



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

T É S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

**“EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA, EN EL
LAGO DE XOCHIMILCO”**

Presenta: Karina Núñez Altamirano

Director de tesis: Biol. Raúl Arcos Ramos



**F E S
ZARAGOZA**

KARINA NÚÑEZ ALTAMIRANO

Ciudad de México 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A mi Asesor Biólogo Raúl Arcos Ramos, gracias por guiarme en este proceso, así como brindarme sus consejos para mi crecimiento personal.

Con agradecimiento a mis padres, Erika Altamirano Palacios y Elin Miguel Ángel Vázquez por haberme brindado las bases para lograr mis sueños, enfrentar la vida con firmeza, entereza, optimismo y sobre todo haberme brindado amor incondicional.

A mis hermanos, gracias por formar parte de mi vida, espero poder apoyarlos para seguir creciendo.

A mis amigos, por motivarme a seguir adelante, aunque las circunstancias fueran adversas.

A mis hijos Sarah y Noah, gracias por ser parte de mí, ser mi mayor motivación. Espero poder ser un buen ejemplo y brindarles el apoyo que requieran.

Y finalmente a mi compañero, amigo y esposo Israel Santamaría Alarcón, gracias por tu incondicional apoyo, tolerancia, paciencia y amor. Éste logro es de ambos.

Dedico mi trabajo y esfuerzo, a mis hijos y a mi esposo.

Índice de Contenido

I. “EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA, EN EL LAGO DE XOCHIMILCO”	1
Índice de Ilustraciones.....	6
Índice de Fotografías	6
Índice de Gráficas	7
Índice de Mapas	9
Índice de Tablas.....	10
Indice de Anexos.....	10
II. Resumen.....	11
III. Introducción.....	12
IV. Marco teórico.....	14
1.1. Cuenca	17
1.2. Lagos.....	18
1.3. Características físicas, químicas y calidad del agua.....	20
1.3.1. Transparencia	21
1.3.2. Sólidos.....	22
1.3.3. Temperatura.....	23
1.3.4. pH.....	24
1.3.5. Alcalinidad	25
1.3.6. Salinidad	25
1.3.7. Oxígeno disuelto.....	25
1.3.8. Carbono inorgánico	26
1.3.9. Materia orgánica	27
1.3.10. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).....	27
1.3.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	28
1.3.12. Nutrimentos.....	28
1.3.13. Producción primaria	32
1.3.14. Productividad primaria	33
V. Antecedentes históricos	39
VI. Problemática	45
VII. Justificación	46
VIII. Objetivos	47
1.1. Objetivo general	47

1.2.	Objetivos particulares.....	47
IX.	Hipótesis	48
X.	Zona de estudio	49
1.	Fisiografía.....	50
2.	Clima	51
3.	Geología.....	52
4.	Suelo	53
5.	Hidrografía	54
6.	Uso de suelo	55
7.	Área natural protegida	56
8.	Flora.....	58
9.	Fauna	59
10.	Diagnóstico de la Alcaldía Xochimilco	60
XI.	Método.....	65
1.	TRABAJO DE CAMPO.....	66
2.	TRABAJO DE LABORATORIO	72
3.	TRABAJO DE GABINETE.....	76
XII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
	Profundidad.....	78
	Transparencia.....	80
	Temperatura	83
	Oxígeno disuelto	84
	Bióxido de Carbono disuelto	87
	pH 90	
	Potencial de oxido reducción.....	91
	Alcalinidad	92
	Salinidad 94	
	Conductividad	96
	Sólidos Totales	97
	DBO ₅ 98	
	DQO 102	
	Amonio 104	
	Nitratos 105	

Nitritos	106
Fosforo total.....	108
Fosfatos	110
Productividad bruta técnica simplificada.....	113
Productividad bruta por el método de Winkler.....	114
Productividad neta por el método de Winkler.....	115
Respiración.....	117
Análisis de componentes principales de manera General.....	118
XIII. Conclusiones.....	122
XIV. Propuestas para mejora:.....	123
XV. Anexos.....	124
XVI. Bibliografía.....	131

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Situación de los recursos hídricos 2016.....	15
Ilustración 2 Grado de presión sobre el recurso hídrico, 2016.....	16
Ilustración 3 Estratificación térmica de lagos.....	19
Ilustración 4 Zonas de intensidad lumínica.....	22
Ilustración 5 Escala de pH.....	24
Ilustración 6 Ciclo del Nitrógeno.....	30
Ilustración 7 Pintura Xochimilco al final de siglo XIX.....	40
Ilustración 8 Problemas identificados por la PAOT en las unidades naturales relacionadas con el proceso de hundimiento regional que afecta a San Gregorio.....	57
Ilustración 9 Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella.....	63
Ilustración 10 Procedimiento de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella.....	63

Índice de Fotografías

Fotografía 1 Problemática en el lago de Xochimilco.....	45
Fotografía 2 Problemática en Asunción.....	46
Fotografía 3 Fotografía Aérea de Xochimilco.....	49
Fotografía 4 Descarga de agua Residual directa al Lago de Xochimilco.....	64
Fotografía 5 Sitiol de Cuemanco.....	66
Fotografía 6 Sitio II Asunción.....	67

Fotografía 7 Sitio III Texhuilo.....	68
Fotografía 8 Sitio IV Canal de Japón.....	68
Fotografía 9 Trabajando en campo	69
Fotografía 10 Multiparámetro HANNA HI9828-25	70
Fotografía 11 Disco de Secchi	71
Fotografía 12 Botellas para DBO5	73
Fotografía 13 Demanda química de Oxígeno Disuelto	73
Fotografía 14 Análisis de nitrógeno amoniacal.....	74
Fotografía 15 Análisis de nitratos.....	74
Fotografía 16 material listo para campo (botellas claras y oscuras)	76

Índice de Gráficas

Gráfica 1 Diagrama de cajas múltiples para la profundidad del Lago Xochimilco por punto de monitoreo	79
Gráfica 3 Diagrama de cajas múltiples para la profundidad del Lago de Xochimilco.	79
Gráfica 2 Profundidad de Cuemanco en el tiempo	79
Gráfica 4 Profundidad de Asunción en el tiempo	79
Gráfica 5 Profundidad de Canal de Japón	80
Gráfica 6 Profundidad de Texhuilo en el tiempo	80
Gráfica 7 Diagrama de cajas múltiples para la transparencia del Lago Xochimilco por punto de monitoreo.....	81
Gráfica 8 Diagrama de cajas múltiples para la transparencia del Lago de Xochimilco a lo largo del tiempo.....	81
Gráfica 9 Transparencia en Cuemanco a lo largo del tiempo	82
Gráfica 10 Transparencia en Asunción a lo largo del Tiempo	82
Gráfica 11 Transparencia de Texhuilo en el tiempo	82
Gráfica 12 Transparencia de Canal de Japón en el Tiempo	82
Gráfica 13 Diagrama de cajas múltiples para la temperatura del Lago de Xochimilco por punto de monitoreo	83
Gráfica 14 Diagrama de cajas múltiples para la temperatura del Lago de Xochimilco a lo largo del tiempo	84
Gráfica 15 Diagrama de cajas múltiples para el Oxígeno disuelto del Lago de Xochimilco por punto de monitoreo	85
Gráfica 16 Diagrama de cajas múltiples para el oxígeno disuelto del lago de Xochimilco a lo largo del tiempo	85
Gráfica 17 Diagrama de cajas múltiples para el oxígeno disuelto del Lago de Xochimilco a dos niveles.....	86
Gráfica 18 Oxígeno disuelto de Cuemanco en el tiempo.....	86
Gráfica 19 Oxígeno disuelto de Asunción en el tiempo.....	86
Gráfica 20 Oxígeno disuelto de Texhuilo en el tiempo	87

Gráfica 21 Oxígeno disuelto Canal de Japón en el tiempo.....	87
Gráfica 22 Diagrama de cajas múltiples para el Bióxido de Carbono disuelto del Lago de Xochimilco por punto de monitoreo	88
Gráfica 23 Diagrama de cajas múltiples para el Dióxido de Carbono del Lago de Xochimilco a lo largo del tiempo	89
Gráfica 24 Dióxido de carbono Cuemanco en el tiempo	89
Gráfica 25 Dióxido de carbono Asunción en el tiempo.....	89
Gráfica 26 Dióxido de carbono Texhuilo en el tiempo.....	89
Gráfica 27 Dióxido de carbono Canal de Japón	90
Gráfica 28 Diagrama de cajas múltiples para el pH disuelto del Lago de Xochimilco por punto de monitoreo..	91
Gráfica 29 Diagrama de cajas múltiples para el pH del Lago Xochimilco a través del tiempo	91
Gráfica 30 Diagrama de cajas múltiples para el potencial de oxido-reducción del Lago Xochimilco por punto de monitoreo	92
Gráfica 31 Diagrama de cajas múltiples para la alcalinidad del Lago Xochimilco por punto de monitoreo.....	93
Gráfica 32 Alcalinidad de Cuemanco en el tiempo	93
Gráfica 33 Alcalinidad de Asunción en el tiempo.....	94
Gráfica 34 Alcalinidad de Texhuilo en el tiempo.....	94
Gráfica 35 Alcalinidad de Canal de Japón en el tiempo	94
Gráfica 36 Diagrama de cajas múltiples para la salinidad en el Lago de Xochimilco por punto de monitoreo...	95
Gráfica 37 Diagrama de cajas múltiples para la salinidad del Lago Xochimilco a través del tiempo.....	95
Gráfica 38 Diagrama de cajas múltiples para la conductividad del Lago Xochimilco por punto de monitoreo ..	96
Gráfica 39 Diagrama de cajas múltiples para la conductividad del Lago Xochimilco a través del tiempo.	97
Gráfica 40 Diagrama de caja y bigote de sólidos disueltos totales, a través del tiempo.....	97
Gráfica 41 Diagrama de caja y bigotes de sólidos disueltos totales, a dos niveles.....	98
Gráfica 42 Diagrama de cajas múltiples para DBO5, por punto de monitoreo	99
Gráfica 43 Diagrama de cajas múltiples para la DBO5, a través del tiempo.....	100
Gráfica 44 Representación de DBO5, por punto de monitoreo a través del tiempo.....	100
Gráfica 45 DBO5 Cuemanco en el tiempo.....	100
Gráfica 46 DBO5 Asunción en el tiempo	101
Gráfica 47 DBO5 Texhuilo en el tiempo	101
Gráfica 48 DBO5 Canal de Japón en el tiempo.....	101
Gráfica 49 Diagrama de calas y bigotes para DQO por punto de monitoreo	102
Gráfica 50 Diagrama de cajas para DQO a través del tiempo	103

Gráfica 51 DQO de Cuemanco en el tiempo	103
Gráfica 52 DQO de Asunción en el tiempo	103
Gráfica 53 DQO Texhuilo a través del tiempo.....	104
Gráfica 54 DQO Canal de Japón en el tiempo	104
Gráfica 55 Diagrama de cajas para amonio del Lago Xochimilco por punto de monitoreo	105
Gráfica 56 Diagrama de cajas para los nitratos del Lago Xochimilco, por punto de monitoreo.....	106
Gráfica 57 Diagrama de cajas para nitritos, por punto de monitoreo	107
Gráfica 58 Diagrama de cajas para los nitritos, por punto de monitoreo.	108
Gráfica 59 Diagramas de cajas para fosforo total, por punto de monitoreo.....	109
Gráfica 60 Fosforo total en Cuemanco a través del tiempo	109
Gráfica 61 Fosforo total en Asunción a través del tiempo.....	110
Gráfica 62 Fosforo total en Texhuilo a través del tiempo.....	110
Gráfica 63 Fosforo total en Canal de Japón	110
Gráfica 64 Diagrama de cajas para fosforo total, por punto de monitoreo	111
Gráfica 65 Diagrama de cajas para fosfatos, a lo largo del tiempo	112
Gráfica 66 Diagramas de cajas para fosfatos a dos niveles.....	112
Gráfica 67 Diagrama de cajas de productividad bruta 24 hrs, en los puntos de monitoreo	113
Gráfica 68 Diagramas de cajas de productividad bruta 24 hrs, a lo largo del tiempo	114
Gráfica 69 Diagrama de cajas de productividad bruta Winkler, por puntos de monitoreo	114
Gráfica 70 Diagrama de cajas de productividad bruta Winkler a lo largo del tiempo	115
Gráfica 71 Diagrama de cajas de productividad neta Winkler en los sitios de muestreo	116
Gráfica 72 Diagrama de cajas de productividad Winkler a lo largo del tiempo.....	116
Gráfica 73 Diagrama de cajas de Respiración Winkler, a dos niveles.....	117
Gráfica 74 Diagrama de cajas de respiración Winkler a dos niveles.....	118
Gráfica 75 Graficas de componentes principales de manera General.....	119
Gráfica 76 Grafica de componentes principales en Cuemanco	127
Gráfica 77 Gráfica de componentes principales Asunción	128
Gráfica 78 Gráfica de componentes principales Texhuilo.....	129
Gráfica 79 Grafica de componentes principales Texhuilo.....	130

Índice de Mapas

Mapa 1 Mapa actual del Lago de Xochimilco.....	49
Mapa 2 Mapa de Relieve de Xochimilco	50

Mapa 3 Climas de Xochimilco	51
Mapa 4 Mapa Geológico	52
Mapa 5 Imagen que se muestra a la composición del suelo en la zona de Xochimilco	53
Mapa 6 Mapa hidrográfico.....	54
Mapa 7 Mapa de uso de Suelo.....	55
Mapa 8 Identificación espacio al de los factores de amenaza y la vulnerabilidad de los paisajes de San Gregorio	57
Mapa 9 Mapa Actual del Lago de Xochimilco (Asunción)	62
Mapa 10 Sitio II Asunción.....	67
Mapa 11 Sitio III Texhuilo.....	68
Mapa 12 Sitio IV Canal de Japón	68

Índice de Tablas

Tabla 1 Comparativa entre valores de pH, CO ₂ , HCO ₃ y CO ₃	27
Tabla 2 Localización de puntos de Muestreo.....	66
Tabla 3 Parámetros in situ.....	69
Tabla 4 Parámetros en laboratorio	72

Índice de Anexos

Anexos 1	124
Anexos 2	125
Anexos 3	126

Resumen

El deterioro de los sistemas acuáticos tiene implicaciones que van más allá de lo biológico, afectando rubros, sociales, sanitarios, económicos y estéticos. El lago de Xochimilco brinda varios servicios a los habitantes de la Delegación, es una zona de producción agrícola, áreas verdes y forestales, recreación esparcimiento, recarga de mantos acuíferos, además de ser un sitio donde varias prácticas comunitarias y religiosas se llevan a cabo. No obstante, lo anterior, el crecimiento demográfico, los cambios de uso de suelo de rural a urbano, la reducción de las fuentes naturales de recarga, así como las descargas clandestinas, han afectado negativamente la calidad del agua, disminuyendo su capacidad para auto depurarse.

Para poder entender la problemática, en el presente trabajo se realizaron muestreos mensuales durante ocho meses (febrero-noviembre 2014), en cuatro puntos de muestreo (Cuemanco, Asunción, Texhuilo y Canal de Japón) ubicados a lo largo del Lago de Xochimilco. Donde se evaluaron 28 parámetros físicos, químicos y biológicos. Los datos, fueron sometidos a un análisis estadístico mediante prueba-de Kruskall-Wallis y correlación de Pearson, Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Conglomerados (AC).

De los parámetros observados la DBO5 rebasó los límites máximos permisibles de la *NOM-003-ECOL-1997* (Agua residual para reúso), de igual manera conforme lo descrito en *SEMARNAT 2018* el cuerpo de agua estría clasificado como contaminado -fuertemente contaminado. El parámetro de DQO llegó a tener un comportamiento superior de los 200 mg/L, que son considerados como el indicador de aguas fuertemente contaminadas, conforme lo indica *SEMARNAT 2018*.

El análisis de conglomerados permitió clasificar el comportamiento de los parámetros, en dos zonas, Zona urbana y Zona agrícola. Siendo el sitio de Asunción, el más reductor de todos y mayormente contaminado, teniendo una relación directa entre la concentración de amonio, solidos totales y la descarga de aguas residuales. En la localidad de Texhuilo y Canal de Japón existió mayor productividad primaria, así como una mayor concentración de DBO5. Este trabajo resalta la importancia de conocer el contexto donde se encuentra el sistema acuático, ya que las actividades que lo rodean son un factor determinante en la eutrofización acelerada del sistema y es importante emitir propuestas de mejora basadas en estos 2 comportamientos generales.

Introducción

La supervivencia del hombre como especie se debe en parte al aprovechamiento de los recursos naturales; sin embargo, la falta de planeación y el desconocimiento de las posibles consecuencias de un mal aprovechamiento trajeron consigo la contaminación del ambiente natural. El recurso hídrico (necesario para la vida) ha sido fuertemente afectado por sustancias cada vez más agresivas y difíciles de tratar debido a su naturaleza química de sustancias presentes en desperdicios que caen a las corrientes. *(Samboni R. N. E., 2007)*

El agua es un recurso vital para la vida, es soporte del desarrollo económico y requisito para la sostenibilidad del medio ambiente. La disponibilidad del líquido depende de la dinámica del ciclo hidrológico y los diferentes cambios e impactos sobre éste. Existe una importante necesidad por mantener los recursos hídricos. Ya que contribuyen al bienestar humano y a la mitigación de la pobreza. *(Bucio, 2009)*

En nuestro país, la disponibilidad de agua epicontinental ha generado problemas de abastecimiento hídrico para diversos fines, y se ha solucionado mediante la construcción de embalses artificiales. Las personas, particularmente aquellos que viven en cercanías de los humedales, son muy dependientes de estos servicios, y se ven directamente afectados cuando son degradados.

Los usos del recurso hídrico son de: aprovisionamiento de alimento y agua dulce, regulación del clima y del flujo hídrico, regulación de la erosión, regulación de desastres naturales y polinización. Brinda apoyo a la formación de suelos y ciclo de los nutrimentos. Socialmente, tienen connotaciones espirituales y de inspiración, recreativas, estéticas y educativas. *(Mooney, 2005)*

Diversas organizaciones internacionales han dedicado numerosos programas de investigación para el estudio, control y preservación de la calidad de las aguas epicontinentales, evidenciando así su importancia a nivel mundial. Esto surgió como respuesta al notorio incremento en la contaminación de los sistemas acuáticos, debido a que los desechos industriales y domésticos, son vertidos a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento o desinfección y generan un deterioro de la calidad del agua, afectan los usos potenciales de la misma y modifican la composición de su biota acuática. Así mismo, el agua utilizada en la agricultura y que por escurrimiento acarrea diversos insecticidas y herbicidas, ha ocasionado que los ecosistemas acuáticos se encuentren en diferentes grados de deterioro, provocando la disminución en la

cantidad de agua para otros fines, como el riego, la acuicultura, la pesca, la piscicultura y las actividades recreativas. *(Abeja P. O., 2011)*

Los lagos urbanos poseen características que los hacen únicos en cuanto a condiciones y problemáticas. Sin embargo, a pesar de ser cada vez más comunes han recibido poca atención y han sido escasamente estudiados. *(Martínez M. 2008)*

La disponibilidad y calidad de agua están siendo afectados, por un lado, el crecimiento poblacional y por otro la presión económica por la generación de infraestructura hidráulica para atender a los patrones de la explotación de recursos acuáticos (concesiones), que con frecuencia exceden los límites de renovación natural de los ecosistemas y generan un cambio de uso de suelo *(Gómez M., 2014)*

Marco teórico

Al afectar la disponibilidad el recurso hídrico se genera la necesidad de recuperar la estructura y función de las zonas degradadas, así como amortiguar o mitigar los abusos de las actividades humanas, para poder proveer servicios ambientales y recursos, que al final se traducen en beneficios económicos, así como una mejor calidad de vida para los usuarios y pobladores. *(Cruz M., 2013)*

Hablando específicamente de los lagos urbanos, han recibido poca atención, han sido escasamente estudiados y la dinámica del fitoplancton hipertrófico es insuficientemente conocida. *(Martínez M. 2008)*

Un ejemplo de esto es la zona lacustre de Xochimilco, la cual durante siglos se mantuvo libre de contaminantes, pero hoy se encuentra sujeta a diversos problemas, como es el caso del avance de la mancha urbana, la sobreexplotación de los mantos acuíferos, la desecación de los manantiales y la descarga de aguas residuales de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella; todas ellas aportan grandes cantidades de desechos orgánicos, basura y algunos metales. Además, de las descargas domésticas sin tratamiento previo provenientes de los asentamientos humanos irregulares, los desechos de los establos de ganado de traspatio y de las actividades turísticas. Lo anterior, ha generado un serio problema de contaminación, el aumento de compuestos nitrogenados y fosfatados derivados de los fertilizantes y productos domésticos de limpieza. *(Chapa, 2010, Abeja P. O., 2011, Aguilar, 1978 y Avita, 1994.)*

En la Ley General Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en su Art. 3 Fracción VI y VII, define la contaminación como la presencia de toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en el agua, altere o modifique su composición natural y cause desequilibrio ecológico.

Y dado que en la Ley de Aguas del Ciudad de México en su Art. 5 señala: “Toda persona en el Ciudad de México, tiene el derecho al acceso **suficiente, seguro e higiénico** de agua disponible para su uso personal y doméstico, así como al suministro libre de interferencias...”. Se muestra la necesidad de conocer las características del agua y los usos que tiene el agua del lago de Xochimilco. *(LADF 2003)*

De los recursos hídricos es quizá uno de los problemas más graves de deterioro ambiental. Para poder conservar al recurso hídrico, es importante conocer el estado ecológico, inicialmente es esencial comenzar a estudiar los parámetros físicos, químicos y biológicos, ya que los tres factores tienen correlación, ya sea directa o indirectamente.

Para tener conocimiento del estado de las cuencas en México, es necesario conocer ciertas características. Primero, tenemos que explicar en qué proporción se encuentra el agua disponible para uso humano. En México, el nivel medio anual de precipitación es de 777 mm, equivalente a 1 billón 570 mil millones de m³. De esta cantidad, 1 billón 120 mil millones se evaporan retornando a la atmósfera, 410 mil millones se escurren superficialmente y 40 mil millones se infiltran en el subsuelo para recargar los mantos acuíferos. Considerando la superficie continental de nuestro país, los cuerpos de agua ocupan el 1.42 % del territorio. Como puede observarse, solo se utiliza una tercera parte del agua superficial y más de la mitad de la del subsuelo. El resto del agua, aunque no es utilizada, sufre una disminución en su calidad y posee en algunos casos importantes vectores de contaminación. (Cervantes M., 2007)



Ilustración 1 Situación de los recursos hídricos 2016

Fuente: Estadísticas del Agua, Conagua 2017

En el país, el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), clasifica los usos de este recurso en cinco grandes grupos. Cuatro de ellos corresponden a usos consuntivos, dentro de los cuales está el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida y las termoeléctricas. El uso hidroeléctrico, que se contabiliza aparte ya que corresponde a un uso no consuntivo. Los volúmenes designados para el uso consuntivo registran que el 63% del agua utilizada proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), mientras que el 37% restante proviene de fuentes subterráneas (acuíferos). En este sentido, los porcentajes del agua superficial y subterráneas concesionadas durante el periodo 2001-2009 incrementaron en un 14 y un 19% respectivamente, lo cual indica que la demanda del recurso es mayor cada 9 años (CONAGUA, 2011 citado en López V. M.R., 2013). Para el año 2016 el volumen de agua concesionadas 269 289hm³ donde el principal uso es la actividad Agrícola. (CONAGUA, 2017)

En términos de disponibilidad en México, cada habitante cuenta con un poco más de 4,500 m³/año. En cuanto al uso, 78% del agua se emplea para la agricultura, 11.5% para fines públicos urbanos, 8.5% para la industria y 2% para fines pecuarios y la acuicultura. Según datos de la SEMARNAT, la calidad del agua superficial, en un 66% es excelente, mientras que el resto requiere tratamiento o se encuentra severamente contaminado. (Jiménez C.B., 2005)

El porcentaje que representa el agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico de un país, cuenca o región. El grado de presión puede ser muy alto, alto, medio, bajo y sin estrés. Se considera que si el porcentaje es mayor al 40% se ejerce un grado de presión alto o muy alto (ver escala del grado de presión de la tabla 2). A escala nacional, México experimenta un grado de presión del 19.2%, lo cual se considera de nivel bajo; sin embargo, las zonas centro, norte y noroeste del país experimentan un alto grado de presión. (CONAGUA, 2017) Como se observa la siguiente imagen.

RHA	Región hidrologico-administrativa	Volumen total de agua cosechado (millones de m ³)	Agua renovable media (millones de m ³)	Grado de presión (%)	Clasificación del grado de presión
I	Península de Baja California	3 959	4 876	81.20	Alto
II	Noroeste	6 748	8 274	81.60	Alto
III	Pacífico Norte	10 803	26 613	40.60	Alto
IV	Balsas	10 860	21 671	50.10	Alto
V	Pacífico Sur	1 570	30 836	5.10	Sin estrés
VI	Río Bravo	9 537	12 430	76.70	Alto
VII	Cuencas Centrales del Norte	3 835	7 926	48.40	Alto
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	15 852	34 897	45.40	Alto
IX	Golfo Norte	5 957	28 663	20.80	Medio
X	Golfo Centro	5 632	65 645	8.60	Sin estrés
XI	Frontera Sur	2 542	175 912	1.50	Sin estrés
XII	Península de Yucatán	4 498	29 647	15.20	Bajo
XIII	Aguas del Valle de México	4 782	3 437	139.20	Muy Alto
Total nacional		86 577	450 828	19.20	Bajo

Ilustración 2 Grado de presión sobre el recurso hídrico, 2016

En México, la gestión y el desarrollo integral de los recursos hídricos se ha buscado asegurar el uso óptimo y sostenible de agua para el desarrollo sostenible. Dentro del Ciudad de México se han decretado diversos programas ambientales, uno de ellos y el más actual PAAS DF, (Programa de Auditorías Ambientales del D.F), con este programa se pretende obligar a las industrias hacer cambios y propuestas ambientales para reducir sus impactos ambientales y sobre todo proteger los recursos naturales, en donde el recurso hídrico representa un parámetro vital para la obtención de la Licencia Única Ambiental. Para lograr lo anterior es indispensable considerar como eje rector de la política hídrica la responsabilidad de los tres ejes: gobierno, sociedad y comunidad empresarial. (SEDEMA, 2014)

Se ha observado que la contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que se estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo

en las áreas urbanas e incluso en numerosas ciudades importantes del continente. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa. (Barrenechea A., 2004)

Se considera que existen tres tipos de descargas contaminantes: las puntuales, las accidentales y las dispersas o difusas. Las descargas puntuales son más fáciles de controlar debido a que se conoce su localización, lo que facilita su muestreo, cuantificación y procesamiento; por consiguiente, resultan susceptibles de reusarse en forma controlada, ya que en general provienen de industrias o municipios. Las *descargas dispersas*, en cambio, suponen un difícil control porque provienen de retornos agrícolas, silvicultura, lixiviados de desechos sólidos, falta de drenaje, fugas y fosas sépticas. El avance del gobierno mexicano ha sido importante en materia de normatividad para el control de las descargas puntuales, pero ha sido casi nulo en cuanto a las descargas dispersas debido a la falta de conocimiento. Por último, las *descargas accidentales* son casi imposibles de cuantificar pues, como su nombre lo indica, ocurren aleatoriamente. Algunos ejemplos son los accidentes industriales. (Aguilar I. A., 2010)

Debido a la explosión demográfica que ha sufrido la ciudad en los últimos 50 años, se ha observado el abuso de los cambios de usos de suelo, sin profundizar en los impactos ambientales que se podrían generar. En este sentido, la pérdida de cada hectárea de Suelo de Conservación representa que los mantos acuíferos de la Cuenca del Valle de México dejen de favorecer la recarga de alrededor de 2.5 millones de litros de agua cada año. De manera agregada, por la urbanización de las 2,693 hectáreas que se reconoce están ocupadas por asentamientos humanos irregulares en Suelo de Conservación, se dejan de infiltrar aproximadamente 6 mil 734 millones de litros de agua al año, equivalentes al abasto anual de más de 70 mil personas. (CONAFOR, 2014)

1.1.Cuenca

El término cuenca es un concepto geográfico e hidrológico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenca endorreica. (Cruz M., 2013)

La gestión del agua por cuenca hidrográfica es el conjunto de actividades, funciones, organización, recursos, instrumentos de política y sistemas de participación, aplicados en un territorio de cuenca, que se

relacionan con las variables del ciclo hidrológico, la explotación, uso, aprovechamiento, conservación, manejo y control de la calidad del agua, su saneamiento, mantenimiento y operación de las obras hidráulicas. La gestión integral de las cuencas hidrológicas consiste en armonizar el uso, aprovechamiento y administración de todos los recursos naturales y el manejo de los ecosistemas comprendidos en una cuenca hidrográfica. (CONAGUA 2011)

1.2.Lagos

Hablando del agua disponible para uso humano, encontramos las aguas epicontinentales que son todas aquellas aguas superficiales que se distribuyen en los continentes. Los lagos son cuerpos de agua naturales de condiciones lénticas (estancadas) y cuyo origen es continental; sin comunicación directa con el mar, generalmente son grandes en su extensión. (Cervantes M., 2007)

Estos sistemas tienen una estructura o morfología característica establecida inicialmente por su origen. Así, los lagos más profundos tienden a tener un origen glacial, tectónico y volcánico y debido a su ubicación geográfica presentan baja productividad, y son clasificados como oligotróficos. Los lagos con origen pluvial, sufren procesos de erosión por mareas y vientos, y especialmente los embalses con origen artificial son menos profundos y generalmente alcanzan productividades altas en tiempos breves y siendo eutróficos. (Vila P.2003)

El origen del cuerpo de agua influye directamente en la morfología de la cubeta y en relación con ésta, las variables químicas más importantes que influyen en la calidad del agua son principalmente los gases disueltos (oxígeno y anhídrido carbónico) y sales minerales conocidas como nutrientes (nitratos y fosfatos), principalmente. (Vila P.2003)

Aproximadamente el 90% de los cuerpos de agua lénticos del territorio nacional son temporales, presentando dimensiones menores a diez hectáreas, así como características similares a las de los lagos naturales someros, donde la profundidad no rebasa los 2.5 m y presentan poca o nula estratificación de la temperatura y los nutrientes. La forma y el tamaño de la base de un lago afectan los parámetros físicos, químicos y biológicos del lago. Las formas de la base del lago varían extremadamente y reflejan su forma de origen. (Wetzel, 2001)

Las características morfológicas de los lagos, así como su ubicación (latitud y longitud) permiten pronosticar a su vez el comportamiento lumínico y térmico de estos sistemas debido a la cantidad de energía que reciben y acumulan, lo cual influye directamente en su productividad. Los lagos profundos

(>100 m) generalmente son oligotróficos. Las lagunas y los lagos someros tienden a ser eutróficos. (Vila P.2003)

La cantidad de luz que es absorbida por un cuerpo de agua aumenta exponencialmente con la distancia del paso de la luz por la solución. El 90% de la longitud de onda de 750 nm es absorbida en un metro de profundidad (dependiendo del estado trófico del lago). El alto calor específico del agua permite la acumulación de esta longitud de onda como energía calórica. La distribución de calor en los sistemas depende de la morfometría, especialmente de la profundidad máxima y relativa, y del viento y las corrientes.

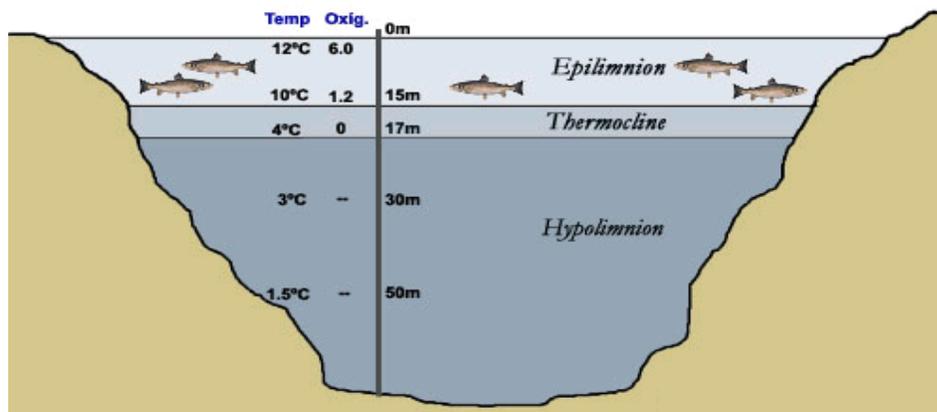


Ilustración 3 Estratificación térmica de lagos

Fuente: Imagen tomada de la página <http://radikalpesca.com/estratificacion-termica-del-agua>

Entre los principales factores que definen la dinámica en un sistema acuático pueden citarse las variaciones en la temperatura del aire, la latitud, la altitud, las estaciones del año, así como la velocidad y dirección del viento. Todas ellas inciden fundamentalmente en la variación de la temperatura del agua y su biota. Así como la diversidad que se encontrará. (Torres O. R.1995), Es por ello que una variación en cualquiera de estos factores determinará cambios en la dinámica original.

Con el siglo XX empezó a cambiar una relación tan armónica: el agua del lago era cada vez más verdosa y menos transparente, y la calidad del agua subterránea, en ciertos momentos especialmente a fines de verano, era pobre, con poco oxígeno, abundante materia orgánica y ligeramente ácida (capaz de corroer el hierro y el cemento) todo lo cual encarecía su tratamiento y, lo que es más importante, era el principio de una amenaza sobre la disponibilidad del líquido. Este fenómeno es habitual en todos los países, parte de cuya población había organizado su vida en torno de los lagos, y la voz con que se les designa, eutrofización, ha pasado del entorno científico al dominio público. (Moreno F.2010)

1.3. Características físicas, químicas y calidad del agua

El agua de los lagos se encuentra en dinámica con los gases atmosféricos disueltos, así como los componentes químicos de las aguas son electrolitos representados por aniones, esencialmente bicarbonatos, sulfatos, nitratos, fosfatos, silicatos y cloruros. Los cationes son alcalinotérreos como calcio y magnesio, alcalinos como sodio y potasio y oligoelementos metálicos, sobre todo hierro y manganeso. No todos los electrolitos proceden de la roca madre, a pesar de la importancia de ésta. Los compuestos nitrogenados - amoníaco, nitritos y nitratos- proceden de la oxidación de los compuestos orgánicos de la cuenca y de su síntesis a partir del nitrógeno atmosférico durante las tormentas. Los fosfatos, escasos en el mundo mineral, también lo eran en el agua. La utilización de abonos fosfatados y de detergentes poli fosfatados ha contribuido a un enriquecimiento reciente de fósforo de las aguas continentales y al fenómeno de eutrofización (*Angelier E. 2002*)

Cuando el agua de una masa oligotrófica se enriquece de nutrimentos, se inician muchos cambios. Primero, este enriquecimiento favorece el crecimiento y la multiplicación del plancton, lo que aumenta la turbidez del agua. Con la desaparición de la vegetación acuática sumergida, es evidente que se pierden alimentos, hábitats y el oxígeno disuelto (OD). Causas de la eutrofización Las principales causas antropogénicas de procesos de eutrofización pueden ser: Una de las más antiguas causas es la descarga de aguas residuales, las cuales son ricas en nutrimentos, contribuyendo al cambio trófico del cuerpo de agua receptor. El uso excesivo de fertilizantes, que genera una contaminación del agua fundamentalmente mediante el aporte de nitrógeno (en forma de sales de nitrato y amonio) y fósforo (como fosfato). (*Moreno F. 2010*)

La calidad química del agua de lagos depende de la cantidad y calidad de las precipitaciones, de la calidad de los suelos del área de drenaje; de la erosión; de los procesos de solubilización y meteorización de la roca madre y los suelos, de la evaporación y la sedimentación. Por efecto de la estacionalidad climática, las comunidades biológicas, especialmente el plancton, presentan ciclos diarios, y estacionales. Este cambio influye directamente en la composición química de las aguas, especialmente en los nutrimentos (nitratos y fosfatos) que son requeridos para la fotosíntesis. La actividad de las bacterias, cuya participación en los ciclos biogeoquímicos es crucial en el reciclado de nutrimentos, es también un factor que modifica la calidad química del agua. (*Vila P.2003*) Así mismo la composición algal indica un proceso de eutrofización, aunque la biomasa de productor primario planctónico no sea todavía elevada. (*Bort S.2005*)

De igual manera los ecosistemas acuáticos presentan una estrecha dinámica entre su morfología y su funcionalidad, con una amplia variación espacial y temporal en sus parámetros batimétricos, morfométricos, hidrodinámicos e hidro geoquímicos, y manteniendo su diversidad biológica. (*Rendón-Dircio J.A, 2012*)

La calidad del agua es un factor determinante de salud pública y en los ecosistemas, que restringe la oferta de agua y su distribución potencial para los diferentes usos. En México los problemas de calidad de agua son severos y tienen un fuerte rezago en su atención. El monitoreo de la calidad del agua es un proceso que debe ser eficaz, regulado y actualizado. De la misma manera, la evaluación de la calidad del agua es indispensable para poder orientar esfuerzos que favorezcan su reutilización. Los instrumentos normativos de protección al capital natural requieren de información confiable y oportuna, que permita detectar, monitorear y evaluar la magnitud de ocurrencia de los procesos de deterioro en forma rápida, concreta y eficiente, además de proponer alternativas que disminuyan su incidencia o para recuperar áreas perturbadas. (*Cruz M., 2013*)

La calidad del agua no es una característica absoluta, sino que es más un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido; cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el contexto del uso probable que tendrá (*Guevara, 1996; INE, 2000 citado en De Dios D.K., 2015*)

1.3.1. Transparencia

La transparencia del agua se describe como una propiedad óptica que origina que la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en forma recta es una medida común, donde interviene la densidad del plancton y de materiales en suspensión, como arcillas, limos, sedimentos, material orgánico e inorgánico. Las partículas que producen turbiedad en el agua varían en forma, tamaño y el índice de refracción. Por lo que determinar la concentración en peso de materia en suspensión, es muy complicado, actualmente, nos ayuda a comenzar a comprender la dinámica dentro de nuestro sistema acuático. (*Báez P.A, 1975*)

La luz es un factor limitante para la vida en el agua, ya que es la fuente de energía para el proceso fotosintético; no toda la luz penetra en la columna de agua y la que no lo hace pierde intensidad conforme se adentra en el agua, la cual sirve de base para dividir la columna de agua en dos grandes zonas: la eufótica que es la región donde penetra la luz y por lo tanto se llevan a cabo los procesos anabólicos como la fotosíntesis; y la zona afótica en donde la luz no penetra y por lo tanto la respiración es mayor que la

fotosíntesis y prevalecen los procesos catabólicos. Ambas zonas son separadas por el llamado zona de compensación en donde la producción es igual el consumo. (Gómez M. 2014)

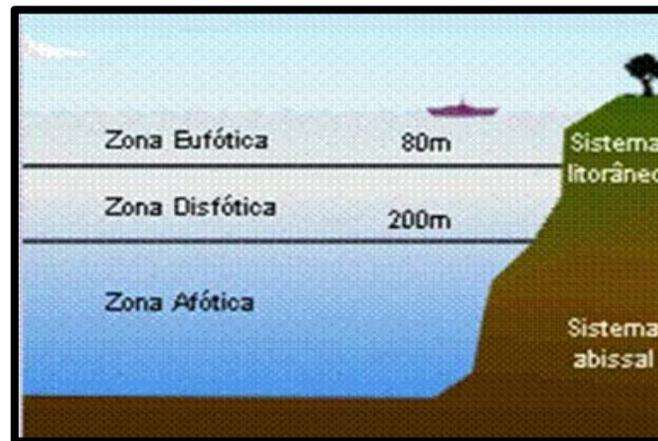


Ilustración 4 Zonas de intensidad lumínica

Fuente; imagen tomada de la página
<http://cmnbonetcienciasnaturales.wikispaces.com/EL+TRANSITO+DE+ENERG%C3%8DA+EN+LOS+ECOSISTEMAS>

La forma más sencilla de medir este parámetro es el disco de Secchi, es la técnica artesanal, que ayuda a estimar esta profundidad de penetración de luz, en ésta se deja caer lentamente el disco y cuando desaparezca a la vista es una profundidad y la segunda profundidad es a la que éste reaparece. La luz que atraviesa se debilita hasta desaparecer debido al fenómeno de absorción, que consiste en una disminución de energía luminosa al ser transformada en calor. (Gómez M., 2014)

La producción Fito planctónica, tanto en aguas oceánicas como costeras, se vincula directamente con características tales como la estratificación y la mezcla de la columna de agua, el espesor de la capa eufótica y la disponibilidad de los nutrimentos. (Shmid W. A., 2000). De aquí la importancia de conocer el espesor de la capa eufótica.

