las estaciones de monitoreo dentro del Lago de Chapala.

Además, la esta estación 'LAGO DE CHAPALA ESTACION LACUSTRE 24' supera el nivel recomendado de Mercurio, al igual que con las referencias pasadas. Según la escala de colores, el verde indica que esta por alcanzarse el valor de referencia. En el caso del Sólidos Disueltos Totales, más de la mitad de las estaciones se encuentran por encima de lo recomendado según la OMS, y las que están por debajo de la referencia están muy cercanas a superarla.

A continuación, se presentan las representaciones geográficas de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del Lago de Chapala, coloreadas en función del porcentaje del nivel máximo recomendado y establecido por la OMS. La escala de colores de estos gráficos se encuentra entre los valores 0 y 1. Cuando el valor es muy cercano a 1 (color rojo) indica que el nivel promedio del parámetro se encuentra 'sobre' o 'muy cerca' del límite recomendado. Cualquier valor que sobrepase el valor recomendado por la OMS se coloreará de color rojo. Si el color tiende a verde, significa que la concentración o nivel de ese parámetro se encuentra dentro o muy por debajo del límite recomendado. El color blanco o transparente significa que el valor máximo permitido se sobrepasó considerablemente (mayor a 1000% sobre el valor máximo permitido).

3.3.1 Distribución geográfica del AS_TOT con referencia en las guías de agua potable de la OMS

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación entre las concentraciones promedio de Arsénico Total, y el valor recomendado por la OMS, que se encuentra en 0.01 mg/L se muestra en la Figura 80.

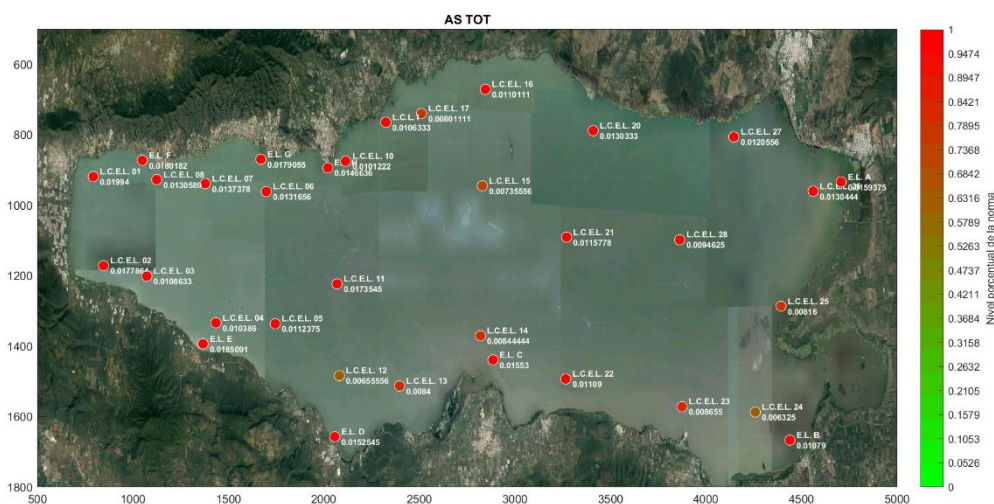


Figura 80. Concentraciones de AS_TOT con referencia en la norma OMS.

A pesar de que las concentraciones promedio por estación de monitoreo de Arsénico se encuentran por debajo de las normativas mexicanas, según la Figura 80 solamente dos estaciones mantienen concentraciones promedio por debajo, pero muy cercanas, de la referencia de la OMS.

3.3.2 Distribución geográfica del COLI_FEC con referencia en las guías de agua potable de la OMS

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de Coliformes Fecales, y el valor recomendado por la OMS, que se encuentra en 0 NMP/100 mL se presenta en la Figura 81.

