

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

FLUJO DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIENEGA DE CHIGNAHUPAN, ESTADO DE MÉXICO

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestría en Ciencias Ambientales



Presenta:

Biól. Gratia Deii Flores Salgado

Dirigida por:

Dra. María Estela Orozco Hernández

M. en C. Patricia Mireles Lezama

Dra. Verónica Martínez Miranda

TOLUCA, MÉXICO

El presente trabajo de investigación, con número de registró MACIAS- 1012 en la Secretaria de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México, se realizó en programa de Maestría y Doctorado de Ciencias ambientales y con el apoyo del Laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Planeación Urbana y Regional y el Laboratorio de Calidad del Agua del Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), el proyecto “Cambios de Uso del Suelo Inducidos por Actividades Agropecuarias en Ecosistemas Terrestres Templados y Cálidos del Estado de México: Impactos Locales y Emisiones Globales de Gases de Efecto Invernadero” financiado por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología” (CONACyT- SEMARNAT 1079563), y la beca para posgrados nacionales con el CVU/No.de Becario 410041/257310.



UAEM | Universidad Autónoma
del Estado de México

3° (EV. DE GRADO)
OFICIO NO 558/2013

Toluca, México, 28 de noviembre de 2013

**P. DE MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES
GRATIA DEII FLORES SALGADO
FACULTAD DE QUIMICA
P R E S E N T E**

La que suscribe Directora de la Facultad de Química, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, comunica a Usted que el Jurado de su Evaluación de Grado estará formado por:

Dra. Lilia Zizumbo Villarreal
PRESIDENTE

Dra. Patricia Balderas Hernández
SECRETARIO

Dra. María Estela Orozco Hernández
PRIMER VOCAL

M. en C. Patricia Mireles Lezama
SEGUNDO VOCAL

Dra. Verónica Martínez Miranda
TERCER VOCAL

Dr. Alejandro Rafael Alvarado Granados
SUPLENTE

Dra. Belina García Fajardo
SUPLENTE

FIRMA

ATENTAMENTE
PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO
"2013, 50 Aniversario Luctuoso del Poeta Heriberto Enriquez"

M. en A.P. GUADALUPE OFELIA SANTAMARIA GONZALEZ
DIRECTORA



c.c.p. Archivo

www.uaemex.mx

Was macht ein Segen ist das Leben nicht
zu tun, was wir wollen, aber wir mögen,
was wir tun.

Lo que convierte la vida en una bendición no es hacer lo que nos gusta, sino que nos guste lo que hacemos

Johann Wolfgang von Goethe

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos institucionales

A la Universidad Autónoma del Estado de México, por ser mi *alma mater*, ayer hoy y siempre.

A la Facultad de Química, en especial al Programa de Maestría y Doctorado de Ciencias Ambientales por darme la oportunidad de continuar con mi formación científico-académica, así como el apoyo para realizar la estancia de investigación en Alemania.

A la Facultad de Planeación Urbana y Regional el invaluable apoyo de sus investigadores, profesores y demás colaboradores altamente capacitados y por facilitarme sus instalaciones.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante los estudios de maestría y la beca mixta para realización de estancia en el extranjero con CVU/No. de becario 410041/257310.

Al laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Planeación Urbana y Regional UAEMÉX, por todas las facilidades prestadas para la realización de algunos experimentos, análisis y obtención de resultados que en esta tesis se exponen.

Al Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA) por el apoyo y las facilidades que se nos brindaron para el análisis del agua, por el préstamo de equipo para mediciones en campo y por su calidad humana del personal a cargo.

Al instituto Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland fisheries), por recibirme en la estancia de investigación que se realizó durante mayo-agosto y por las facilidades, atención y conocimientos sobre cuantificación de gases y cálculo de flujos.

Al proyecto “Cambios de Uso del Suelo Inducidos por Actividades Agropecuarias en Ecosistemas Terrestres Templados y Cálidos del Estado de México: Impactos Locales y Emisiones Globales de Gases de Efecto Invernadero” apoyado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología” (CONACyT- SEMARNAT 1079563), ya que sin el apoyo tecnológico y científico de este, la investigación que aquí se presenta no podría haberse llevado a cabo.

A la Secretaría de Investigación de Estudios Avanzados de la Universidad por las becas de escolaridad y la beca de movilidad estudiantil.