1.3.2. Sólidos

Los sólidos pueden ser orgánicos o inorgánicos; su principal efecto en los cuerpos de agua es el interferir con la penetración de la luz solar y el azolve de los cuerpos de agua. (Cruz M, 2013)

Los sólidos se clasifican en:

- **Sólidos disueltos totales (SDT):** Son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, comprenden sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. Los principales iones que

contribuyen a los SDT son carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio. Los SDT en el agua pueden deberse a fuentes naturales, descargas de efluentes de aguas servidas, escurrimientos urbanos o descargas industriales. Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable 500 ppm. (*Cruz M, 2013*)

- **Sólidos suspendidos totales (SST):** Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación. Pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodos en condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático. Se separan por filtración y decantación. (*Cruz M, 2013*)
- **Sólidos totales (ST):** Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado. La concentración de los sólidos incluye con el material disuelto (filtrable) y no disuelto (suspendido). En aguas potables es la de mayor interés. (*Cruz M, 2013*)

1.3.3. Temperatura

Una de las principales evaluaciones en ecosistemas acuáticos que, junto con la incidencia de luz, son dos factores que determinan los procesos de fotosíntesis y que dependen a su vez de la altitud, latitud y la regionales del sistema acuático. La temperatura del agua está influenciada por las condiciones ambientales de la zona y la incidencia de luz solar, ya que la energía luminosa es absorbida exponencialmente con respecto a la profundidad y la mayor parte del calor es retenido en la capa superior del sistema. (*Gómez M., 2014*). Indirectamente la temperatura influye en la solubilidad del oxígeno disuelto, la disponibilidad de los nutrimentos y la tasa de descomposición de la materia orgánica, los cuales afectan la estructura y función de las comunidades bióticas. El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable, es también un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia de los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales. (NMX-AA-007-SCFI-2000)

Guarda una fuerte relación con la intensidad de luz y es difícil evaluarla como factor separado a ella, debido a que la absorción de la energía solar y su disipación en forma de calor afectan profundamente la estratificación de las masas de agua, y en cambios de las propiedades fisicoquímicas del agua,

indirectamente la temperatura influye en la solubilidad del oxígeno disuelto, la disponibilidad de los nutrientes y la tasa de descomposición de la materia Orgánica. (Gómez M., 2014)

1.3.4. pH

Es un indicador de la condición ácida o alcalina de una sustancia y está determinado por la concentración de iones hidrógeno (H^+). El pH del agua puede variar entre 0 y 14, que es un factor muy importante porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. (Cruz M, 2013)

La medición del pH del agua es muy importante para muchos tipos de muestra. La medición de valores altos o bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directa o indirectamente. El intervalo adecuado para que se desarrolle la vida acuática varía de 6.5 a 9 unidades, ya que el agua de un cuerpo acuático que presenta de pH igual a 7 es neutra, Los valores extremos que resultan letales para la biota acuática, están en el espectro alcalino a un pH mayor a 11, y en el ácido, cuando éste es inferior a 4. (Gómez M., 2014)

Los responsables de la acidez en las aguas naturales son: el dióxido de carbono no combinado, ácidos orgánicos, ácidos minerales, sales de los ácidos fuertes y bases débiles, son responsables de la acidez de las aguas naturales. (Wetzel, 2001).

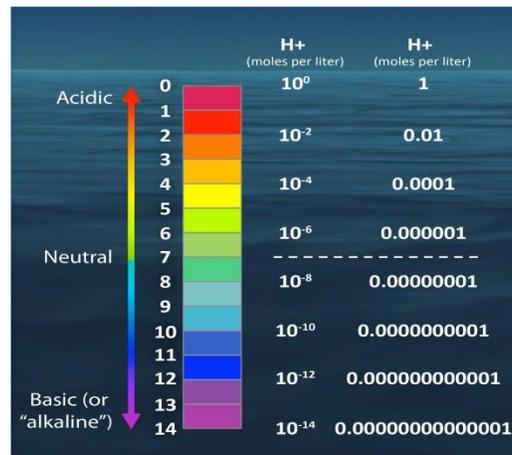


Ilustración 5 Escala de pH

Fuente: <http://reaccionesacidos-bases.wikispaces.com/Concepto+de+pH>

1.3.5. Alcalinidad

Es la capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y solamente puede interpretarse en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición química de la muestra. (A.P.H.A, 1996)

Es causada por la concentración de los iones carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-). No obstante, cuando están presentes algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos, también pueden contribuir a la alcalinidad. El bicarbonato es la principal forma de alcalinidad. (Cruz M, 2013)

El bicarbonato y el hidróxido pueden ser significativos cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua. La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Este parámetro ha sido utilizado como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa. Cuando la alcalinidad es menor a 10 ppm es recomendada para el uso doméstico. Se corrige por descarbonatación con cal, tratamiento con ácido o desmineralización por intercambio iónico. (Abarca, 2007)

1.3.6. Salinidad

La presencia de algunos minerales en una solución reduce la solubilidad de los gases. Las sales disueltas en agua reducen los espacios intermoleculares disponibles para la disolución del oxígeno. La solubilidad de un gas está determinada por su presión parcial (p) [Ley de Henry]. A su vez, la presión parcial de un gas es afectada por cambios en altitud (cambios en presión atmosférica). Observamos que en cuerpos de agua no contaminados la concentración de oxígeno disminuye con la altitud. (IMTA, 2012)

1.3.7. Oxígeno disuelto

Muchos autores señalan que la cantidad de oxígeno disuelto es una de las principales características para definir la salud del ecosistema (APHA, 1995). El oxígeno disuelto es vital para la mayoría de los organismos que viven en el agua. El oxígeno proviene del intercambio con la atmósfera y como producto de la fotosíntesis, llevada a cabo por las plantas acuáticas y algas. El oxígeno es usado durante la respiración, incluyendo en ello la de productores, consumidores y descomponedores. Es común observar

variaciones diarias y estacionales en los valores de oxígeno en el agua. El oxígeno se mide en partes por millón (ppm) o su equivalente en miligramos por litro (mg/l) y esto puede hacerse con un oxímetro o fijando una muestra de agua para su posterior determinación. (AbarcaF.2007)

La distribución del oxígeno en cuerpos de agua naturales está determinada por el intercambio gaseoso a través de la superficie del agua, la producción fotosintética, el consumo respiratorio y por procesos físicos de advección (movimiento horizontal del agua causado principalmente por variaciones de la presión atmosférica cerca de la superficie) y difusión. Siendo el oxígeno un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos, es importante medir las variaciones por unidad de tiempo de los procesos bióticos (fotosíntesis y respiración celular) y abióticos que se desarrollan in situ, que afectan su concentración y distribución. Es conveniente conocer dichas variaciones, si el interés es construir modelos dinámicos del funcionamiento de comunidades acuáticas. (IMTA, 2012).

La cantidad de oxígeno presente en el agua es afectada por la temperatura, la salinidad y la presión atmosférica. La concentración de oxígeno en agua es inversamente proporcional con la temperatura. Si elevamos la temperatura del agua a su punto de ebullición generamos una solución libre de oxígeno. Podemos generalizar que, a cualquier presión atmosférica, aguas frías saturadas con oxígeno contienen una mayor cantidad de oxígeno disuelto que aguas tibias o calientes. No obstante, la relación inversa entre temperatura y la concentración de oxígeno disuelto puede verse alterada en ambientes naturales por efecto de los procesos de fotosíntesis y respiración. (IMTA, 2012).

1.3.8. Carbono inorgánico

El carbono de los sistemas de aguas continentales se halla principalmente en forma de productos en equilibrio con el ácido carbónico. En menor proporción aparece formando parte de compuestos orgánicos en forma de carbono detrítico y una pequeña parte se encuentra en los seres vivos en forma de carbono. La dilución del CO₂ atmosférico y las cinéticas de disociación de los carbonatos disueltos tienen evidentemente una importancia capital para los organismos fotosintetizadores, que dependen de la disponibilidad de carbono inorgánico. La concentración de carbono inorgánico total de las aguas dulces depende del pH, que es determinado en gran parte por las reacciones amortiguadoras del ácido carbónico, y de la cantidad de bicarbonato y carbonato procedentes de la meteorización de las rocas. (Wetzel, 2001)

La concentración de anhídrido carbónico (CO₂) en el agua muestra una relación inversa al O₂. Además del intercambio atmosférico, el CO₂ es producto de la respiración de plantas y animales siendo la fuente principal para la fotosíntesis. El CO₂ es muy abundante puesto que su solubilidad es 30 veces mayor que el O₂. El CO₂ se disuelve en el agua para producir ácido carbónico, el cual se disocia en las fracciones que

se detallan a continuación dependiendo de la concentración de hidrogeniones y conformando de esta manera un sistema buffer de resistencia a los cambios bruscos del pH del agua. $\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{HCO}_2 + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$ El factor ambiental más importante en controlar la presencia de estos gases disueltos en el agua es la temperatura, pero sus niveles son dependientes de la fotosíntesis, la respiración, la presencia de otros gases y las oxidaciones químicas. (Vila P.2003).

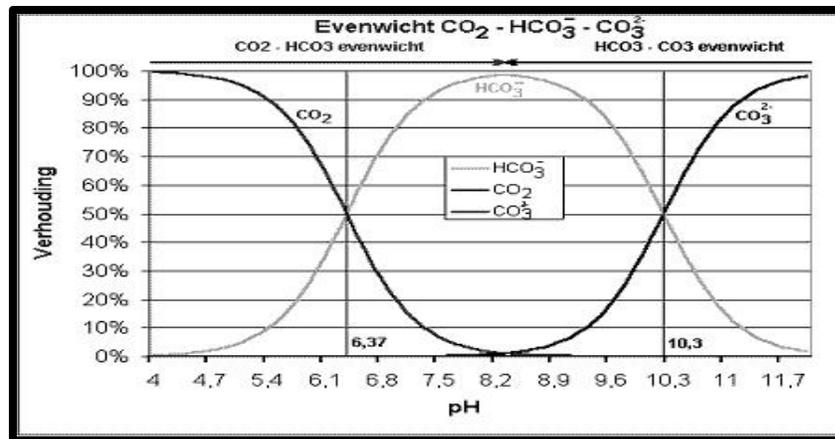


Tabla 1 Comparativa entre valores de pH, CO₂, HCO₃ y CO₃

Fuente: <http://es.slideshare.net/15-9-87/hidroquimica-del-karst-completo-56100878>

1.3.9. Materia orgánica

La materia orgánica procede de los desechos orgánicos y es el principal constituyente del material biológico. Si es descargada sin tratamiento al ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas. Por lo general se mide en los siguientes términos:

1.3.10. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

La DBO es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio de las aguas no potables, ya que además de indicarnos la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez éste material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales. (Gómez M. 2014). Existen diversas variantes en la determinación de DBO, entre ellas las que se refieren al periodo de incubación. La más frecuente es la DBO₅ que es la determinación de la DBO a los 5 días. A mayor valor en la DBO mayor grado de contaminación. (Cruz M, 2013)

Cuando los niveles de la DBO son altos, los niveles de oxígeno disueltos serán bajos, ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno disponible en el agua, los peces y otros organismos acuáticos tienen menor posibilidad de sobrevivir (*Abarca, 2007 citado en De Dios D.K., 2015*).

1.3.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Mide la cantidad de materia orgánica que hay en una muestra líquida susceptible a ser oxidada por medios químicos y se expresa en mg O₂/L. Este método es aplicable en aguas continentales, aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica, por consecuencia, no es recomendable para aguas potables. Una desventaja de este método es que puede haber interferencias debido a la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas como sulfuros, sulfitos, yoduros, entre otros. La relación entre los valores de DBO y DQO es indicativa de la biodegradabilidad de la materia contaminante. En aguas residuales un valor de la relación DBO/DQO menor de 0.2 se interpreta como un vertido de tipo inorgánico y orgánico si es mayor de 0.6. (*Cruz M, 2013*)

La DQO se determina adicionando una cantidad pesada de dicromato potásico (K₂Cr₂O₇) a un volumen conocido de muestra, acidulando el medio (pH<7) y manteniendo, destilando a reflujo el sistema durante 2 o 3 horas. El dicromato sobrante de la oxidación de la materia orgánica se evalúa mediante un agente reductor (generalmente sulfato amónico ferroso). La diferencia entre la cantidad inicial de dicromato y la determinada por la valoración con el agente reductor es la consumida en la oxidación de la materia orgánica presente en el efluente. La DQO es igual a la cantidad de dicromato consumido, expresado como mg/L de oxígeno presente en la disolución así, 1 gramo de K₂Cr₂O₇ equivale a 0.382 de oxígeno (*APHA, 1996*).

1.3.12. Nutrientes

Nitrógeno, Calcio, Potasio, etc., estos nutrientes no actúan de forma independiente unos de otros, por lo que se dificulta la identificación de los nutrientes limitantes. Los nutrientes que han marcado una mayor limitante para productividad primaria son el fósforo y el nitrógeno; pero no es cada uno en su forma individual, es la relación entre ambos lo que va limitando el desarrollo del fitoplancton. (*Margalef, 1983*)

El fósforo es el nutriente que generalmente limita el crecimiento del fitoplancton en los lagos, porque en condiciones naturales está presente en concentraciones muy bajas. El fósforo se origina de los procesos de intemperización de rocas y sólo el 5 al 10% es soluble y utilizable. El ingreso de aguas servidas y abonos agrícolas desequilibran este balance incrementando la presencia del fósforo en el agua. Los

sistemas templados tienden a estar limitados por fósforo y los sistemas tropicales por nitrógeno. El fósforo se presente en dos formas, principalmente, en polifosfatos, que se encuentran principalmente en los residuos que contienen detergentes sintéticos. La forma predominante de fósforo en los cuerpos de agua es como ortofosfato cuya presencia puede provenir de la separación de pesticidas orgánicos que contienen fosfatos. No suele haber en el agua más de 1ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes fosfatados. El nivel de eutrofia de los sistemas acuáticos está determinado por los gases como O, CO y N, las cantidades de fosfatos y nitratos que ingresan a los mismos. El fósforo y el nitrógeno son nutrientes que estimulan el crecimiento del fitoplancton y las macrófitas acuáticas, las cuales son el eslabón principal de la vida en el agua y de la cadena trófica. (Vila P.2003).

Las algas fluviales Suelen frecuentar ambientes que sufren desecación y aguas con altas concentraciones de nutrientes, principalmente fósforo, aunque algunas especies dominan en aguas oligotróficas. (Gómez N, 2009).

La forma dominante del nitrógeno es el nitrógeno gaseoso en la atmosfera. Las cianófitas y las bacterias simbióticas de las leguminosas son las únicas capaces de utilizar el nitrógeno gaseoso. Con ese proceso el nitrógeno es fijado y convertido a nitrógeno orgánico; así se incorpora al resto de la cadena alimenticia, en diferentes formas orgánicas, para finalmente ser remineralizado por las bacterias hasta la forma química de amonio (amonificación) o nitratos. (Flores V.F, 2007)

La mayor parte del nitrógeno (N₂) en el agua está presente como gas. En esta forma sólo puede ser utilizado por las cianobacterias y bacterias fijadoras de N₂. Nitratos (NO₃⁻), amonio (NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻), urea y compuestos orgánicos disueltos son los compuestos menos abundantes en estos sistemas, pero de importancia biológica. En el ciclo biogeoquímico del N₂, los compuestos nitrogenados pueden estar forma gaseosa, soluble y particulada, y están presentes en condiciones óxicas y anóxicas. El ciclo biogeoquímico del nitrógeno es mediado por bacterias, las cuales nitrifican en presencia de oxígeno y desnitrifican en condiciones de anoxia. La concentración de la mayoría de los compuestos del nitrógeno tiende a seguir patrones estacionales. En la primavera y el verano disminuyen las concentraciones de estos compuestos en la zona fótica debido al incremento de la actividad biológica (Vila P.2003). La concentración de nitrato es mayor que la concentración de nitritos, debido a que la nitro bacteria requiere cerca de tres veces más sustrato que las nitrosomonas para obtener la misma cantidad de energía. Al igual que las bacterias autotróficas, las algas metabolizan el amoniaco y el nitrato, pero prefieren el amoniaco, el cual debe

haberse consumido antes de que comience a utilizar el nitrato para la síntesis celular. (Cruz M, 2013). Además del nitrógeno que fijan las bacterias, existen eventos de alta energía natural, tales como los relámpagos, fuegos forestales, y hasta flujos de lava, pueden causar la fijación de pequeñas, pero significativas cantidades de nitrógeno. (Lozada, 2004).

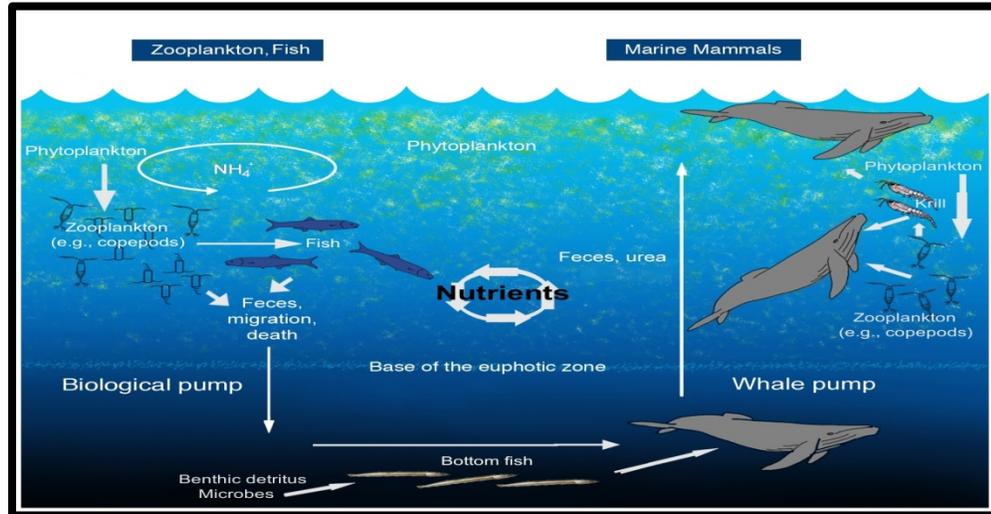


Ilustración 6 Ciclo del Nitrógeno

Fuente: <https://www.vistaalmar.es/medio-ambiente/cambio-climatico/1387-la-acidificacion-del-oceano-modificara-el-ciclo-marino-del-nitrogeno.html>

Los nutrimentos procedentes de ciudades se derivan de los desechos domésticos, residuos industriales y drenaje de lluvias. Los detergentes que contienen fosfatos, aparecidos en los años cuarenta, constituyen una fuente muy importante de fósforo de origen doméstico. Las industrias de alimentos y las que llevan a cabo procesos masivos de lavado producen emisiones con alto contenido de fósforo. (Chapa, Guerrero, 2010)

Los nutrimentos estimulan el crecimiento Fito planctónico, que llega a rebasar la tasa de consumo por los herbívoros y muere en grandes cantidades, quedando como Fito detritus. Después entra en proceso de descomposición microbiana de tipo aeróbico y, posteriormente consumido por descomposición anaeróbica. En consecuencia, la dinámica del fitoplancton con relación al ambiente local y a otros organismos, es de particular relevancia para estimar la productividad biológica del ecosistema. (Margalef, 1983)

Los constantes aportes de agua o cambios en la estratificación, hace que exista complejas variaciones en los ciclos de nutrimentos, así como los factores que controlan la productividad primaria en la columna de agua al estar determinada por múltiples factores, así como una estrecha y compleja relación entre ellos.

Las principales condiciones que propician la producción primaria acuática son: la cantidad y calidad de luz, las fuentes de carbono disponibles y la presencia de nutrimentos. (*Contreras E.F., 2005*)

A diferencia de los ciclos del nitrógeno y azufre, el fósforo prácticamente no sufre cambios en su estructura química, encontrándose casi en su totalidad como fosfato (predominantemente como ortofosfato). En pequeña escala es posible encontrar productos de oxidación y reducción microbiana como fosfina (PH_3), fosfuro de hidrógeno (P_4H_2), fosfito (PO_3^{3-}), entre otros. El fósforo orgánico lo encontramos como ATP, ácidos nucleicos y fosfolípidos. Aunque no se requiere en cantidades grandes, como el nitrógeno y el carbono, puede ser un nutriente limitante. (*Flores V.F. 2007*)

En los últimos 20 o 30 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en muchos mares y lagos casi se han duplicado. La mayor parte les llega por los ríos. En el caso del nitrógeno, una elevada proporción (alrededor del 30%) llega a través de la contaminación atmosférica. El nitrógeno es más móvil que el fósforo y puede ser lavado a través del suelo o se libera a la atmósfera por evaporación del amoníaco o por desnitrificación. (*Lozada, 2004*)

Al aumentar la concentración de nutrimentos se favorece la frecuencia y la dinámica de los florecimientos algales, lo que a su vez incrementa la producción planctónica. Consecuentemente, se propicia la extensión y la severidad de la hipoxia en la columna de agua como de la oxidación de la materia orgánica. (*Calvario M., 2007*)

Cada año los productores primarios fijan cerca de 100 gigatoneladas de carbono orgánico, y cada año, prácticamente la misma cantidad de MO es descompuesta completando el ciclo global de carbono. Así, la producción primaria es un proceso que, en última instancia, reside y se desarrolla en cada organismo productor de forma individual, mientras que la descomposición se manifiesta al nivel de la comunidad, siendo un proceso compuesto e integrador cuyos mecanismos de funcionamiento varían entre distintos sistemas y con la escala de análisis. (*Álvarez s. 2005*)

De manera en que se desarrollan asociaciones entre microalgas y otros microorganismos constituyendo una red microbiana que regula el reciclado de los nutrimentos y del carbono *in situ*, su transferencia a los niveles tróficos superiores o su sedimentación hacia las aguas profundas. En consecuencia, la dinámica

del fitoplancton con relación al ambiente local y a otros organismos, es de particular relevancia para estimar la productividad biológica del ecosistema. (*Montecino V. 2006*)

1.3.13. Producción primaria

Esta se refiere a la biomasa de los organismos fotosintetizadores, entre los que se encuentran, el fitoplancton, los cuales constituyen la columna vertebral en los ecosistemas. La mayor fracción de especies del fitoplancton son eucariotas y la mayoría poseen clorofila a, ésta es utilizada como indicadora de la biomasa fito planctónica en la columna de agua (*Margalef, 1983*).

Además de su importancia como productores primarios, el efecto que tiene la comunidad Fito planctónica en la biota, clima, y la geología es significativo; pues a través de la fotosíntesis, el fitoplancton utiliza dióxido de carbono atmosférico. Cuando muere, se sedimenta, dando lugar a la formación de rocas sedimentarias ricas en carbonatos o depósitos silíceos, transportando de igual manera el carbono atmosférico al fondo del océano. Por las razones expuestas, es de gran importancia generar el conocimiento de la capacidad productiva de una zona. Para este fin, se han empleado diversas técnicas y métodos. (*Avilés A. G., 2004*)

El plancton de las aguas estancadas funciona como un propio ecosistema. Los productores primarios son las algas. Los tipos de organismos planctónicos son básicamente fitoplancton, protozoos, rotíferos, crustáceos, cladóceros y copépodos. Densidades de los diferentes organismos en algunas no sobrepasa a $3.5 \text{ a } 4 \times 10^{10}$ individuos por m^3 . (*Almanza E.S 2012*)

La tasa de producción primaria se define como la cantidad de carbono inorgánico asimilado durante la fotosíntesis por el fitoplancton que pasa a formar parte de la materia orgánica en partículas por unidad de tiempo y de volumen ($\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$), ó de área superficial ($\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Esta última definición se obtiene al integrar una serie de medidas de producción tomadas a distintas profundidades. (*Astor Y. M., 2011*)

Teóricamente se sabe que el 10% de la productividad de un nivel trófico es transferido al subsiguiente nivel (trófico) y la eficiencia en la transferencia de un nivel a otro dependerá de la simplicidad o complejidad de la trama trófica. (*Chow W. N, 2002*)

1.3.14. Productividad primaria

Se define como la velocidad a la que es almacenada la energía solar por la actividad fotosintética de organismos productores, en forma de sustancias orgánicas susceptibles de ser utilizadas como alimento, y se expresa en gramos de carbono fijado por metro cuadrado de la superficie al día y puede existir una relación con el estado trófico del cuerpo de agua. *(Margalef, 1983)*

La productividad primaria es generada principalmente por los diminutos organismos autotróficos que conforman el fitoplancton, es un elemento fundamental en los ecosistemas. Los tipos de organismos planctónicos son básicamente fitoplancton, protozoos, rotíferos, crustáceos, cladóceros y copépodos. Pero también son considerados productores primarios a las algas, que son organismos eucariotas o procariotas, uni o pluricelulares, sin estructuras de conducción, que presentan un amplio rango de tamaños y habitan una gran variedad de ambientes acuáticos. *(Dodson, y col, 2000)*.

Estos organismos autótrofos son los responsables del 95% de la fotosíntesis en los océanos por lo que juegan un papel esencial en el flujo de energía utilizable para los ecosistemas oceánicos. La estimación de la producción de fitoplancton a escala global es necesaria para comprender su importancia en los ciclos biogeoquímicos generales. *(Rodríguez B. C., 1999)*

Los estimados de productividad primaria pueden ser utilizados como indicadores del estatus nutricional de cuerpos de agua naturales. Se han desarrollado diversos métodos para estimar la productividad primaria en comunidades acuáticas. Uno de ellos es midiendo la actividad fotosintética, puede ser determinada midiendo cambios en la razón de: producción de oxígeno, producción de fotosintetatos, consumo de bióxido de carbono, consumo de agua. La cantidad total de carbono fijado por unidad de área y tiempo es la productividad primaria bruta (ppb), mientras que la productividad primaria neta (ppn) es la diferencia entre el carbono que entra al ecosistema por la ppb y el que se pierde por la respiración de los autótrofos *(Escobar, 2008)*

La producción del carbono orgánico nuevo o productividad primaria nueva es el resultado de la entrada de nutrientes alóctonos a la zona eufótica y es una forma de estimar el carbono particulado que podría ser exportado a profundidades mayores. *(Hernandez T.B., 2007)*

Se ha determinado el papel de la Productividad Primaria en el ciclo del carbono, observándose que 75% de la diferencia en la concentración de carbono inorgánico disuelto entre la superficie y los océanos profundos se debe a la bomba biológica. Tales observaciones sugieren que la PP puede regular el creciente

efecto invernadero causado por las emisiones antropogénicas de CO₂ a la atmósfera desde la revolución industrial, lo que ha fomentado el interés de los científicos por estimar la tasa a la cual el carbono inorgánico se transforma en biomasa Fito planctónica y es introducido en la cadena trófica marina a nivel global. (*Barocio L. 2007*)

Técnica simplificada de los cambios diarios de la concentración de Oxígeno, es un método teórico para estimar la productividad primaria. Esta técnica, asume que el lago completo hace las veces de botella de incubación. El procedimiento involucra tres muestras: dos de ellas tomadas dos tardes sucesivas y la otra en la mañana intermedia, las cuales corresponden a las concentraciones altas y bajas del oxígeno presente en las aguas del lago. Esto se basa en los cambios máximos y mínimos del oxígeno, el primero tiene lugar una hora antes del ocaso, mientras que un mínimo es una hora antes del alba (Cada 12 horas).

Desde una perspectiva biológica, el oxígeno es esencial para todas las formas superiores de vida en cuerpos de agua. De una perspectiva de una sustancia química, el oxígeno es un indicador importante del estado redox de un cuerpo de agua, pero lo hace principalmente de forma dicotómica. Es decir, si el oxígeno está presente, incluso a bajas concentraciones, otros elementos sensibles a redox están presentes en sus formas oxidadas. Cuando está ausente, se produce una variedad de formas reducidas de los elementos. La química y la biología de las aguas naturales son dramáticamente diferentes dependiendo de si el oxígeno disuelto (DO) está presente o no. (*Brezonik P. L., 1996*)

De los gases disueltos en el agua, el oxígeno (O) es el más importante y crucial para la vida vegetal y animal interactuando en muchas reacciones químicas y biológicas. De acuerdo con la altitud a la que están emplazados los sistemas, la presión atmosférica ejerce su efecto. Los lagos contienen naturalmente entre 8 y 12 mg/L de O y los ríos hasta 15 mg/L. La dinámica de los sistemas se refleja en variaciones diurnas y estacionales de O las cuales reflejan el estado trófico del sistema.

En los sistemas oligotróficos la demanda y la producción de oxígeno es baja, y por lo tanto los valores de O son constantes en profundidad y en tiempo. En los lagos eutróficos, la alta demanda por O durante la noche, por respiración de las comunidades biológicas y la descomposición de la materia orgánica, hace que este gas disminuya progresivamente su concentración en profundidad, llegando en algunos casos hasta la anoxia. El estado de anoxia produce un cambio en el potencial de óxido reducción de los sedimentos.

El factor ambiental más importante en la regulación de la cantidad de O en el agua es la temperatura. La concentración de O disuelto es inversamente proporcional a la temperatura. El incremento de la temperatura durante primavera y verano de los sistemas templados disminuye la cantidad de O hasta en un 50%. Esta cantidad es modificada por las relaciones de respiración y fotosíntesis durante la noche. Los cálculos del porcentaje de saturación del O disuelto se deben efectuar considerando la presión atmosférica o la altitud a la que se encuentra ubicado el sistema y la temperatura mediante el nomograma de Mortimer (*Wetzel, 2001*). Mientras más eutrófico es el sistema, mayor es la disminución de O hacia el fondo. Los lagos tropicales de cierta profundidad pueden presentar anoxia casi permanente en el hipolimnion. La concentración de O en los sistemas acuáticos es una función de los procesos biológicos como la fotosíntesis y la respiración, lo cual determina cambios en cortos períodos de tiempo.

La fotosíntesis se incrementa linealmente con relación a la intensidad de luz, hasta llegar a un punto de saturación en el que ocurre la inhibición en la fotosíntesis, generalmente a partir de 100Ly/día. (*Avilés A. G., 2004*). Esta intensidad umbral se localiza hacia los 185.19 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$ (estas unidades son de Radiación Fotosintéticamente Activa, PAR por sus siglas en inglés), intensidad fácilmente rebasada en un día soleado, por lo que se infiere que la mayor fotosíntesis se realiza al amanecer y al atardecer. (*Badillo A. M. 2010*).

A diferencia de otros trazadores, las mediciones de oxígeno proporcionan información muy clara sobre la fotosíntesis y respiración en el ecosistema. La estimación de la producción bruta y neta, obtenidas a partir de cambios en la concentración de oxígeno, contribuyen a delimitar las tasas de asimilación cuando se emplea ^{14}C y ^{15}N , dado que estas mediciones pueden ser equivalentes a la producción bruta o a un valor intermedio entre la producción bruta y la producción neta. Como las tasas de asimilación obtenidas por ^{14}C o ^{15}N no pueden ser menores que cero, solo la estimación de la producción neta mediante la medición del oxígeno puede revelar cuando la respiración excede la producción y se presenten condiciones heterotróficas en el ecosistema. (*Calvario M., 2007*)

Por su mismo consumo de dióxido de carbono y producción de oxígeno se puede utilizar la técnica de la botella clara y oscura (Fuentes F, 2002) Este método se basa en la reacción fotosintética, midiendo el cambio de la concentración de Oxígeno. Dicho método conlleva la utilización de un par de botellas, una clara y una oscura. En consecuencia, en las botellas claras se lleva a cabo el proceso de fotosíntesis, generándose una cantidad de oxígeno proporcional a la cantidad de materia orgánica fijada. Al mismo

tiempo en las botellas oscuras los fotótrofos consumen el oxígeno, pero no lo producen. Se puede calcular la tasa respiratoria de los fotótrofos restando el valor de oxígeno disuelto registrado en la botella oscura de la concentración de oxígeno disuelto inicial. Así el concepto de productividad neta está basado en que la respiración registrada en las botellas oscuras es causada por fotótrofos que están metabolizando sus propios fotosintetatos y tejidos (*Contreras E.F., 1997*). El método asume que la tasa respiratoria autótrófica es igual en ambas botellas. Este tipo de análisis nos permite determinar hasta que profundidad la intensidad de luz es suficiente para sostener la actividad fotosintética.

El procedimiento de la botella clara y oscura asume que las tasas de respiración dentro de ella son las mismas, pero esto no siempre resulta verdadero. Además, se acepta que las tasas de producción en un frasco cerrado son las mismas que en el medio ambiente natural. Así que este método mide solo una parte de la respiración y de la productividad de la comunidad total; e ignora a las algas fijas, tanto como a las macrófitas, bentos y necton. Una fuente común de error consiste en el hecho de que en alguna ocasión es la concentración de la productividad bruta resulta negativa; esto se debe a una elevada concentración de oxígeno en la botella oscura. Las causas principales de este error son: el producto de la inhibición fotosintética, de la respiración bacteriana y de la inercia fotosintética que se da en ambos recipientes. El tiempo de incubación puede variar de acuerdo al origen de la muestra, es decir en sistemas oligotróficos (poco productivos) el tiempo mínimo sea de 6 horas y en sistemas eutróficos (muy productivos) de 4 horas. (Badillo A. M. 2010)

Debido a que la concentración elevada de nutrientes y Materia Orgánica en el agua, son indicadores de un estado ecológico contaminado, llamado proceso de eutrofización; que consiste en el enriquecimiento de los cuerpos de agua con nutrientes a un ritmo tal que llega un momento en que no es posible la mineralización completa de la materia orgánica producida. (Chapa y Guerrero, 2010)

Si bien los efectos de la eutrofización, como los florecimientos de algas, son fácilmente visibles, el proceso de eutrofización es complejo y ofrece dificultades de cuantificación. Por ello es importante que, en todo estudio de sistemas acuáticos, existan datos de parámetros físicos y químicos, para tener una idea del estado del sistema y como es su dinámica dentro de él.

La tala y el drenaje, sumados al aumento en la extracción de agua dulce; son las principales causas de pérdida y degradación de humedales continentales. Una gran abundancia de nutrimentos, en este caso por pérdida de suelos desnudos, uso de fertilizantes o drenajes, puede afectar negativamente los procesos químicos y la dinámica de los ecosistemas acuáticos. (*Wetzel, 2001*)

Muchos nutrimentos en la columna de agua facilitan el crecimiento poblacional del fitoplancton, éstas aumentan la cantidad de materia orgánica, por lo tanto, se requerirá mayor concentración de oxígeno disuelto para descomponer toda esta materia orgánica. En caso de no cubrir la demanda de oxígeno, los organismos que habitan en el sistema comenzarán a morir. La contaminación acelerará el envejecimiento natural y acortará considerablemente la vida del receptor acuático, llevando al sistema acuático a un estado crítico. (*Chapa y Guerrero, 2010*) Sin embargo el uso de detergentes puede afectar la determinación de la carga orgánica biodegradable (DBO) presentando valores bajos. Esto se debe, entre otras causas, a que las bacterias en presencia de detergentes se rodean de una película que las aísla del medio e impide su acción. Por otro lado, la solubilidad del oxígeno en aguas que contienen detergentes es menor que en aguas libres de ellos. Se disminuye, en consecuencia, la difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua. (*Barrenechea A.,2004*)

Dado que toda la producción primaria de un ecosistema acuático depende de los organismos fotosintetizadores, es fundamental que se considere la medida de esta producción como un punto de partida inicial para una evaluación sobre el potencial sustentable del mismo, La variación temporal de la producción fitoplanctónica está controlada por la radiación subacuática y por la disponibilidad de nutrimentos. (*Montoya Y.2010*)

Los ecosistemas acuáticos, son sistemas que tienden a responder de forma muy rápida a elementos perturbadores, por lo que cualquier acción que afecte al sistema, éste responderá en alguna manera.

Un factor adicional inherente a los ecosistemas y que tiende a oponerse al cambio es la *resiliencia*, que le permite al sistema tratar de regresar a un estado anterior dentro de ciertos límites, luego de una perturbación irreversible. Un suceso en el umbral puede conducir a un cambio irreversible en la resiliencia del ecosistema, y acarrear consecuencias negativas para la capacidad adaptativa de los ecosistemas en transición y a un aumento de la incertidumbre en cuanto a los efectos ambientales. (*Cervantes M., 2007*)

El Ciudad de México es una ciudad con un acelerado crecimiento, se encuentra sobre la cuenca de un lago a más de 2000 metros de altitud y sin contar con una corriente pluvial importante; por ello Xochimilco juega un papel muy importante. Dicha demarcación tiene una extensión territorial de 134.6 Km²; el 67.3% es considerada como área de conservación ecológica, e incluye áreas montañosas y zona de chinampas; esta área se encuentra amenazada por la mancha urbana. (*Arcos R. 2004*)

Antecedentes históricos

A lo largo del territorio mexicano encontramos diferentes climas, cuencas, vegetación, topografía, entre otros factores que favorecen el desarrollo de una alta diversidad algal. La República Mexicana cuenta con cerca de 12 mil cuerpos de agua epicontinentales que representan en conjunto 862 mil ha inundadas. (*Garduño S, 2011*)

En el Valle de México existía una gran extensión lacustre de aproximadamente 2000 km², formada por los lagos de Zumpango y Xaltocan al norte, Texcoco en el centro y Xochimilco y Chalco al sur. El lago de Xochimilco estaba comunicado de esta manera con los cuerpos de agua del sistema. Al norte, un estrecho que separaba el cerro de la Estrella y la llanura aluvial de Churubusco le comunicaba con el lago de Texcoco. Al oriente, el límite con el lago de Chalco estaba formado por la isla de Tláhuac y el estrecho que separaba Tlaltenco de Tulyehualco. A diferencia del lago de Texcoco, cuyas aguas eran salobres, los lagos de Xochimilco y Chalco, en el sur de la cuenca, estaban formados por agua dulce.

Procedente de Chicomoxtoc, la tribu de los xochimilcas fue la primera de las 7 tribus nahuatlacas en llegar al valle del Anáhuac, se asentaron en Cuahuilama, cerro sagrado ubicado en el pueblo de Santa Cruz Acalpixca.

Los xochimilcas establecieron su ciudad en el siglo X y extendieron su dominio hacia zonas aledañas como Tlayacapan, Xumiltepec, Chinameca, Mixquic, Tláhuac, Tepoztlán y Hueyapan, donde ejercieron poder político y económico. (Alcaldía Xochimilco 2015)

El principal uso del agua del lago de Xochimilco fue agrícola. En este lago se comenzó a desarrollar el sistema de cultivo conocido como chinampa, que se sigue empleando en la actualidad. Las chinampas consisten en una especie de islas artificiales construidas con estacas de ahuejotes y petate de tule, sobre los que se depositaba cieno de los bajos del lago. Ello les proveía de una singular fertilidad que permitía la recolección de varias cosechas anuales.

El lago de Xochimilco se alimentaba de las aguas de numerosos manantiales que bajaban de la sierra de Ajusco-Chichinauhtzin y el volcán Teuhtli. Sin embargo, a partir del Porfiriato (principios del siglo XX), los manantiales fueron canalizados para abastecer de agua a la ciudad de México. Por esa misma época quedaron concluidas las obras del Gran Canal del Desagüe, que terminaron por desecar extensas zonas de los vasos lacustres del centro de México, proceso del que no quedó exento el lago Xochimilco, cuyos volúmenes de agua extraídos alcanzaron más de 2,300 litros por segundo en promedio. (*Abedrop L. S. y col., 2012*)



Ilustración 7 Pintura Xochimilco al final de siglo XIX

Fuente: <https://www.realestatemarket.com.mx/articulos/mercado-inmobiliario/urbanismo/18355-cinco-decadas-de-acelerado-desarrollo-urbano-en-la-ciudad-de-mexico>

En 1936 y 1942 se emitieron decretos que identificaban a Xochimilco “Zona Típica, Pintoresca de Belleza Natural” cuya conservación es de interés público. El Departamento del Ciudad de México, en sus Programas Parciales de Desarrollo Urbano, señalaron a la región chinampera dentro de los límites de conservación ecológica. (*Alcaldía Xochimilco, 2015*)

En Xochimilco se vertieron una red importante de drenajes provenientes de las microcuencas del Ajusco, que caracterizó a los pueblos de origen náhuatl (Xochimilcas, chalcas, tepanecas, tlahuicas, etc.) en lo que fueron los lagos del Valle de México, de los cuales sólo Xochimilco conserva algunos de los aspectos culturales El lago de Xochimilco era alimentado por 4 manantiales de gran importancia; sus aguas servían para regar los cultivos y eran morada de aves nativas y migratorias. Surtía de agua potable a la capital. La sobreexplotación del agua agotó el caudal de los manantiales, provocó hundimientos en los terrenos y contaminación en las aguas del lago. (*Acevedo, 1972*).