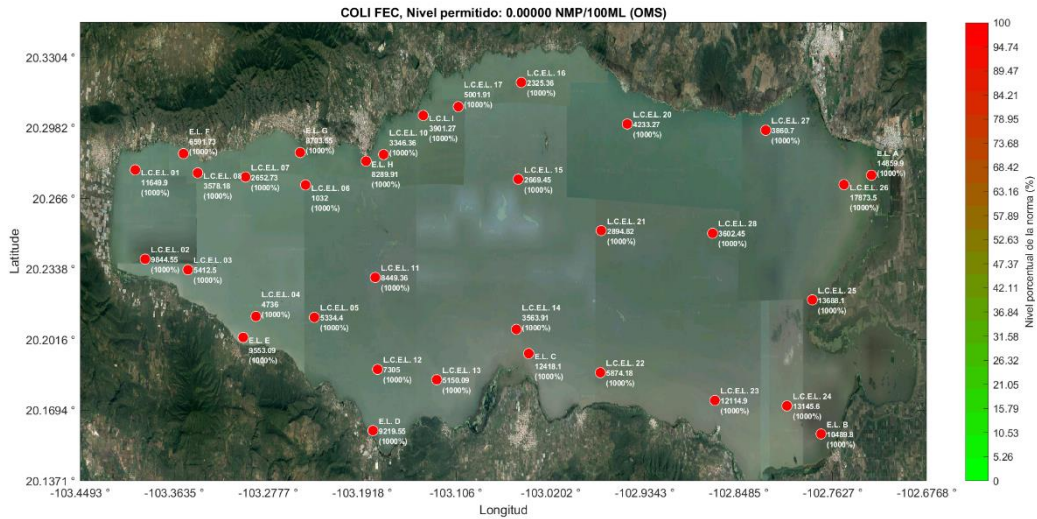


Figura 81. Concentraciones de COLI_FEC con referencia en la norma OMS.

Todas las estaciones de monitoreo han presentado concentraciones promedio que superan lo establecido según la OMS, según la Figura 81.

3.3.3 Distribución geográfica del CR_TOT con referencia en las guías de agua potable de la OMS

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de Cromo Total, y el valor recomendado por la OMS, que se encuentra en 0.05 mg/L se presenta en la Figura 82.

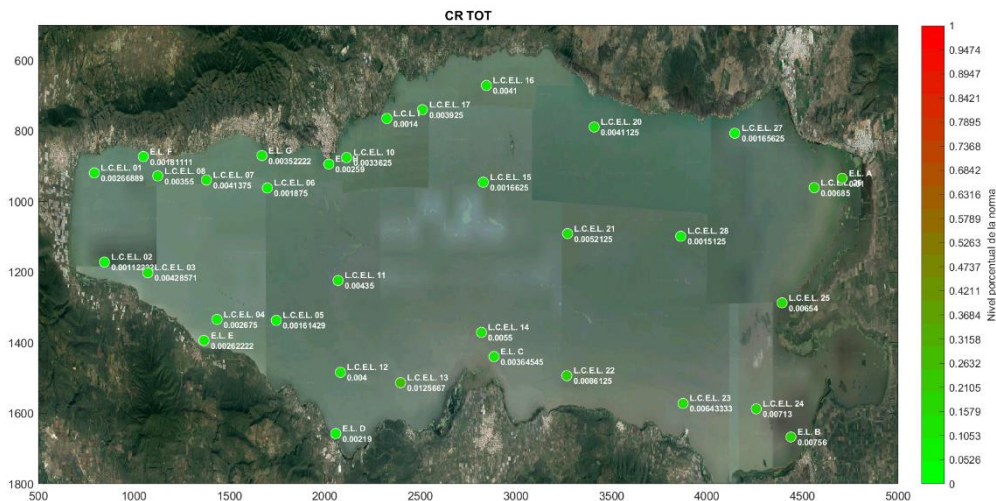


Figura 82. Concentraciones de CR_TOT con referencia en la norma OMS.

En la Figura 82 es posible apreciar que ninguna estación de monitoreo ha presentado concentraciones promedio superiores a lo recomendado por la OMS.