Agradecimientos personales

A la Doc. Estela por atreverse a navegar esta travesía junto a mí, enseñándome no sólo a hacer ciencia sino a ser humana, aprendiendo de cada día y ser mejor buscando siempre un balance, gracias por su tiempo, esfuerzo y consejo.

A la maestra Patty por impulsarme a realizar esta maestría, por su apoyo constante y por aportar ideas certeras para el desarrollo metodológico de esta tesis, gracias...

A la Doc. Vero por su paciencia, por sus consejos y desarrollo de estrategias humanas para vivir felices y crecer no solo en conocimiento sino en mente y espíritu, gracias.

A la Doc. Patty Balderas por estar siempre al pendiente, por responder inquietudes, dudas pero siempre con una sonrisa y una palabra de aliento a todos sus estudiantes gracias por su apoyo, por sus fotos, gracias por navegar dos años junto a nosotros atreviéndose a brincar correr saltar y disfrutar con nosotros.

A la Dra. Zizumbo y al Doc. Alvarado por revisar los avances semana a semana y por sus amables y oportunos comentarios.

Peter Casper, por su apoyo, por hacerme sentir como en casa en un país lejano, por su humanismo, su conocimiento y su experiencia en la limnología y en el cambio climático, por permitirme trabajar con materiales y equipo y por su amistad.

A los revisores por sus oportunos y atinados comentarios.

A las autoridades ejidales, lancheros y personas de las comunidades aledañas a la Ciénega, que colaboraron amablemente permitiéndonos realizar este proyecto. En especial a Francisco González, Antonio Almeida, Urbano García, Gustavo Salguero, Emilio Barrera, Samuel Hernández, Carlos González Aguilar, ya que sin su generosidad y apoyo no habríamos podido realizar este estudio.

A los chicos de planeación y ciencias ambientales que me ayudaron con la elaboración de los mapas y que además me acompañaron a las visitas de campo Rodri, Victor, Giovanni (Guardado), Antonia, Itzel, Abraham.

A mis compañeros de generación por crecer conmigo, por su amistad y compañerismo haciendo más ameno los momentos críticos de este periodo de nuestras vidas ÉXITO MCA 2011-2013.

A todos los maestros que formaron parte de mi formación en estos dos años.

Al Lic Juan Jose Millan, por su apoyo en los tramites desde la inscripción hasta la obtención de grado y posteriores, por ser siempre tan amable y eficaz en su trabajo muchas gracias.

A Liliana Valdezpino por su amable atención y cooperación en los tramites de movilidad y de becas.

Un viaje solitario no se compara a un viaje lleno de compañeros que comparten su vida, experiencias, que apoyan, soportan y secundan tus locuras, con los que compartes el estrés y las nuevas aventuras creando memorias y que sobreviven día a día contigo por eso agradezco a: la familia de lo pior (Rodo, Gus, Faby, Fer, Galan, Angeles, Claus y Bardin), a Tatis, Gerardo, Karlita, Isabel, Lupita, Vania, Matin, Jaque, Kike por estar a mi lado día a día.

A Tatis por su apoyo, su amistad, por los ánimos, por la complicidad, por sus conocimientos, experiencia y por las experiencias vividas mil gracias por tu amistad y por tu cariño.

Gracias a la Familia de mis padres a los Flores, por enseñarme que las sonrisa es el reflejo del amor y la llave mágica en la sociedad, así como de heredarme su fe y esperanza en Dios y la vida misma cantándole día a día, trabajando con honradez, amando en y con la verdad y buscando la felicidad eterna, a los Salgado, por su diversidad y la comprensión de la familia como un solo ser lleno de sueños esperanzas y aventuras por vivir aquí y allá juntos siempre juntos.

A Isidro, y a la familia que se ha formado con el paso de los años, por el ánimo, el apoyo y la confianza que han tenido conmigo.

A mis Papinos por estar junto a mi día a día, por su apoyo infinito como su amor, gracias, no hay palabras que puedan describir el amor, respeto y admiración que les tengo al infinito y más allá primero dios.

A Bardin, por su paciencia, amor y experiencias.

A la naturaleza por sorprenderme día a día, enseñarme que en su simplicidad esta su complejidad, coherencia y armonía

A Dios por permitirme vivir, y darme la sabiduría y paciencia necesaria para salir adelante.