A los problemas ambientales de Xochimilco no se les prestó la atención debida hasta finales de la década de 1980. En 1987, las chinampas de Xochimilco fueron declaradas Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO. (*Pérez-Fons, 1993*)

Actualmente el lago de Xochimilco ha sufrido los efectos de la contaminación provocada por el crecimiento de la población humana y su evolución en la forma de apropiarse de los recursos naturales para su supervivencia, arrojando al ambiente desechos diversos, principalmente de origen doméstico y de la agricultura. Así mismo el deterioro del Suelo de Conservación está relacionado, principalmente, con el crecimiento desordenado de los asentamientos humanos irregulares (AHI), con la tala ilegal de bosques, con la pavimentación de caminos, con los incendios forestales, con el entubamiento y contaminación del

recurso hídrico, con la sobreexplotación del acuífero, con la mala disposición de residuos sólidos y por las caducas prácticas agropecuarias. (CONAFOR 2014)

También se introdujeron carpas (*Cyprinus carpio*) y tilapias (*Oreochromis* sp.); estas especies están deteriorando a tal grado el sistema que la Alcaldía Xochimilco ha tenido que poner en marcha programas para la reducción de población de esas especies exóticas, con el fin de resguardar la mermada calidad de los canales. En el caso de la restauración de lagos, la pesca de especies clave permite manipular las cadenas tróficas con fines de restauración y manejo. (Linding C.R., 2007)

En los casos de eutrofización antropogénica las acciones de remediación más aplicadas son extraer sedimentos, eliminar la maleza subacuática o flotante e introducir especies que se alimenten de algas. Estas medidas se han aplicado en Xochimilco, en la Ciudad de México, donde se ha establecido un programa permanente de limpieza de canales. La calidad del agua en el lago de Xochimilco ha mejorado, aunque sigue en fase de recuperación. (Chapa, Guerrero, 2010)

El Programa Delegacional de Desarrollo Xochimilco 2013-2015. Se formó de las opiniones de los representantes de la comunidad que participaron en el Comité Mixto de Planeación de Xochimilco y las de algunos miembros de la estructura delegacional, que por medio de diversas propuestas, e información entregada a través de varios formatos, buscaron dar orden y sistematizar los objetivos que cada área planteó como prioritarios, para que una vez definidas las estrategias y las líneas que habrán de seguir las acciones de cada una de las áreas de la administración pública delegacional, se socialicen entre toda la estructura delegacional para su ejecución. Finalmente se trataron de articular en el presente proyecto los cinco ejes rectores planteados por la Jefatura de Gobierno del Ciudad de México, encabezada por el Dr. Miguel Ángel Mancera, lo cual permitirá una mayor coordinación con la Administración Pública del Ciudad de México. (Programa Delegacional de Desarrollo Xochimilco 2013-2015)

El Programa Delegacional de Desarrollo es el instrumento de planeación que establece las directrices generales de desarrollo social, económico y de ordenamiento territorial (urbano-ambiental) de la delegación, considera proyecciones y previsiones para un plazo de 20 años y atiende las peculiaridades de Xochimilco. Su vigencia es de 3 años, que corresponde al período de gestión del Titular del Órgano Político-Administrativo de acuerdo con el Estatuto de Gobierno del Ciudad de México.

Actualmente la Alcaldía Xochimilco presenta los siguientes problemas: cambios dramáticos en la calidad y cantidad de agua en la subcuenca a causa del abatimiento acelerado de los causes alimentadores y desecamiento progresivo de los canales y acequias, así como un acelerado cambio de los usos del suelo rural a urbano y falta de una cultura de producción del espacio acorde con el sistema normativo de regulación del suelo y la construcción. Pérdida de fuentes de abastecimiento de agua (reducción de posibilidades de recarga e incremento de la demanda). Degradación de la calidad del agua por contaminación de afluentes (descarga de aguas crudas a los canales y contaminación de cauces con residuos sólidos). Zona de transición: Es considerada como de alta susceptibilidad a la conversión del suelo de usos agrícolas en usos urbanos. Esta zona se ha visto inmersa en procesos anárquicos de urbanización en los últimos 30 años y presenta en la actualidad, el mayor porcentaje de asentamientos irregulares. Para 2030 calculamos una población de 550 mil habitantes. Este acelerado crecimiento demográfico significó, y sigue significando, una fuerte carga financiera y operativa para el gobierno Delegacional, ya que se tienen que redoblar esfuerzos para atender la demanda de vivienda, servicios públicos de agua, drenaje, limpia, pavimentación y para garantizar el acceso a los servicios de salud, educación, deporte, cultura y recreación. (Programa Delegacional de Desarrollo Xochimilco 2013-2015)

Desarrollo Económico Sustentable e Infraestructura Urbana. (eje ambiental dentro del programa)

- Sumarnos a la línea política del Gobierno del Ciudad de México para reafirmar a la Ciudad de México como destino turístico nacional e internacional.
- Continuar impulsando los proyectos ecoturísticos de la zona chinampera y la montaña sumando esfuerzos con el Gobierno del Ciudad de México.
- Participar con Sistema de Aguas del Gobierno del Ciudad de México para producir agua residual tratada eficientemente.
- Participar con Sistema de Aguas del Gobierno del Ciudad de México en eliminar la descarga de agua residual sin tratamiento a los canales.
- Participar con Sistema de Aguas del Gobierno del Ciudad de México extraer agua subterránea racionalmente.
- Participar con Sistema de Aguas del Gobierno del Ciudad de México para recargar el acuífero con suficiente infiltración.
- Evitar la erosión del suelo en la parte alta de la cuenca. Mejora del manejo de agua y suelo chinampero.

- Promover la participación del Gobierno Delegacional en Xochimilco en la Convención RAMSAR, UNESCO, ICOMOS y UICN, como parte de los compromisos internacionales de los gobiernos, Federal y del Ciudad de México.

Las prioridades de atención de este Programa de Desarrollo y que deberán ser contemplados en los programas sectoriales e institucionales del Gobierno del Ciudad de México, son las siguientes:

1. Manejo del agua
2. Sustentabilidad
3. Desarrollo social
4. Patrimonio cultural, educación y apropiación
5. Turismo como actividad sustentable
6. Ordenamiento e imagen urbana
7. Accesibilidad vial
8. Seguridad pública acciones estratégicas

Las acciones estratégicas de este Programa parten de reconocer la necesidad de contar con una visión integral y de largo alcance sobre los diversos problemas que aquejan a Xochimilco. Esto implica considerar como un sólo sistema las funciones ambientales, urbanas, sociales y económicas de la zona de la montaña, la chinampería y la zona urbana. Asimismo, implica considerar que Xochimilco tiene dos funciones estratégicas en el ámbito metropolitano:

1. Xochimilco es una de las Delegaciones que aporta mayores servicios ambientales a la Ciudad de México, a través de producción agrícola, mantos acuíferos, abastecimiento de agua potable, recreación y esparcimiento, áreas verdes y forestales; fauna endémica
2. Los elementos históricos, artísticos y culturales que están presentes en sus pueblos y barrios originarios, chinampas y en sus prácticas sociales, religiosas y comunitarias, reconocidas a nivel mundial y que constituyen parte de la identidad nacional.

Por tanto, la conservación de estos rasgos se vuelve indispensable no sólo para el desarrollo de Xochimilco, sino también para el desarrollo sustentable del resto de la ciudad. La articulación entre estas dimensiones facilita la integración estratégica de los temas que, por su propia naturaleza, tienden a verse

separados, pero que requieren de un planteamiento general que les otorgue coherencia y sustento. (*Programa Delegacional de Desarrollo Xochimilco 2013-2015*)

De igual manera falta dar cumplimiento a la normatividad vigente, iniciando por la Ley de Aguas del Ciudad de México en su Título sexto Art. 73, donde señala “Queda prohibido a los propietarios o poseedores de un inmueble: I. Descargar al sistema de drenaje todo tipo de desechos sólidos o sustancias que alteren química o biológicamente los afluentes y los cuerpos receptores, o por sus características pongan en peligro el funcionamiento del sistema o la seguridad de la ciudad o de sus habitantes, así como en cualquier tipo de cuerpo o corriente de agua; II. Realizar la conexión clandestina de su descarga al drenaje, y III. Realizar alguna derivación para no cumplir con las obligaciones que se contienen en la presente Ley. Cuando se trate de una descarga de aguas residuales resultantes de actividades productivas en cuerpos receptores distintos al drenaje, las delegaciones informarán al Sistema de Aguas para que actúe en el ámbito de su competencia. (*LADF 2003*). Siendo visiblemente uno de los factores que afectan a la cuenca.

En el artículo “Evaluación del riesgo al acuífero de Xochimilco por lluvias extremas”, de *Jiménez B., 2013*, se hace una proyección 2030-2050, y se observó que, dadas las características geológicas de porosidad de la roca basáltica fracturada y la cantidad de arcilla, ya que condicionan el volumen y la dirección del flujo de recarga que proviene de la zona sur, desde la sierra del Chichinautzin hacia la zona urbana, a una velocidad mayor a la esperada en condiciones normales. También se menciona que el riesgo de deterioro de la calidad del agua está en función no sólo de la vulnerabilidad, sino también de la magnitud de la amenaza, debido a la ocurrencia de eventos de precipitación extrema ya que la escorrentía consecuente facilita el transporte de contaminantes, existe una fuerte correlación entre los indicadores conductividad y Sólidos Disueltos Totales, con coliformes fecales. (*Jiménez B., 2013*)

Problemática

Las aguas del Lago de Xochimilco se utilizan para diferentes usos, agrícola, transporte, actividad turística, pesquera, doméstico entre otros, además de ser el hábitat de especies con importancia biológica; Derivado de estas actividades el lago recibe diferentes aportaciones de agua, y diferentes tipos de contaminantes, el agua recibe contaminación adicional por uso de fertilizantes, descargas residuales domésticas (se vierten alrededor de 400 drenajes domésticos), desechos de ganado de traspatio y de actividades turísticas lo que causan grandes problemas de Eutrofización (Aguilera, 1987; Chapa, 1987; citado en Lozada, 2004).

Todos estos usos generan deterioros diferentes, los cuales requieren tratamientos específicos, al carecer de dichos tratamientos los impactos se van sumando, pudiendo generar una sinergia dentro del sistema, deteriorando la cuenca cada vez más rápido. La situación actual indica que no existe un sistema de drenaje para las casas que bordean el lago, ni un tratamiento adecuado en las aguas residuales urbanas que se vierten; Tampoco existe una regulación en los agroquímicos utilizados en la zona de agricultura, que es la mayor área en la que interactúa el lago y el hombre.

Debido a la elevada cantidad MO y la elevada concentración de nutrientes, se observa su proceso de eutrofización de manera acelerada. Lo cual trae como consecuencia que el sistema acuático tiende a la extinción acelerada.

Han existido diversos programas de rehabilitación del sistema, pero la problemática yace en querer atender al lago como si fuera un solo impacto, ignorando las diferentes actividades preponderantes por área. Es importante analizar los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos, de las diferentes áreas, según su actividad.



Fotografía 1 Problemática en el lago de Xochimilco

Fuente: Foto tomada durante los trabajos de campo

Justificación

Todo conocimiento generado del estudio de aguas continentales es importante para comenzar a utilizar el recurso hídrico sosteniblemente. En el caso del Lago de Xochimilco, es uno de los cuerpos de agua más importantes en el país, ya que se encuentra en medio de la zona urbana de la capital y es de gran importancia económica y cultural.

Al evaluar la productividad se conoce el estatus actual del sistema acuático. Lo cual permitirá establecer programas de rehabilitación funcionales, a todos los niveles de competencia.

Relacionar el tipo actividad, con el tipo de contaminante y estado físico, químico y biológico del lago, ayudará a proponer soluciones concretas, entendiendo la dinámica en cada zona y el tipo de medida de control en cada una.

Así determinar si el lago se encuentra en riesgo y cuáles son los problemas que están afectando su equilibrio. Es por ello que estos parámetros arrojarán datos reales del estado ecológico del sistema. De esta manera, se podrán aportar elementos que contribuyan a mejorar el manejo del recurso, y reducir los impactos negativos a la agricultura, turismo, recreativos, paisaje y salud pública.



Fotografía 2 Problemática en Asunción

Fuente: Bucio Y. R., 2009.

Objetivos

1.1. Objetivo general

Evaluar la productividad primaria y considerar los parámetros físicos, químicos y nutrimentales en el lago de Xochimilco, en 4 puntos de monitoreo (Cuemanco, Asunción, Texhuilo y canal de Japón), a 2 diferentes niveles de profundidad (superficie y fondo). Relacionar el tipo de actividad y contaminantes, para entender los impactos directos al lago.

1.2. Objetivos particulares

1. Evaluar los parámetros físicos y químicos in situ: transparencia, profundidad, temperatura conductividad, pH, oxígeno disuelto y oxido- reducción en 4 puntos de monitoreo establecidos, a dos niveles. Considerando el tipo de descarga y las condiciones actuales del lago
2. Evaluar los parámetros químicos en el laboratorio: alcalinidad, CO₂ nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, ortofosfatos, sulfatos, DBO, DQO en 4 puntos de monitoreo a dos niveles.
3. Evaluar la productividad primaria del lago in vitro, considerando la técnica de botella clara y oscura; Y con el método teórico de diferencia de Oxígeno cada 12 horas en un periodo de 24 horas; en 4 puntos de monitoreo a dos niveles (superficie y fondo).
4. Relacionar los parámetros físicos y químicos con la productividad primaria, así como las actividades que rodean las zonas, y determinar si existe evidencia de dicha relación.

Hipótesis

El lago de Xochimilco, por tratarse de un sistema de canales de aguas residuales urbanas con diferentes usos, como el doméstico, agrícola, turístico y recreativo, tendrá diferentes comportamientos, dependiendo de las actividades preponderantes que rodeen al lago. Así mismo los parámetros, físicos, químicos y biológicos a evaluar darán evidencia del tipo de contaminación que se realiza en la zona.

Bajo este planteamiento, proponemos que se observarán 3 comportamientos, respondiendo a cada una de las actividades, la zona urbana, la zona agrícola y la zona turística.

En este contexto se considera que el mayor potencial reductor del sistema se encontrará en la zona urbana. Se considera que la zona menos eutrofizada corresponderá a la zona agrícola, por lo cual tanto los parámetros físicos y químicos, como el comportamiento nutrimental, se espera presente un comportamiento menos reductor en dicha zona

Zona de estudio

Xochimilco es una de las 16 delegaciones de la CDMX y se localiza al sureste, el Lago de Xochimilco se encuentra en esta delegación, su ubicación geográfica en coordenadas son entre los paralelos 19° 09' y 19° 19' de latitud norte; los meridianos 99° 00' y 99° 10' de longitud oeste; altitud entre 2 240 m. Colinda al norte con las delegaciones Tlalpan, Coyoacán, Iztapalapa y Tláhuac; al este con las delegaciones Tláhuac y Milpa Alta; al sur con las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan; al oeste con la Alcaldía Tlalpan. Ocupa el 8% de la superficie del estado. Cuenta con 108 localidades y una población total de 402 056 habitantes (INEGI,2007).



Mapa 1 Mapa actual del Lago de Xochimilco

Fuente: (Google Earth 2015)



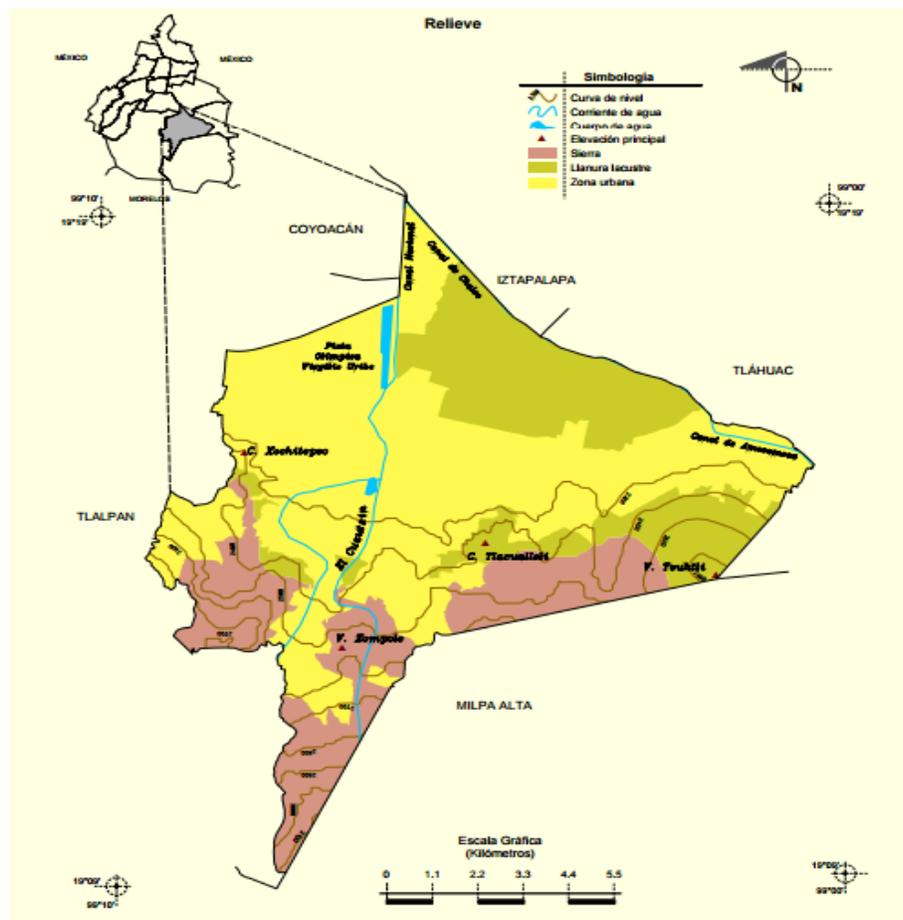
Fotografía 3 Fotografía Aérea de Xochimilco

Fuente: <https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-vista->

1. Fisiografía

Provincia Subprovincia Sistema de topoformas Eje Neovolcánico (100%) Lagos y Volcanes de Anáhuac (100%) Llanura lacustre (70%) y Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados (30%). La superficie montañosa de esta zona está comprendida entre los 220 y 2500 m.s.n.m. El sistema orográfico se subdivide principalmente en tres zonas:

- La zona montañosa consiste en una serie de accidentes geográficos con relación entre sí, y que forman unas especies de “faja” que rodea al sur de la llanura, especialmente sierra de Cuautzin, al sureste de la Sierra del Ajusco y al este de la Sierra Nevada, aunque esta última no está en el DF.
- La zona del norte de la Sierra del Ajusco, entre los Cerros Teuhtli y Rzompole, al norte del Cuautzin. Los principales cerros con que cuenta, de este a oeste, el Teuhtli, Tlamacaxco, Teoca, Tochuca, Santiago y Xichitepec.

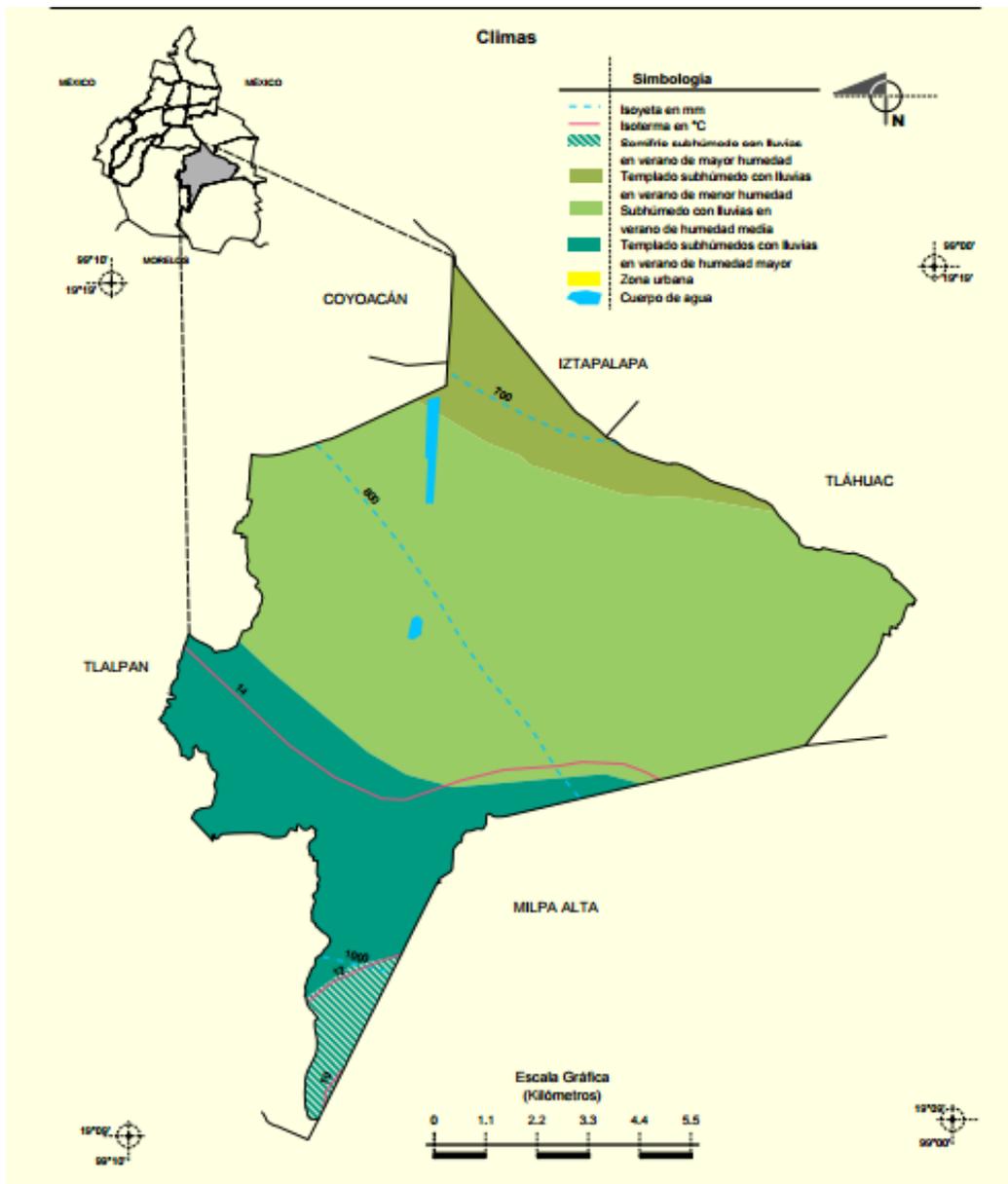


Mapa 2 Mapa de Relieve de Xochimilco

Fuente INEGI (2009). *Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos Xochimilco, Ciudad de México.*

2. Clima

Es predominante el clima templado subhúmedo, valores propios del área rural. En tanto que en la parte urbana el clima es seco (Aguilera, 1987), con lluvias en verano, la precipitación media anual es de 1100mm para la sierra y de 700mm para la planicie lacustre, la temperatura promedio es de 15°C y es más frío en enero con 10°C (INEGI, 2001). La temporada de lluvias es en verano y parte de otoño, casi toda la precipitación es de tipo orográfico y convectivo (Alfaro, 1980).

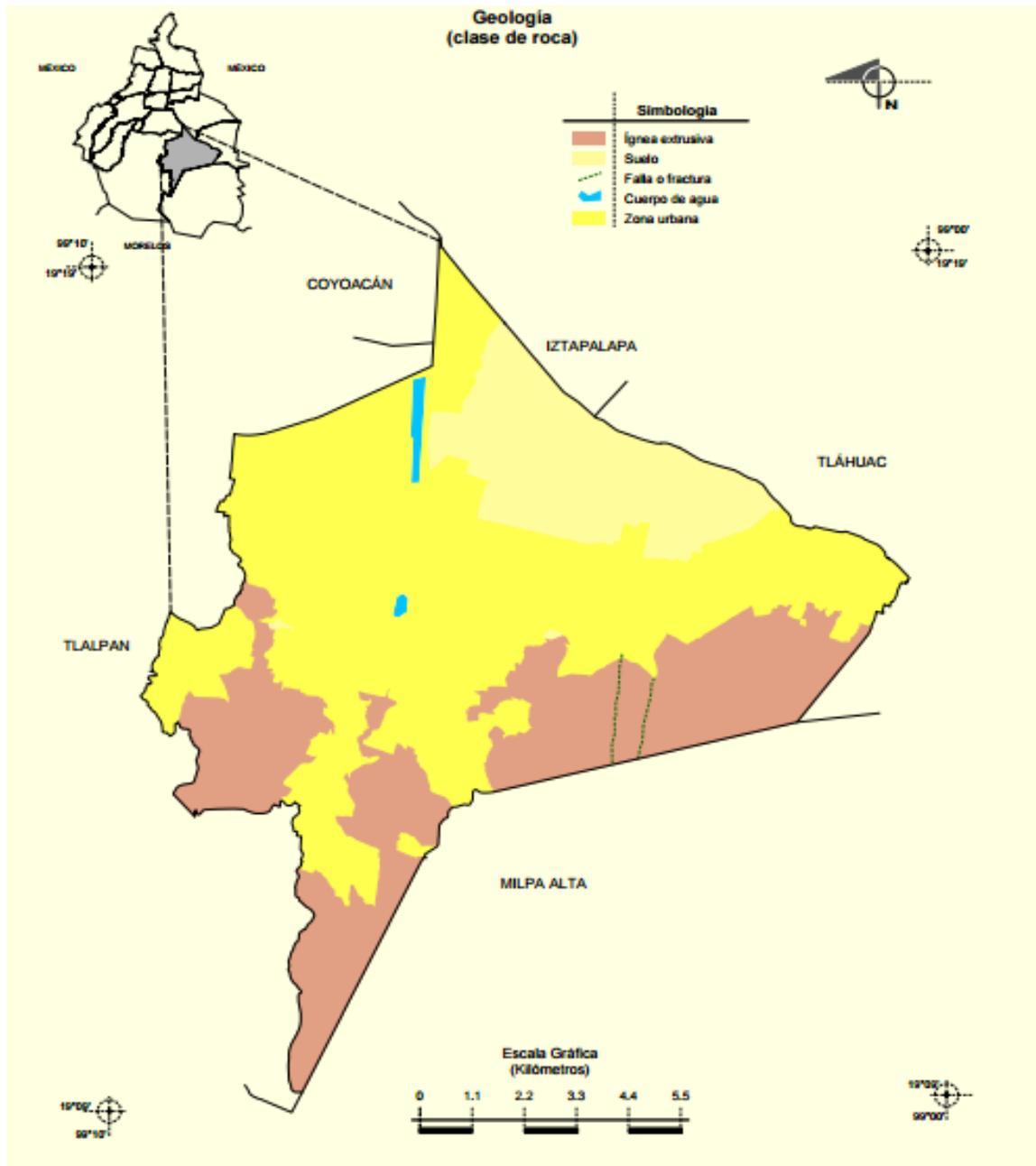


Mapa 3 Climas de Xochimilco

Fuente INEGI (2009). Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos Xochimilco, Ciudad de México.

3. Geología

Geológicamente, la cuenca se encuentra dentro del Eje Volcánico Transversal, una formación del terciario tardío, de 20 a 70 Km de ancho, que atraviesa la República Mexicana. La zona lacustre se encuentra rodeada de sierras de origen volcánico como el volcán Tehutli con 2710 msnm, el Zempole con 2650 msnm y el cerro Tlacualleli con 2420 msnm, está formado por rocas de origen Cuaternario (86%) y Neógeno (14%) Ígnea extrusiva: basalto (15%), andesita (8%), brecha volcánica básica (7%)

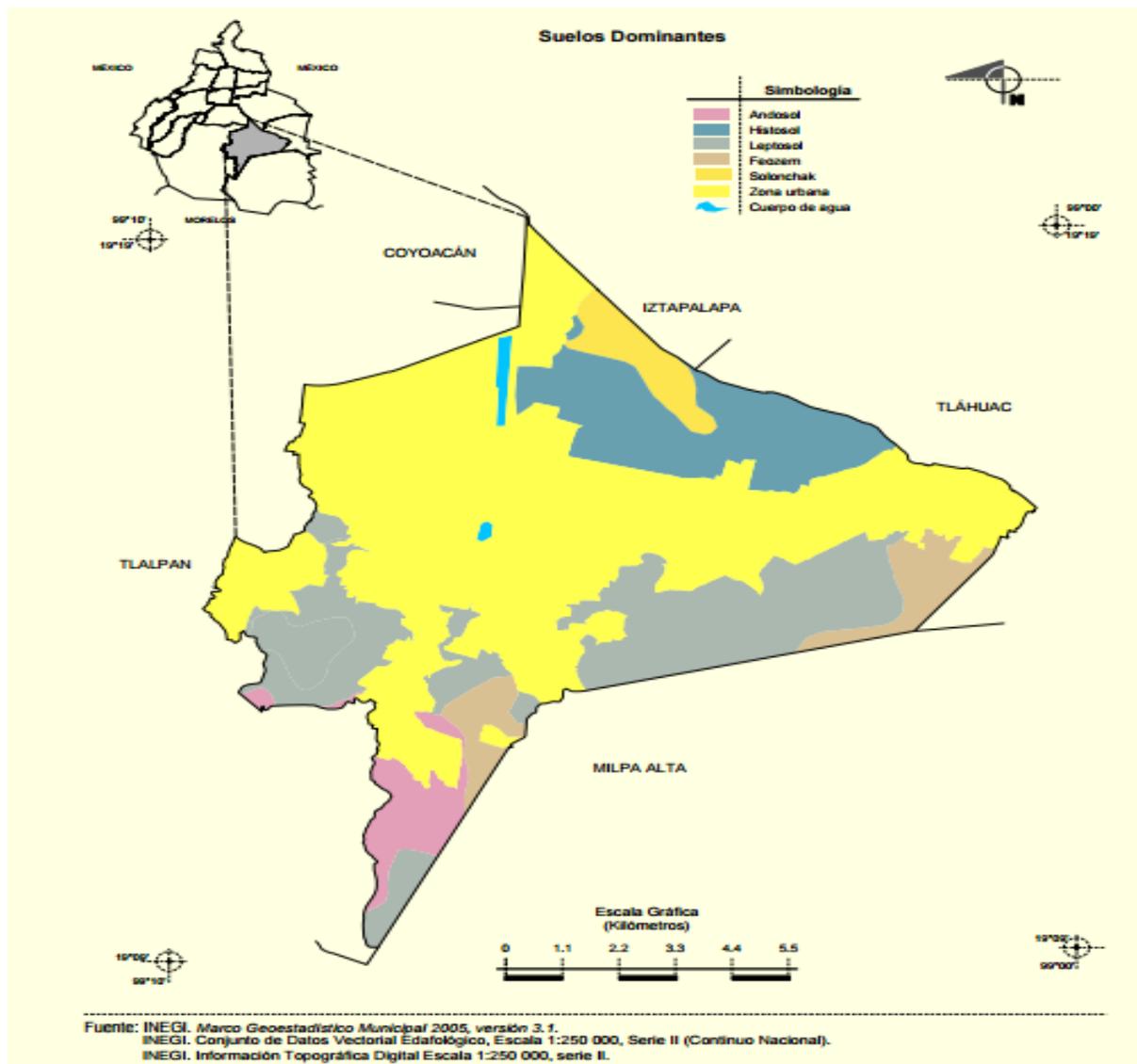


Mapa 4 Mapa Geológico

Fuente INEGI (2009). Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos Xochimilco, Ciudad de México

4. Suelo

Por ser una llanura lacustre localizada en una depresión o zona de acumulación, todos los suelos son profundos, y bien desarrollados y maduros, que se encuentran sujetos a dos problemas importantes: inundación ensalitramiento. Son suelos de origen lacustre y palustre principalmente, cuyo material parental es una mezcla de diversos materiales que se han depositado en diferentes periodos. Los suelos, por su alto contenido de materia orgánica y humus han demostrado que son muy fértiles, aunque actualmente presentan elevadas concentraciones de sales, lo que representa una limitante muy severa para su uso y manejo. En el siguiente imagen podemos observar la proporción de tipo de suelos que existen en la Alcaldía Xochimilco Lacustre (14%) Edafología Suelo dominante Leptosol (21%), Histosol (11 %), Phaeozem (5%), Andosol (4%), y Solonchak (3%) (Aguirre, 1993)



Mapa 5 Imagen que se muestra a la composición del suelo en la zona de Xochimilco

Fuente INEGI (2009).

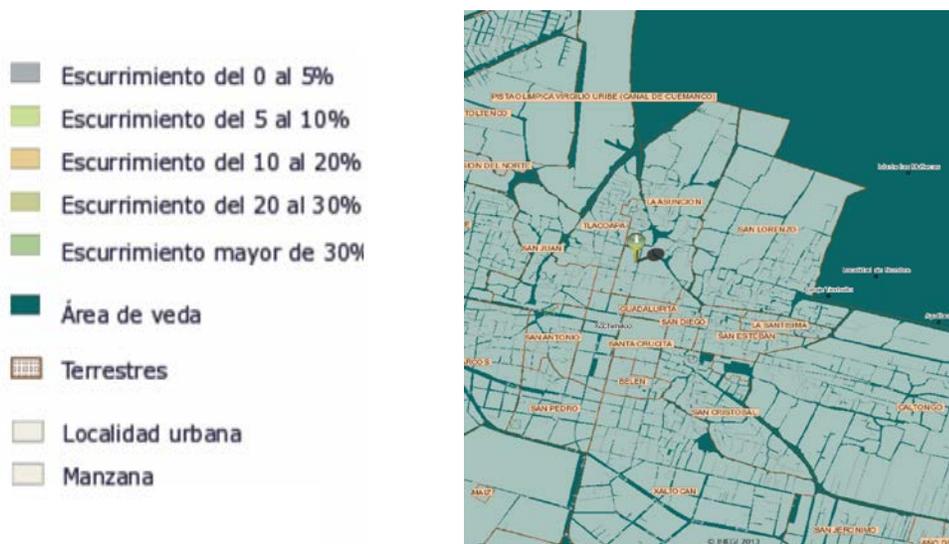
5. Hidrografía

El lago de Xochimilco se encuentra al sur del Valle de México, tiene una superficie aproximada de 24 Km² y su profundidad máxima es de 10m, por lo regular no sobrepasa un metro. Los principales canales de la región son: Cuemanco, Apatlaco, Tlilac, Tecuitel y el canal de Chalco (intermitente) que sirve de límite entre Tlahuác y Xochimilco (*Chapa, 1987*).

El Canal Nacional-Cuemanco es, actualmente, el sistema de drenaje principal existente; este canal sigue una dirección sur-norte, iniciándose en las chinampas. Recibe por la margen izquierda al Río San Buenaventura y la descarga por bombeo de unos 500 l/seg de aguas negras tratadas (hasta 4m³/seg. en tormentas). Por el margen derecho recibe, por bombeo (hasta 4m³/seg) las descargas del Canal de Chalco. Además, los vertidos de aguas negras, tanto del San Buenaventura como de las estaciones de bombeo, convierten al Canal Nacional en una cloaca de aguas negras casi estancadas. Los ríos que descargan directamente en el sistema lacustre Xochimilco Tlahuác son: San Buenaventura, Santiago, San Lucas, Mixquic y Milpa Alta. (*Acevedo, 1972*)

Actualmente en el Lago de Xochimilco, las chinampas se dividen en dos sectores (turístico y agrícola) con un desnivel (aproximado) de 1.10 m. entre ellas. El sector Turístico, se alimenta en estiaje (octubre a junio) por los pozos San Luis números 14 y 15, con un caudal de 150 l/seg., aproximadamente.

Se estima que a este acuífero se infiltran 119 millones de metros cúbicos al año (3.78 m³/s) y se extraen 140 millones de metros cúbicos (4.4 m³/s) por medio de 79 pozos. La mayoría de la recarga se produce en la zona sur, debido a la alta permeabilidad del suelo, por un lado, favorece la infiltración, pero por otro facilita la penetración de contaminantes al acuífero principal. Este flujo de recarga se desplaza en forma lateral y descendente a través de basaltos fracturados hacia la zona norte del acuífero principal. (*Jiménez B., 2013*).

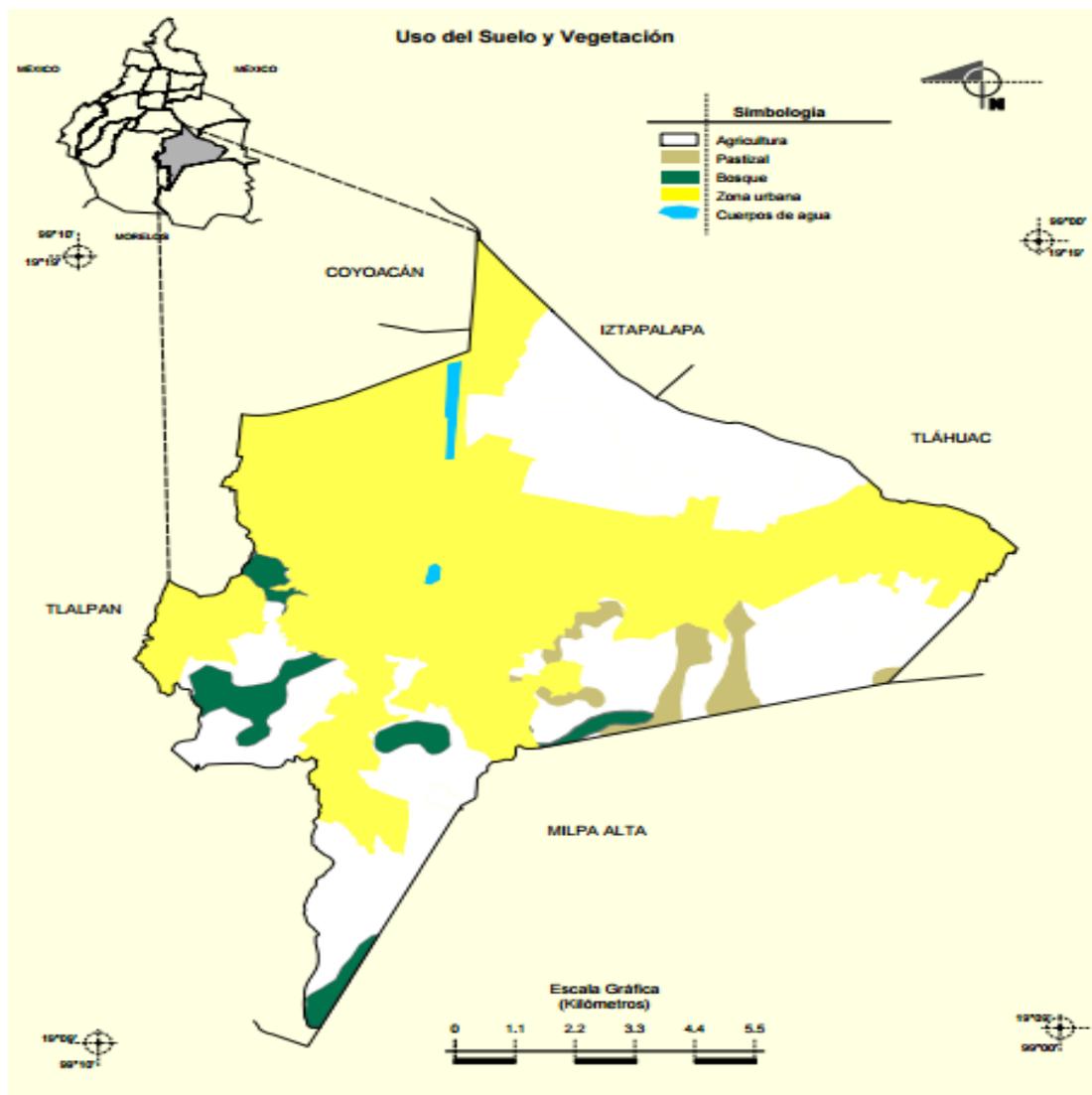


Mapa 6 Mapa hidrográfico

Fuente: Mapa digital INEGI 2015

6. Uso de suelo

El uso potencial de la tierra Agrícola Pecuario Para agricultura mecanizada continua (16%) Para agricultura con tracción animal continua (10%) Para agricultura manual continua (7%) No aptas para uso agrícola (67%) Para el establecimiento de praderas cultivadas con maquinaria agrícola (15%) Para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal (12%) Para el establecimiento de praderas cultivadas con tracción animal (11%) No aptas para uso pecuario (62%) Zona urbana Las zonas urbanas están creciendo sobre suelos lacustre y aluvial y rocas ígneas del Cuaternario, en llanura y parte de sierra; sobre áreas originalmente ocupadas por suelos denominados Histosol, Leptosol y Andosol; Tienen clima Templado subhúmedo, y están creciendo sobre terrenos previamente ocupados por agricultura. (INEGI, 2009)



Mapa 7 Mapa de uso de Suelo

Fuente INEGI (2009). Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos Xochimilco, Ciudad de México.