3.3.4 Distribución geográfica del E_COLI con referencia en las guías de agua potable de la OMS

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de *Escherichia Coli*, y el valor recomendado por la OMS, que se encuentra en 0 NMP/100 mL se presenta en la Figura 83.

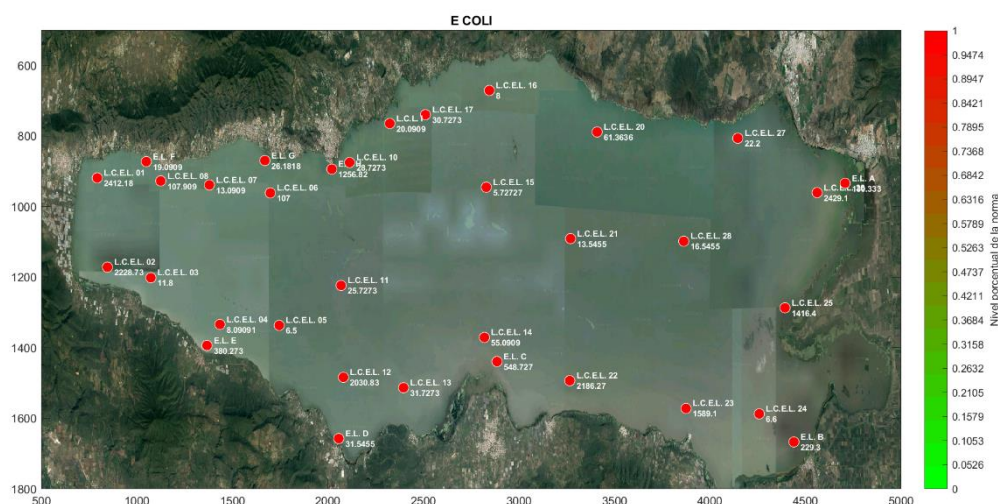


Figura 83. Concentraciones de *E. coli* con referencia en la norma OMS.

3.3.5 Distribución geográfica del HG_TOT con referencia en las guías de agua potable de la OMS

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de Mercurio Total y el valor recomendado por la OMS, que se encuentra en 0.006 mg/L se presenta en la Figura 84.

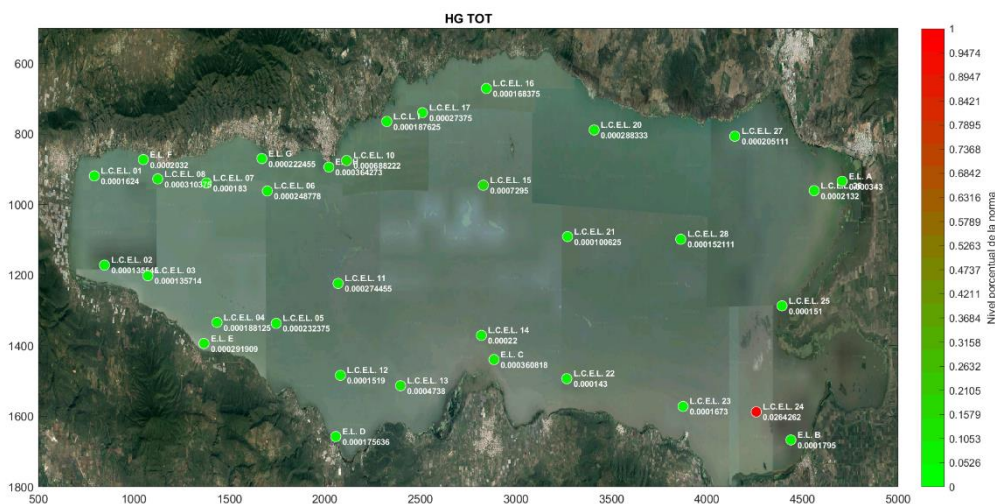


Figura 84. Concentraciones de HG_TOT con referencia en la norma OMS.