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres,

A Bardo,

A las Ninas Julia y Carmen

A los abuelos

A todos los que han creído en mi

ÍNDICE

ÍNDICE.....	10
Índice de figuras	12
Índice de tablas	12
Índice de mapas.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA	24
2.1. Revisión comparativa de métodos para la medición de gases efecto invernadero en cuerpos de agua	27
2.2. El océano como fuentes o reservorios de CO ₂	46
2.3. Gases efecto invernadero (GEI) en los humedales	47
2. 4. Calidad del agua y el aporte de nutrientes	50
2.5 Parámetros fisicoquímicos del agua	54
CAPÍTULO 3: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.	62
3.1 Justificación	63
3.2 Planteamiento del problema	64
3.3 Pregunta de investigación	67
3.4 Hipótesis	67
3.5 Objetivos	67
3.5.1 Objetivo general.....	67
3.5.2 Objetivos específicos	67
Capítulo 4 Metodología	69
4.1 Diseño metodológico.....	70
4.2 Entrada a la Ciénega de Chignahuapan	72
4.3 Entrevistas	73
4.4 Diseño de hoja de campo	73
4.5 Levantamiento batimétrico	74
4.5.1 Puntos de muestreo.....	77
4.5.2 Perfiles para el levantamiento batimétrico	77
4.5.3 Muestreo de agua.....	78
4.6 Delimitación y caracterización de la cuenca de la Ciénega Chignahuapan	80
4.7 Integración de la base de datos	83
4.7.1 Digitalización de datos	83
4.7.2 Elaboración de la cartografía	84

4.8	Análisis de correlación y asociaciones principales	85
4.9	Muestreo de vegetación y sedimentos.....	85
4.9.1	Muestreo de Vegetación.....	86
4.9.2	Muestreo de Sedimentos	87
4.9.3	Análisis de las muestras de agua	88
4.8.3	Metodología para determinar el CO ₂ en el agua	90
CAPÍTULO 5. ENTORNO AMBIENTAL LA CIENEGA DE CHIGNAHUAPAN		92
(Descripción del área de estudio).....		92
5.1.	Sistema hidrológico del alto río Lerma	93
5.2.	Área de protección de flora y fauna Ciénegas de Lerma	95
5.3.	Morfología de cuenca del humedal de Chignahuapan	100
5.4.	Humedal de Chignahuapan, municipio de Lerma.....	101
CAPÍTULO 6. HUMEDAL DE CHIGNAHUAPAN ¿FUENTE O SUMIDERO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO?		110
6.1	Delimitación de la cuenca	111
6.2	Configuración batimétrica	113
6.3	Coberturas de vegetal y agua.....	116
6.4	Clasificación de la Ciénega Chignahuapan según Mitsch William (J & R, 1994)	118
6.5.	Estimación de carbono en muestras de biomasa.	119
6.6	Estimación de carbono en sedimentos	122
6.5.	Distribución espacial de los parámetros físicos y químicos del agua.	126
6.6.	Quimioclina	130
6.7.	Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos del agua	134
6.7.1.	Asociación de primer orden: profundidad, pH, oxígeno disuelto	135
6.6.2.	Asociación de segundo orden: Profundidad, temperatura, salinidad, conductividad electrica y turbidez.	136
6.7.	Análisis químico de las muestras de agua	140
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN GENERAL		144
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES GENERALES		150
Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA.....		154
CAPÍTULO 10 ANEXOS.....		160
Anexo 1 Fe de erratas del capítulo Revisión comparativa de métodos para la medición de gases efecto invernadero en cuerpos de agua.		161
Anexo 2 Hoja de campo datos geoespaciales.....		163
Anexo 3 hoja de campo caracterización fisicoquímica Anexo 4 Mapas obtenidos durante la investigación.....		164