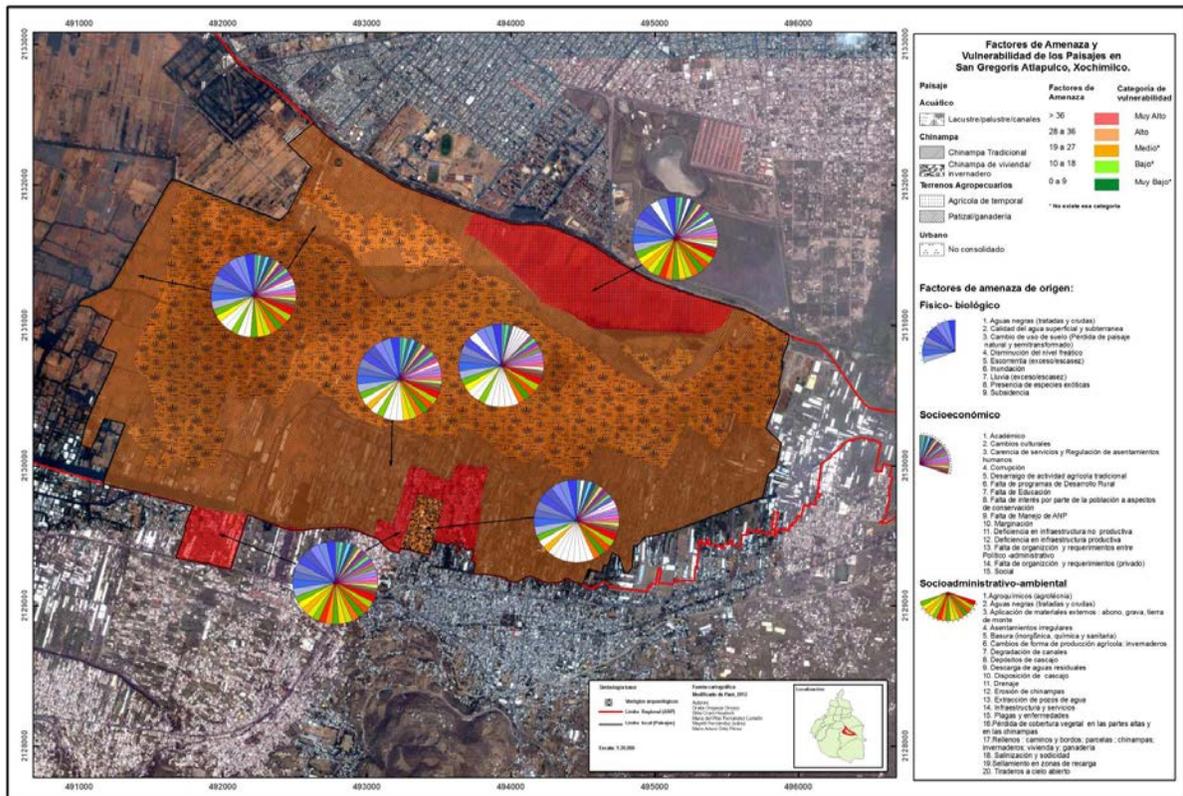
7. Área natural protegida

El Área Natural Protegida, con el carácter de Zona Sujeta a Conservación Ecológica “Ejidol de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, Ciudad de México, queda en consecuencia con una superficie de 2,522.43 hectáreas, integrada por un polígono. La descripción topográfica-analítica y limítrofe del Área Natural Protegida bajo la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica “Ejidol de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. (*Gaceta oficial de Ciudad de México, 2006*)

De acuerdo a los estudios realizados en el Área Natural Protegida “Ejidol de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, se ha identificado tres tipos de vegetación natural: vegetación halófila, vegetación acuática y subacuática (pantano) y vegetación terrestre o riparia; se han registrado 180 especies de flora, distribuidas en 135 géneros y 63 familias. Que con base a los estudios técnicos realizados en el Área Natural Protegida se obtuvo un registro de 139 especies de vertebrados: 21 de peces, 6 de anfibios, 10 de reptiles, 79 de aves y 23 de mamíferos. De éstas, **11 se encuentran enlistadas dentro de alguna categoría de protección** de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2001. (*Gaceta oficial de Ciudad de México, 2006*)

Las características geológicas, morfológicas y ambientales de la zona referida, juegan un papel importante en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, debido a que proporciona diversos servicios ambientales de gran relevancia, como la regulación del clima, captación e infiltración de agua al manto acuífero, recreación, investigación, educación, mejoramiento de la calidad del aire, y hábitat de especies de flora y fauna. (*Gaceta oficial de Ciudad de México, 2006*)

Con esta finalidad, la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Ciudad de México (PAOT a través de la Licitación LA909024988-N1-2013, convocó la prestación del servicio denominado: “*Estudio elaboración de un SIG participativo de la zona chinampera para identificar los riesgos relacionados con la afectación de la calidad del agua y los hundimientos en Xochimilco*”, con el objetivo de sistematizar información espacial y documental y dar a conocer el estado ambiental que guarda el Área Natural Protegida “Ejidol de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” dando como resultado el siguiente mapa: (*Consultores en Gestión Política y Planificación Ambiental S. C., 2013*)



Mapa 8 Identificación espacial de los factores de amenaza y la vulnerabilidad de los paisajes de San Gregorio

Fuente Consultores en Gestión Política y Planificación Ambiental S. C., 2013



Ilustración 8 Problemas identificados por la PAOT en las unidades naturales relacionadas con el proceso de hundimiento regional que afecta a San Gregorio

Fuente Consultores en Gestión Política y Planificación Ambiental S. C., 2013

8. Flora

En el pasado la flora de Xochimilco era abundante, especialmente en los bosques mixtos, las montañas estaban cubiertas de ellos. La vegetación en la actualidad es pobre, debido a la tala inmoderada en las zonas de vegetación. Por la erosión del suelo, sobrevinieron diversos hechos biológicos: cambio de clima, escasez de precipitaciones y aumento de la temperatura.

La vegetación exclusiva que predomina en las riberas del lago y en sus chinampas son: el ahuejote *Salix bonplandiana* Kunth es un árbol tradicionalmente empleado para fortalecer los bordes de las chinampas; otras especies utilizadas con el mismo fin son el ahuehuete (*Taxodium ucronatum* Ten.), el fresno. *Fraxinus uhdei* (Wensig Lingelsh) y el eucalipto (*Eucalyptus* spp), también encontramos árboles de tipo mixto como: alcanfores, álamos plateados, casuarinas, y sauces llorones (Domínguez, 1987; Salas, 1998; Ramos B. y Cajuste et al., 2001 citados en Lozada M.M., 2004).

En la superficie de los canales encontramos plantas tales como: lirio acuático, ombligo de venus, *Limnobium stoloniferum*; y la ninfa amarilla, blanca y salmonada esta última en peligro de extinción, la lechuga de agua. Los más comunes de las pequeñas son el chichicaste y la lentejilla, algunas de estas sirven como hábitat para animales de importancia económica, aunque otras actúan como filtros y estabilizadores de las aguas y sedimentos. Cada una de estas funciones dependerá principalmente de las especies predominantes. Además, otra particularidad es que también pueden ser indicadoras de aguas contaminadas por metales presentes. (Ortega U. S, 2000)

A la orilla de los canales podemos encontrar: espadañas y asociaciones de *Ceratophyllum demersum*. En los canales y zanjas abundan la hoja de flecha y el alcatraz. Sobre la tierra se agrupan las lenguas de vaca y la ortigas, la *Asteroxitis*, ligulas blancas y estrella de agua. Abunda el zacate de varias especies.

En las partes elevadas de Xochimilco hay pequeñas zonas de bosque mixto con algunos pinos, Cedros, Ahuehetes, Ocotes, Encinos, Madroño, ailes y Tepozanes. En zonas de menor elevación podemos hallar capulines, eucaliptos, alcanfores, jarillas, tepozanes, toloache y chilacayote

En el cerro Teuhtli hay vegetación xerófila: magueyes, nopales, cabellos de ángel, jarillas y otras hierbas. Las flores que se cultivan en la región son aretillo, azalea, clavel, cempoalxochitl, dalia, flor de calabaza,

floripondio, gladiola, girasol, clavelina, merca y estatil. (Acevedo, 1972; Chapa, 1987; del, flor de chícharo Lopez, 1975).

9. Fauna

En los parajes de Xochimilco, la fauna fue abundante, terrestre, acuática y aérea, había liebre, tigrillo y venado; serpientes, roedores y cacomixtle, tlacoache, tejón, tuza, tepexcuintles (perros criados para cocinarse), que ahora casi desaparecieron, quedando algunas de esas especies en cautiverio.

Las aves canoras que eran abundantes han desaparecido causa de la tala de árboles. Las aguas tenían carpas de gran tamaño, charales, ranas jumiles, acociles y ajolotes. La fauna típica de Xochimilco está desapareciendo. Se ha extinguido gran parte de ella, otra ha huido a lugares más seguros. Todavía en el siglo pasado se mencionaba al venado entre los animales de la región, y ahora ha desaparecido totalmente.

Quedan varias especies, algunas útiles y otras nocivas: liebres, conejos teporingos, coyote, tlacoache, comadreja y zorrillos, tejón y cacomixtle, armadillos, tuzas, ratones de campo, lagartijas, víboras de cascabel y escorpiones, ardilla, conejo y ratón. (INEGI, 2000)

Acerca de la fauna acuática, la existente antes de la introducción de aguas negras a los canales de Xochimilco era abundante en especies como: carpa, ajolote, almeja, rana, carpa roja, blanca y negra, trucha, acocil, tortuga y huil. Estas especies eran importantes porque aseguraban un ingreso económico extra a los vecinos y una dieta rica. En la actualidad es muy difícil obtener cualquiera de estas especies, y es interesante agregar que el G.D.F., trajo carpas de Israel para establecer el nivel ecológico original, pero murieron al poco tiempo, o no se reprodujeron por la calidad inadecuada del agua para su desarrollo. Quedan algunos organismos de ajolote, la carpa parda, roja, plateada, pinta, israelita, herbívora, barrigona y cristal, apeto, michipeto, charal, acocil, cincuate, culebra de agua y pato, huil y metaxpique y cochinilla de humedad.

La fauna aérea está conformada por la garza blanca, gris y plateada, gallinas, gallaretas, perro de agua, gaviota, pelicanos, búho, lechuzas, halcones, aguilillas, ceniztli, huitlacoche, gorriones y calandrias. Sin embargo, la fauna que fue típica poco a poco ha ido desapareciendo como consecuencia de la urbanización. Tal es el caso de los tigrillos, venados, tepescuincles, pumas de montaña y gato montés. (Chapa, 1987).

10. Diagnóstico de la Alcaldía Xochimilco

La superficie total de Xochimilco asciende a 12,517 ha, de la cual 2,505.8 ha (20.1%) son suelo urbano y 10,011.2 ha (79.9%) suelo de conservación. El suelo de conservación de la Alcaldía Xochimilco ha sido a lo largo del tiempo fuente de bienes y servicios ambientales para los habitantes de la Ciudad de México. Los bosques han jugado un papel primordial en el mantenimiento del régimen hidrológico, la recarga del sistema del acuífero, la regulación del clima local y el mantenimiento de las cadenas y redes tróficas, así como en el soporte de la flora y fauna del territorio xochimilca. Se cuenta con tres zonas representativas: Zona Chinampera: La zona de chinampas que subsiste en las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac, es el último relicto del gran sistema de producción agrícola de alta eficiencia desarrollado por los pueblos originarios de la antigua cuenca de México. Xochimilco, tiene una extensión de 2,404 has. y está designada como zona sujeta a Preservación Ecológica. (*Programa Delegacional de Desarrollo Xochimilco 2013-2015*)

Por otra parte, el territorio de Xochimilco contiene cinco de las treinta microcuencas que riegan la gran cuenca de México: Río San Buenaventura; Río Santiago; Río San Lucas, Nativitas; Río San Gregorio. (*Programa Delegacional de Desarrollo Xochimilco 2013-2015*)

Por lo que la conservación del recurso hídrico se traduce en la línea estratégica principal para la gestión ambiental del territorio de la Delegación. En las dos últimas décadas Xochimilco ha tenido un acelerado crecimiento demográfico, que lo llevó a pasar de 271,151 habitantes en 1990 a 369,787 en el 2000, y a 415,007 en 2010, es decir que tan sólo en dos décadas su población se incrementó en casi 150 mil habitantes.

La contaminación desmedida en los mantos disminuyó considerablemente la fauna lacustre, poniendo en riesgo la biodiversidad del ecosistema. Al crear conciencia de la importancia real del Lago de Xochimilco y del Valle de México en general se implementó un proyecto de recuperación de la Cuenca del Valle de México, que tiene como propósito construir reservas naturales alrededor de la capital formando un Cinturón ecológico Verde; las acciones llevadas a cabo en Xochimilco constituyen medio círculo de este cinturón y el resto lo conforman las reservas naturales de las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Milpa Alta, Tlalpan y Tláhuac (*Pérez-Fons, 1993; DDF, 1996*).

En la Tesis de Bucio Y. R. se hizo una descripción sobre la percepción que tienen los lugareños sobre el estado de contaminación del lago de Xochimilco, en donde se entrevistaron a 70 personas residentes de Asunción y La Santísima, de dichas entrevistas se obtuvo lo siguiente: se les preguntó que si tenían drenaje, a lo cual respondieron casi el cien por ciento que contaban con este servicio, sólo el 7% de los participantes contaba con otro tipo de almacenamiento de desechos como lo es la fosa séptica. Sin embargo, se observaron varias casas tirando sus descargas hacia los canales, lo que argumentaban los habitantes que si estaban conectados al drenaje pero que no servía debido al nivel de los callejones por la alta extracción del agua de los canales, de los cuales respondieron el 70% que no conocían los delitos ambientales a los que son sujetos las personas que tengan sus descargas de aguas domiciliarias hacia los canales. En cuanto a la participación de los habitantes con la Alcaldía u otra asociación se observa que falta programas que integren a los habitantes y que también estos puedan organizarse de forma continua par resolver los problemas ambientales de su comunidad. La mayoría de los habitantes consideran que hay una mala calidad debido a las descargas de aguas domiciliarias a los canales de Xochimilco y están dispuestos a evitar estas descargas y existe disposición para organizarse. (Bucio Y. R., 2009)

En términos generales, Xochimilco presenta las siguientes debilidades en lo social, económico, territorial y político que afectan al medio ambiente.

Debilidades

- Imprecisiones e insuficiencias jurídicas y programáticas, organizativas y funcionales en la instrumentación de programas ambientales, urbanos y agrícolas.
- Falta de alternativas viables de vivienda (falta oferta legal de suelo y mecanismos de financiamiento adecuados).
- Falta de tecnología y apoyos financieros para el sector primario.
- Falta de asistencia técnica a los procesos de producción agrícola.
- Falta de infraestructura que permita el desarrollo pleno de las actividades turísticas o ecoturísticas.
- Baja rentabilidad del suelo de conservación con un incremento de la especulación del suelo para usos habitacionales.
- Falta de reserva territorial para construcción de vivienda y equipamiento social a futuro (educación, cultura, salud, servicios comunitarios, deporte, recreación).
- Asentamientos humanos irregulares en el suelo de conservación.

- Acelerado crecimiento demográfico.
- Cambio sin control de los usos de suelo de preservación, rescate y producción rural y agroindustrial para usos habitacionales y falta de una cultura de producción del espacio acorde con el sistema normativo de regulación del suelo y la construcción.
- Pérdida de fuentes de abastecimiento de agua (reducción de posibilidades de recarga e incremento de la demanda).
- Degradación de la calidad del agua por contaminación de afluentes (descarga de aguas crudas a los canales y contaminación de cauces con residuos sólidos).
- Déficit de servicios urbanos, principalmente agua y drenaje.
- Deficiente calidad de vida que se expresa en la calidad de las viviendas, servicios con los que cuentan, acceso a los satisfactores básicos de educación, salud, recreación, cultura y deporte, entre otros.
- Falta de acciones coordinadas entre el gobierno Delegacional y el Gobierno del Ciudad de México para dar una atención integral a temas como: desarrollo social, vivienda, obras y servicios urbanos, asentamientos irregulares, turismo y fomento económico.

Los usos de suelos son principalmente urbanos, así como vemos en la siguiente imagen el color gris es la zona de ésta actividad. Y cuáles son las zonas protegidas en el mapa de abajo.



Mapa 9 Mapa Actual del Lago de Xochimilco (Asunción)

Fuente: (Google Earth 2015)

Es importante resaltar que la mayor parte del agua del Lago de Xochimilco es aportada por la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella, ubicada en la Alcaldía Iztapalapa, es la más grande de la cuenca. Inició operaciones en los años 1971, para suministrar aguas tratadas a la zona chinampera en Xochimilco. Da tratamiento a las aguas residuales de las delegaciones Álvaro Obregón y Contreras. La capacidad de tratamiento de la Planta es de 4m³/s. La planta está conformada por 4 unidades de proceso a nivel secundario con 4 trenes de proceso cada una.



Ilustración 9 Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella

Fuente: Reunión de trabajo No. 71. Grupo Especializado de ordenamiento del Consejo de Cuenca del Valle de México

La planta de tratamiento del Cerro de la estrella consta de las siguientes fases de tratamiento. Floculación, filtración, ozonificación, Adsorción, ósmosis inversa y Luz ultravioleta.

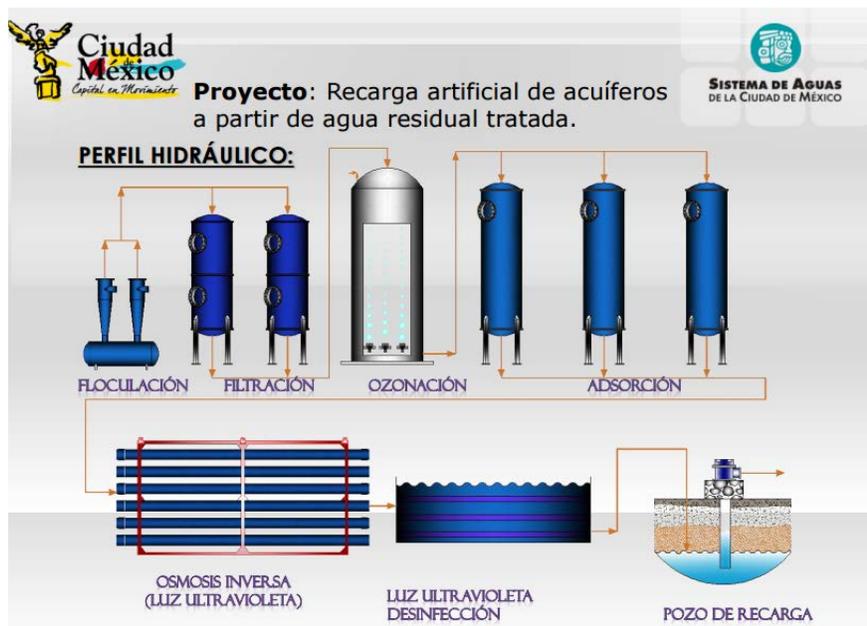


Ilustración 10 Procedimiento de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella

Fuente: Reunión de trabajo No. 71. Grupo Especializado de ordenamiento del Consejo de Cuenca del Valle de México

La Planta tratadora manifiesta que su sistema de tratamiento de aguas residuales aprovecha procesos biológicos en los que las mismas bacterias contribuyen a eliminar 97 por ciento de los contaminantes presentes en el líquido, con lo que se garantiza además del riego, la sobrevivencia de los canales de Xochimilco, indicó José Galván Gómez en una entrevista para el periódico Excelsior con fecha del 07/07/2013 (<http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2013/07/07/907660>). Explicó que también emplean como indicadores biológicos a una especie de pez de agua dulce, la trucha arcoíris, para constatar la efectividad del proceso de tratamiento.

El Gobierno del Ciudad de México publicó en abril de 2004 la norma local de recarga del acuífero (*NADF-003-AGUA-2002*) en la *Gaceta Oficial del D.F.* En ella se indican las condiciones y requisitos de la recarga artificial en el Ciudad de México del Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Los parámetros que se consideran son similares a los de la NOM-003-SEMARNAT-1997. (*Jiménez C.B., 2005*). Por lo que de manera “teórica” el agua que se recarga en el lago de Xochimilco debe cumplir con dicha norma.

Sin embargo conforme a lo observado durante los trabajos de campo, la calidad del agua dista mucho de cumplir dentro con los estándares normativos, ya sea porque existe un aporte superior de aguas crudas a aguas tratadas, dentro del lago de Xochimilco; o porque el agua tratada no cumple con la calidad que dice el proyecto de Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella cumplir.



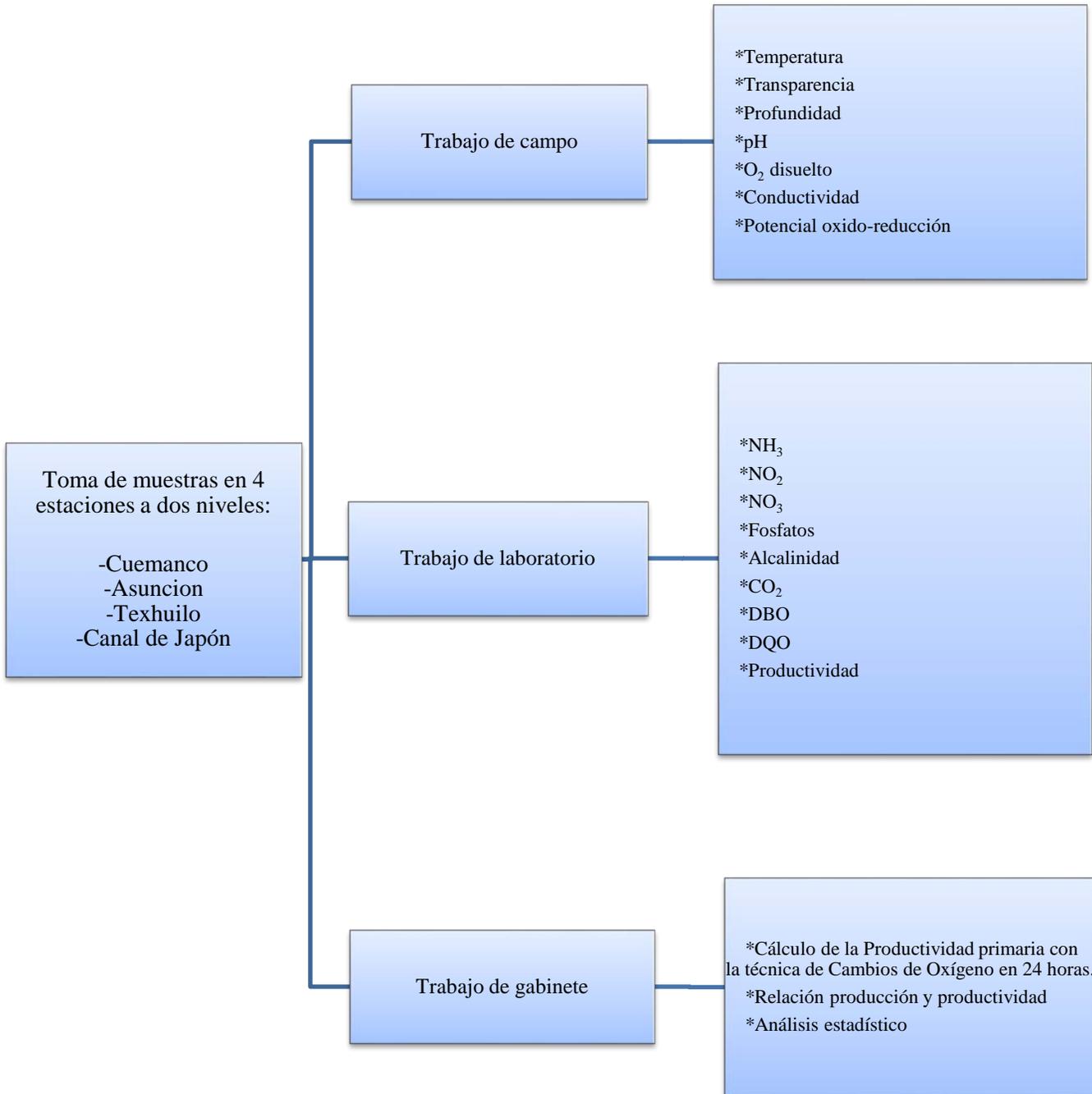
Fotografía 4 Descarga de agua Residual directa al Lago de Xochimilco

Fuente: foto tomada durante los trabajos de campo.

Método

Tres etapas: trabajo de campo, trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete

Cuadro 1



1. TRABAJO DE CAMPO

El inicio del trabajo comenzó delimitando las estaciones de muestreo, así como los niveles de estudio y acotando el periodo de tiempo en el que se realizaron. Los muestreos se realizaron mensualmente durante todo un año, en 4 estaciones y a 2 niveles (fondo y superficie) para el lago de Xochimilco. Las estaciones fueron establecidas de acuerdo a las actividades que ocurren en la zona; así tenemos una estación en la zona turística (Cuemanco), dos estaciones en la zona agrícola (Texhuilo y Canal de Japón) y una en zona urbana (Asunción) en las coordenadas que se muestran en la Tabla N2, utilizando un GPS para referenciar las coordenadas. Tomando en cuenta los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, conforme la *NMX-AA-014-1980*. Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas.

Sitio	Nombre	Coordenadas
I	Cuemanco	Lat: 19° 17' 117" Long: 99° 6' 103"
II	Asunción	Lat: 19° 16' 256" Long: 99° 6' 114"
III	Texhuilo	Lat: 19° 19' 40" Long: 99° 4' 25"
IV	Canal de Japón	Lat: 19° 19' 37" Long: 99° 4' 35"

Tabla 2 Localización de puntos de Muestreo

En Cuemanco se determinó el Sitio número 1, en dicha zona se identifica que la actividad preponderante es el turismo, se observan varios establecimientos de venta de comida alrededor del lago, así como muchas embarcaciones denominadas como trajineras. En dicha zona se observó que todas las actividades recreativas se realizan dentro del lago, por lo que los impactos ambientales se generan de manera directa y son generados por las actividades turísticas. Durante la realización de los trabajos de campo se observó que la coloración del agua en esta zona se mantuvo verde oscuro, se observan algunas garzas y presencia del estrato arbóreo.



Fotografía 5 Sitio I de Cuemanco

Fuente: fotos tomadas durante los trabajos de campo

En Asunción se determinó el Sitio número II, en dicha zona se identifica que la actividad preponderante es el uso residencial. Se observa su cercanía a la zona urbana, con varias casas bordeando el lago donde en su mayoría son construcciones en concreto, con servicios públicos como calles pavimentadas, iluminación, alcantarillado, agua corriente, etc. La mayoría de los impactos ambientales generados son causados por las descargas clandestinas de algunas residencias, así como el desecho de sólidos urbanos por parte de algunos habitantes. Durante la realización de los trabajos de campo se observó que la coloración del agua en esta zona se mantuvo verde oscuro y con un olor de agua estancada, se observa la disminución del estrato arbóreo y un aumento en la presencia de sólidos urbanos en el agua.



Mapa 10 Sitio II Asunción

Fuente: (Google Earth 2015)



Fotografía 6 Sitio II Asunción

Fuente: foto tomada durante los trabajos de campo

En Texhuilo se determinó el Sitio número III, en dicha zona se identifica que la actividad preponderante es el uso agrícola. Se observan varios cultivos alrededor del lago, así como algunos animales como caballos y vacas pastando en las chinampas. La mayoría de los impactos ambientales generados son causados por los escurrimientos al momento del riego de los cultivos, así como la limpieza de las áreas donde se encuentran los animales. Durante la realización de los trabajos de campo se observó que la coloración del agua en esta zona se mantuvo café, se observa un aumento del estrato arbóreo, en su mayoría ahuejotes, y la presencia continua de lirio acuático, esto debido a que en esta área las actividades de limpieza del lago no llegan a estas áreas de manera recurrente.



Mapa 11 Sitio III Texhuilo

Fuente: Google Earth 2015



Fotografía 7 Sitio III Texhuilo

Fuente: foto tomada durante los trabajos de campo

En Canal de Japón se determinó el Sitio número IV, en dicha zona se identifica que la actividad preponderante es el uso agrícola. Se observan varios cultivos alrededor del lago, así como algunos animales como caballos y vacas pastando en las chinampas. La mayoría de los impactos ambientales generados son causados por los escurrimientos al momento del riego de los cultivos, así como la limpieza de las áreas donde se encuentran los animales. Durante la realización de los trabajos de campo se observó que la coloración del agua en esta zona se mantuvo café, se observa una disminución en el volumen de agua y el poco o nulo ingreso de turistas en esta área. Continúa la presencia de lirio acuático y de ahuejotes, así como se observan garzas y patos.



Mapa 12 Sitio IV Canal de Japón

Fuente: Google Earth 2015



Fotografía 8 Sitio IV Canal de Japón

Fuente: foto tomada durante los trabajos de campo

El traslado a las estaciones de muestreo se efectuó utilizando una embarcación de fibra de vidrio, para ubicar las estaciones se contó con un navegador por satélite (GPS). Las muestras de agua se tomaron desde la embarcación a nivel superficie de forma manual y con ayuda de la botella Van Dorn 10 cm antes del fondo (previamente calculado con el disco de Secchi), en botellas de poliuretano con capacidad de 1L y en botellas DBO con capacidad de 350ml.



Fotografía 9 Trabajando en campo

Fuente: foto tomada durante los trabajos de campo

En la TABLA N°3 se observan los parámetros que fueron calculados *in situ* con el disco de Secchi y con un multiparámetro HANNA HI 9828-25. Para ello antes del uso del Multiparámetro, se procedió a la calibración conforme a lo descrito en el manual de usuario del multiparámetro HANNA.

Tabla 3 Parámetros in situ

Parámetro	Técnica
Temperatura	Multiparámetro HANNA
Transparencia	Disco de Secchi (Rodier, 1990)
Profundidad	Disco de Secchi (Rodier, 1990)
Ph	Multiparámetro HANNA
Oxígeno disuelto (O ₂)	Multiparámetro HANNA
Conductividad	Multiparámetro HANNA
Potencial de óxido-reducción (pOR)	Multiparámetro HANNA

Las mediciones se realizaron en horario aproximado, en cada visita y conforme al proceso requerido para cada parámetro. Todo ello, para mantener condiciones de medición y procesos homogéneos en cada visita. Antes del uso del Multiparámetro, se procedió a la calibración conforme a lo descrito en el manual de usuario del multiparámetro HANNA HI 9828-25. (Ver Anexo1)



Fotografía 10 Multiparámetro HANNA HI9828-25

Fuente: foto tomada durante los trabajos de campo

Una vez calibrado el Multiparámetro HANNA HI 9828-25, se procedió a analizar cada uno de los puntos de muestreo a dos niveles. Almacenando la información por cada punto, para después descargarla en la computadora del laboratorio.

- La medición de la **temperatura** del Multiparámetro HANNA HI 9828-25 es basada en los termómetros digitales.
- Para la medición del **Oxígeno disuelto** del Multiparámetro HANNA HI 9828-25, se basa en la velocidad e difusión del oxígeno molecular a través de una membrana.
- Para la medición **pH** del Multiparámetro HANNA HI 9828-25, se basa en el potencial eléctrico entre dos electrodos adecuadamente inmersos en una solución. De los electrodos uno es el de referencia que presenta un potencial constante y el otro es un electrodo indicador que asume un potencial dependiente de la actividad iónica de la solución.
- Para la medición de la **Conductividad** el Método de HANNA HI 9828-25 está basado en la capacidad que tiene la solución de contener iones que conduzcan la electricidad, los iones se mueven independientemente y se dirigen a los electrodos de carga opuesta mediante la aplicación de un campo eléctrico.
- Para el potencia **Oxido Reduccion** se utilizó el Multiparámetro HANNA HI 9828-25, se mide de un modo parecido al valor del pH. Sin embargo, en lugar de una membrana de vidrio sensible al pH, se emplea un electrodo de platino u oro.

Para los parámetros de **Transparencia y Profundidad**, Se utilizó un disco de Secchi, Donde previamente la cuerda guía del disco de Secchi se marcó cada 10 cm. En el caso de la **Transparencia** se introdujo el disco de Secchi dentro del lago observando la profundidad a la que desaparece y a la que reaparece, el valor promedio obtenido entre ambas distancias se tomó como transparencia, ya que representa la profundidad, en la que la luz que atraviesa, se debilita hasta desaparecer debido al fenómeno de absorción, que consiste en una disminución de energía luminosa al ser transformada en calor. (Gómez M., 2014)



Fotografía 11 Disco de Secchi

Fuente: foto tomada durante los trabajos de campo.

2. TRABAJO DE LABORATORIO

Durante la fase de laboratorio se determinaron todos los parámetros descritos en la Tabla N°2, donde se observa que el bióxido de carbono, nitrógeno amoniacal, ortofosfatos, fosforo org., botella clara y oscura, relación N:P, Relación entre productividad y producción, alcalinidad, nitritos y nitratos según las técnicas estandarizadas (APHA, 1996), y el Manual del Fotómetro Multiparamétrico HANNA (HI 83200). Y la Demanda Bioquímica de Oxígeno Vigente (NMX-AA-028-SCFI-2001), Demanda Química de Oxígeno (NMX-AA-030-SCFI-2001).

Tabla 4 Parámetros en laboratorio

Parámetro	Técnica
Bióxido de carbono (CO ₂)	Método volumétrico (APHA, 1996) microescala (Gómez Márquez 2014)
Alcalinidad	Método de titulación (APHA, 1996) microescala (Gómez Márquez 2014)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Prueba de la DBO ₅ (APHA, 1996) (NMX-AA-028-SCFI-2001)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Reflujo cerrado, Método colorimétrico (APHA, 1996), (NMX-AA-030-SCFI-2001)
Nitrógeno amoniacal (NH ₃)	Fotómetro Multiparamétrico HANNA (HI 83200)
Nitritos (NO ₂ ⁻)	Fotómetro Multiparamétrico HANNA (HI 83200)
Nitratos (NO ₃ ⁻)	Fotómetro Multiparamétrico HANNA (HI 83200)
Fosfatos	Fotómetro Multiparamétrico HANNA (HI 83200)
botella clara y oscura	Método Winkler
Relación N:P	Redfield(1958)
Relación entre productividad y producción	Modelo de Ryther y Yentsch

Es importante resaltar que todas las muestras se analizaron en un periodo máximo de tres horas después de ser obtenidas en campo, todas las muestras se preservaron en botellas tapadas herméticamente, previamente desinfectadas, y fueron transportadas en hielo hasta el laboratorio.

La determinación del **Bióxido de Carbono** se utilizó el Método Volumétrico APHA, 1996, con un ajuste microescala tomado de Gómez Márquez 2014. Donde el CO₂ libre presenta un carácter ácido, se puede hacer reaccionar con una base que puede ser hidróxido de sodio o carbonato de sodio, para formar bicarbonatos de sodio. La titulación utiliza fenolftaleína como indicador a un pH 8.3. (Ver Anexo2 Diagrama 1)

Para determinar la Alcalinidad se utilizó el Método Volumétrico APHA, 1996, con un ajuste microescala tomado de Gómez Márquez 2014. Este método se basó en el manejo de pHs utilizando la fenolftaleína y

el anaranjado de metilo como indicadores. Convirtiendo los carbonatos en bicarbonatos y estos a su vez en CO₂. (Ver Anexo 2 Diagrama 2)

Para evaluar la **Demanda bioquímica de oxígeno** (DBO₅) de 300ml, se siguió el método que marca la norma NMx-AA-028-SCFI-2001, que consiste en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C.



Fotografía 12 Botellas para DBO5

Fuente: foto tomada en el laboratorio

Para la determinación de **la Demanda Química de Oxígeno Disuelto** (DQO) se utilizó la norma NMX-AA-030-SCFI-2001, cuyo principio parte de una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos que son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se coloca a reflujó en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇). Después de la digestión, el dicromato no reducido se midió con un espectrofotómetro y a partir de la lectura que indica la cantidad de dicromato consumido se calculó la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.



Fotografía 13 Demanda química de Oxígeno Disuelto

Fuente: foto tomada en el laboratorio

De igual manera se determinó el **Nitrógeno Amoniacal (NH₃)** con Fotómetro Multiparamétrico HANNA (HI 83200), técnica se basa en la reacción del amonio con fenol e hipoclorito en condiciones alcalinas, para formar un indo fenol de color azul, utilizando nitroprusiato de sodio como catalizador. Se utilizan 10 ml de la muestra y se añaden cuatro gotas del reactivo 93715A-0 (kit del fotómetro multiparamétrico HANNA) mezclar y se añadieron cuatro gotas del reactivo 93715B-0 y se mezcla, finalmente se analiza en el fotómetro previamente calibrado para nitrógeno amoniacal.



Fotografía 14 Análisis de nitrógeno amoniacal

Fuente: foto tomada en el laboratorio

Análisis de **Nitratos**, se realizó con Fotómetro Multiparamétrico HANNA (HI 83200). Principio colorimétrico, en el cual, al ácido fenol di sulfónico reacciona con el nitrato para formar un nitroderivado, que en medio alcalino es alterado ligeramente para producir un compuesto amarillo. Se utilizan 6ml de muestra y se le añade el sobre reactivo H193728-0, se agita por 10 segundos y mezclar invirtiendo la cubeta por 50 segundos.



Fotografía 15 Análisis de nitratos

Fuente: foto tomada en el laboratorio

Nitritos se realizó con Fotómetro Multiparamétrico HANNA (HI 83200). Se usaron 10 ml de muestra y el reactivo HI93708-0 del kit del multiparámetro. La técnica se basa en la reacción de Griess en la que el

ión nitrito reacciona con la sulfanilamida a un pH ácido, produciendo un compuesto “azo” que reacciona con N-alfanaftiletilendiamina dihidrocloro para formar un tinte rosa en función de la cantidad de nitrito presente.

Fosfatos Las especies iónicas de ortofosfatos solubles presentes en una muestra reaccionan con heptamolibdato de amonio en un medio ácido para formar ácido fosfo olíbldico color amarillo, y en segundo lugar en presencia de cloruro estañoso se forma molibdeno de color azul. Se analizó con el Fotómetro Multiparamétrico HANNA (HI 83200) donde se analizaron 10 ml de muestra con el reactivo de Molibdato (H193717A-0) y con el reactivo H19377B-0 y se podrán analizar fósforo (F), anhídrido fosfórico (PO_2O_5) y fosfatos PO_4^{3-} .

Botella clara y oscura. Este método se basa en la reacción fotosintética, midiendo el cambio de la concentración de Oxígeno. Dicho método conlleva la utilización de un par de botellas winkler, una clara y una oscura. En consecuencia en las botellas claras se lleva a cabo el proceso de fotosíntesis, generándose una cantidad de oxígeno proporcional a la cantidad de materia orgánica fijada. Al mismo tiempo en las botellas oscuras los fotótrofos consumen el oxígeno. Al análisis se hizo de la siguiente manera:

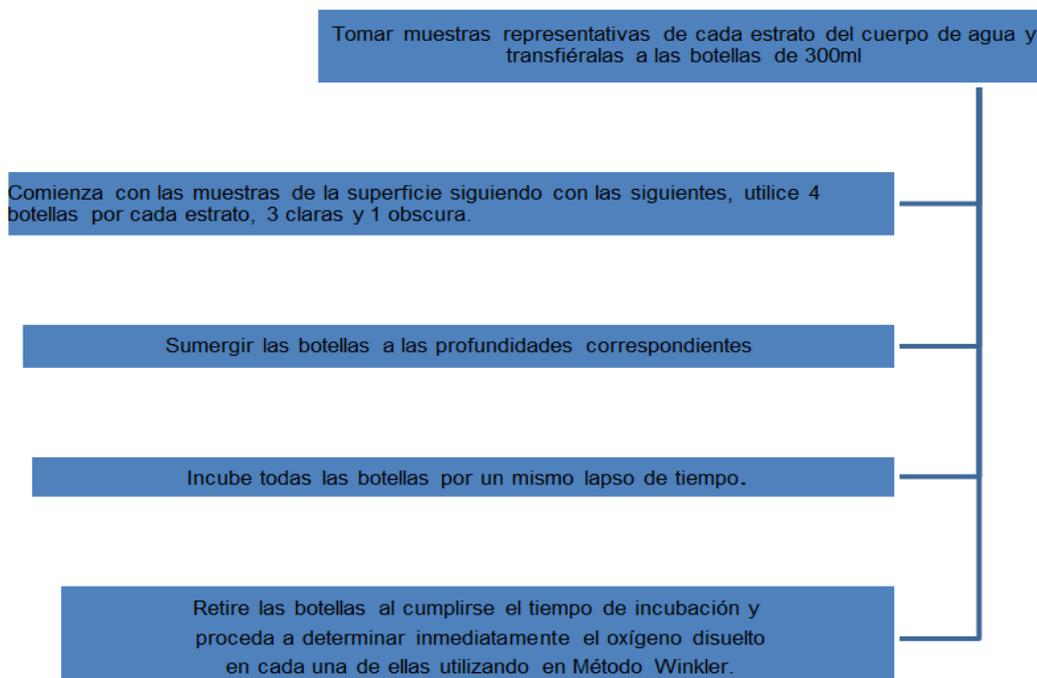


Diagrama de flujo 1 Organigrama de método botella clara y oscura.