Nuevamente se refleja a través de la Figura 84, que la misma estación de monitoreo para el caso de las dos referencias anteriores, presenta una concentración promedio superior a lo recomendado por la OMS.

3.3.6 Distribución geográfica del N_NO2 con referencia en las guías de agua potable de la OMS

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de Nitritos, y el valor recomendado por la OMS, que se encuentra en 3 mg/L se presenta en la Figura 85.

La distribución geográfica del N_NO2 donde se compara con el nivel establecido por la norma OMS se muestra en la figura siguiente. Este nivel permitido se encuentra en 3 mg/L.

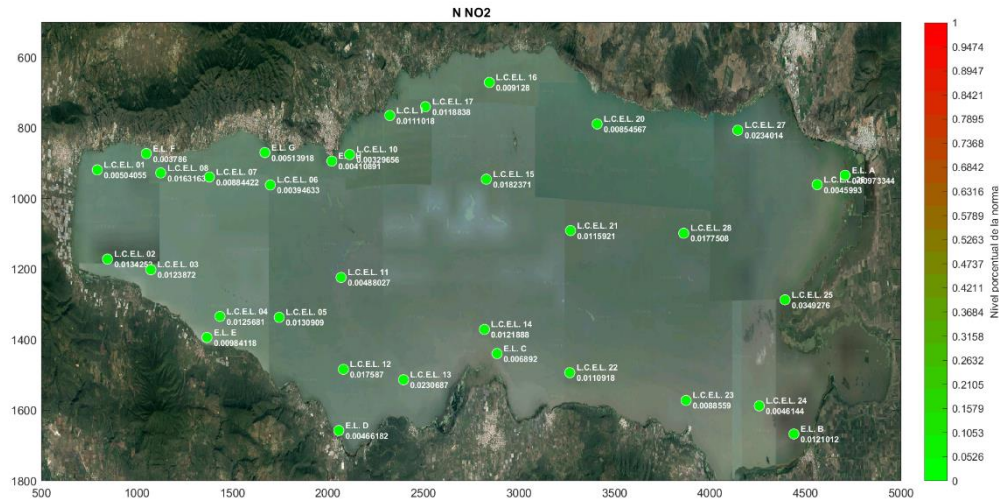


Figura 85. Concentraciones de N_NO_2 con referencia en la norma OMS.

En el caso de los Nitritos, ninguna estación de monitoreo ha presentado concentraciones promedio que superen el límite establecido y recomendado por la OMS.

3.3.7 Distribución geográfica del N_NO_3 con referencia en las guías de agua potable de la OMS

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de Nitrato, y el valor recomendado por la OMS, que se encuentra en 50 mg/L se presenta en la Figura 86.

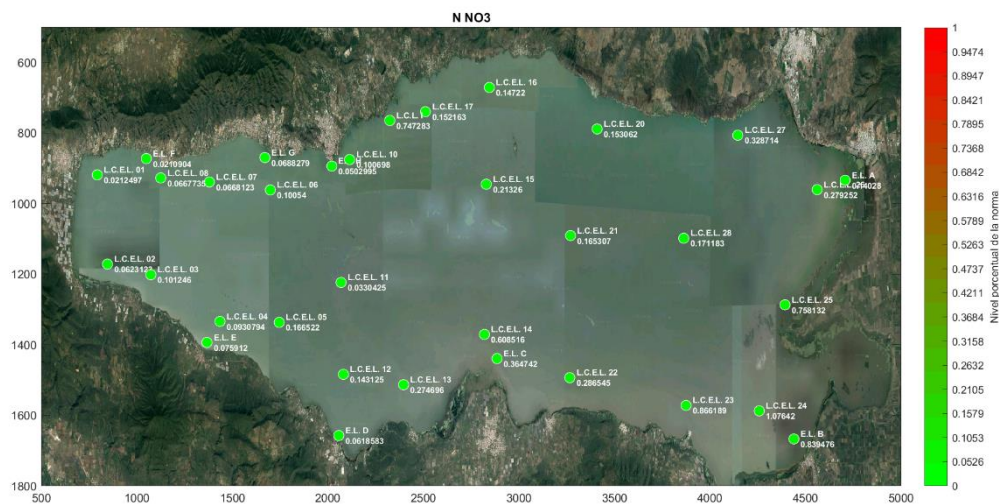


Figura 86. Concentraciones de N_NO_3 con referencia en la norma OMS.