Índice de figuras

Figura 1 Oficio otorgado por la Directora de Divulgación cultural, referente al estatus del capítulo del Revisión comparativa de los métodos para la medición de gases de efecto invernadero en cuerpo de agua interiores.	26
Figura 2 Relación entre el pH y las proporciones relativas de las distintas formas de carbono inorgánico. Tomado de (Reddy & DeLaune, 2008; Wetzel & Likens, 2000).....	60
Figura 3 Composición de las Ciénega del Lerma, tomado de (CCRECRL, 1993)	65
Figura 4 Diseño metodológico; elaboración propia con base en Orozco et al, 2013, Sweeney et al 2007, Co2sys.xls de Lewis y Wallace, 1998, Mehrbach et al 1973 y Wanninkhof y McGillis 1999.....	71
Figura 5 Estandarización del muestreo fisicoquímico del agua, foto tomada en 2012.....	79
Figura 6 Estandarización del método para el levantamiento batimétrico, foto tomada en 2012.....	79
Figura 7 Localización de la Cuenca Alta del Alto Lerma (tomada de boletín de recuperación de la cuenca ecológica del río Lerma EDOMEX 2008)	93
Figura 8 Ciénegas de Lerma (CONANP, 2012)	98
Figura 9 Confinamiento territorial del humedal de Chignahuapan; fuente Orozco-Hernández. Et al 2012.	103
Figura 10 Ubicación de la Ciénega de Chignahuapan; Fuente Fotografías tomadas de Google earth 2012	105
Figura 11 Estimación de la captura de carbono en biomasa seca por metro cuadrado resultados del método de Brown 1986.	120
Figura 12 Relación Kg CO ₂ t y peso seco por m ²	121
Figura 13 Composición granulométrica de las muestras de sedimentos.	123
Figura 14 Parámetros físicos y químicos de los sedimentos.	124
Figura 15 Relación %MO, %CO y estimación de CO almacenado en los sedimentos.	125
Figura 16 Comparativos de los almacenes de carbono en sedimentos y vegetación.	126
Figura 17 Ilustración de la quimioclina y la meromixis de la Ciénega Chignahuapan.	133
Figura 18 Asociación profundidad, pH y oxígeno disuelto. Elaboración propia.....	136
Figura 19 Asociación temperatura, salinidad y conductividad. Elaboración propia	137
Figura 19 Asociación temperatura, salinidad y conductividad. Elaboración propia	138
Figura 20 Asociación profundidad, conductividad y turbidez. Elaboración propia	139

Índice de tablas

Tabla 1 adaptación de (Dugan, 1992).....	52
Tabla 2 Clasificación según el índice de eutrofización según (D et al., 1992)	52
Tabla 3 Distribución de los puntos de muestreo para el levantamiento batimétrico	77
Tabla 4 Descripción de las características morfológicas de la cuenca, Tomado y modificado de (Wetzel & Likens, 2000) (Robert, 1981) (Ramon, 1983).	83
Tabla 5 Parámetros y métodos para la determinación de las muestras de agua. Elaboración con base en los métodos y normas utilizados para la realización de estos análisis.	89
Tabla 6 Características morfológicas de la Cuenca del humedal de Chignahuapan.....	112
Tabla 7 Características morfológicas del humedal de Chignahuapan	113
Tabla 8 Distribución de puntos muestreo y sus atributos en las UMAS, levantamiento de campo 2012	114
Tabla 9 Descripción de las características de varios tipos de humedales, Elaboración propia con base en (J & R, 1994)	119

Tabla 10 Carbono almacenado promedio.	125
Tabla 11 Concentrado de calores de los resultados de la prueba T2	134
Tabla 12. Parámetros químicos de las muestras de agua.....	141

Índice de mapas

Mapa 1 Cuenca del humedal de Chignahupan, Resultado de la investigación anexo 4	112
Mapa 2 Batimetría del humedal de Chignahupan, elaboración propia, resultados del primer muestreo de campo	115
Mapa 3 Cobertura vegetal y espejos de agua del Humedal Chignahupan, (resultados de la primera campaña de muestreo en 2012 anexo 6)	117
Mapa 4 Distribución de las temperaturas en la superficie. (anexo7).....	127
Mapa 5 Distribución de las temperaturas en el fondo. (anexo 8)	127
Mapa 6 Distribución del pH en superficie.	128
Mapa 7 Distribución del pH en el fondo	128
Mapa 8 Oxígeno disuelto en la superficie.	129
Mapa 9 Oxígeno disuelto en el fondo.	129

RESUMEN

Esta investigación determinó la función que desempeña el humedal de Chignahuapan en la emisión y captura de gases de efecto invernadero a través del análisis de la morfología de la cuenca, su configuración batimétrica, la cobertura vegetal y espejo de agua, obteniendo finalmente la estimación de almacenes de carbono en muestras de biomasa y sedimentos y en la columna de agua.