Fuente: Método Winkler

Técnica simplificada de los cambios diarios de la concentración de Oxígeno, es un método teórico para estimar la productividad primaria. Esta técnica, asume que el lago completo hace las veces de botella de incubación. El procedimiento involucra tres muestras: dos de ellas tomadas dos tardes sucesivas y la otra en la mañana intermedia, las cuales corresponden a las concentraciones altas y bajas del oxígeno presente en las aguas del lago. Esto se basa en los cambios máximos y mínimos del oxígeno, el primero tiene lugar una hora antes del ocaso, mientras que un mínimo es una hora antes del alba (Cada 12 horas). Para poder realizar dicho análisis, y considerando que no se tenían los recursos para realizar las mediciones cada 12hrs insitu, se optó por intentar simular las condiciones naturales del lago llevando recipientes que se pudieran llenar de agua del lago del punto y profundidad deseada. Así que se generaron dos recipientes unos para superficie (transparentes) y unos recipientes para fondo (aislados de la luz), dentro de estos recipientes se encontraban botellas para el método de winkler de cada punto correspondiente. Todas las muestras se dejaron al exterior por un periodo de 24 horas y las lecturas correspondientes se realizaban cada 12 horas. (Torres R.2000)



Fotografía 16 material listo para campo (botellas claras y oscuras)

Fuente. Fotografía antes de trabajos de campo

3. TRABAJO DE GABINETE

Análisis Estadístico:

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el paquete estadístico Stathgraphics Centurion XV.II Primeramente, en el análisis exploratorio a los datos obtenidos se les realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov a fin de conocer su normalidad (Cervantes et. al., 2006).

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis exploratorio mediante el uso de estadísticos de tendencia central (media aritmética, MA) y de dispersión (desviación estándar, S, y coeficiente de variación relativa de Pearson, C.V.).

Los datos con un comportamiento no normal, se les ejecutaron pruebas no paramétricas; para el análisis univariado se realizó la prueba estadística de Comparación de Varias Muestras la cuál compara los datos en columnas mediante pruebas estadísticas y gráficas, dónde se eligió la prueba de Kruskal- Wallis (KW) la cual compara las medianas en lugar de las medias y evalúa la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las columnas es la misma.

Ésta prueba se realizó sobre los grupos de datos de cada parámetro por mes, por sitio y por nivel (Cervantes et. al., 2006).

Finalmente, en el análisis multivariado se realizó la prueba Análisis de Componentes Principales (ACP) la cual permite sintetizar la información, o reducción de número de variables perdiendo la menor cantidad de información posible. (Martínez M. 2008)

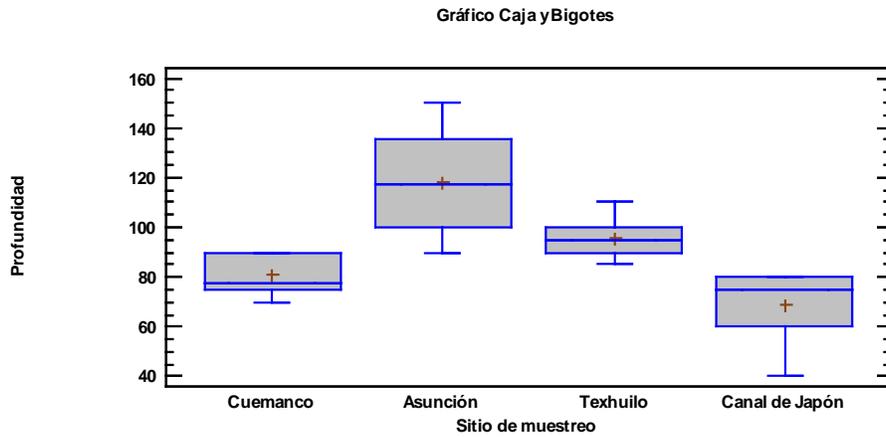
ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis se realizó por parámetro, donde se exploraron por medio de diagramas de caja y bigote, para poder determinar el comportamiento de los datos, por punto de monitoreo, a lo largo del tiempo y por nivel (superficie y fondo).

Profundidad

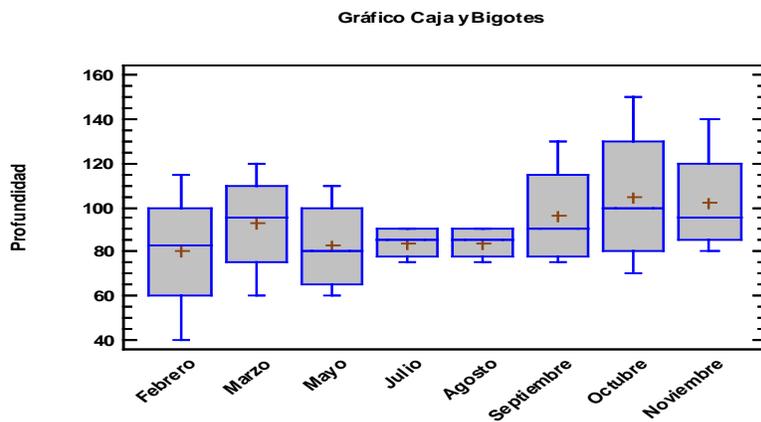
La profundidad media del lago de Xochimilco, observado por punto de monitoreo, fue de 90.7813cm, presenta un comportamiento heterogéneo, la comparación de medianas muestra una diferencia significativa (Gráfica 1), La profundidad máxima que se presentó fue en la localidad de Asunción con una profundidad promedio de 117.5cm. La razón por la que Canal de Asunción alcanza estas profundidades es debido al aporte de aguas residuales provenientes del área urbana y de algunos asentamientos humanos irregulares, en esta zona se presentan asentamientos humanos, regulares e irregulares, los cuales vierten aguas residuales en forma constantes al lago. (*Ortiz y Ruvalcaba, 2004*)

La profundidad menor que se presentó fue la localidad de Canal de Japón con una profundidad promedio de 68.33cm. A su vez las razones por las que Canal de Japón tiene la menor profundidad el cual se ve directamente afectado la cantidad y calidad de las precipitaciones, de la calidad de los suelos del área de drenaje; de la erosión; de los procesos de solubilización y meteorización de la roca madre y los suelos, de la evaporación y la sedimentación. (*Vila P.2003*) esto es debido al constante aporte de materia orgánica, por lo regular no sobrepasa un metro. (*Chapa, 1987*). Así como se observa el gran aporte de materia orgánica por parte de las granjas y actividad agrícola. De hecho, se observan residuos sólidos urbanos en el trayecto (sillones, sillas, llantas e inclusive animales muertos). La zona agrícola donde se encuentran las estaciones agrícolas sufre de la extracción constante de agua, que necesitan para sus cultivos y demás actividades; se entiende que esta demanda es alta y por tal se refleja en la profundidad de la zona. (*Ortiz y Ruvalcaba, 2004*)

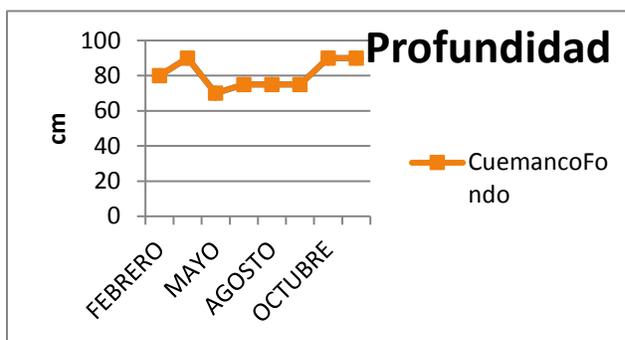


Gráfica 1 Diagrama de cajas múltiples para la profundidad del Lago Xochimilco por punto de monitoreo

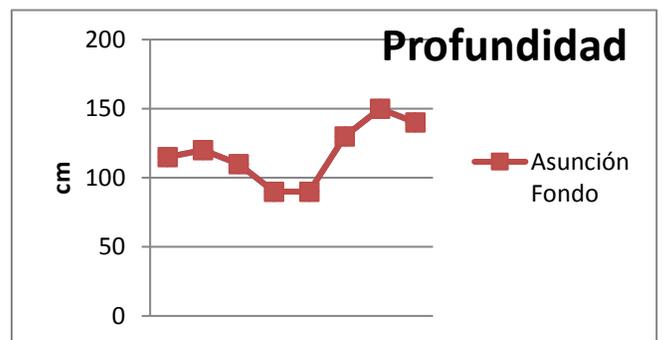
La profundidad media del lago de Xochimilco, observado en el tiempo fue de un promedio 90.7813cm. La profundidad, no presentó variaciones significativas durante los muestreos, presentó un comportamiento homogéneo. El punto con mayor profundidad en el mes de octubre con un promedio de 105cm dichos niveles están directamente relacionados con el comportamiento hidrológico del Lago observándose así un comportamiento similar como le reportado (*Jiménez B., 2013*) donde observaron que en el periodo de lluvias la precipitación aumenta en un 1.4%, sin embargo para el mes de Octubre se observa un aumento del 5%.



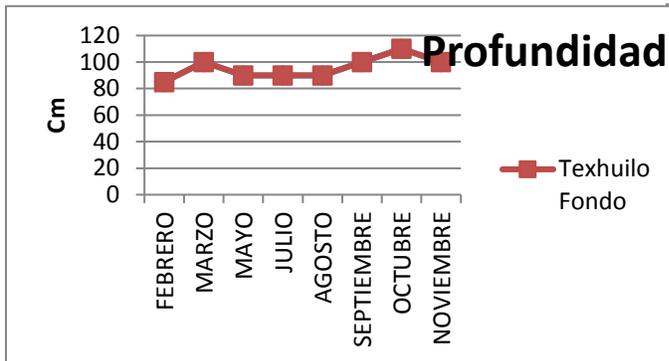
Gráfica 3 Diagrama de cajas múltiples para la profundidad del Lago de Xochimilco.



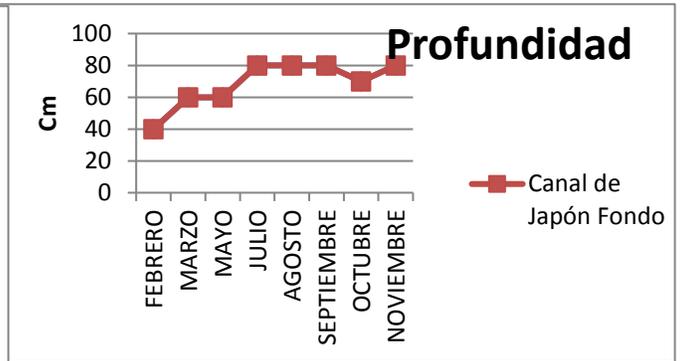
Gráfica 2 Profundidad de Cuernanco en el tiempo



Gráfica 4 Profundidad de Asunción en el tiempo



Gráfica 6 Profundidad de Texhuilo en el tiempo



Gráfica 5 Profundidad de Canal de Japón

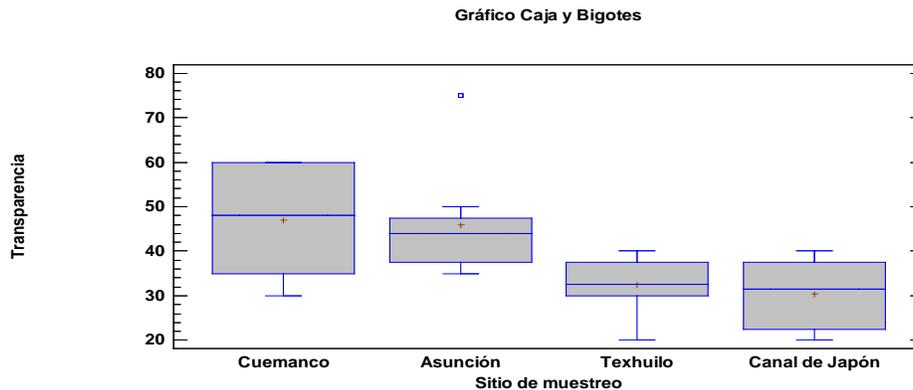
En estas graficas se observa que el sitio con mayor profundidad es Asunción, quizá esto es derivado a las múltiples descargas domiciliarias que se encuentran en esta área.

Transparencia

La transparencia media del Lago de Xochimilco, observado por punto de monitoreo, fue de 38.9688cm, presenta un comportamiento heterogéneo, la comparación de medianas muestra una diferencia significativa (Gráfica 7). La transparencia máxima que se presentó fue en la localidad de Cuemanco con una transparencia promedio de 47cm. La razón que pudiera explicar dicho comportamiento es que es uno de los dos lugares que obtuvieron menor productividad primaria, esto se vincula directamente con características tales como la estratificación y la mezcla de la columna de agua, el espesor de la capa eufótica y la disponibilidad de los nutrimentos. (Shmid W. A., 2000). Así como los sólidos totales que se presentó Cuemanco fueron los de menor cantidad en comparación de los otros sitios de muestreo; sabiendo que los sólidos totales generalmente causan problemas en elevadas concentraciones aumentando la turbidez del agua reduciendo la biosíntesis, acumulándose en los canales y alterando sus caudales, modificando la solubilidad de algunos gases. Observándose así un comportamiento parecido al reportado por (Arcos,2004).

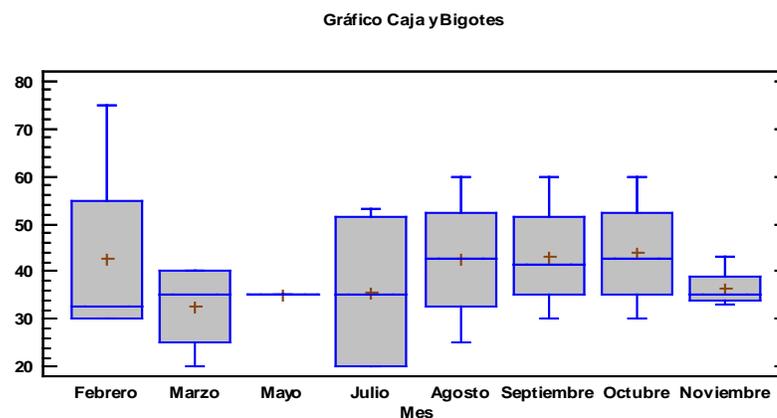
La transparencia menor que se presentó fue en la localidad de Canal de Japón donde la transparencia promedio fue de 30.375. A su vez tiene que ver con la relación que existe con el parámetro de profundidad donde de obtuvo de igual manera el valor mínimo de profundidad 68.33cm. Así como al ser parte del área agrícola, el aporte de materia orgánica por parte de las granjas y actividad agrícola (Chapa, 1987). Y al

momento del muestreo se observó una enorme cantidad de lirio acuático que disminuía la transparencia en algunas zonas.

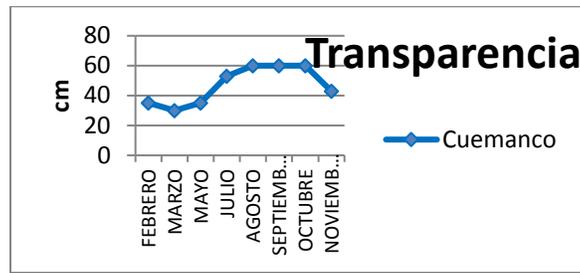


Gráfica 7 Diagrama de cajas múltiples para la transparencia del Lago Xochimilco por punto de monitoreo.

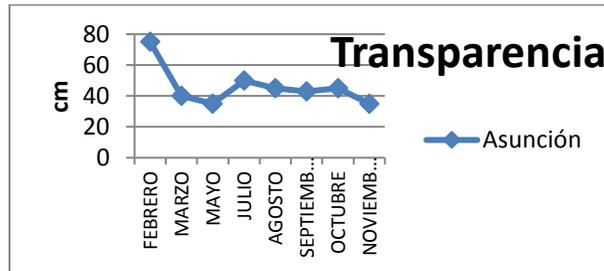
La transparencia media del lago de Xochimilco, observado en el tiempo fue de un promedio 38.9688cm. La transparencia, no presentó variaciones significativas durante los muestreos, presentando un comportamiento homogéneo (Gráfica 9). El punto con mayor transparencia fue en el mes de octubre con un promedio de 43.75cm. Y el valor menor de transparencia fue en el mes de marzo con un valor de 32.5cm lo cual parece razonable, ya que la temperatura desempeña un factor muy trascendental en el crecimiento de microorganismos (Arcos, 2004) y estos a su vez inciden en la transparencia. Así como considerado que en el mes de marzo los nutrientes están siendo re suspendidos disponibles para fitoplancton y la temperatura del agua es más cálida, esto favorece el desarrollo de las diatomeas. (Almanza, 2012). Este comportamiento es similar a lo reportado por Ortiz y Ruvalcaba, 2004, donde la máxima se presentó en el mes de septiembre y la mínima en el mes de abril y julio.



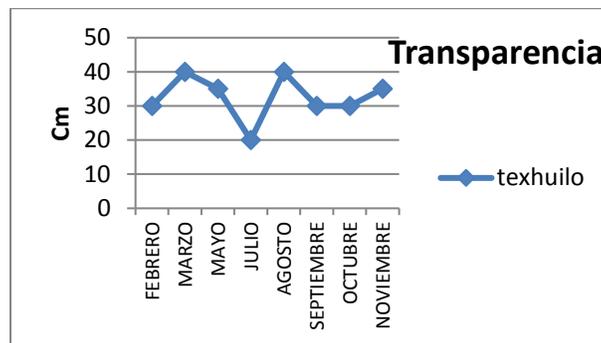
Gráfica 8 Diagrama de cajas múltiples para la transparencia del Lago de Xochimilco a lo largo del tiempo



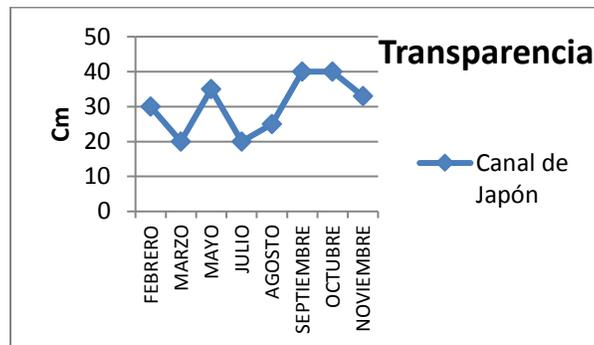
Gráfica 9 Transparencia en Cuemanco a lo largo del tiempo



Gráfica 10 Transparencia en Asunción a lo largo del Tiempo



Gráfica 11 Transparencia de Texhuilo en el tiempo



Gráfica 12 Transparencia de Canal de Japón en el Tiempo

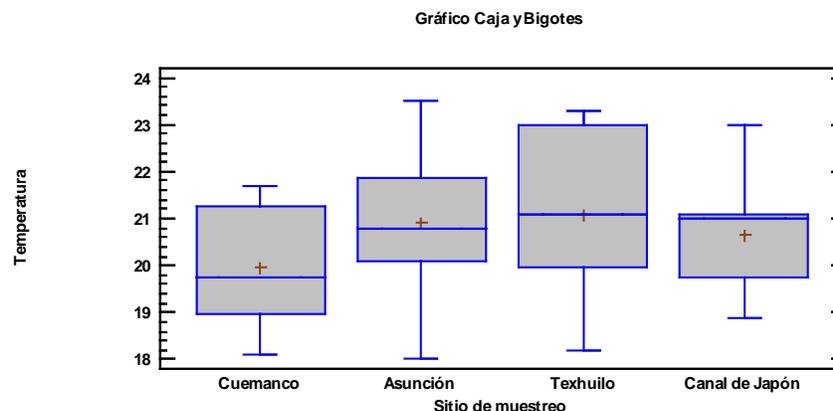
Conforme a lo observado en las gráficas se observa que la localidad de Cuemanco se mantuvo a lo largo del tiempo en con 60 cm de transparencia, en el caso de la localidad de Asunción se observa un parámetro, en el mes de febrero de 80 cm, esto pudiera ser un dato atípico ya que no se observa dicho valor a lo largo del tiempo y su comportamiento normal, se encuentra entre los 40 cm. En la localidad de Texhuilo el

comportamiento varía entre 40 y 30cm, y en la localidad de Canal de Japón, se tienen los valores más pequeños, oscilando entre los 40 y 20 cm.

Temperatura

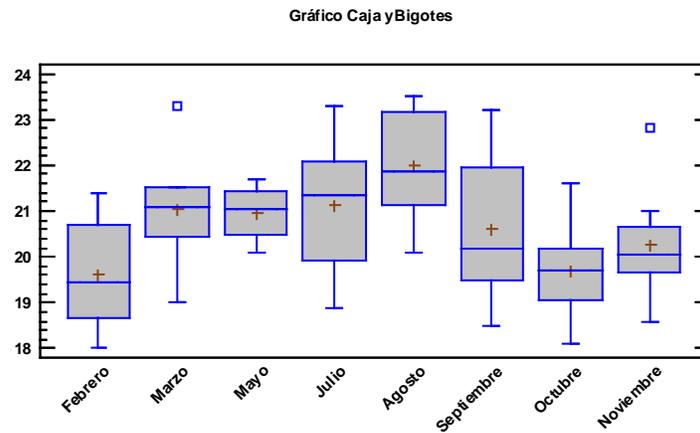
La temperatura media del Lago de Xochimilco, observado por punto de monitoreo, fue de 20.6672°C , presentando un comportamiento heterogéneo, la comparación de medianas muestra una diferencia significativa (Gráfica 13), La temperatura máxima que se presentó fue en la localidad de Texhuilo con una temperatura promedio de 22.075°C observándose un comportamiento similar al reportado por (Arcos, 2004), así como, la parte superficial de la columna de agua muestra mayor temperatura, esto debido a la relación que existe entre la radiación solar y la temperatura, dando como resultado que en el estrato superficial exista mayor temperatura que en el estrato bentónico. (Jardínez M., 2019)

El punto con menor temperatura fue en la localidad de Cuemanco con una temperatura promedio de 19.212°C . Con un comportamiento similar el reportado por (Lozada M., 2004). Dicho comportamiento pudiera ser explicado principalmente por la actividad de remo que se realiza en esta zona, moviendo de manera constante la columna de agua y permitiendo mayor contacto entre el aire y el agua.



Gráfica 13 Diagrama de cajas múltiples para la temperatura del Lago de Xochimilco por punto de monitoreo

La temperatura media del Lago de Xochimilco, observado en el tiempo fue de un promedio de 20.6672°C . La temperatura presento variaciones significativas durante los muestreos en el tiempo, presentando un comportamiento heterogéneo (Gráfica 14) El momento con mayor temperatura fue el mes de Agosto. Y el momento con menor temperatura fue el mes de febrero con un valor promedio de 19.625°C , similar como lo reportado en el trabajo de (Lozada M., 2004), Las estaciones más cálidas fueron las de primavera y verano, mientras que el invierno se consideró como la época fría. (Jardínez M., 2019). Se observa que en el periodo invernal hay una disminución de temperatura al igual a lo reportado por (Ortiz y Ruvalcaba, 2004).



Gráfica 14 Diagrama de cajas múltiples para la temperatura del Lago de Xochimilco a lo largo del tiempo

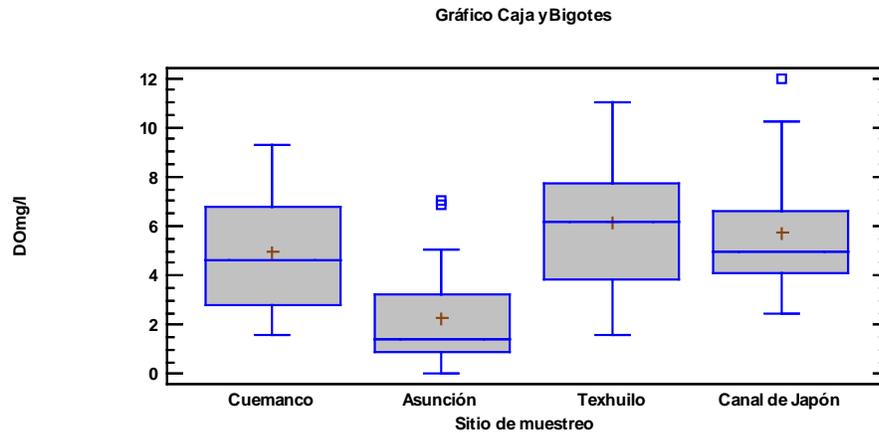
Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (DOmg/l) promedio del Lago de Xochimilco, observado por punto de monitoreo, fue de 4.78016mg/l, presentando un comportamiento heterogéneo la comparación de medianas muestra una diferencia significativa (Gráfica 15). El sitio que presentó el máximo valor de DOmg/l fue Texhuilo, con un promedio de 7.9mg/l, esto puede ser causado por la productividad primaria que se mantiene dentro de los valores elevados como lo demuestra en la productividad neta promedio.

El punto con menor oxígeno disuelto fue la localidad de Asunción, con un promedio de 1.54mg/l, las mediciones de oxígeno por debajo del nivel de saturación pueden indicar contaminación con materia orgánica o una alta tasa de actividad respiratoria provocada por procesos naturales. Después de un período de tiempo, los materiales orgánicos pueden acumularse, dado que la tasa de deposición del material particulado es más grande que las tasas de descomposición y pérdida física. La demanda de oxígeno por los sedimentos (SOD) y los organismos bentónicos puede ser, en algunos casos, una fracción importante de la demanda total de oxígeno. *(IMTA, 2012)*. Lo que se puede observar es que el comportamiento de los valores de DOmg/l por punto de monitoreo o a través del tiempo resultan inadecuados para la vida acuática, teniendo como parámetro 7.9mg/l que es lo recomendable para la vida acuática (Jardínez, 2019). Un efecto combinado del incremento de la productividad y las tasas de descomposición resulta en contenidos extremadamente bajos de oxígeno. La disminución de oxígeno puede ser resultado de procesos de consumo de oxígeno, oxidación del carbono bacterial y nitrificación, como se observa en la localidad de Asunción *(Ortíz y Ruvalcaba, 2004)*.

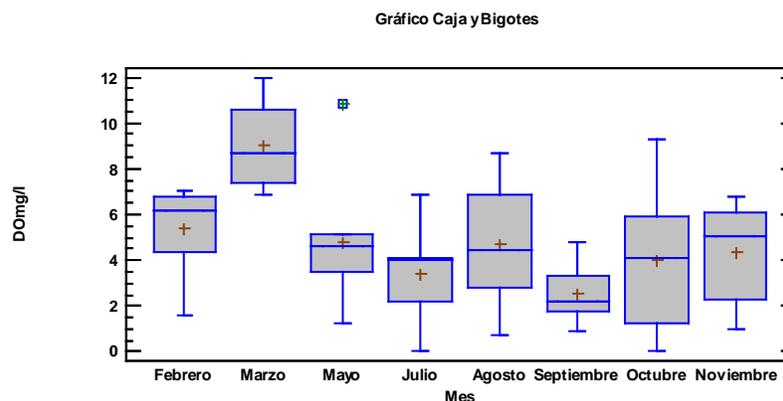
Se observan 3 datos fuera del comportamiento normal y fue en el mes de Marzo en la localidad de Asunción Fondo con una concentración de 6.88mg/l, así como una concentración de 12mg/l en el mes de

Marzo en la localidad de Canal de Japón, y de 10 mg/l en el mismo mes C.Japon Fondo estos datos pudiera explicarse con el mes donde se observó una mayor productividad primaria donde se produjo un mezclado vertical.



Gráfica 15 Diagrama de cajas múltiples para el Oxígeno disuelto del Lago de Xochimilco por punto de monitoreo

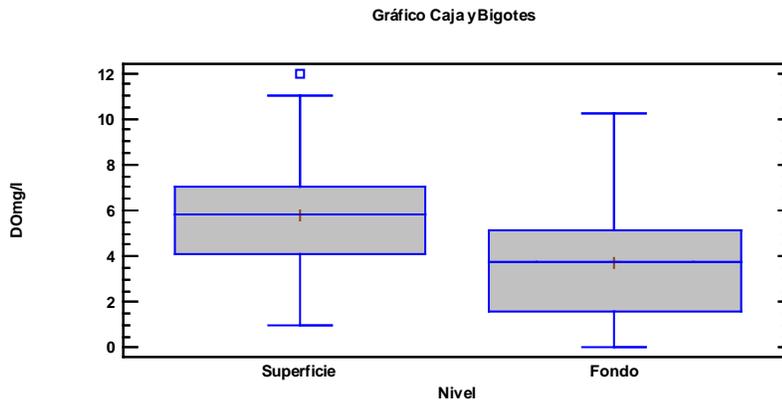
El promedio del oxígeno disuelto, observado en el tiempo, fue de 4.78mg/l, presentando un comportamiento heterogéneo (Gráfica 16). El punto con mayor Oxígeno disuelto fue en el mes de marzo con un promedio de 9.0412mg/l. La distribución del oxígeno en cuerpos de agua naturales está determinada por el intercambio gaseoso a través de la superficie del agua, la producción fotosintética, el consumo respiratorio y por procesos físicos de advección, El aporte de oxígeno al agua a través del proceso de fotosíntesis constituye otra fuente primaria de oxígeno en el agua. La mayor parte del oxígeno lacustre proviene de la actividad fotosintética. (IMTA, 2012).



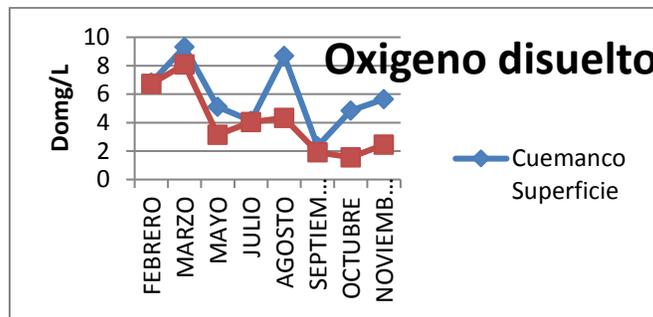
Gráfica 16 Diagrama de cajas múltiples para el oxígeno disuelto del lago de Xochimilco a lo largo del tiempo

Se puede observar que la concentración de oxígeno disuelto fue superior en la superficie que, en el fondo, esto puede ser derivado de la actividad fotosintética, conforme a lo observado en su análisis estadístico

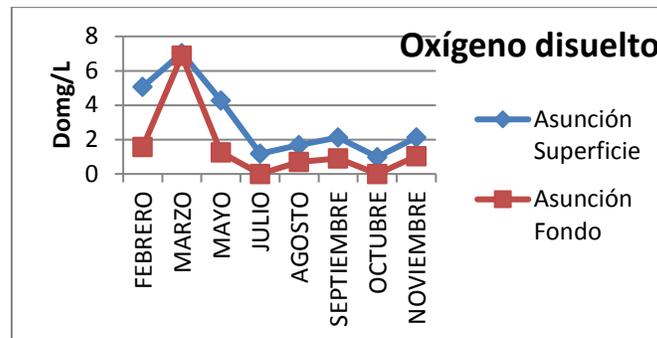
tuvo un comportamiento heterogéneo. La disminución del oxígeno disuelto en el hipolimnion es una medida de la descomposición de la materia orgánica en aguas profundas y en los sedimentos y representa una medida indirecta de la producción biológica en el lago (Jardínez M., 2004).



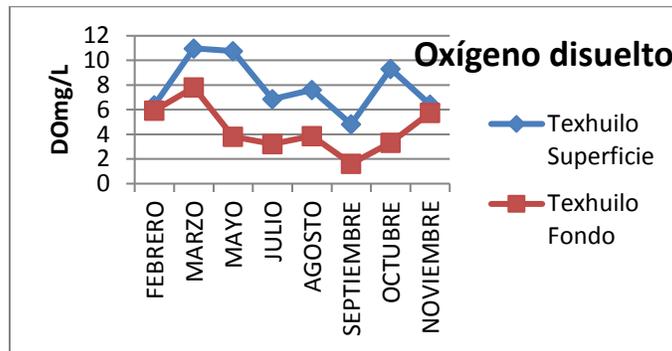
Gráfica 17 Diagrama de cajas múltiples para el oxígeno disuelto del Lago de Xochimilco a dos niveles



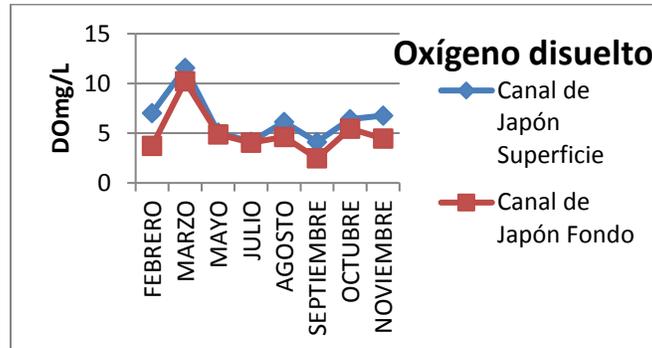
Gráfica 18 Oxígeno disuelto de Cuemanco en el tiempo



Gráfica 19 Oxígeno disuelto de Asunción en el tiempo



Gráfica 20 Oxígeno disuelto de Texhuilo en el tiempo



Gráfica 21 Oxígeno disuelto Canal de Japón en el tiempo

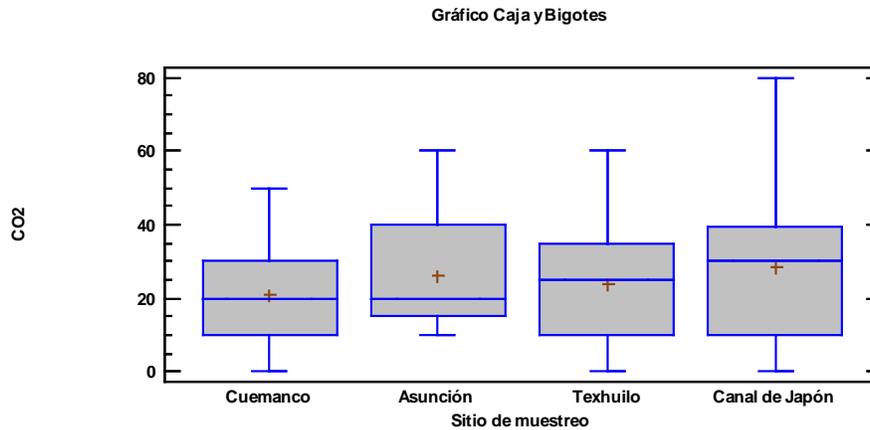
Se puede observar que el sitio con una mayor diferenciación entre superficie y fondo, conforme a los valores de oxígeno disuelto, es Texhuilo con concentraciones en superficie por encima de los 10mg/L, y en el caso de Asunción los valores se mantuvieron oscilando entre 0 y 2mg/L con poca diferencia entre superficie y fondo, quizá esto derivado a la temperatura.

Bióxido de Carbono disuelto

El bióxido de carbono disuelto (CO_2 mg/l) promedio del Lago de Xochimilco, observado por punto de monitoreo, fue de 24.89mg/l, presentando un comportamiento homogéneo (Gráfica 22), El sitio que presento el máximo valor de CO_2 mg/l fue Canal de Japón, con un promedio de 28.3681 mg/l, esto puede ser causado por la respiración. Seguido por Asunción con un promedio de 26.2419 mg/l Además del intercambio atmosférico, el CO_2 es producto de la respiración de plantas y animales siendo la fuente principal para la fotosíntesis. El factor ambiental más importante en controlar la presencia de estos gases disueltos en el agua es la temperatura, pero sus niveles son dependientes de la fotosíntesis, la respiración, la presencia de otros gases y las oxidaciones químicas. (Vila P.2003).

El punto con menor concentración de CO_2 fue localizada en Texhuilo superficie, con un promedio de 18.1225mg/l, la fotosíntesis y temperatura regula la concentración de CO_2 , en este sitio de monitoreo y a

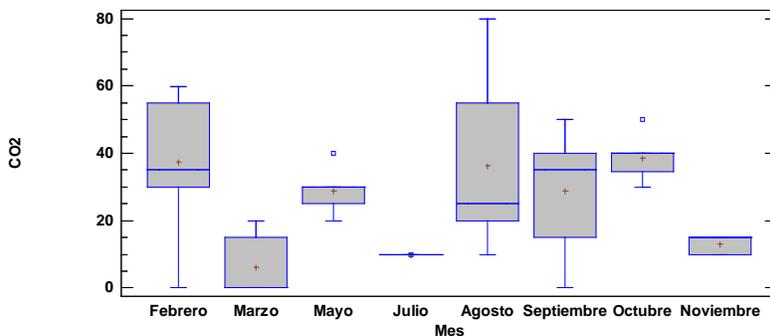
esta profundidad podemos observar los niveles más altos de oxígeno disuelto así como de temperatura en comparación con los otros puntos de monitoreo, de igual el carbono inorgánico total de las aguas dulces depende del pH, que es determinado en gran parte por las reacciones amortiguadoras del ácido carbónico, y de la cantidad de bicarbonato y carbonato procedentes de la meteorización de las rocas. (Wetzel, 2001)



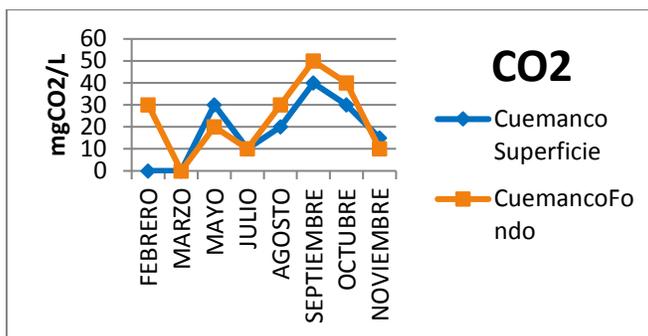
Gráfica 22 Diagrama de cajas múltiples para el Bióxido de Carbono disuelto del Lago de Xochimilco por punto de monitoreo

La concentración promedio de CO₂, en el lago de Xochimilco, observado a lo largo del tiempo fue de 24.89mgCO₂/l, presentando un comportamiento heterogéneo (Gráfica 23) El punto con mayor Bióxido de carbono fue en el mes de octubre presentando una concentración promedio de 28.7375 mgCO₂/l, Y el sitio con menor concentración de CO₂ a lo largo del tiempo fue el mes de Marzo con una concentración promedio de 6.24875mgCO₂/l. Este comportamiento fue similar a lo reportado por *Ortiz y Ruvalcaba, 2004*, donde las concentraciones más altas de este gas se registraron durante el mes de agosto y las menores durante abril y mayo. Esto se ve muy relacionado con el comportamiento de oxígeno disuelto una alta tasa de actividad respiratoria provocada por procesos naturales. (*IMTA, 2012*). El factor ambiental más importante en controlar la presencia de estos gases disueltos en el agua es la temperatura, pero sus niveles son dependientes de la fotosíntesis, la respiración, la presencia de otros gases y las oxidaciones químicas. (*Vila P.2003*). Esta parte es congruente con los valores obtenidos en Oxígeno disuelto, que son inversos al comportamiento esperado entre la dinámica de los gases disueltos en el cuerpo de agua.