Dentro del Lago de Chapala, ninguna estación de monitoreo ha mostrado concentraciones promedio que superen lo recomendado por la OMS.

3.3.8 Distribución geográfica del PB_ con referencia en las guías de agua potable de la OMS

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de Plomo Total, y el valor recomendado por la OMS, que se encuentra en 0.01 mg/L se presenta en la Figura 87.

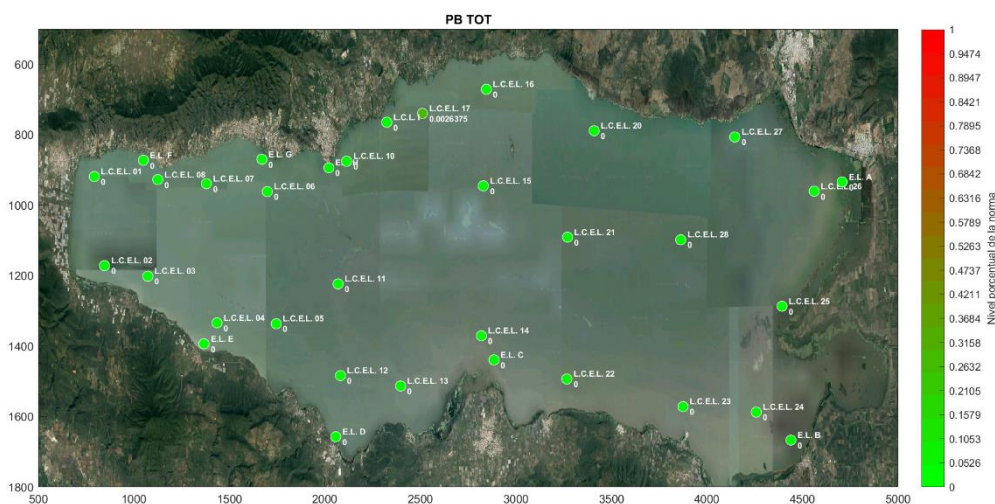


Figura 87. Concentraciones de PB_TOT con referencia en la norma OMS.

Las concentraciones promedio de Plomo Total que se han detectado en los muestreos realizados en las estaciones de monitoreo no superan lo recomendado por la OMS.

3.3.9 Distribución geográfica del SDT con referencia en las guías de agua potable de la OMS

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y la relación con las concentraciones promedio de los Solidos Disueltos Totales, y el valor recomendado por la OMS, que se encuentra en 600 mg/L se presenta en la Figura 88.