Los resultados establecen que la Ciénega de Chignahuapan o tercer polígono del Área Natural Protegida Ciénegas de Lerma, presenta variación estadística no significativa de la temperatura en la columna de agua (superficial y en profundidad), una quimioclina determinada por el pH y los niveles de oxígeno disuelto (que se encuentran dentro las normas de calidad de agua nacional), bajos niveles de salinidad y niveles de materia orgánica flotante, abundante vegetación (acuática, subacuática, lo que se sintetiza no solo la buena calidad del agua, sino que define su función ecosistémica como sumidero de carbono atmosférico, por el medio alcalino que favorece por el alto contenido de bicarbonatos y la presencia de carbonatos.

Este estudio establece una línea base para abordar una temática innovadora en estudios de cambio climático y aporta información básica, para mejorar el aprovechamiento de la diversidad biológica del humedal, lo que remite en la importancia del funcionamiento e interacción del medio biótico, abiótico y social, además de la utilidad de la base de datos cuantitativa e información cartográfica para el diseño e implementación de proyectos específicos, que contengan las acciones de mitigación y adaptación en materia de conservación y manejo, para garantizar la sustentabilidad de este ecosistema complejo.

ABSTRACT

This research determined the role of the Chignahuapan's wetland in emission and capture of greenhouse gases by analyzing the morphology of the basin, the bathymetric configuration, and the estimation of the vegetation and water coverage, obtaining in the end the estimation of the carbon stocks in biomass, water and sediment samples, as well as the spatial distribution of physical and chemical parameters, and their statistical, chemical and physicochemical analysis of the water column samples.

The results establish that the wetland studied or third polygon of the Natural Protected Area of Ciénegas de Lerma , shows little variation of temperature in the water column (surface and depth) , low levels of salinity, dissolved oxygen acceptable levels , low levels of organic matter floating and underwater abundant aquatic vegetation , which is synthesized not only in a good water quality, but also defined as sink for atmospheric carbon concentrations (eco- systemic function). Even more, the presence of sulphates and phosphates in water is associated with the reduced presence of suspended organic matter , which induces insignificant emissions of methane and nitrous oxide.

This study establishes a baseline to address a topic that is innovative for climate change studies and provides basic information to improve the use of wetland biodiversity , which refers to the importance of taking into account the operation and interaction of biotic , abiotic and social utility of quantitative database and mapping information for the design and implementation of specific projects that contain mitigation actions and adaptation regarding conservation and management to ensure the sustainability of this complex ecosystem .

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN



El cambio en el clima que enfrenta hoy día el planeta, es producto del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, hace que los escenarios futuros y las proyecciones para el país no sean muy favorables. Estudios regionales y nacionales referenciados en las comunicaciones nacionales ante el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UN-FCCC) evidencian variaciones importantes en los elementos del clima regional como la temperatura, la precipitación, la nubosidad y la escorrentía. Los estudios hechos en Centroamérica demuestran la sensibilidad de los sistemas productivos y la fragilidad de los recursos naturales ante las variaciones en el clima actual (PCCC, 1995; MARENA, 2000; MINAE-IMN, 2000).

Las proyecciones globales indican que uno de los sistemas más afectados por la variabilidad climática y los eventos extremos son los ecosistemas de humedales. A pesar que no existen estudios específicos en México que relacionen el cambio climático con los humedales, es de esperarse que bajo las condiciones descritas en los escenarios de cambio climático presentados en las comunicaciones nacionales, estos ecosistemas sufrirán alteraciones significativas, con sus consecuencias directas e indirectas en las poblaciones humanas que de ellos dependen para subsistir. Esto lo confirman estudios específicos hechos en Estados Unidos (LeRoy *et. al.*, 2002), que permiten realizar comparaciones sobre los impactos en los ecosistemas

Los humedales son zonas de alta biodiversidad que prestan importantes bienes y servicios a las poblaciones humanas, es de suma importancia que el conocimiento sobre los posibles impactos que el cambio climático produciría a esos ecotonos, evolucione acorde con la reducción de las incertidumbres que sobre este tema se tienen a escala global y regional.