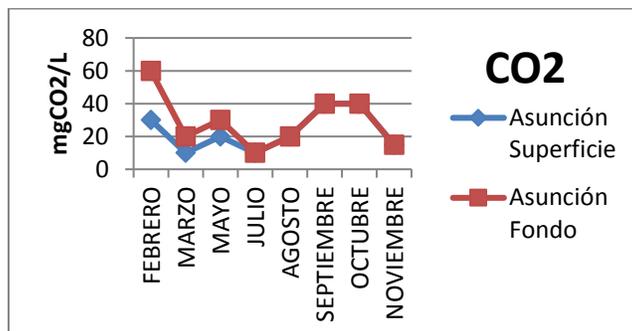
Gráfico Caja y Bigotes



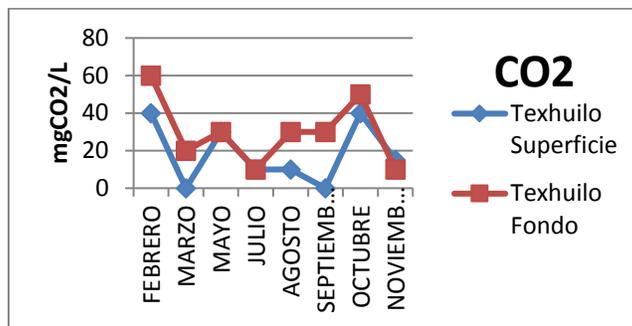
Gráfica 23 Diagrama de cajas múltiples para el Dióxido de Carbono del Lago de Xochimilco a lo largo del tiempo



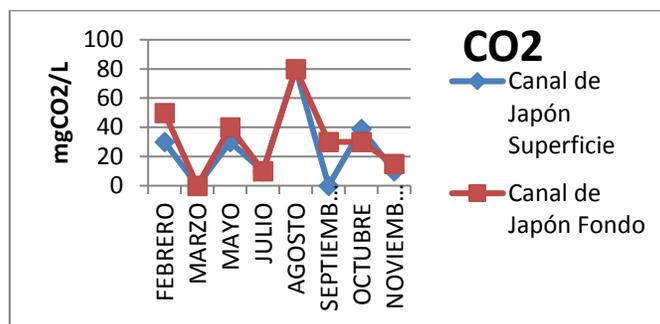
Gráfica 24 Dióxido de carbono Cuemanco en el tiempo



Gráfica 25 Dióxido de carbono Asunción en el tiempo



Gráfica 26 Dióxido de carbono Texhuilo en el tiempo



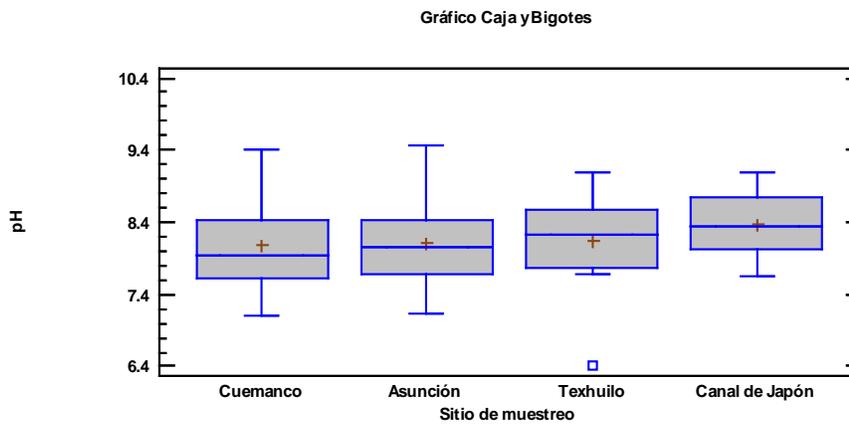
Gráfica 27 Dióxido de carbono Canal de Japón

En este parámetro la diferencia entre superficie y fondo es menos marcada que en el parámetro de DO, quizá esto nos habla de la capacidad de solubilidad de este gas en el agua, aunque al igual que en el parámetro anterior la estación de Texhuilo hay una mayor diferencia entre superficie y fondo a lo largo del tiempo.

pH

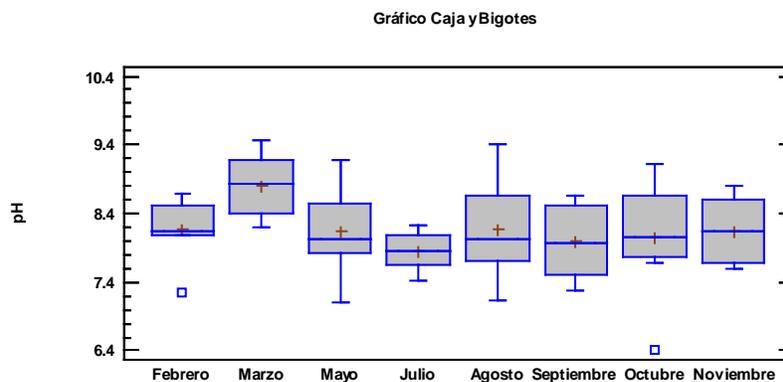
El pH promedio del Lago de Xochimilco, observado por punto de monitoreo, fue de 8.16pH, presentando un comportamiento heterogéneo, la comparación de medianas muestra una diferencia significativa (Gráfica 28). El sitio que presentó el pH más alcalino fue la estación de Canal de Japón con un promedio de 8.68pH, teniendo un comportamiento similar al reportado por (Abeja, 2011), Teniendo un valor anormal en el mes de octubre en la estación de Texhuilo Fondo con un pH6.4

Los responsables de la acidez en las aguas naturales son: el dióxido de carbono no combinado, ácidos orgánicos, ácidos minerales, sales de los ácidos fuertes y bases débiles, son responsables de la acidez de las aguas naturales. (Wetzel, 2001). Todos los valores se encuentran dentro del intervalo de tolerancia de los organismos, conforme a lo reportado por (Jardinez, 2019).



Gráfica 28 Diagrama de cajas múltiples para el pH disuelto del Lago de Xochimilco por punto de monitoreo

El pH promedio a lo largo del Tiempo de 8.16, presentando un comportamiento homogéneo (Gráfica 29). El mes que tuvo un comportamiento más hacia lo alcalino fue el mes Marzo, muy probablemente por la relación que existe entre el anhídrido carbónico y la acidez en el agua, a diferencia a lo obtenido en época de lluvias donde su comportamiento se acerca más a la neutralidad, muy similar a lo reportado por (Abeja, 2011). Los valores de pH, en el sistema, tienden a un comportamiento de neutro a básico. Esta basicidad es resultado de la hidrólisis de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (Ortíz y Ruvalcaba, 2004). El pH también guarda una estrecha relación con el CO₂, a su vez que este compuesto está íntimamente relacionado con la fotosíntesis presente en el sistema. De esta manera en los meses de mayor intensidad luminosa y mayor productividad fotosintética se presenta una menor concentración de CO₂, al aumentar el balance respiratorio del fitoplancton y el metabolismo de los microorganismos, por lo cual en estos meses el pH presenta una mayor concentración de iones H⁺ (Ortíz y Ruvalcaba, 2004)



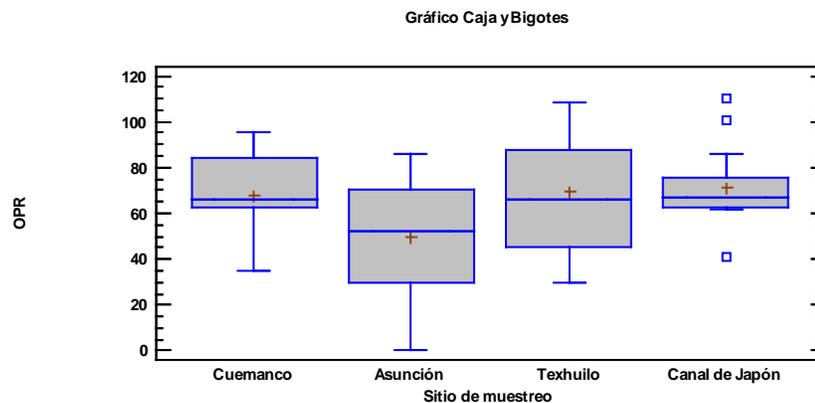
Gráfica 29 Diagrama de cajas múltiples para el pH del Lago Xochimilco a través del tiempo

Potencial de oxido reducción

Muy relacionado con el pH, el potencial oxido reducción es la medida de la energía de oxidación-reducción. Donde el promedio observado por punto de monitoreo fue de 64.4, presentando un

comportamiento heterogéneo. Teniendo como valor máximo en Texhuilo con un valor de 78.37 y un valor menor de 42.3 en Asunción. Se puede observar a continuación dicho comportamiento en la Gráfica 30

El pOR proporciona una información útil sobre los medios contaminados. Permite apreciar el grado de aerobiosis o anaerobiosis del medio, de lo cual se desprende su interés para el estudio de los lodos y de los procesos de depuración. Un ambiente reductor (pOR <200mV) lleva a una liberación de fosfatos acumulados en los sedimentos (Ortiz y Ruvalcaba, 2004). Esto se manifiesta en la estación de Asunción donde se observan los valores mínimos. Se puede observar que el comportamiento del sistema es reductor a lo largo del tiempo y en las diferentes estaciones.



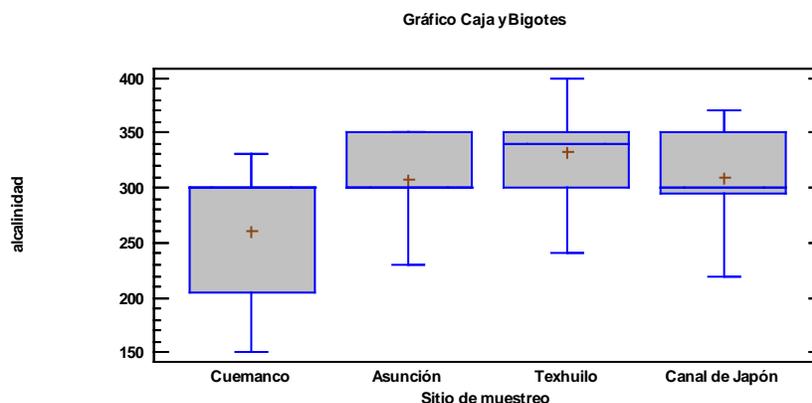
Gráfica 30 Diagrama de cajas múltiples para el potencial de oxido-reducción del Lago Xochimilco por punto de monitoreo

En los meses de octubre y noviembre existió una inversión entre la superficie y fondo, siendo mayor en estos meses en el fondo que en la superficie, pudiera deberse a la disminución de la temperatura, en esos meses, disminuyendo la fotosíntesis y aumentando la respiración. Sin embargo, en todas las estaciones y a lo largo del tiempo el sistema tiene un comportamiento reductor.

Alcalinidad

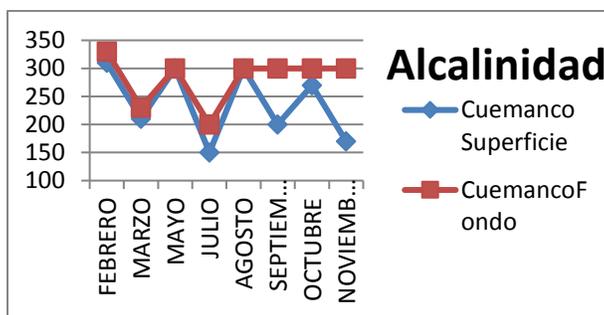
La alcalinidad promedio del Lago de Xochimilco, observado por punto de monitoreo, fue de 302.44mg CaCO₃/l, presentando un comportamiento heterogéneo (Gráfica 31). El punto de monitoreo que presentó la concentración más elevada de alcalinidad fue Texhuilo y a Asunción con un promedio de 348.75 mgCaCO₃/l. Esto es congruente con los valores de pH obtenidos. Así como lo descrito por (Ortiz y Ruvalcaba, 2004), donde se observa un comportamiento similar en la estación de Texhuilo y en la estación de Cuemanco La concentración de alcalinidad menor fue en la estación Cuemanco con un promedio de 238.75 mgCaCO₃/l. Como se puede observar la zona agrícola presenta valores elevados, mientras que la

zona turística tiene valores mas bajos, como describe igual (Abeja, 2011). La alcalinidad del agua depende primordialmente de su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Además, el sistema de equilibrio $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$, es el principal mecanismo de taponamiento de las aguas dulces (Wetzel, 2001). De la misma forma, señalan que concentraciones superiores a 175 mg de $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ resultan perjudiciales para los peces ya que se dañan sus branquias, a causa de formaciones calcáreas que se producen. Por lo que observamos en la mayoría de las estaciones los valores promedio superan este límite para el desarrollo de los peces.

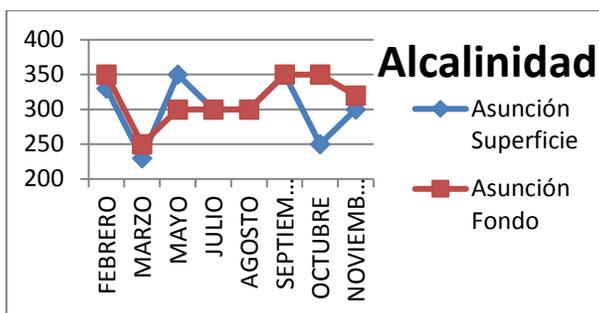


Gráfica 31 Diagrama de cajas múltiples para la alcalinidad del Lago Xochimilco por punto de monitoreo.

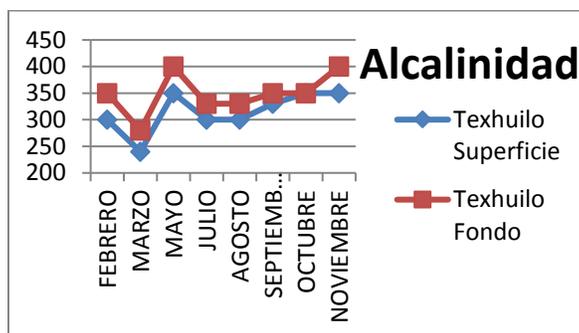
La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Este parámetro ha sido utilizado como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa. (Abarca, 2007).



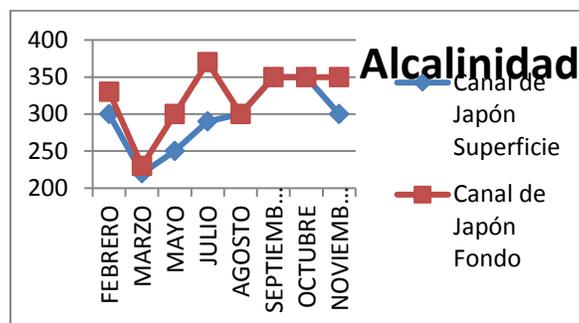
Gráfica 32 Alcalinidad de Cuernavaca en el tiempo



Gráfica 33 Alcalinidad de Asunción en el tiempo



Gráfica 34 Alcalinidad de Texhuilo en el tiempo

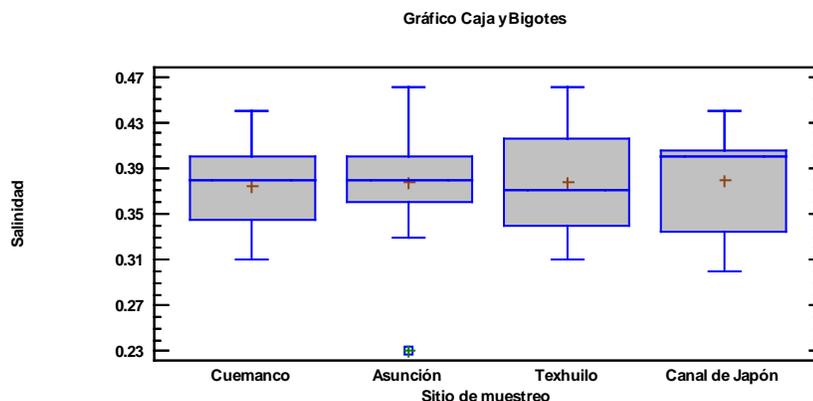


Gráfica 35 Alcalinidad de Canal de Japón en el tiempo

Es importante resaltar que en todas las estaciones y a lo largo del tiempo el nivel con concentraciones más elevados de alcalinidad es en el fondo, estando por encima de los 175 mg de CaCO_3 l-1 que resultan perjudiciales para los peces, quizá y esto también la razón por la que se observan pocos peces fuera de la localidad de Cuemanco.

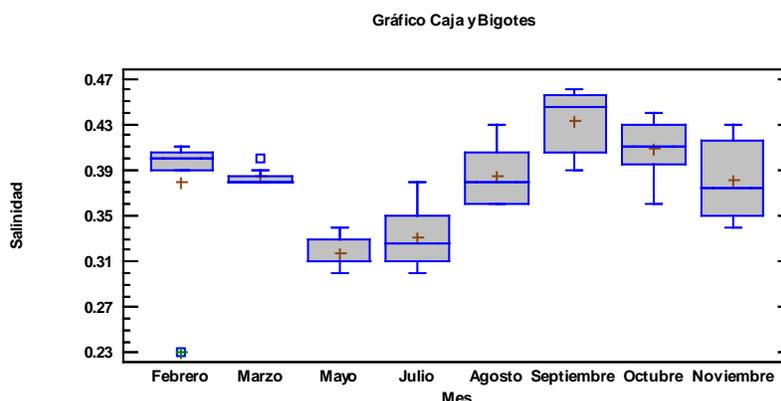
Salinidad

La salinidad promedio observada, por punto de monitoreo, fue de 0.3773, presentando un comportamiento homogéneo. Donde el sitio que presentó la concentración máxima de salinidad fue en Texhuilo con un valor 0.3775 y el sitio con menor salinidad fue Canal de Japón con un valor de 0.379375. Donde parece tener cierta correlación con las concentraciones obtenidos en el análisis de Alcalinidad por punto de monitoreo.



Gráfica 36 Diagrama de cajas múltiples para la salinidad en el Lago de Xochimilco por punto de monitoreo

El análisis de la salinidad a través del tiempo indica que la concentración promedio fue de 0.37734. Donde se presentaron variaciones significativas durante los muestreos, presentando un comportamiento heterogéneo develando una diferencia significativa (Gráfica 37). El mes que presentó el máximo valor de salinidad fue septiembre con un valor de 0.43 y el mes que tuvo la concentración más bajo fue el de Mayo. Esto parece estar relacionado por la remoción de sales al momento de las lluvias, ya sea por un proceso de lixiviado del terreno y en la época de secas pareciera aumentar la concentración de sales presentes.



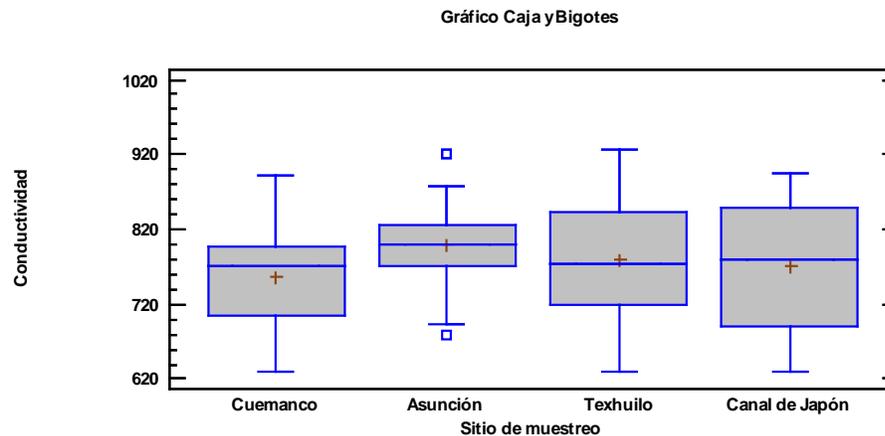
Gráfica 37 Diagrama de cajas múltiples para la salinidad del Lago Xochimilco a través del tiempo

La salinidad tuvo un comportamiento homogéneo en 3 puntos de monitoreo y en ambos niveles, en el punto de monitoreo de Cuernavaca a partir del mes de agosto se separa, el comportamiento de superficie y fondo, este comportamiento pudiera ser derivado del tipo de aportación de aguas residuales a nivel fondo.

Conductividad

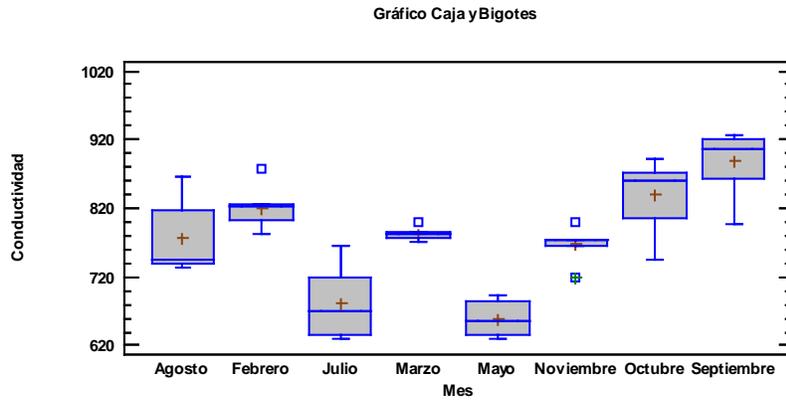
La concentración promedio de la conductividad, en el análisis por punto de monitoreo, fue de 776.7, con un comportamiento homogéneo (Gráfica 38), ya que no existen diferencias significativas entre sus medias. De igual manera se puede observar el comportamiento homogéneo reportado por (Abeja,2011). En general, la conductividad en los cuerpos de agua dulce varía entre 50 y 1500 $\mu\text{mho cm}$ (Ortiz y Ruvalcaba, 2004). Por lo que se observa que los datos se encuentran dentro de los valores esperados.

Donde el valor promedio máximo fue en la localidad de Asunción fondo con 810.62, y el valor promedio menor fue Cuemanco Superficie con 733. Con un comportamiento similar al reportado por (Montiel, 2019). La razón por la que aumenta su conductividad es debido al aporte de aguas residuales provenientes del área urbana y asentamientos humanos irregulares.



Gráfica 38 Diagrama de cajas múltiples para la conductividad del Lago Xochimilco por punto de monitoreo

La conductividad media en el tiempo fue un promedio de 776.71, donde el valor máximo fue en el mes de septiembre 888.375, y un valor mínimo en el mes de mayo. De igual manera dando un comportamiento similar a lo reportado por (Montiel, 2019). Teniendo en cuenta de que el valor máximo representa el tiempo de lluvias y el valor menor la temporada de secas. Se puede observar una relación con el comportamiento del pH observado en el tiempo de 12 meses. Estos dos meses corresponden a la temporada de lluvias, por lo que se infiere, el lavado del suelo circundante al cuerpo de agua, acarreado una gran cantidad de sólidos, materia orgánica e inorgánica, y esto provoca un aumento en los valores de conductividad (Ortiz y Ruvalcaba, 2004).

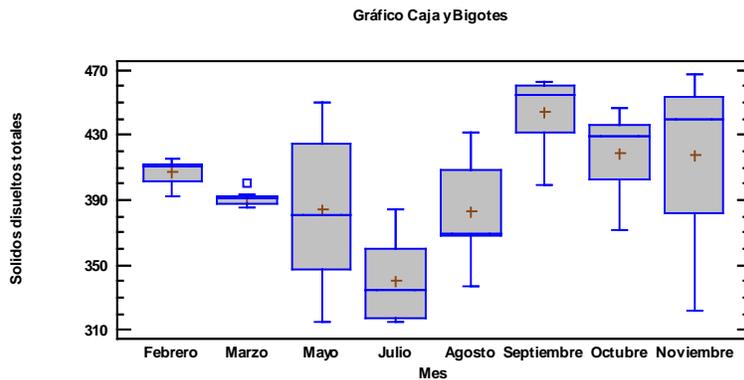


Gráfica 39 Diagrama de cajas múltiples para la conductividad del Lago Xochimilco a través del tiempo.

Sólidos Totales

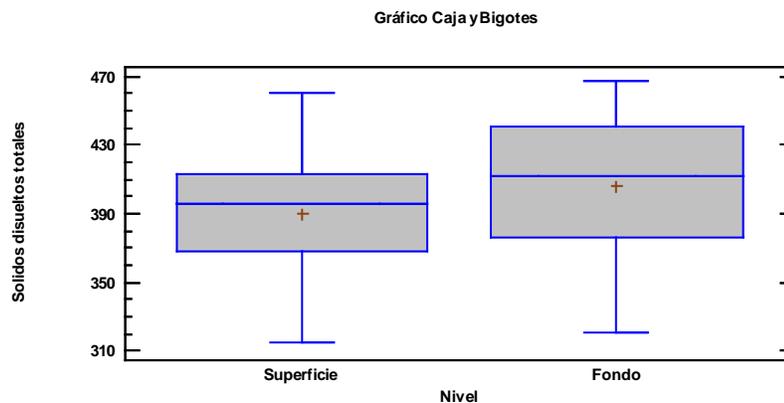
La concentración promedio de sólidos totales, en el análisis por punto de monitoreo, fue de 398.219, con un comportamiento heterogéneo. Donde la concentración promedio máximo fue en la localidad de Asunción fondo con 420.875, y la concentración promedio menor fue Cuemanco Superficie con 354.625. Con un comportamiento similar al reportado en los valores de conductividad. Conforme al criterio de calidad descritos por CONAGUA los valores de sólidos totales obtenidos se encuentran entre contaminada y fuertemente contaminada, ya que los valores son a partir de 150 (*SEMARNAT 2018*)

Los sólidos totales media del Lago de Xochimilco, observado en el tiempo fue un promedio de 398.219, donde la concentración máxima fue en el mes de septiembre 444.125, y una concentración mínima 340.625, en el mes de julio. De igual manera dando un comportamiento similar a lo reportado por (*Montiel, 2019*). Aunque este valor se ve afectado por la época de lluvias, realmente este parámetro está relacionado directamente con la cantidad de descarga, por lo que no existe un patrón de comportamiento a lo largo del tiempo, ya que es dependiente de la cantidad y calidad de agua descargada.



Gráfica 40 Diagrama de caja y bigote de sólidos disueltos totales, a través del tiempo

Al analizar sólidos totales en superficie y fondo, podemos observar un comportamiento heterogéneo (Gráfica 21). Teniendo comportamientos muy similares, pero el fondo tiene mayor cantidad de sólidos totales. Aunque el comportamiento es heterogéneo, observando las gráficas se puede observar que la mayoría de los datos se encuentran en el intervalo de 350- 450. Esto responde principalmente al nivel que se encuentran las descargas y a la cantidad de contaminantes que son arrojados al sistema. Depositando la mayoría de los sólidos a nivel de fondo.

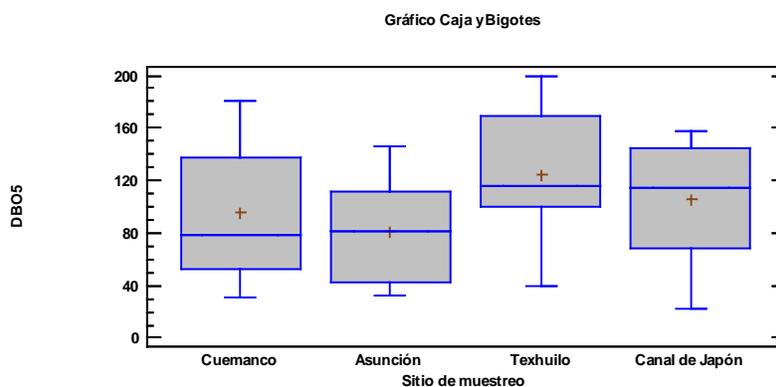


Gráfica 41 Diagrama de caja y bigotes de sólidos disueltos totales, a dos niveles

DBO₅

Al observar el análisis por punto de monitoreo, se determinó que la concentración promedio de DBO₅ fue de 101.908mg/L, con un comportamiento heterogéneo (Gráfica 42), Donde la concentración máxima fue en la localidad de Texhuilo con un valor de 123.8 mg/L y la concentración mínimo fue en Asunción con un valor de 81.2625 mg/L, Ya que la DBO₅ depende de la cantidad de materia orgánica en descomposición. La diferencia entre comportamientos entre los valores obtenidos en zona agrícola y zona urbana, fueron reportados de manera similar por (Arcos, 2004). Esto es correspondiente a los valores de productividad bruta por técnica simplificada y por winkler, así como el parámetro de profundidad y temperatura.

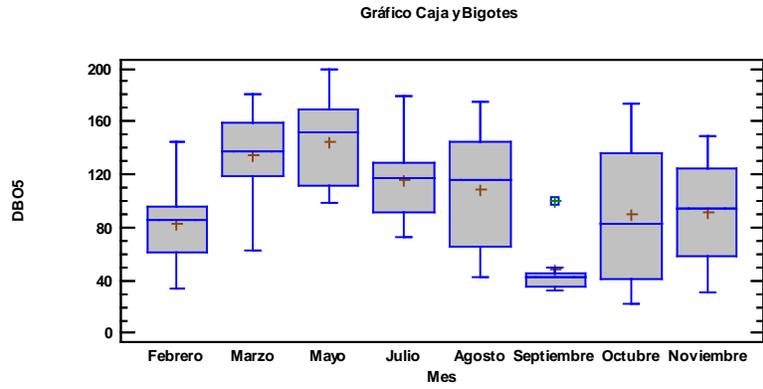
En Texhuilo se presentan elevadas concentraciones de este parámetro. En esta zona, se llevan a cabo prácticas agrícolas, por lo que se pueden justificar las elevadas concentraciones de DBO debido a la gran cantidad de desperdicios que son arrojados por la gente del lugar, cuando se presenta el levantamiento de las cosechas. (Ortiz y Ruvalcaba, 2004).



Gráfica 42 Diagrama de cajas múltiples para DBO5, por punto de monitoreo

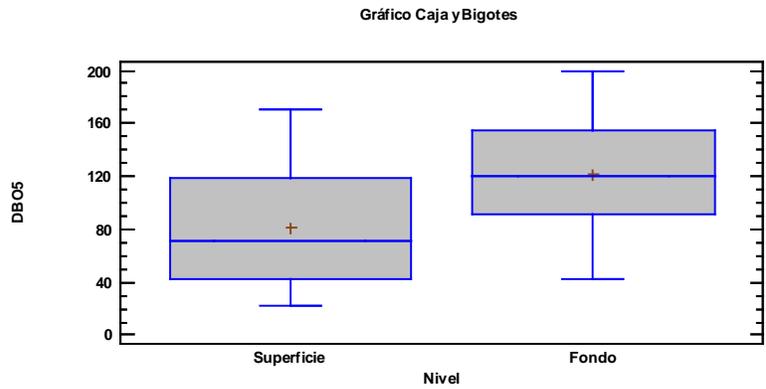
De igual manera se analizó el comportamiento de la DBO₅ a lo largo del tiempo, en dicho análisis se observó que la concentración promedio fue de 101.9mg/L, al comparar las medianas a lo largo del tiempo observamos que es un comportamiento heterogéneo (Gráfica 43). Donde la concentración máximo fue en el mes de mayo con 145.12 mg/L y el mes con menor valor de DBO₅ fue septiembre con 47.45mg/L. Dichos valores se encuentran dentro de lo establecido en la NADF-015-AGUA-2009-donde la concentración máximo permisible de la DBO₅ en las descargas de aguas residuales de procesos y servicios al sistema de drenaje y alcantarillado del Ciudad de México es de 150mg/L. Siendo los meses de mayo a julio donde podemos encontrar la mayor influencia de materia orgánica biodegradable, esto de acuerdo con (Ortiz y Ruvalcaba, 2004) donde menciona que los valores en un análisis de DBO están ligados a la materia orgánica flotante, por esto, la cantidad tendrá valores más significativos en la superficie del agua que en el fondo.

Sin embargo, al darle otro uso al agua y al entrar en contacto directo con el ser humano, como dar paseos en lancha, riego de jardines y ornatos; En este caso aplica la *NOM-003-ECOL-1997* en cual establece que el límite máximo permisible en aguas residuales tratadas para reúso, la DBO₅ es de 20 mg/L. El cual se ve rebasado al compararlo con el promedio obtenido. De igual manera conforme lo descrito en SEMARNAT 2018, valores mayores a 30 miligramos por litro de DBO₅ (categoría contaminada y fuertemente contaminada), valor que se considera el límite máximo permisible para protección de la vida acuática en ríos. Lo que se observa es que conforme esta clasificación, el cuerpo de agua estaría clasificado como contaminado – fuertemente contaminado, variando de sitio y de época del año, pero sin ser menor a 30mg/L.

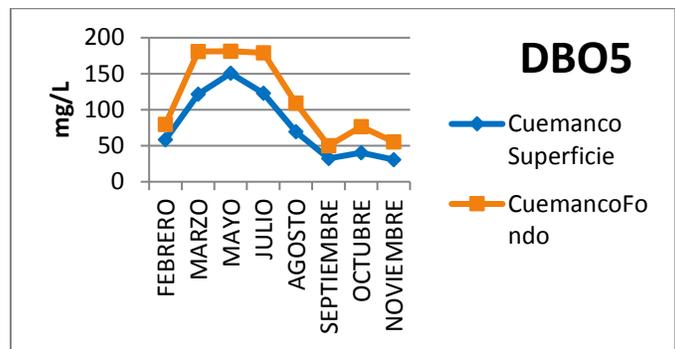


Gráfica 43 Diagrama de cajas múltiples para la DBO5, a través del tiempo

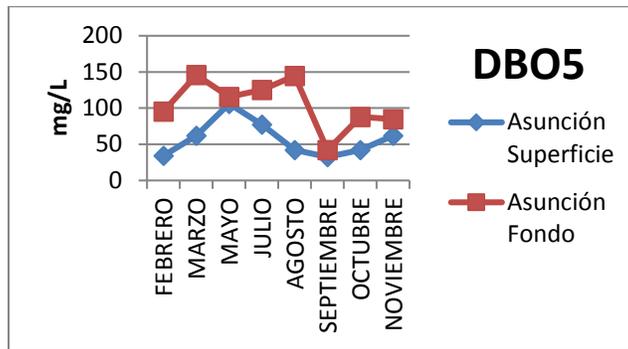
Al analizar sólidos totales en superficie y fondo, podemos observar un comportamiento homogéneo. Teniendo comportamientos muy similares, pero el fondo tiene mayor cantidad de solidos totales.



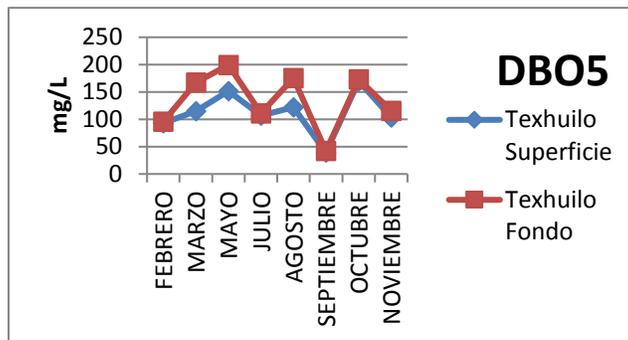
Gráfica 44 Representación de DBO5, por punto de monitoreo a través del tiempo



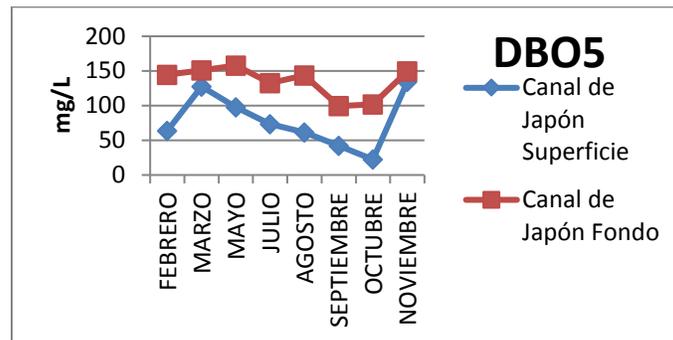
Gráfica 45 DBO5 Cuemanco en el tiempo



Gráfica 46 DBO5 Asunción en el tiempo



Gráfica 47 DBO5 Texhuilo en el tiempo

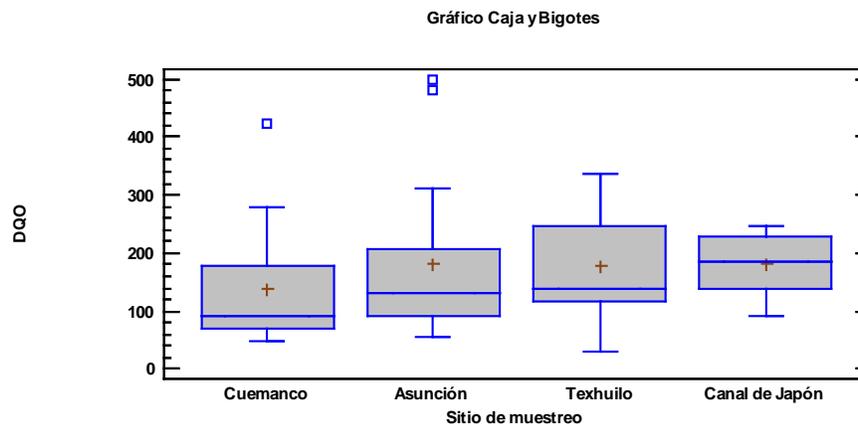


Gráfica 48 DBO5 Canal de Japón en el tiempo

En estas gráficas se puede observar que en cada localidad existió un comportamiento que fue respetado en superficie y fondo a excepción de la localidad de Asunción ya que no se observa una uniformidad de comportamiento entre superficie y fondo. Esto pudiera ser explicado por los aportes de aguas domiciliarias que existen en toda esta área.

DQO

El análisis por punto de monitoreo determinó que la concentración promedio de DQO fue de 169.4mg/L, con un comportamiento heterogéneo (Gráfica 49). Donde la concentración máxima fue en la localidad de Asunción Fondo con 260.375 y la concentración mínimo fue en la localidad de Cuemanco Superficie con 68.75. Los resultados en comparación con la DBO5 nos indica que existen mayor cantidad de compuestos difícilmente biodegradables en el fondo, efecto que se refleja en las estaciones de la zona urbana como también lo describe (Arcos, 2004). Los valores superiores a 40 miligramos por litro sugieren la presencia de descargas de aguas residuales sin tratamiento

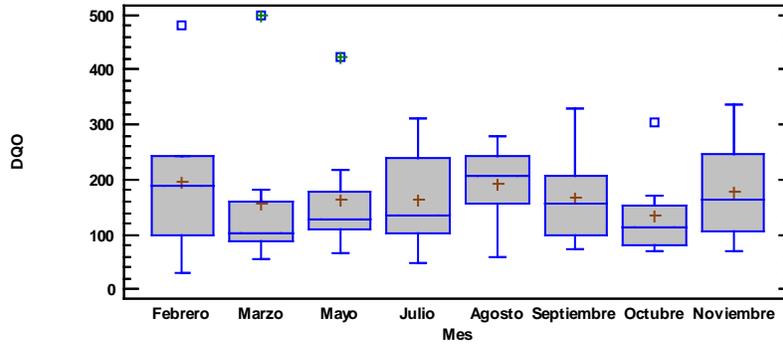


Gráfica 49 Diagrama de calas y bigotes para DQO por punto de monitoreo

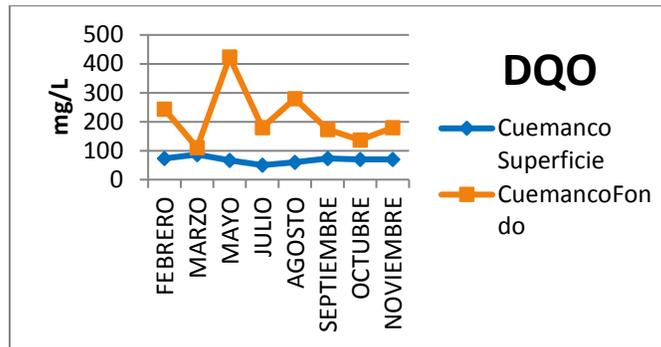
La DQO media del Lago de Xochimilco, observado en el tiempo fue de 169.40 mg/L, donde la concentración máxima fue en el mes de febrero 196.162mg/L. La concentración mínima fue en el mes de octubre 133.25 mg/L (Gráfica 50). Dicho comportamiento es similar a lo reportado por (Arcos 2004). Las altas concentraciones de DBO y de DQO pueden deberse al deficiente servicio de alcantarillado, drenaje, rellenos sanitarios y plantas de tratamiento. Los valores superiores a 40 miligramos por litro sugieren la presencia de descargas de agua sin tratamiento, El aumento de la concentración orgánica puede significar una reducción en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, lo que afecta considerablemente a los organismos y los ecosistemas acuáticos (SMARNAT 2018)

Al observar el comportamiento de los valores se puede observar que hay algunos datos extremos que superan los 200 mg/L, que son considerados como el indicador de aguas fuertemente contaminadas, y algunos otros que se encuentran dentro del rango de aguas contaminadas (SEMARNAT 2018). Por lo que podríamos deducir que el aporte de aguas de descarga provenientes de drenajes está generando un serio problema de contaminación, acelerando, en cada descarga sin tratamiento, la contaminación del cuerpo acuático.

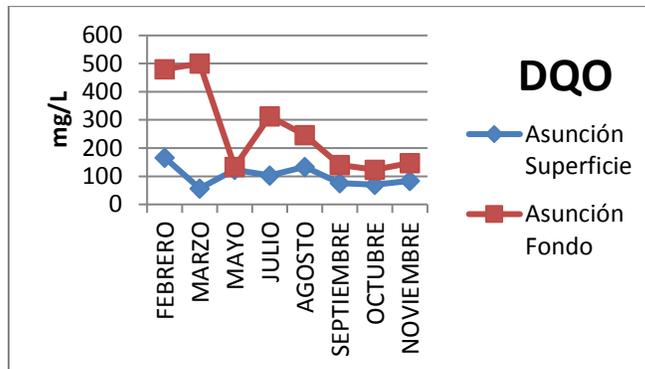
Gráfico Caja y Bigotes



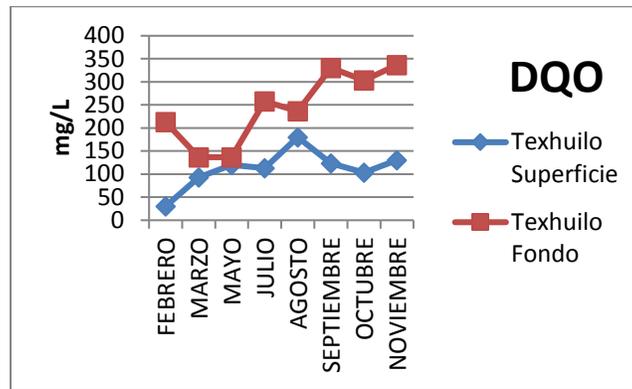
Gráfica 50 Diagrama de cajas para DQO a través del tiempo



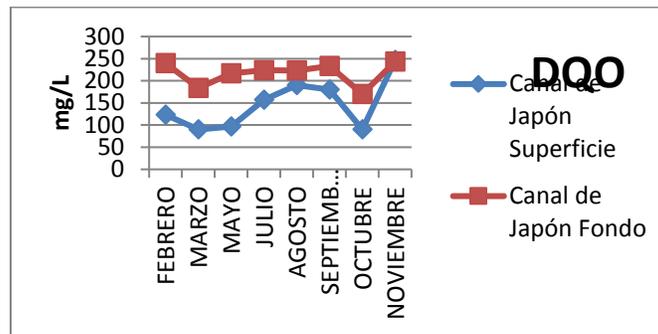
Gráfica 51 DQO de Cuemanco en el tiempo



Gráfica 52 DQO de Asunción en el tiempo



Gráfica 53 DQO Texhuilo a través del tiempo

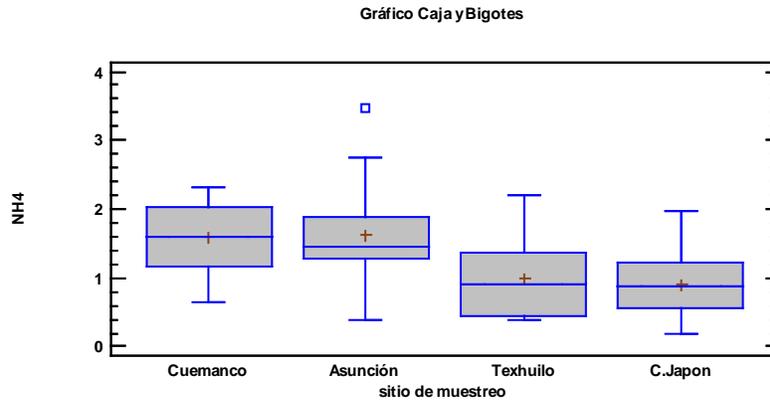


Gráfica 54 DQO Canal de Japón en el tiempo

Podemos observar que la DQO en superficie en todas las localidades tuvo un comportamiento muy variable, principalmente en la localidad de Cuemanco y Asunción, esto puede deberse a que el aporte de aguas residuales en la superficie.