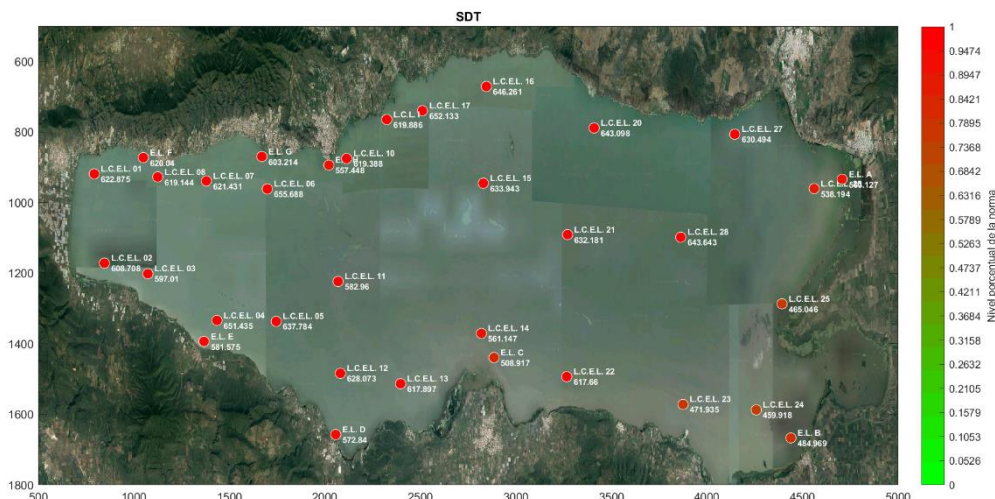


Figura 88. Concentraciones de SDT con referencia en la norma OMS.

Para el caso de los Sólidos Disueltos Totales, todas las estaciones de monitoreo dentro del Lago de Chapala se muestran en color rojo, indicando así, que han tenido en promedio, concentraciones mayores a los 600 mg/L recomendados por la OMS.

4 Conclusiones.

Los resultados arrojados dieron cuenta de que en todas las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del Lago de Chapala se han detectado los parámetros prioritarios analizados, a excepción del plomo. Esta deducción surge a raíz de que el valor promedio mínimo de cada parámetro por estación ha sido mayor a cero. En el caso del Plomo el valor promedio mínimo de más de una estación de monitoreo sí fue de 0 mg/L. La interpretación que se da a esta cuestión en específico es meramente cualitativa (hay o no hay), mas no cuantitativa (cuánto de cada uno hay), pues al definir que sí se ha detectado la presencia de estos compuestos, es necesario seguir con la pregunta ¿cómo llego aquí?.

Gracias a las figuras presentes en este análisis sobre la distribución geográfica de las estaciones de monitoreo y las concentraciones promedio visualizadas con la escala de colores, se puede identificar claramente la correlación entre las concentraciones promedio máximas de los parámetros prioritarios y su ubicación. En ese sentido cabe destacar que las estaciones ubicadas en la periferia del Lago de Chapala evidentemente son las que en términos generales presentaron los promedios más elevados en gran parte de los parámetros. Así mismo, las estaciones ubicadas en la zona noreste del lago han demostrado tener concentraciones promedio elevadas para los parámetros Coliformes Fecales, *E-Coli*, Arsénico, Cromo, Nitrógeno Orgánico, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Nitrógeno Total; las estaciones ubicadas en la zona sureste del Lago resultaron tener promedios elevados para Coliformes Fecales, Mercurio, Nitrógeno en forma de Nitrógeno Amoniacal, Nitratos y Nitritos, Cromo y Sólidos Suspendidos Totales; las estaciones ubicadas en la zona oeste en general presentan concentraciones promedio elevadas para los parámetros Arsénico, Coliformes Fecales y *E-Coli*, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Cromo; para la parte norte del Lago, las estaciones

de monitoreo presentaron concentraciones elevadas de DBO, DQO y Plomo, mientras que las estaciones de monitoreo de la zona sur, identificaron Coliformes Fecales, *E-Coli*, Cromo y Fósforo.

Además, a pesar de que las concentraciones promedio por estación de muchos de estos parámetros cumplen con la normatividad nacional, no lo hacen para los estándares de la OMS por ejemplo, el promedio global de Arsénico es de 0.0125 mg/L, y supera los 0.01 mg/L establecido por la OMS, además la mayoría de las concentraciones promedio por estación también lo hacen, sin embargo, cumplen con la norma para agua potable NOM-127-SSA1-1994, cuyo límite es de 0.05 mg/L, por lo que para la regulación mexicana, no sería necesario incorporar procesos para su remoción dentro de las plantas potabilizadoras.

Para el caso de Coliformes Fecales y E-Coli, las concentraciones promedio resultaron de 7,048.5 NMP/ 100 mL y 516.5 NMP/100mL respectivamente, siendo que la norma para agua potable nacional y por la OMS especifican que el agua no debería de tener en ninguna concentración de ninguna de las dos, lo que implica que se realizan descargas de aguas negras al Lago de Chapala sin un tratamiento eficiente, y que además indica que el Lago de Chapala per se, no es apto para consumo humano.