Los humedales son ecosistemas complejos que poseen características físicas, químicas y biológicas asociadas con los regímenes hídricos, ya sea de forma temporal o

permanente (Bravo y Windevoxhel, 1997). Aunque existen más de 50 definiciones de humedales (Dugan, 1992), la Convención Ramsar los define como:

“extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”

Dentro de los componentes esenciales de los humedales están la presencia de vegetación hidrófila (vegetación asociada con medios acuáticos), el desarrollo de suelos hídricos (con alto grado de humedad, al nivel de saturación) y las condiciones hídricas caracterizadas por la influencia climática, en donde se involucran variables geomorfológicas y topográficas). Estos tres elementos caracterizan a los humedales, aunque es posible que se encuentren excepciones en donde no esté presente algún componente (ej. la vegetación y el agua durante el período seco).

Igualmente, los humedales sirven como depósitos de sedimentos y nutrientes ya que al reducir la velocidad del agua permiten la deposición de materiales en suspensión. Esta capacidad de retener nutrientes hace que muchos humedales figuren entre los ecosistemas más productivos, dado que las plantas y suelos absorben una proporción importante de los nutrientes que se depositan. Al incorporar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, y convertirlos en materia orgánica, los humedales juegan una función de mejorar la calidad del agua, sobre todo en zonas de escorrentía agrícola y otros usos productivos, que evita la eutrofización de las aguas río abajo.

La alta productividad de los humedales da sustento a gran cantidad de especies silvestres adaptadas a las zonas húmedas. Más del 40% de las especies del mundo y el 12% de todas las especies animales se hallan en los humedales de agua dulce. En algunos humedales hay poblaciones apreciables de especies endémicas y hay grupos como las aves acuáticas, moluscos, crustáceos, peces marino-costeros, y mamíferos que

dependen de éstos ecosistemas durante etapas en su ciclo de vida. Muchas de estas especies son de valor comercial y de subsistencia. Asimismo, la mayoría de las especies acuáticas que se encuentran en ecosistemas de agua dulce son completamente dependientes de los humedales continentales. En Centroamérica los humedales proveen una zona de refugio para las aves acuáticas; millones de individuos de unas 40 especies, viajan desde sus áreas de reproducción en Norteamérica a través de varias rutas en búsqueda de humedales productivos en el sur, donde se alimentan durante la etapa no reproductiva de sus ciclos de vida (Halls, 1997). En el Parque Nacional Palo Verde y la Reserva Biológica Lomas Barbudal en Costa Rica, por ejemplo, se han reportado (*Dendrocygna autumnalis*) y 15,000 cercetas azules (*Ana discors*) provenientes de las regiones templadas (Vaughan et al., 1996). Esta gran diversidad biológica hace de los humedales importantes reservorios de genes con un potencial económico apreciable.

Los humedales también proveen por lo menos dos servicios importantes de mitigación los efectos del cambio climático, ellos son: el almacenamiento de gases de efecto invernadero fijados en la materia orgánica y la amortiguación física de la variabilidad climática. Los humedales son importantes sumideros de carbono, sobre todo las turberas que acumulan a través del tiempo gran cantidad de carbono.

Según Ramsar cerca de 40% del carbono terrestre del planeta está almacenado en humedales. Por ende, la destrucción de humedales libera ese dióxido de carbono, acentuando la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Los humedales también juegan un papel preponderante en la mitigación de efectos de tormentas, inundaciones, e incremento en el nivel del mar, que se verán todos afectados por el calentamiento global. Por otro lado, las características hidrológicas permiten a los humedales mitigar algunos efectos negativos de las inundaciones, particularmente amortiguan las intensidades de las inundaciones a través del almacenamiento temporal del agua durante las crecidas. Las aguas almacenadas en los humedales son paulatinamente liberadas y proporcionan beneficios como la distribución tierras fértiles utilizadas por el ser humano (Dugan, 1992).

La principal causa de la pérdida de humedales ha sido el cambio de uso del suelo, donde se han drenado o rellenado humedales en las partes bajas para establecer zonas agropecuarias.