Amonio

En este análisis se observó que la concentración promedio por punto de monitoreo fue 1.2834 mg NH₄/L, donde la concentración máxima fue en la localidad de Asunción con un valor de 1.63812mg/L con un comportamiento similar al de Cuemanco y la concentración promedio mínimo fue en la localidad de Canal de Japón 0.5323 mg/L con un comportamiento similar al de Texhuilo. Dicho comportamiento tiene semejanzas al reportado por (Lozada, 2004). Donde se puede observar el papel que juegan las descargas de aguas residuales en la zona urbana, donde el principal contaminante son las aguas de uso domiciliario y su relación directa con la concentración de Amonio. Como lo menciona (Ortiz y Ruvalcaba, 2004), las descargas domesticas junto con el agua de residuo de industrias son elementos importantes en el incremento de nutrimentos en un cuerpo de agua, el lago en estudio presenta estas características negativas y por lo tanto tenemos altas concentraciones de nutrimentos.



Gráfica 55 Diagrama de cajas para amonio del Lago Xochimilco por punto de monitoreo

De igual manera se realizó el análisis a lo largo del tiempo, se puede observar que el comportamiento a lo largo del tiempo fue homogéneo, teniendo que la concentración promedio fue de 1.2834 mgNH₄/L. Ya que el aporte de aguas residuales es constante y no responde a un patrón en el tiempo.

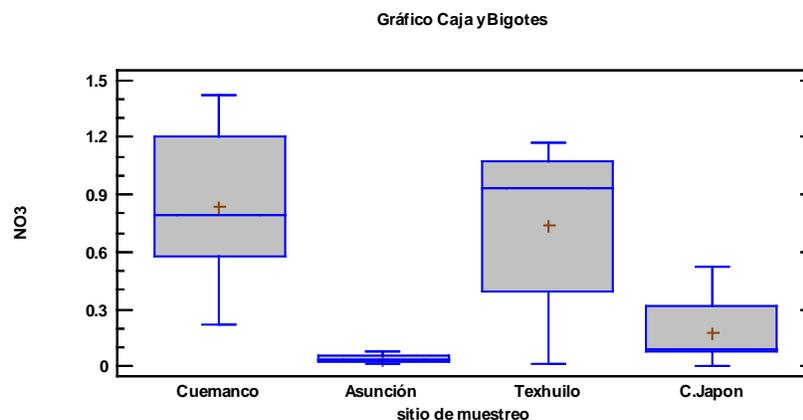
Al analizar el comportamiento a dos niveles, podemos observar que la máxima se encontró en fondo con una concentración promedio de 1.572mgNH₄/L, y un mínimo en superficie con una concentración promedio de 0.9946mgNH₄/L. El comportamiento es heterogéneo. Este comportamiento también es descrito por (IMTA,2012), donde describe que, en cuerpos de agua interiores, que reciben descargas de aguas no tratadas se encuentran concentraciones elevadas de amoníaco, éste suele acumularse en el hipolimnion. Las elevadas concentraciones registradas, se deben a la degradación de la materia orgánica abundante en el sistema; si se considera que la concentración relativa de amonio y nitrito es mayor, donde la descomposición de la materia orgánica es más activa, esto es, cerca del fondo (Ortiz y Ruvalcaba, 2004).

Podemos observar que en todas las localidades la concentración de Amonio es mayor en fondo, a excepción del mes de febrero en la localidad de Canal de Japón. Así como los lugares donde hay mayor actividad antropogénica es donde hay mayor concentración de Amonio.

Nitratos

El análisis por punto de monitoreo determinó que la concentración promedio de NO₃ fue de 0.44mgNO₃/L, mostrando un comportamiento heterogéneo, donde la concentración máxima fue en la localidad de Cuemanco con un concentración promedio de 0.834375 y el concentración mínimo fue en Asunción con un concentración de 0.04118mg/L. En la localidad de Cuemanco, se observan diferentes aportes de aguas residuales, provenientes de los baños públicos colocados a lo largo de la zona turística, así como, diferentes residuos sólidos urbanos depositados a lo largo de la localidad, esto ayuda al

contribuir en el aumento de la concentración de nitratos. En el caso de la localidad de Texhuilo existen escorrentías, ricas en materia orgánica de las áreas de cultivo y de las granjas aledañas. Los nutrientes que más influyen en el proceso de eutroficación son los nitratos y los fosfatos. Estos, son sustancias solubles en agua, que las plantas necesitan para su desarrollo; pero si se encuentran en concentraciones excesivas, inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutroficación de los sistemas acuáticos. (Wetzel, 2001).



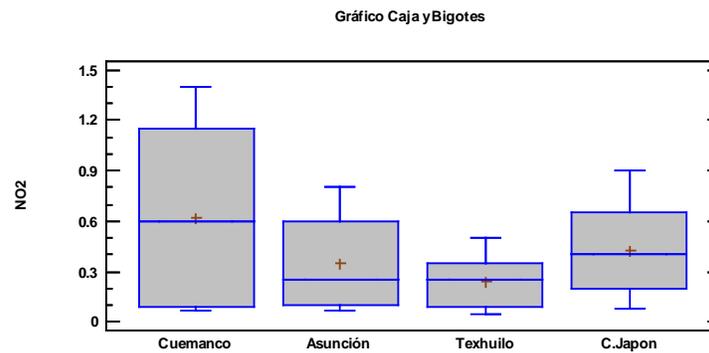
Gráfica 56 Diagrama de cajas para los nitratos del Lago Xochimilco, por punto de monitoreo

El análisis a lo largo del tiempo del NO₃ dio como resultado el promedio de 0.4494mg NO₃/L, mostrando un comportamiento homogéneo. Se observa que la concentración máxima fue en el mes de marzo con 0.5505 promedio. La concentración mínima fue en mayo 0.3632. Pero el comportamiento a lo largo del tiempo se mantuvo similar, esto es debido a que existe un aporte continuo de aguas residuales, y existe un movimiento de remoción del agua del sistema, al ser, el Lago, una vía de transporte. Un comportamiento similar reporta (Abeja, 2011), donde se observa que el comportamiento de los NO₃ a lo largo del tiempo es homogéneo y no muestra algún patrón entre temporada de lluvias y secas.

Nitritos

El análisis por punto de monitoreo de los NO₂ el promedio 0.4106 mgNO₂/L, mostrando un comportamiento heterogéneo. El sitio con una concentración promedio máximo fue Cuemanco 0.625625 mg/L. Con una concentración promedio mínimo 0.241875mg/L en el sitio de Texhuilo muy parecido al comportamiento que presentó Asunción y Canal de Japón. Dicho comportamiento se relaciona con el comportamiento de los Nitratos, debido a que los nitritos pueden actuar como agentes oxidantes, transformándose rápidamente en nitratos. Este comportamiento es similar a lo reportado por (Abeja, 2011), donde menciona, que la Zona Urbana presentó una concentración más elevada de nitritos (0.12 a 0.31

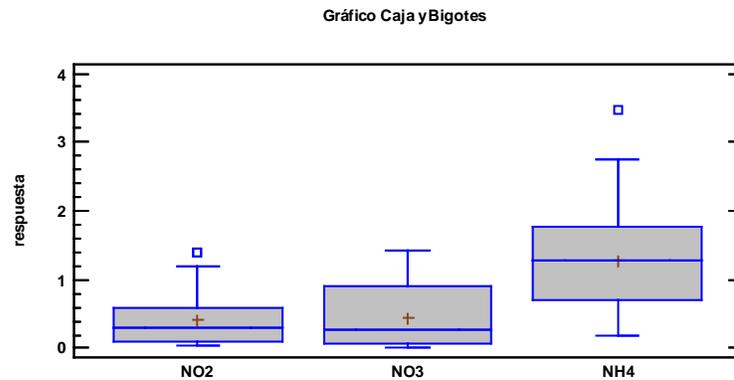
mg/L), que la Zona Agrícola, la cual presentó, las concentraciones más bajas en todo el periodo de estudio (0.049 a 0.066 mg/L).



Gráfica 57 Diagrama de cajas para nitritos, por punto de monitoreo

En la comparación de los nitritos a lo largo del tiempo observamos que la concentración promedio de 0.4107mg/L, donde el promedio máximo fue en Julio con una concentración de 0.5075 mg/L y el promedio mínimo se obtuvo en el mes de Mayo 0.3637. Aunque en el mes de julio se observa que tiene el promedio máximo, dicho comportamiento es fuera de lo esperado, ya que los meses anteriores a julio se ve la concentración va disminuyendo y los meses posteriores a este se observa un incremento paulatino. Probablemente en el mes de julio existió un aporte anormal que extremaron las concentraciones a un promedio de 0.5075.

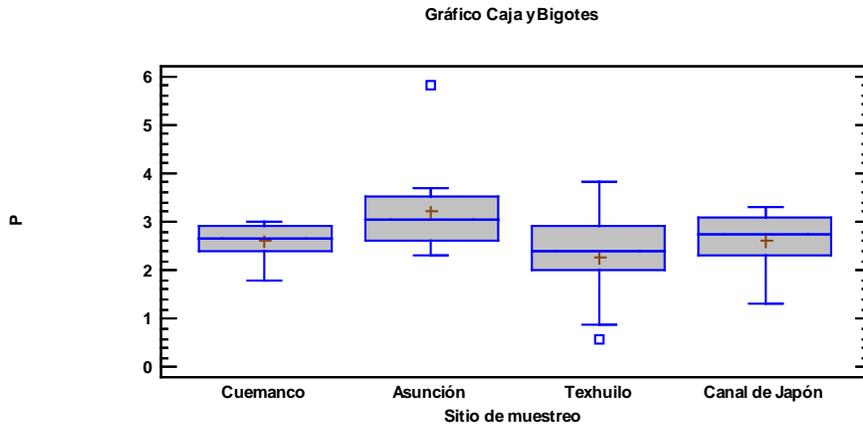
En la Siguiete gráfica podemos observar, el comportamiento del nitrógeno dentro del sistema. Teniendo al Amonio como la forma en la que se encuentra la mayor cantidad de Nitrógeno en el sistema. Como bien sabemos, cuando en un sistema el pH se encuentra por debajo de 7.9 el NH_3 y el NH_4^+ se transforman en nitritos. En este caso las unidades de pH se encuentran, por arriba de 7.9 por lo que no existe esta dinámica hacia los nitritos, teniendo el amonio mayor presencia. El amonio es muy perjudicial para la vida piscícola, aunque no para usos agrícolas del agua. Los nitritos y nitratos son menos tóxicos que el amonio, constituyen el segundo y tercer estado de oxidación, a los que se llega por la acción de las bacterias aerobias nitrosomonas y Nitrobacter dentro del proceso de nitrificación (Lozada, 2004). Sin embargo, los nutrimentos que más influyen en el proceso de eutrofización son los nitratos y los fosfatos. Estos, son sustancias solubles en agua, que las plantas necesitan para su desarrollo; pero si se encuentran en concentraciones excesivas, inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de los sistemas acuáticos (Wetzel, 2001).



Gráfica 58 Diagrama de cajas para los nitritos, por punto de monitoreo.

Fosforo total

El análisis por punto de monitoreo determinó que el valor promedio de P fue de 2.67857 mgP/L, mostrando un comportamiento homogéneo (Gráfica 59). Donde la concentración máxima fue en la localidad de Asunción con una concentración promedio de 3.24286mg/L y la concentración mínima fue en Texhuilo con una concentración de 2.04286mg/L. En la localidad de Asunción, se observan diferentes aportes de aguas residuales, provenientes de los baños, cocinas y lavaderos de la zona urbana, esto contribuye en el aumento de la concentración de fosforo total. En el caso de la localidad de Texhuilo el aporte de agua es principalmente del escurrimiento de la zona agrícola. La exportación de nutrientes desde los agroecosistemas hasta la red de drenaje es un factor importante en la contaminación difusa de los sistemas acuáticos superficiales, dado que está considerada como fuente de eutrofización (*Sandé P. 2005*). En regiones aledañas a la estación Asunción, se encuentran una gran concentración de asentamientos humanos, los cuales vierten de manera no controlada, sus residuos al cuerpo de agua. Las aguas domesticas residuales, contienen fuertes concentraciones de fósforo, principalmente por el uso de detergentes poli fosfatados (*Ortiz y Ruvalcaba, 2004*). Es por esta causa que se explican las concentraciones elevadas de este nutriente en la zona.

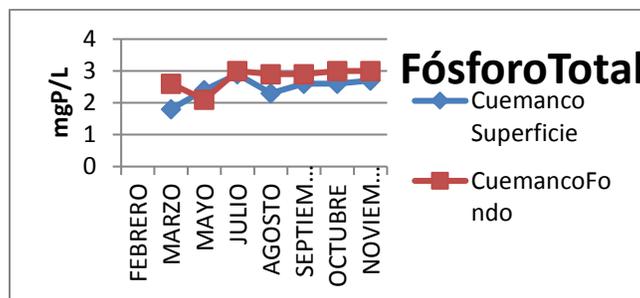


Gráfica 59 Diagramas de cajas para fosforo total, por punto de monitoreo

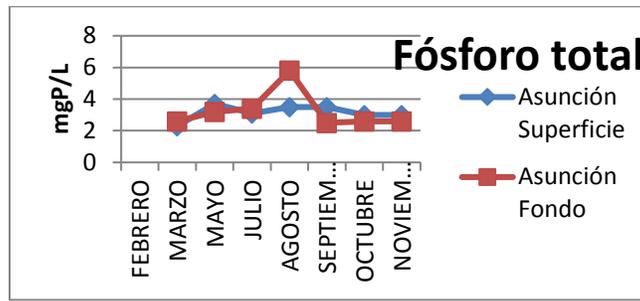
Conforme a la NOM-001-1996, que establece los límites máximos permisibles para aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se observa que el límite promedio diario para el uso de riego agrícola es de 30mgPtotal/L, por lo que no se supera el límite máximo permisible, pero no se debe olvidar que el fosforo es un nutriente. En la mayor parte de los sistemas acuáticos el fósforo está considerado como el elemento limitante para que se inicie la eutrofización, de modo que se admite que, a partir de un umbral de 20 µg/l, existe un riesgo potencial de que se desencadene este proceso. (Sandé P. 2005)

Al observar el comportamiento de fosforo total en superficie y fondo podemos determinar que tiene un comportamiento homogéneo. Se observa que en superficie se encuentra el comportamiento máximo comparado con el comportamiento de fondo, pero la variación es mínima, por lo que el comportamiento es similar en ambos niveles de profundidad.

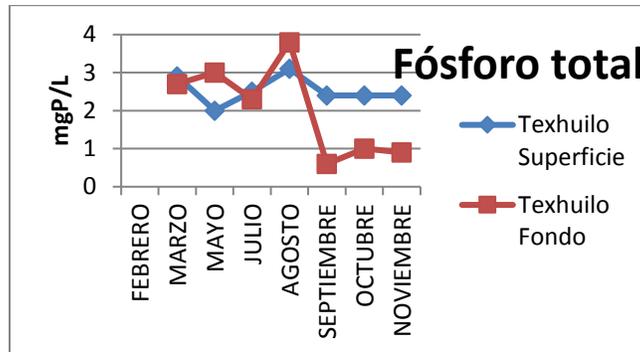
El fósforo es un componente que incrementa el crecimiento de plantas acuáticas y un factor limitante de eutrofización en lagos templados; bajas concentraciones se encuentran en lagos de tipo mesotrófico y altas concentraciones en lagos de tipo hipertrófico (Ortiz y Ruvalcaba, 2004).



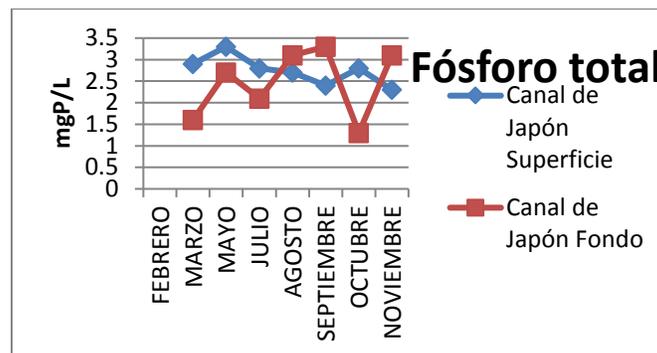
Gráfica 60 Fosforo total en Cuernavaca a través del tiempo



Gráfica 61 Fosforo total en Asunción a través del tiempo



Gráfica 62 Fosforo total en Texhuilo a través del tiempo

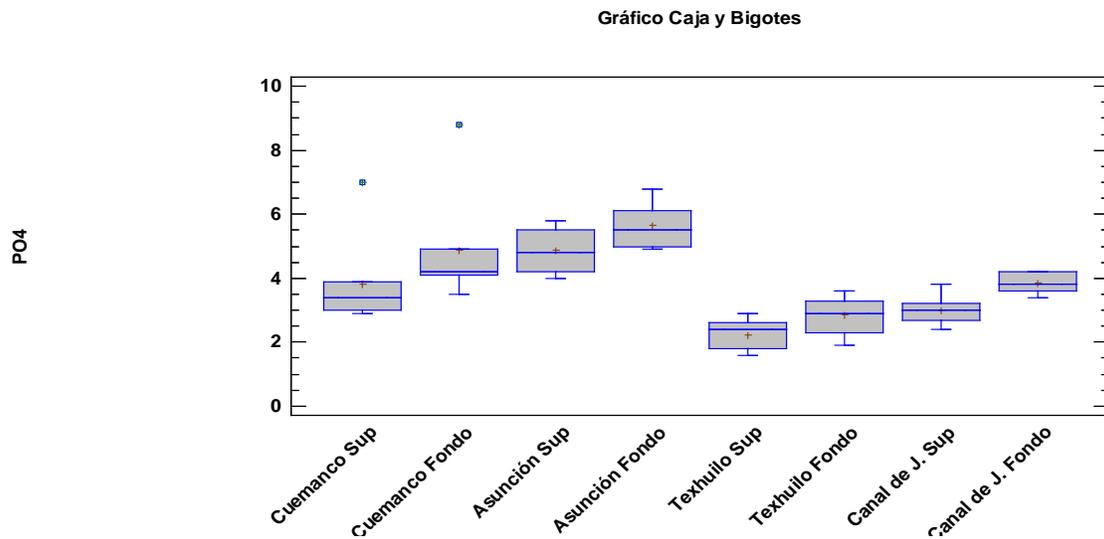


Gráfica 63 Fosforo total en Canal de Japón

Fosfatos

El análisis por punto de monitoreo determinó que la concentración promedio de fosfatos fue de 3.9 mgPO₄/L, mostrando un comportamiento heterogéneo (Gráfica 64), donde la concentración máxima fue en la localidad de Asunción fondo con una concentración promedio de 5.65714mg/L y la concentración mínima fue en Texhuilo superficie con un valor de 2.22857mg/L. Conforme a lo observado y lo descrito en sus parámetros de fosfato total y de DQO, se evidencian que existen aportes de agua residual sin previo tratamiento directamente al lago, esto acelera la eutrofización del sistema ya que existen mayor cantidad de compuestos difícilmente biodegradables en el fondo, efecto que se refleja en las estaciones de la zona

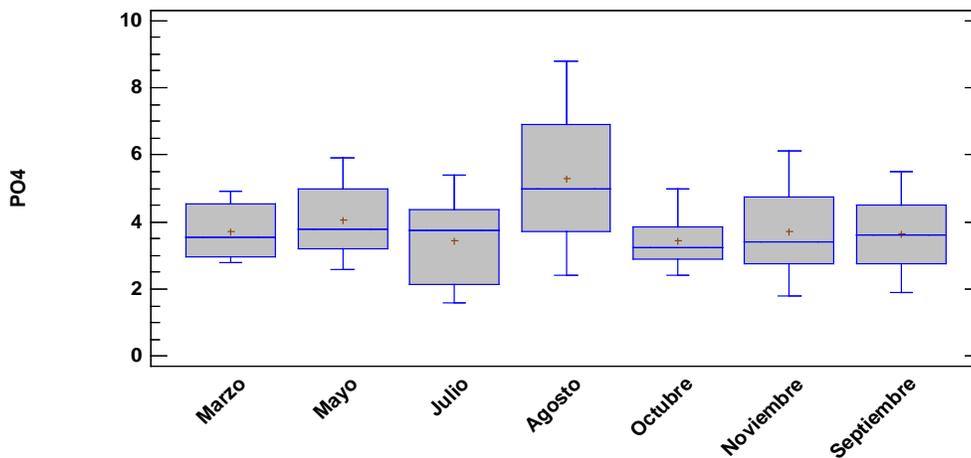
urbana como también lo describe (Arcos, 2004). Aquí es evidente la diferencia del comportamiento de las zonas urbanas, de aquellas con actividad agrícola donde la concentración de fosfatos es menor.



Gráfica 64 Diagrama de cajas para fosfatos, por punto de monitoreo

El análisis a lo largo del tiempo determinó que la concentración promedio de los fosfatos fue de 3.9 mgPO₄/L, mostrando un comportamiento homogéneo (Gráfica 65). Se observa que la concentración máxima fue en el mes de agosto con 5.3 mgPO₄/L valor promedio. La concentración mínima fue en octubre 3.425 mgPO₄/L. El comportamiento a lo largo del tiempo se mantuvo similar, es probable que, debido a las escorrentías provocadas por las lluvias, aumentara la concentración de fosfatos en el mes de agosto. Los fosfatos provenientes de los compuestos de fósforo, que se aplican como fertilizante en zonas agrícolas o se utilizan en la fabricación de detergentes. Se considera que el límite máximo para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutroficación acelerada de lagos o embalses es 0.025 mg/ l, (DOF, 1989), se puede observar que se sobrepasa dicho límite, por lo que el grado de eutroficación se observa acelerada. (Ortiz y Ruvalcaba, 2004) explica que tanto los nitratos, como los fosfatos, constituyen parte de la materia orgánica y la determinación de la DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra.

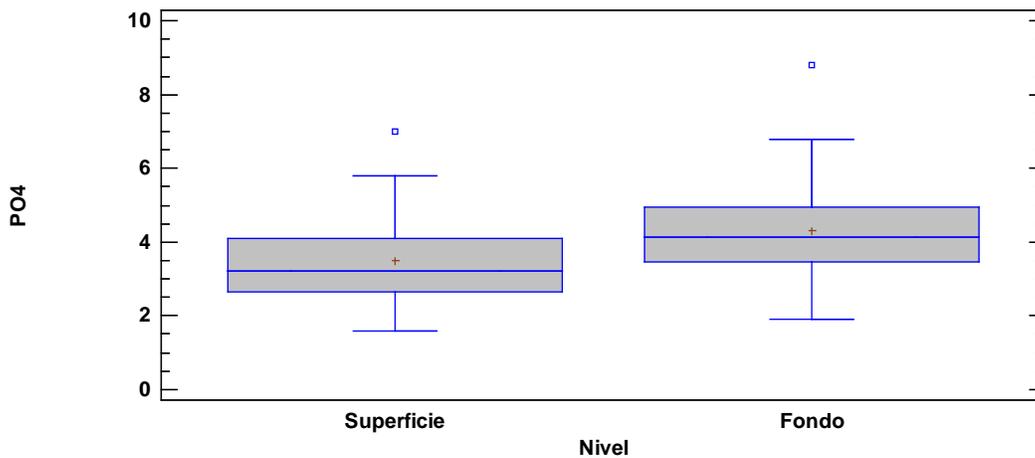
Gráfico Caja y Bigotes



Gráfica 65 Diagrama de cajas para fosfatos, a lo largo del tiempo

Al observar el comportamiento de fosfatos en superficie y fondo podemos establecer que presenta un comportamiento heterogéneo. Se observa que en fondo se encuentra el comportamiento máximo comparado con el comportamiento de superficie, esto pudiera estar vinculado con la cantidad de aportaciones de fosfatos y fósforo total y la sedimentación ya que existen mayor cantidad de compuestos difícilmente biodegradables en el fondo, acelera la eutrofización del sistema, (Arcos, 2004).

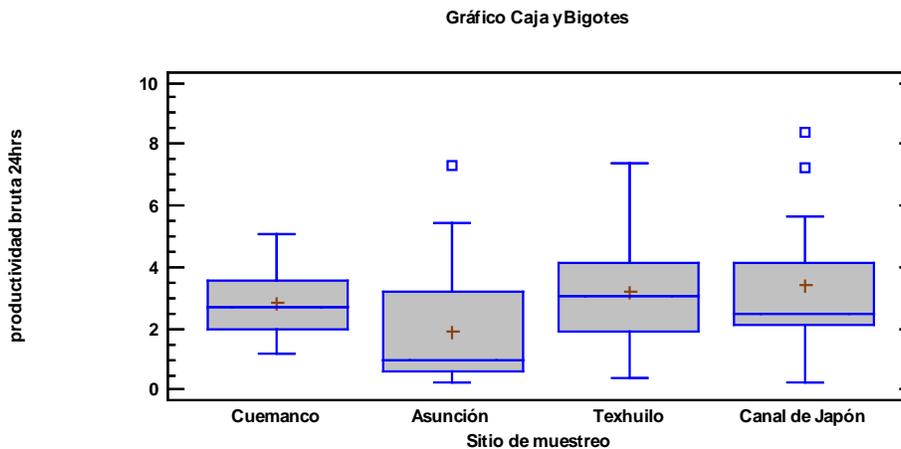
Gráfico Caja y Bigotes



Gráfica 66 Diagramas de cajas para fosfatos a dos niveles

Productividad bruta técnica simplificada

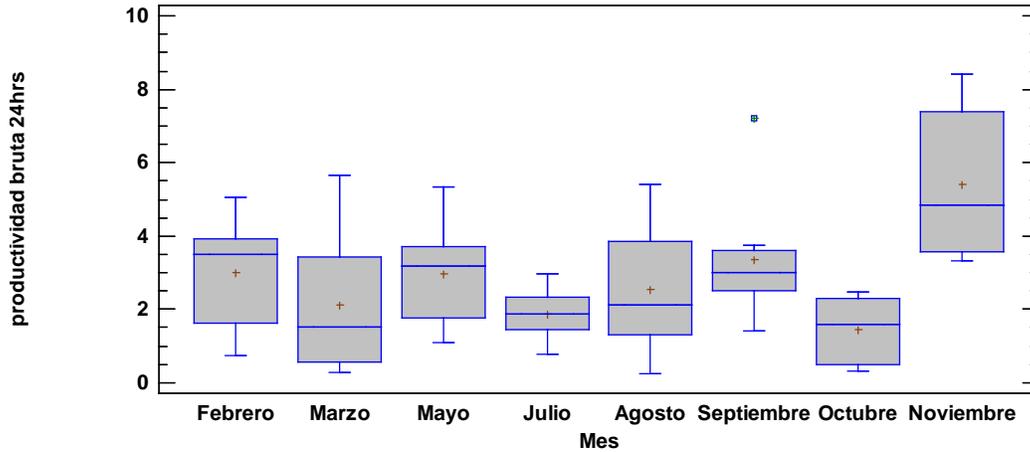
El análisis por punto de monitoreo determinó que la concentración promedio de Productividad bruta por técnica simplificada fue de 2.83664, mostrando un comportamiento heterogéneo, donde la concentración máxima fue en la localidad de Canal de Japón con un promedio de 4.5075 y la concentración mínima fue en Asunción con un promedio de 1.045. Conforme a lo observado y lo descrito en sus parámetros de profundidad, temperatura y DBO5 son correspondientes a los valores obtenidos en productividad bruta por técnica simplificada, siendo la localidad de Canal de Japón la que es más productiva. E inversamente al comportamiento del amonio, fosforo total, fosfatos y DQO. El amonio y los nitritos son los productos de la degradación orgánica efectuada por las bacterias. Dada la anterior relación, es más común que el fósforo limite la productividad de las aguas naturales. (Ortiz y Ruvalcaba, 2004)



Gráfica 67 Diagrama de cajas de productividad bruta 24 hrs, en los puntos de monitoreo

El análisis a través del tiempo determinó que la concentración promedio de Productividad bruta por técnica simplificada fue de 2.83664, mostrando un comportamiento heterogéneo, donde la concentración máximo fue en el mes de noviembre con una concentración promedio de 5.4125 y la concentración mínimo fue 1.4425 en octubre fondo. El comportamiento a lo largo del tiempo es bastante dinámico, principalmente porque el sistema tiene aportaciones e interacciones externas es probablemente esta la razón de que en octubre se obtuviera el mínimo y dos meses más tarde la concentración máxima, estos valores también son dependientes de si en el lugar donde se muestreó hubo un movimiento reciente del agua y esto permitiera una mayor oxigenación. Por lo que las mediciones de oxígeno en el tiempo son tan variables.

Gráfico Caja y Bigotes

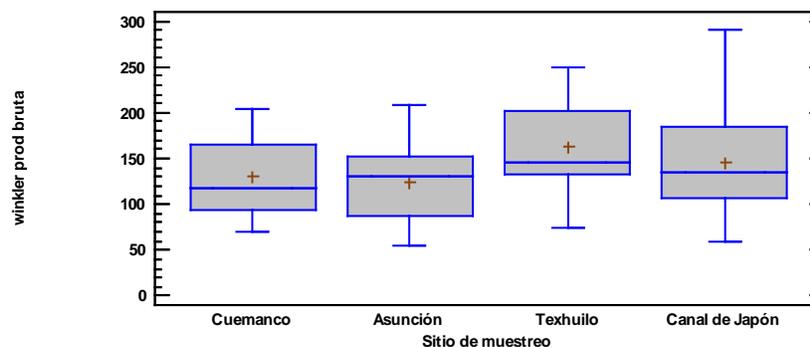


Gráfica 68 Diagramas de cajas de productividad bruta 24 hrs, a lo largo del tiempo

Productividad bruta por el método de Winkler

El análisis por punto de monitoreo determinó que la concentración promedio de Productividad bruta Winkler fue de 140.963 , mostrando un comportamiento heterogéneo, Donde la concentración máximo fue en la localidad de Canal de Japón con un promedio de 184.179 y la concentración mínimo fue en Asunción con un valor de 107.52 Conforme a lo observado y lo descrito en sus parámetros de productividad bruta por método de 24 horas, profundidad, temperatura y DBO5 son correspondientes a las concentraciones obtenidas en productividad bruta por técnica simplificada, siendo la localidad de Canal de Japón la que es más productiva. E inversamente al comportamiento del amonio, fosforo total, fosfatos y DQO. El amonio es un producto de la degradación orgánica efectuada por las bacterias. Dada la anterior relación, es más común que el fósforo limite la productividad de las aguas naturales. (Ortiz y Ruvalcaba, 2004)

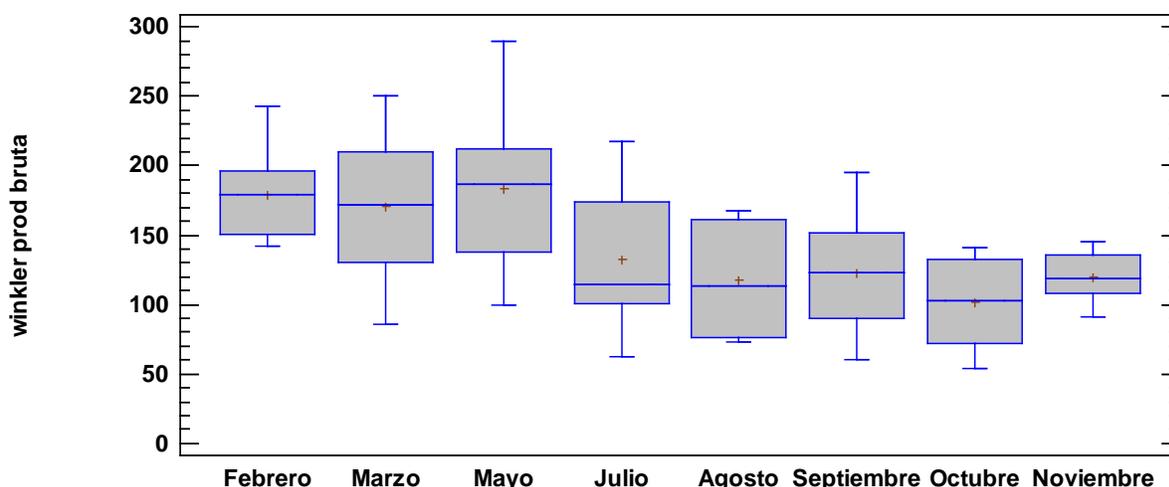
Gráfico Caja y Bigotes



Gráfica 69 Diagrama de cajas de productividad bruta Winkler, por puntos de monitoreo

El análisis a través del tiempo determinó que la concentración promedio de Productividad bruta por técnica winkler fue de 140.963, mostrando un comportamiento heterogéneo, donde la concentración máxima fue en el mes de mayo con un promedio de 183.007 y la concentración mínima fue en octubre fondo con un valor de 101.465. El comportamiento a lo largo del tiempo es bastante dinámico, sin embargo, se nota un comportamiento con mayor productividad es en la estación de primavera y teniendo en las estaciones más frías, una disminución en la actividad de productividad bruta, esto corresponde con los valores de oxígeno disuelto donde la máxima concentración fue en el mes de marzo y en el caso de DBO5 la concentración máxima fue en el mes de mayo.

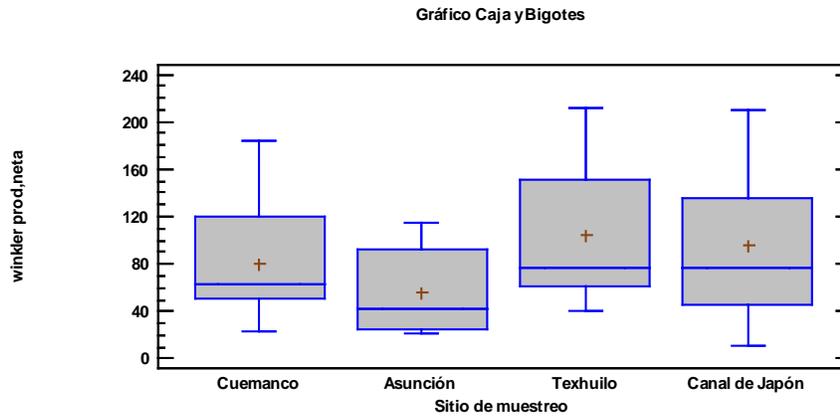
Gráfico Caja y Bigotes



Gráfica 70 Diagrama de cajas de productividad bruta Winkler a lo largo del tiempo

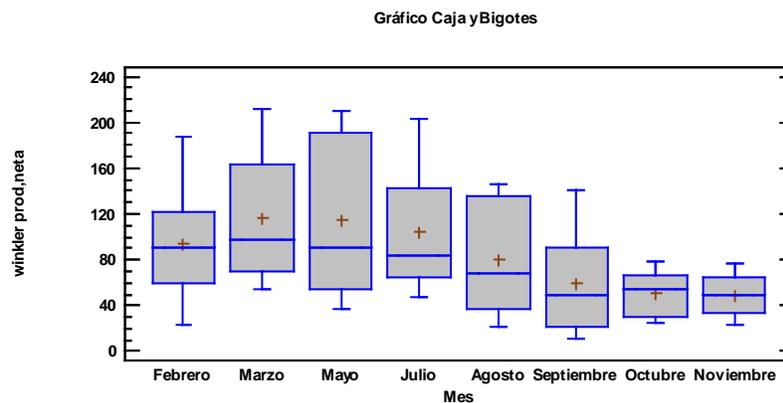
Productividad neta por el método de Winkler

El análisis por punto de monitoreo determinó que la concentración promedio de Productividad neta winkler fue de 83.6157, mostrando un comportamiento heterogéneo (Gráfica 71), Donde la concentración máximo fue en la localidad de Texhuilo superficie con un valor promedio de 148.998 y la concentración mínimo fue en Asunción fondo con un valor de 32.4306 Conforme a lo observado en la temperatura donde en la localidad de Texhuilo es la que tiene la concentración más elevado.



Gráfica 71 Diagrama de cajas de productividad neta Winkler en los sitios de muestreo

El análisis a través del tiempo determinó que la concentración promedio de Productividad neta por técnica winkler fue de 83.6157, mostrando un comportamiento heterogéneo (Gráfica 72), Donde la concentración máximo fue en el mes de marzo con un promedio de 115.722 y la concentración mínimo fue en octubre fondo con una concentración de 50.2933. Se nota un comportamiento con mayor productividad es en la estación de primavera y teniendo en las estaciones más frías, una disminución en la actividad de productividad bruta, esto corresponde con los valores de oxígeno disuelto donde la máxima concentración fue en el mes de Marzo y en relación con el parámetro de DBO5 la concentración máximo fue en el mes de Mayo. El anhídrido carbónico, nitrógeno y fósforo no son sólo factores de distribución de los vegetales, son también factores de productividad ya que controlan, junto con la luz, el crecimiento vegetal. (Angelier, 2002)

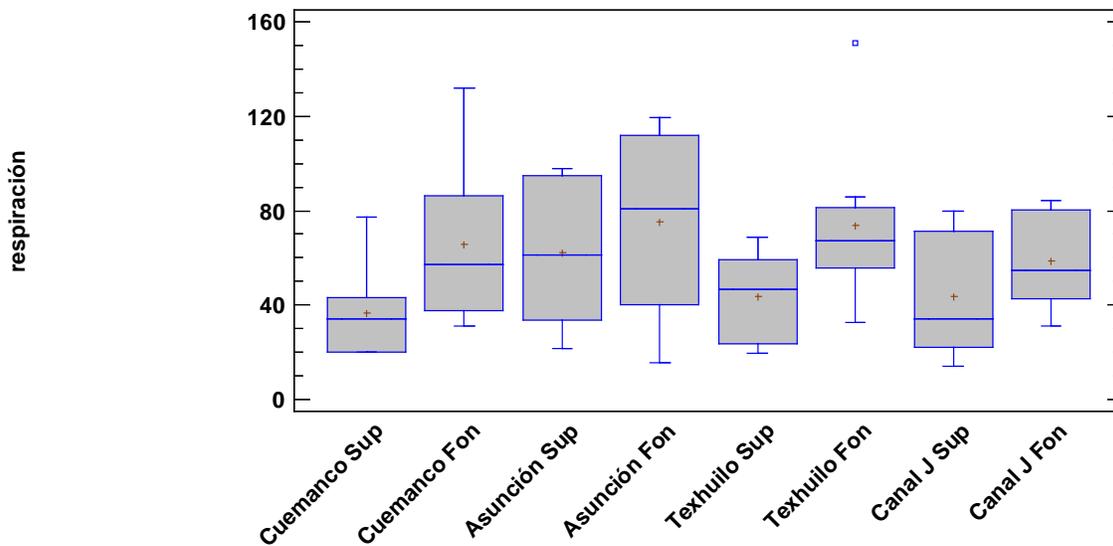


Gráfica 72 Diagrama de cajas de productividad Winkler a lo largo del tiempo

Respiración

Para poder entender de manera más acertada el comportamiento dentro del sistema consideramos el parámetro de respiración. La concentración promedio de respiración fue de 57.47, mostrando un comportamiento homogéneo (Gráfica 73). Donde la concentración máxima fue en la localidad de Asunción Fondo con un promedio de 75.0965 y la concentración mínima fue en Cuemanco Superficie con un valor de 36.7181. Dichos valores son más elevados en el fondo, así como se puede observar que existe una relación entre la respiración, la concentración de CO₂, la temperatura y la profundidad, Ya que la profusión de detritos genera una abundancia de descomponedores, la mayoría bacterias, cuyo crecimiento explosivo crea una demanda nueva de OD, que se consume en la respiración. (Moreno F., 2010)

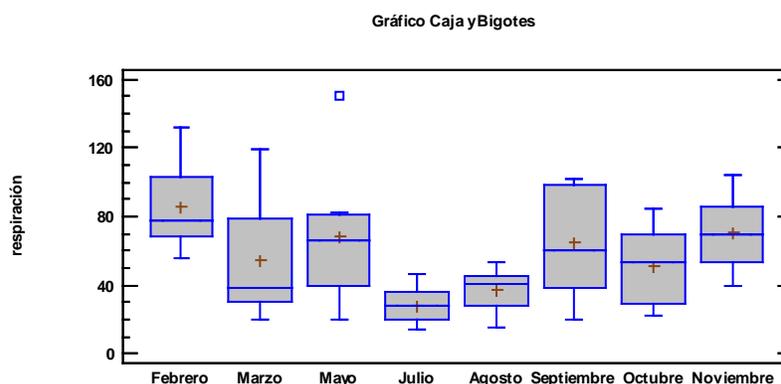
Gráfico Caja y Bigotes



Gráfica 73 Diagrama de cajas de Respiración Winkler, a dos niveles.