Con relación a los resultados relacionados con Cromo, Mercurio y Plomo, ninguno presenta concentraciones promedio superiores a las normas de referencia, sin embargo, para el caso de Mercurio y Plomo se identificaron muestreos puntuales que sobrepasan las normas para agua potable (nacional y OMS). Además, tanto Cromo como Mercurio, han sido detectados en todas las estaciones de monitoreo, al menos una vez, durante el periodo de medición establecido, por su parte, el Plomo, como ya se mencionó, es el único parámetro que presenta promedios de 0.00 mg/L para algunas estaciones de monitoreo, sin embargo, sí se identifica esta descarga puntual que supera las normas de agua potable. Es importante mencionar que dada la naturaleza de estos elementos y los diversos compuestos que forman, una vez en el Lago pueden transformarse en sedimentos o incorporarse al ecosistema de otra manera.

Los parámetros DQO, DBO, SST y SDT, junto con las Coliformes Fecales, son indicadores que la CONAGUA utiliza dentro del SINA para definir la calidad de los cuerpos superficiales de toda la Nación. La DQO demostró tener un promedio global de 46.92 mg/L, por lo que se clasifica como “contaminada”, el promedio por estación mínimo se encuentra en 34.036 mg/L, cercano al límite, pero aún calificada como “aceptable” y el promedio máximo para una estación resultó de 84.74 mg/L, y se encuentra como “contaminada” también. Además, ciertos muestreos puntuales resultaron mayores a 200 mg/L, indicando que, en esa zona, el agua se encuentra “fuertemente contaminada”. Según los resultados obtenidos para la DBO, el Lago de Chapala se ha mantenido en el rango de “aceptable”, solo después de la clasificación “buena calidad” y antes de “contaminada”. Para los SST, según el SINA se mantiene también en “aceptable”, sin embargo en este caso, la NOM-001-SEMARNAT-1996 establece un límite máximo permisible de 40 mg/L, mismo que no es cumplido por el promedio global, al ser de 60 mg/L. Finalmente para estos indicadores, los SDT indican que el agua del Lago de Chapala es “dulce”, sin embargo, se encuentran muy cercano, o incluso rebasando lo establecido por la OMS, ya que ésta propone un máximo de 600 mg/L, y el promedio global es de 594.76 mg/L, y un promedio máximo por estación de 655.7 mg/L.

Finalmente quedan los parámetros que se identifican como “nutrientes” pues son diversas formas de Nitrógeno y de Fósforo; el exceso de estos nutrientes en cuerpos de aguas provoca la

eutrofización, problema que causa la proliferación de algas y plantas, que deriva en pérdida de Oxígeno y luz, vital para el desarrollo de la vida acuática. En este caso, los promedios globales de las diversas formas de Nitrógeno y de Fósforo no sobrepasan los límites establecidos, (en caso de que aplique), sin embargo, existen muestreos puntuales de Nitrógeno Amoniacal y Nitritos que están por encima de los límites máximos permitidos. El Lago de Chapala históricamente ha tenido problemas con la proliferación del Lirio, además, últimamente los habitantes de la ribera de Chapala comentan que han sido testigos de lo que ellos llaman “Bloom de algas”, que son detonaciones de color verde que se dan dentro del Lago, y que son causados por el exceso de fertilizantes que se depositan en este cuerpo de agua.

El presente reporte analiza información generada por la misma Conagua, abona a la comprensión sobre la presencia de estos compuestos en el agua, y da pie a realizar análisis posteriores sobre las fuentes de emisión y los impactos puntuales que pueden resultar del aumento o la disminución de estos compuestos ya sea tanto en la salud de los ecosistemas, de asentamientos humanos o actividades económicas que se soportan en las dinámicas de la cuenca a la que pertenece el Lago de Chapala.