La respiración en su comportamiento a lo largo del tiempo fue heterogénea (Gráfica 74). Donde la concentración máxima fue en el mes de febrero con un valor promedio de 85.6425 y la concentración mínima fue en Julio con 28.4176. En el gráfico de caja y bigotes podemos observar que en los meses de Julio y agosto se observa un comportamiento con menor respiración, esto pareciera estar relacionado con los nitritos, el fosforo total y fosfatos, los cuales, aumentaron en estos meses. Las concentraciones de nutrimentos principalmente el fósforo y nitrógeno provocan un aumento de la respiración en el fondo del agua (Wetzel, 2001), en el estudio de (Ortiz y Ruvalcaba, 2004). Con respecto a la productividad neta con el método winkler se observa su descenso de julio a septiembre, correspondiente con lo anteriormente descrito.

De igual manera la temperatura se encuentra relacionada con la respiración, ya que en los meses de julio y agosto se obtuvieron los valores más altos de temperatura, así como se observa que va aumentando la transparencia de marzo a agosto. Los procesos orgánicos aumentan con la temperatura desde los 35 o 40° C, además al aumentar la temperatura se incrementa la respiración y disminuye la producción total (Wetzel, 2001). A mayor temperatura, el trabajo de la biosíntesis se lleva a cabo con mayor velocidad, aunque con baja eficiencia. Se renuevan los componentes celulares, se favorece la hidratación, se acumulan rápidamente las grasas y la proporción de carotenoides aumenta en relación con la clorofila (Margalef, 1983).

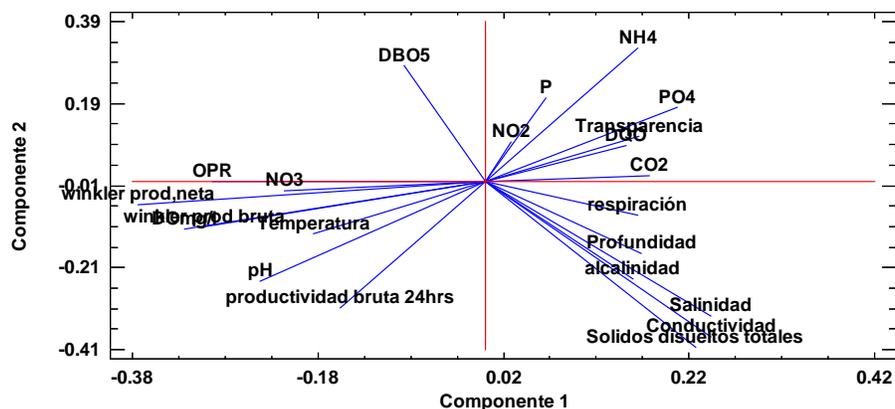


Gráfica 74 Diagrama de cajas de respiración Winkler a dos niveles

Análisis de componentes principales de manera General

El Análisis de Componentes Principales se utilizó para determinar cuáles fueron los parámetros que más influyeron sobre el comportamiento del sistema, se utilizaron 28 variables, obteniendo 4 componentes principales, de los cuales el componente uno obtuvo de Porcentaje Acumulado: 25.8.234 %, el componente dos 38.147 %, el tres 48.393 % y el cuatro 55.884 %, de porcentaje acumulado. El análisis indica que con dichos componentes, se puede explicar el comportamiento de más de la mitad de las variables evaluadas. Para la determinación de las variables más relevantes se toma en cuenta la tabla de pesos de componentes principales (grafica 75), en los cuales las variables y cargas de contribución por las que se encuentra representado cada componente.

Gráfica de Pesos del Componente



Gráfica 75 Graficas de componentes principales de manera General

Componente principal 1

Los parámetros principales fueron, potencial de oxido reducción, winkler bruta, winkler neta y salinidad. Esto pudiera derivarse por la cantidad de nutrimentos disponibles en el sistema viéndose reflejados en el parámetro de salinidad, al existir esta mayor disponibilidad los organismos la productividad primaria maximiza la fijación de CO₂ y la generación de Oxígeno disuelto. OPR se relaciona con la disponibilidad de oxígeno hay estados oxidantes en superficie y estados anóxicos en el fondo.

Componente principal 2

Los parámetros principales fueron solidos totales, conductividad, salinidad, amonio y productividad 24 hrs. Existe una relación directa entre la concentración de amonio, solidos totales y la descarga de aguas residuales, tal y como sucede en las localidades de Asunción y Cuemanco, esto igualmente se ve reflejado en los parámetros de salinidad y conductividad que igualmente se ven afectado por los aportes de agua residual. Estos parámetros, corresponden al tipo de contaminantes que son vertidos en el sistema lacustre.

Componente principal 3

Los parámetros principales fueron alcalinidad, nitritos, nitratos y DQO. Existe una relación entre DQO y nitritos y nitratos, la concentración de alcalinidad están directamente relacionados con el pH en el sistema, ya que a unidades de pH por debajo de 7.9 el NH₄⁺ y NH₃ se convierte a nitritos, en este sistema la concentración de pH se encontraba en promedio 8.16, impidiendo la conversión a nitritos, Sin embargo, aunque los valores de amonio son mas elevadas que NO₃ y NO₂. El amonio es muy perjudicial para la vida piscícola, si llega a rebasar los 50 mgL (Lozada, 2004), aunque no para usos agrícolas del agua. Los nitritos y nitratos son menos tóxicos que el amonio, constituyen el segundo y tercer estado de oxidación,

a los que se llega por la acción de las bacterias aerobias nitrosomas y nitrobacter dentro del proceso de nitrificación (*Lozada, 2004*). Sin embargo, los nutrientes que más influyen en el proceso de eutrofización son los nitratos y los fosfatos, provocando la eutrofización de los sistemas acuáticos (*Wetzel, 2001*).

Componente principal 4

Los parámetros principales fueron temperatura, fósforo total, nitritos y oxígeno disuelto, la temperatura está relacionado con la radiación directa, donde a una mayor exposición a la radiación solar en conjunto con la disponibilidad de nutrientes como el fósforo y nitrógeno, existe mayor productividad primaria que se traduce en una mayor concentración de oxígeno disuelto.

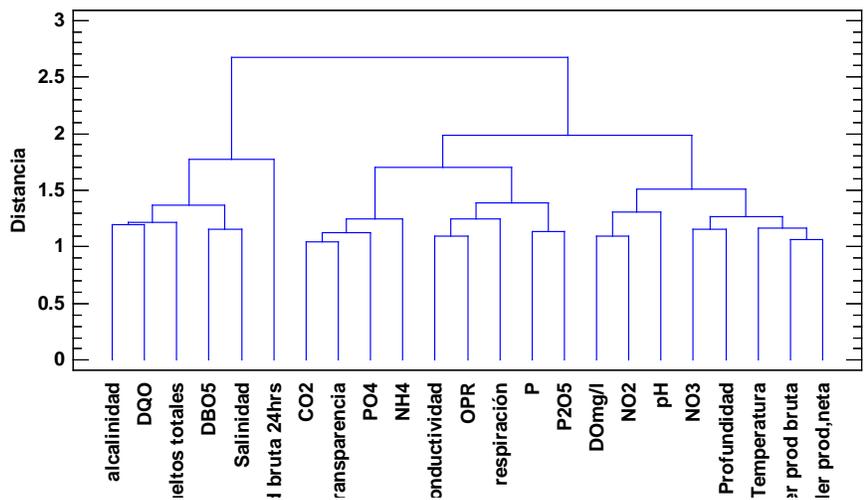
Ahora revisaremos el comportamiento en los 4 puntos de monitoreo. Ya que en los parámetros de mayor relevancia se observó que el comportamiento por punto de monitoreo es heterogéneo, es por ello necesario revisar cada estación como único. Dicho análisis se encuentra descrito en el Anexo 3.

Análisis de conglomerados

Al observar el comportamiento de los parámetros, podemos determinar que existen 2 comportamientos generales. En el primer conglomerado, se agrupan los parámetros DBO5, la salinidad y la productividad bruta las primeras 24 horas. En el segundo conglomerado se observa dos principales subgrupos, el primero integrado por CO₂, PO₄, NH₄, P, OPR, Respiración, Transparencia, Conductividad. En el segundo subgrupo se integró por Oxígeno disuelto, pH, NO₂, NO₃, profundidad, Temperatura, productividad winkler bruta y neta.

Conforme a este análisis podemos observar dos comportamientos principales, que relacionados a la hidrodinámica del sistema lagunar y además a la contaminación puntual existente en los puntos de muestreo, parece describir dos comportamientos

Dendograma
Método del Vecino Más Lejano, Euclídeana



Conclusiones

1. Conforme a la evaluación in- situ, pudimos observar el comportamiento reductor de Asunción, esto es importante resaltarlo, ya que dadas las características del sistema y el tipo de actividad que rodea al lago en esta sección, podemos concluir que en su mayoría son aguas domésticas que se vierten al sistema sin ningún tratamiento.
2. En la evaluación de los parámetros en el laboratorio pudimos observar que existen 2 comportamientos generales, uno el de la zona urbana que se caracteriza por alta concentración de nutrientes, pero poca productividad. Y otro en la zona agrícola, donde existe mayor productividad y mayor DBO5.
3. En la evaluación de técnica simplificada, así como en la productividad neta, por el método de Winkler, el más productivo fue el sitio de Texhuilo, siendo, la localidad de Asunción el sitio más reductor. Esto corresponde al tipo de actividad donde se encuentran ubicadas cada una de las zonas.
4. El comportamiento del sistema corresponde los tipos de descargas, distinguiéndose una zona agrícola (Texhuilo, Canal de Japón) y una zona urbana (Cuemanco y Asunción) siendo Asunción el sitio mayor mente contaminado. Este trabajo resalta la importancia de conocer el contexto donde se encuentra el sistema acuático, ya que las actividades que lo rodean son un factor determinante en la eutrofización acelerada del sistema y es importante emitir propuestas de mejora basadas en estos 2 comportamientos generales.

Propuestas para mejora:

La sociedad debe comprender el problema con respecto a la calidad del agua, para llevar a cabo acciones de remediación o rehabilitación; sin embargo, conforme aumenta la preocupación social por el cuidado ambiental, se evidencia más la falta de evaluaciones transversales respecto a los recursos hídricos y los beneficios económicos, sociales y ecológicos. Estos aspectos se deben complementar a fin de enriquecer la toma de decisiones. En efecto, un gran número de especialistas coincide en que la integración multidisciplinaria facilita la comprensión y solución de los problemas de la vida real.

Este trabajo deja un precedente sobre la íntima relación que existe entre las actividades humanas y los sistemas ecológicos, en este caso el sistema acuático es el receptor de descargas clandestinas y de escurrimientos en la zona agrícola, siendo el principal problema de contaminación en esta área. Para poder frenar el deterioro del sistema acuático del lago, es necesario realizar acciones conjuntas tanto por parte del Ciudad de México, como la delegación y la sociedad, para reglamentar y ejercer un programa de verificación, en el área, para evitar descargas sin previo tratamiento. Así como la aplicación de herramientas económicas para disminuir la demanda de agroquímicos en los cultivos circundantes.

Finalmente, se debe destacar que de nada sirve tratar agua residual, a una de alta calidad o tercer nivel, como pretende la PTAR del cerro de la Estrella, si no se preservan las zonas de recarga natural y se protege la calidad del agua, ya que al final se terminan diluyendo con las aguas crudas vertidas y el problema continúa. Es urgente tomar la decisión de proteger efectivamente el acuífero del Valle de México, lo que implica detener los asentamientos humanos en las zonas de recarga natural (sur poniente, sur y oriente de la mancha urbana, en la zona de los Reyes) para preservar la cantidad, así como instalar drenajes que deriven en un previo tratamiento antes de verter el agua en el lago.

Para poder planear un proyecto de manejo adecuado para este sistema acuático, es necesario definir el tipo de actividad o uso que se le dará al sistema, ya que en este caso tenemos diversos usos y por lo tanto diferentes contaminantes o concentraciones de estos, por lo que es vital separar los usos incompatibles con la rehabilitación, si es que eso se pretende. Se debe diseñar estrategias de planeación ambiental como un ordenamiento territorial ecológico, considerando, la evidencia académica, a sociedad y el factor económico.

Anexos

Anexo 1

Para el Multiparámetro HANNA HI 9828-25 existen seis tipos de calibraciones, éstas se pueden hacer por cada parámetro a evaluar o se puede seleccionar una calibración rápida que es una función que permite al usuario calibrar la sonda multiparamétrica en campo con solo una solución, HI 9828-25, de una manera fácil y rápida.

Para fines de éste estudio se utilizó la calibración rápida, que consta del siguiente proceso:

- Se llenó el vaso con la solución de calibración HI 9828-25.
- Atornilló el vaso de calibración en el cuerpo de la sonda. (Evitando la formación de burbujas en la solución)
- Se esperaron unos minutos hasta que se estabilizara la solución.
- En el menú de Calibración, se eligió Quick calibration (Calibración Rápida) y presione OK.
- Y por cada parámetro se esperó el resultado de “Redy” (pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Potencial de óxido-reducción)

Anexo 2



Diagrama de flujo 3 Método de determinación de Bióxido de Carbono Microescala

Fuente: Diagrama realizado en base a Gómez Márquez 2014



Diagrama de flujo 3 Método de determinación de Alcalinidad Microescala

Fuente: organigrama realizado en base a Gómez Márquez 2014

Anexo 3

Análisis de componentes principales en Cuemanco

Se puede observar que de los 28 parámetros analizados, se obtuvieron 3 componentes principales teniendo un porcentaje acumulado del 64.86%. Para la determinación de las variables más relevantes se toma en cuenta la tabla de

El componente 1:

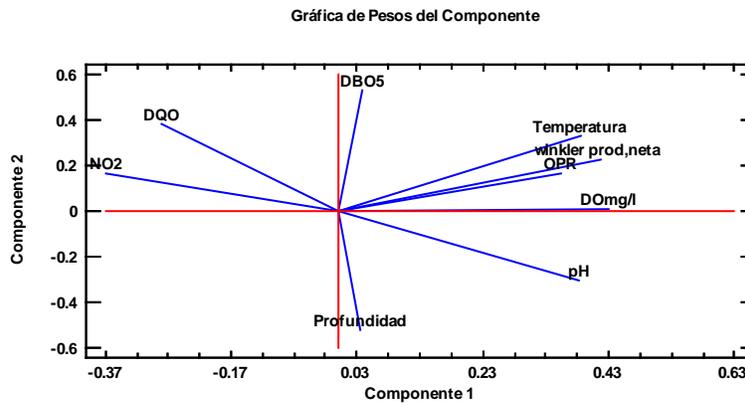
Se observa una relación entre el oxígeno disuelto, la temperatura y su productividad neta hablándonos de los parámetros que intervienen en el comportamiento productivo en esta área. Es un comportamiento esperado ya que la distribución del oxígeno en cuerpos de agua naturales está determinada por el intercambio gaseoso a través de la superficie del agua, la producción fotosintética, el consumo respiratorio y por procesos físicos de advección, El aporte de oxígeno al agua a través del proceso de fotosíntesis constituye otra fuente primaria de oxígeno en el agua. La mayor parte del oxígeno lacustre proviene de la actividad fotosintética. (IMTA, 2012)

Componente 2:

Se observa la relación entre DBO5, DQO y Nitritos. Muy probablemente, describiendo el comportamiento de contaminación en esta área. Determinando una relación entre estos indicadores siendo los nitritos v materia orgánica y materiales que contribuyen en la contaminación de esta estación.

Componente 3:

En este tercer componente se observa la relación entre la profundidad, el Potencial oxido reducción y el pH, relacionado también con la concentración de Oxígeno disuelto. Esto nos habla de la relación que existe entre el pH y el potencial oxido reducción y la concentración de oxígeno, muy ligada al nivel de profundidad. Evidenciando también la estrecha relación entre oxígeno disuelto, CO₂ y pH.



Gráfica 76 Grafica de componentes principales en Cuernavaca

Análisis de componentes principales en Asunción

Se puede observar que de los 28 parámetros analizados, se obtuvieron 3 componentes principales teniendo un porcentaje acumulado del 64.117%. Para la determinación de las variables más relevantes se toma en cuenta la tabla de pesos de componentes principales. De donde se determinó lo siguiente:

El componente 1:

Se observa una relación entre el fosforo total, fosfatos y potencial de hidrógeno. Esta relación pudiera deberse al tipo de descarga, donde principalmente son aguas de uso doméstico. Las aguas domesticas residuales, contienen fuertes concentraciones de fósforo, principalmente por el uso de detergentes poli fosfatados (Ortiz y Ruvalcaba, 2004). Es por esta causa que se explican las concentraciones elevadas de este nutrimento en la zona.

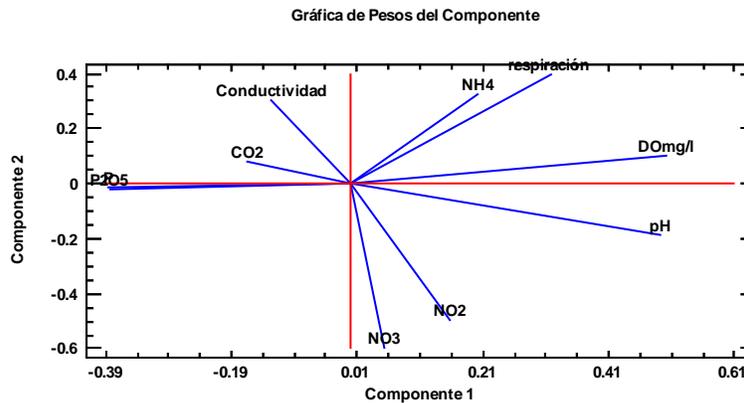
Componente 2:

Se observa la relación entre CO₂, DO₂ y conductividad. La razón por la que aumenta su conductividad es debido al aporte de aguas residuales provenientes del área urbana y asentamientos humanos irregulares afectando a las concentraciones de CO₂ y el DO₂ disponible.

Componente 3:

En este tercer componente se observa la relación entre nitritos, nitratos y amonio y la respiración. Los cuerpos de agua interiores, que reciben descargas de aguas no tratadas se encuentran concentraciones elevadas de amoniaco, éste suele acumularse en el hipolimnion. Las elevadas concentraciones registradas,

se deben a la degradación de la materia orgánica abundante en el sistema; si se considera que la concentración relativa de amonio y nitrito es mayor, donde la descomposición de la materia orgánica es más activa, esto es, cerca del fondo (Ortiz y Ruvalcaba, 2004).



Gráfica 77 Gráfica de componentes principales Asunción

Análisis de componentes principales en Texhuilo

Se puede observar que de los 28 parámetros analizados, se obtuvieron 3 componentes principales teniendo un porcentaje acumulado del 68.108%. Para la determinación de las variables más relevantes se toma en cuenta la tabla de pesos de componentes principales. De donde se determinó lo siguiente:

El componente 1:

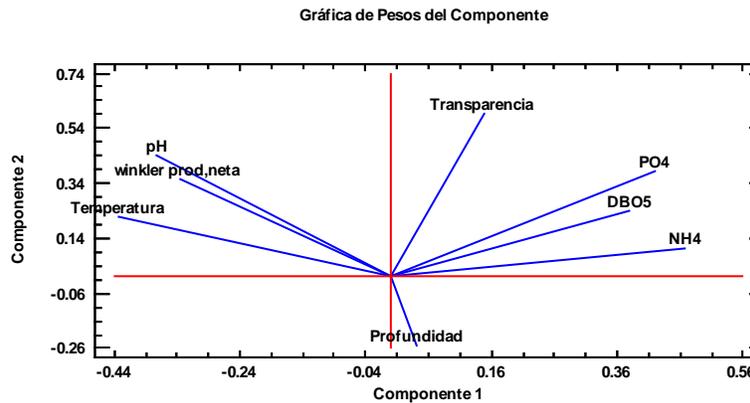
Se observa una relación entre pH, temperatura y winkler productividad neta. Muy similar al comportamiento observado en Cuamanco componente 1 y Canal de Japón componente 1. Aquí se observa el comportamiento de la productividad primaria y su relación estrecha entre la temperatura, productividad primaria y esto a su vez con el pH.

Componente 2:

Se observa la relación entre DBO5, NH4 y PO. Este comportamiento describe el tipo de contaminantes en esta área teniendo mayor aporte de contaminantes orgánicos. Similar a lo descrito en el componente 2 de Cuemanco.

Componente 3:

En este tercer componente se observa la relación entre PO4, profundidad y transparencia. Se observa que en fondo se encuentra el comportamiento máximo comparado con el comportamiento de superficie, esto pudiera estar vinculado con la cantidad de aportaciones de fosfatos y fósforo total y la sedimentación ya que existen mayor cantidad de compuestos difícilmente biodegradables en el fondo, acelera la eutrofización del sistema, (Arcos, 2004).



Gráfica 78 Gráfica de componentes principales Texhuilo

Análisis de componentes principales en Canal de Japón

Se puede observar que de los 28 parámetros analizados, se obtuvieron 3 componentes principales teniendo un porcentaje acumulado del 61.200%. Para la determinación de las variables más relevantes se toma en cuenta la tabla de pesos de componentes principales. De donde se determinó lo siguiente:

El componente 1:

Se observa una relación entre el DQO, PO4 y winkler prod bruta, se observa una relación con la estación de Cuemanco componente 1, Texhuilo componente 1. Esta relación podría estar generada por la perspectiva de productividad bruta y la cantidad de PO4 disponible en el sistema, generando no solo una demanda bioquímica de oxígeno, en este caso la cantidad de fosfatos que se acumulan en el hipolimnion aportando a la eutrofización.

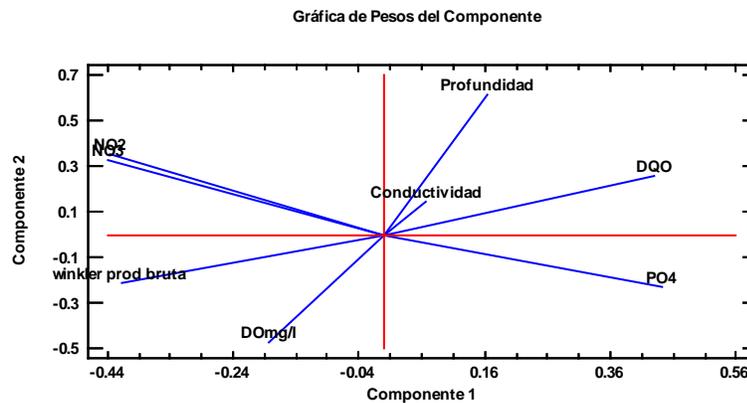
Componente 2:

Se observa la relación entre conductividad, nitritos y nitratos, ya que nos habla de los nutrientes disueltos. Los cuerpos de agua interiores, que reciben descargas de aguas no tratadas se encuentran concentraciones elevadas de amoníaco, éste suele acumularse en el hipolimnion. Las elevadas concentraciones registradas, se deben a la degradación de la materia orgánica abundante en el sistema; si

se considera que la concentración relativa de amonio y nitrito es mayor, donde la descomposición de la materia orgánica es más activa, esto es, cerca del fondo (*Ortiz y Ruvalcaba, 2004*).

Componente 3:

En este tercer componente se observa la relación entre conductividad, DO y profundidad. Es un comportamiento esperado ya que la distribución del oxígeno en cuerpos de agua naturales está determinada por el intercambio gaseoso a través de la superficie del agua, la producción fotosintética, el consumo respiratorio y por procesos físicos de advección, El aporte de oxígeno al agua a través del proceso de fotosíntesis constituye otra fuente primaria de oxígeno en el agua. La mayor parte del oxígeno lacustre proviene de la actividad fotosintética. (*IMTA, 2012*). *Relacionado al componente 1*



Gráfica 79 Grafica de componentes principales Canal de Japón

Bibliografía

- Abarca F. J., 2007, Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos, E.d Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat), e.d. 1ª, México, pp.113-144.
- Abedrop L. S. y col., 2012, El gran reto del agua en la ciudad de México, E.d Sistema de aguas de la ciudad de México, pp.1-ss
- Abeja P. O., 2011, Biomarcadores de daño temprano en *Ankistrodesmus falcatus* y *Hyalella azteca* como indicadores de estrés en tres áreas (urbana, turística y agrícola), de la zona lacustre de Xochimilco, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, pp. 1-ss.
- Acevedo, L. y de la C. S. (1972). Monografía Histórica de Xochimilco, Cd de México.
- Aguilar I. A. y col., 2010, Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario, UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, e.d 1ª, 308 p.
- Aguilar, J. (1978). Descripción del sistema de chinampas, Grupos de Estudios Ambientales (Vol. I), México, Ciudad de México.
- Aguilera, H. M. (1987). Rehabilitación de suelos de chinampas y su relación con plantas cultivadas. Boletín del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México Ciudad de México.
- Aguirre, M. L. (1972). Estudio Edafológico del Parque Natural de Xochimilco. Departamento de suelos y Aguas del Parque Ecológico de Xochimilco. México Ciudad de México.
- Alfaro, S. G. (1980). Estudio Edafológico del Ejido de Xochimilco. Tesis Licenciatura UNAM. México Ciudad de México, p.p 1-ss.
- Almanza, E.S y col 2012, Diatoms of Xochimilco channels, E.d. Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente (Vol.1), pp 32-40.
- Álvares S., 2005, Descomposición de Materia Orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano, Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, Col 14(2), pp.17-29.
- Angelier E., 2002, Ecología de las aguas corrientes, E.d Acribia S.A, e. d 1ª, Zaragoza (España), pp.1-ss.
- Ambiental, A. d. (1983.). Programa micro regional para la zona de canales de Xochimilco. México
- A.P.H.A, 1996. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. E.d Días de Santos S. A, España, pp. 1-ss.
- Arcos R. R., y col.,2004, EVALUACIÓN DEL COMPONENTE ORGÁNICO COMO UN FACTOR INDICATIVO DEL ESTADO TRÓFICO DEL LAGO DE XOCHIMILCO, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM,pp. 1-10.
- Astor Y. M., y col, 2011, MANUAL DE MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE PARAMETROS OCEANOGRÁFICOS EN LA ESTACIÓN SERIE DE TIEMPO CARIACO, Ed. Yrene M. Astor, Venezuela, pp.1-ss.
- Aviles A. G., 2004, “Productividad primaria estimada por fluorescencia natural durante otoño-invierno en la Bahía de La Paz, B. C. S., México”, CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS DEPARTAMENTO DE OCEANOLOGÍA, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, pp.1-ss.

- Avita, H. (1994). Contribución al estudio de la contaminación del agua proveniente de algunas descargas industriales de la Ciudad de México. Instituto de Ciencias. UNAM. México.
- Baez, P. A., & Belmont, R. (1975). Modificación de la calidad de aguas del Lago de Xochimilco, por el uso de Aguas Negras en su recarga, México, Congreso iberoamericano del Medio Ambiente.
- Barrenechea A., 2004, Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En L. Canepa, Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I.Lima, 278pp
- Badillo A. M. y col., 2010, Manual de Prácticas de Ecología Acuática, UNAM, Licenciatura en Manejo sustentable en zonas costeras, pp.1-ss
- Barocio L. O., y col., 2007, Productividad primaria del fitoplancton en la zona eufótica del Sistema de la Corriente de California estimada mediante imágenes del CZCS, Ciencias Marinas, No.33(1), pp. 59–72.
- Bojorquez C. L. Y col., 2017, Contaminación química y biológica en la zona Lacustre de Xochimilco, Ed. Universidad Autónoma Metropolitana, serie de Académicos No. 30, e.d1ª, México p.p 1-ss.
- Bort S., y col., 2005, El fitoplancton de Lagunas de Ruidera (Parque Natural, Ciudad Real, España), Limnetica, 24(1-2), pp. 33-46.
- Bucio Y. R., 2009, La construcción de un modelo de intervención social basado en la educación ambiental comunitaria. Los casos de La Asunción y La Santísima, Xochimilco, CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO, IPN, Ciudad de México, pp. 1-ss.
-
- Brezonik P. L., Arnold W. A., 1996, Water Chemistry: Fifty years of change and progress, Environmental Science and Technology, E.d ACS Publications.
-
- Calvario M., 2007, Evaluación de la productividad del fitoplancton y de la respiración planctónica en la parte más interna del Estero de Urías, Sinaloa, México, E.d secretaria del medio ambiente y Recursos Naturales, (Instituto Nacional de Ecología), e.d 1ª, México pp.227-238.
-
- Cervantes M., 2007, Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México, Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat), e.d 1ª, México, pp.37-67.
-
- Chapa B. C., Guerrero A. R., 2010, Eutrofización: abundancia que mata, ¿Como ves?, No. 134, pp. 22-25.
- Chow W. N., EL FITOPLANCTON Y LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN LA ACUICULTURA EXTENSIVA DE CAMARONES, memorias de la Universidad Nacional de Ingeniería Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente CIEMA-UNI, pp. 1-14
-
- Comisión Nacional del Agua, 2017, Estadísticas del Agua en México edición 2017, Secretaría del Medio Ambiente y
- Recursos Naturales, pp. 1. ss.

-
- Contreras E. F., y col., 1997, Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México, Hidrobiología, Vol.7, pp.9-17.
- Consultores en Gestión Política y Planificación Ambiental S. C., 2013, Estudio para la elaboración de un SIG participativo de la zona chinampera para identificar los riesgos relacionados con la afectación de la calidad e agua y los hundimientos en Xochimilco, Consultores en Gestión Política y Planificación Ambiental S.C. (GPPA), Licitación LA909024988-N1-2013.
- Contreras E. F., y col., 1994, Manual de Técnicas Hidrobiológicas, E.d Trillas, e.d 1ª, México, pp. 1-ss.
- Contreras E. F., N. E.y col. 2005. Nutrientes y productividad primaria Fito planctónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver.) del Golfo de México.UAM-Iztapalapa, Hidrobiológica No. 15, pp. 299-310.
- De Dios D.K., 2015, Índice de saprobiedad como indicador de la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez Guerrero, UNAM-FES-Zaragoza, 101pp
- Alcaldía Xochimilco, 2007, Plan delegacional de desarrollo sustentable
- Dodson I. S., y col.,2000, The Relationship en lake communities between primary productivity and species richness, Ecology, Vol81, No.10, pp. 2662-2679.
- EPA red Book: Qualitycriteria for Water, Water Quality Saction, American Fisheries Society, 313pp.
- Escobar E., y col., 2008. Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas, en Capital natural de México, Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, vol.I, pp. 161-189.
- Flores V. F. J., y col., 2007, Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación, E.d. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat),e.d. 1ª, México, pp.147-167.
- Fuentes F., Massol-D. A.,2002, Actividad Microbiana: Productividad Primaria en Habitats Acuáticos, Manual de Laboratorios, Universidad de Puerto Rico, cuarta parte.
- Garduño S. G., y col., 2011, Cultivo de microalgas en el lago de Catemaco Veracruz, Latinoam Biotecnol Amb Algal, Vol. 2(2), pp.67-80
- Gaceta oficial de Ciudad de México, 8 de diciembre 2006, DECRETO POR EL CUAL SE MODIFICA EL POLÍGONO DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA, CON CARÁCTER DE ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA, LA SUPERFICIE DENOMINADA “EJIDOS DE XOCHIMILCO Y SAN GREGORIO ATLAPULCO” UBICADA EN LA ALCALDÍA XOCHIMILCO DEL CIUDAD DE MÉXICO. DECRETO POR EL CUAL SE MODIFICA EL POLÍGONO DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA, CON CARÁCTER DE ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA, LA SUPERFICIE DENOMINADA “EJIDOS DE XOCHIMILCO Y SAN GREGORIO ATLAPULCO” UBICADA EN LA ALCALDÍA XOCHIMILCO DEL CIUDAD DE MÉXICO. Mexico, pp.14-73
-
- Gaxiola G., y col. 2010, Biomasa y Producción del Fitoplancton, E.d. Secr. de Medio Ambiente y Recur. Nat., Jardines en la Montaña, Mexico, pp. 59–81.
-

- Goke K, y Hernández A. C., 1994, Determinación comparativa de la producción primaria con las técnicas de 14C y O 2 en aguas salobres con diferentes grados de eutrofización, *invermar*, vol.23, No. 1, pp. 1-8.
-
- Gómez M. J. L., y col.,2014, Analisis de calidad de aguas naturales y residuales con aplicación a la microesala, E.d. UNAM FES Zaragoza,e.d 1ª, México 204pp.
-
- Gómez N., y col., 2009, Conceptos y técnicas en ecología fluvial, E.d Arturo Elosegí, e.d 1ª, pp. 219-242.
- Hernández T. B., y col., 2007, "Carbono en ecosistemas acuáticos de México", Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT), e.d 1ª, pp 1-ss.
- INEGI (2000). Cuaderno Estadístico Delegacional, Xochimilco, Ciudad de México. Pp. 3-24.
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos Xochimilco, Ciudad de México. pp. 1-ss
- Instituto Mexicano de tecnología del Agua (IMTA), 2012, Acoplamiento de mecanismos de DBO en un modelo para CFD para cuerpos de agua, SEMARNAT, México, pp. 1-ss.
- Jardinez M., 2019, Influencia de la época del año y calidad del agua en la dinámica poblacional de *Chiostoma Jordani* en Xochimilco Cd. México. Comparación de ciclos anuales 2014 y 2017, Universidad Autónoma de México, Facultad de Ciencias, pp. 1-ss.
-
- Jiménez B.,y col., 2004, El agua en México vista desde la academia, E.d Academia Mexicana de Ciencias, e.d 1ª, pp. 1-ss
- Jimenez B., y col.,2013, Evaluación del riesgo al acuífero de Xochimilco por lluvias extremas, Tecnología y Ciencias del agua- UNAM, Vol IV, No, 3, pp. 103-124.
- Jiménez C. B., y col.,2005, "El agua en el Valle de México", Academia Mexicana de Ciencias, e.d 1ª, pp. 15-32.
- Ley General Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA última reforma 2015)
- Ley de Aguas del Ciudad de México (LADF 2003)
- Linding, C. R., Zambrano L., 2007, Aplicaciones prácticas para la conservación y restauración de humedales y otros sistemas acuáticos,E.d. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat), e.d 1ª, México, pp.167-188.
- López V. M.R., 2013, Evaluación de la calidad del agua del arroyo Panacuale y el establecimiento de plantas ornamentales en un sistema de humedales de flujo subsuperficial para tratar aguas residuales en el Campamento de Pesca Arcoíris, Puebla., UNAM- FESZaragoza, pp:1-ss.
-
- LozadaM.M., 2004, Evaluación del Nitrógeno en sus diferentes formas y su relación con las bacterias nitrificantes en el lago de Xochimilco, Universidad Nacional Autónoma de México FES-Zaragoza, pp:1-ss.
-
- Margalef, L. R. 1983. Limnoecología. Ed. Omega. Barcelona. 1010 p.

- Martínez M. G. O., y col., 2008, Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico, *Hidrobiológica*, Vol. 18(1 Suplemento), pp. 1-13.
- MIA, Planeación y Proyectos de Ingeniería S.C., Concesionaria distribuidor vial San Jerónimo-Muyuguarda
- MIA, 2013, Análisis de una Manifestación de Impacto Ambiental de la "Autopista urbana oriente tramo Muyuguarda- Bilbao", Unión de científicos Comprometidos con la Sociedad
- Montoya Y., Aguirre N. 2010, Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en un lago tropical (ciénaga Escobillitas) a lo largo del pulso de inundación, *Facultad de Ingeniería Universidad Antioquia*, N.º 55, pp. 76-89.
- Montecino V. y Pizarro Gemita, 2006, Productividad primaria, biomasa y tamaño del fitoplancton en canales y fiordos australes: patrones primavera-verano, *Comité Oceanográfico Nacional -Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*, Valparaíso, pp. 93-97.
-
- Montiel M.A, 2019, Interacción Lirioacuático-plancton, efectos directos en el zooplancton del lago de Xochimilco, *Universidad Nacional Autónoma de México*, Facultad de Estudios superiores Iztacala, México, pp.1-ss.
-
- MOONEY A.H., 2005, LOS ECOSISTEMAS Y EL BIENESTAR HUMANO: HUMEDALES Y AGUA. INFORME DE SÍNTESIS, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, World Resources Institute, Washington, DC. Copyright © 2005 World Resources Institute, pp.1-ss.
-
- NADF-003-AGUA-2002
- NADF-015-A GUA-2009
- NMX-AA-014-1980
- NMX-AA-028-SCFI-2001
- NMX-AA-030-SCFI-2001
- NMX-AA-007-SCFI-2000
- NOM-003-SEMARNAT-1997
- Ortega U. S., 2000, Análisis del fitoplancton en lagunas secundarias de tratamiento de aguas residuales "el cocal"-Leon, *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- Facultad de Ciencias y Tecnología*, pp.1-ss.
- Ortiz R. J. y Ruvalcaba G. A., 2004, Evaluación del estado trófico del lago de Xochimilco, Méx., aplicando un índice de estado trófico, *Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza*, pp.1-ss.
- Parsons T., y col., 1984, a Manual of chemical and biological methods for seawater analysis, E.d. PERGAMON PRESS, e.d 3ª, pp.1-ss.
- Peña, D., 2002. Análisis de datos multivariantes. E.d. McGraw-Hill/Interamericana de España. 508 pp.
- • Pérez-Fons, R. Noviembre, 1993. Xochimilco: Rescate de un pueblo y de un paisaje. *Tiempo. México*. pp. 6-13.
- Progrma Delegacional de Desarrollo Xochimilco 2013-2015, GACETA OFICIAL DEL CIUDAD DE MÉXICO 22 de octubre de 2013.

- Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos Xochimilco, Ciudad de México, Clave geoestadística 09013, INEGI,2013.
- Rendón-Dircio J.A,y col., 2012, MORFOMETRÍA, HIDRODINÁMICA Y FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUADE LA LAGUNA DE CHAUTENGO, GUERRERO, MÉXICO, Revista Bio Ciencias, Vol. 1,Núm. 4 (2),pp. 25 a 37.
- Rodríguez B. C., y col.,1999, Cálculo de la producción primaria en aguas oceánicas de canarias comparación del procesamiento de imágene CZCS y SEWIFS, Avances y Eplificaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección, E.d Santiago Castaño Fernandez, Albacete, España, pp. 314-318.
- Samboni R. N. E., Carvajal E. y Escobar J. C., 2007, Revisoon de parámetros fisicoquímicos como indicadores de la calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación. Universidd Nacional de Colombia Bogotá, colombiana 172-181 pp.
- Secretaría del Medio Ambiente, 2006, Libros blancos- Sistema de áreas Naturales protegidas, México, Gobierno del Ciudad de México, pp1-ss.
- SEDEMA, 2014, Boletín 065/2014. México Ciudad de México.
- Signoret M., y col.,1998, Patrones de distribución de clorofila a y producción primaria en aguas del golfo de México y del Mar Caribe. Hidrobiológica,Vol. 8(2), pp.81-88.
- Shmid W. A., y Martínez L. R., 2000, Guía para estimar la certidumbre de la medición, Centro Nacional de Meteorología, México.
- Torres R.2000, Introducción para el manejo de datos limnológicos, UNAM, pp. 108
- Vila P. I.C. 2003. El agua en Iberoamérica, Tópicos Básicos y Estudios de Caso, 11-21. Editores: Alicia Fernández Cirelli y Miquel Salgot.Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Ñuñoa, Santiago, Chile.
- Villegas M., 2019, Impacto Ambiental de la expansión urbana en el Area Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura, p.p 1-ss.
- Wetzel G. R., y Likens E. G., 1991, Limnological Analyses, E.d Springer-Verlag, e.d 2ª, New York, p.p 1-ss.
- Wod S., y col., 2000, WorldResources Institute. Pilot analysis of global ecosystems; agroecosystems. E. U. A., 55-61 p.p.

Referencias de apoyo estadístico

- Cervantes M., 2007, Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México, Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat),e.d 1ª, México, pp.37-67.
- Martínez M. G. O., y col., 2008, Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico, Hidrobiológica, Vol. 18(1 Suplemento), pp. 1-13.

Ciberografía

<http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html#>

<https://www.google.com.mx/maps/place/19%C2%B017'08.2%22N+99%C2%B006'05.9%22W/@19.285599,-99.101641,182m/data=!3m2!1e3!4b1!4m2!3m1!1s0x0:0x0?hl=es-419>