Al reemplazar los humedales con zonas urbanas o de explotación agropecuaria intensiva, el régimen hidrológico de las cuencas se ha visto alterado

Otras amenazas que afectan a los humedales son:

- Variación en el régimen hídrico
- Medidas estructurales de mitigación de inundaciones
- Contaminación del agua (por condiciones químicas y biofísicas)
- Sobre-extracción de recursos (ej. mangle, moluscos, aguas subterráneas)
- Represas y otros proyectos de infraestructura
- Sedimentación
- Minería

El uso de combustibles de origen fósil desde el inicio de la época industrial y los procesos de deforestación y quema de los bosques en el planeta, han ido cambiando las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Este incremento por encima del balance atmosférico natural es considerado la principal causa del acelerado cambio climático causado por el ser humano. De acuerdo con información reciente (IPCC,2001) la tendencia en el aumento global de la temperatura media del planeta es evidente y sus efectos en el clima tienden a agravar los eventos de carácter extremo observan a nivel mundial, incluyendo a México y Centroamérica.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha promovido la utilización de modelos a escala mundial que han permitido conocer mejor la naturaleza y los impactos del cambio climático asociado al calentamiento atmosférico. Estos modelos físico matemáticos simulan los cambios que se dan en el clima inducidos por variaciones

en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. A pesar de que existen varios modelos que difieren en el orden de magnitud de los impactos, las tendencias al calentamiento son muy consistentes. Se estima que la temperatura global de planeta aumentó 0.6 °C (+/- 0.2 °C) durante el siglo XX (IPCC, 2001).

El avance en la tecnología de observación sistemática y monitoreo del clima mediante satélites y sistemas de cómputo han permitido precisar las estadísticas climáticas globales que se utilizan en los modelos. Además de nuevas alternativas para desarrollar y refinar los modelos, el IPCC ha combinado los modelos climáticos globales con información de otras disciplinas, lo que permite hacer proyecciones y desarrollar diferentes escenarios sobre el impacto del cambio climático en variables sociales, económicas y ambientales variable hidrometeorológica que se ha estudiado en algunas cuencas de México es el potencial cambio en la precipitación y la escorrentía, así como las variaciones estacionales en los caudales de los ríos . Dichas variables de especial importancia debido a que el régimen hidrológico de los humedales es uno de los procesos fundamentales que contribuye a determinar la composición de las especies y la productividad de los ecosistemas.

Las repercusiones del cambio climático en los en la interrelación de los humedales con el agua y el cambio climático no está adecuadamente documentada en Centroamérica.

El tema sobre cambio y variabilidad climática en la región principalmente se ha enfocado en analizar la relación con los bosques y su capacidad de captación de dióxido de carbono. A pesar de esto hay evidencia en otras latitudes de los aspectos en que se podrían ver afectados los humedales en condiciones climáticas cambiantes.

Al ser la condición hídrica un componente fundamental de los humedales y al estar esta condición determinada o estrechamente asociada por el clima, resulta de vital importancia considerar el posible efecto del cambio climático sobre los humedales.

En la medida que aumenten o disminuyan las lluvias o varíe su distribución, así como la temperatura, los humedales sufrirán cambios y se verán seriamente amenazados.

El aumento en la temperatura también puede afectar a la fauna. Es posible que las aves y mamíferos, por su capacidad de desplazamiento sean menos vulnerables ante el cambio climático que otros animales, aunque podrían verse afectados por la disponibilidad de alimentos. El aumento de temperatura podría afectar significativamente especies menores de animales muy sensibles a la temperatura, como los peces, los reptiles y los anfibios. Hay estudios realizados sobre los anfibios en Monteverde, Costa Rica, que demuestran el impacto climático en algunas especies como el sapo dorado (Pounds, 1990; Pounds, 1991-a; Pounds 1991-b; Pounds et al., 1994). Las poblaciones de otros organismos que también se verían afectadas, pueden tener repercusiones económicas importantes, dado que muchas sirven como alimento en las cadenas tróficas superiores que se explotan comercialmente, como el caso de las pesquerías. Por otra parte, se ha comprobado que en el caso de los arrecifes de coral, una variación de la temperatura puede afectar significativamente sus funciones o incluso su muerte debido al fenómeno conocido como “blanqueamiento de corales”.

La existencia de los humedales depende principalmente de la disponibilidad de agua. Es evidente que una disminución del 10 o 15% en la precipitación será significativa para los humedales. Ante una disminución tan significativa en las lluvias, la vegetación hidrófila tendrá que adaptarse o desplazarse. Asimismo, se pueden afectar los regímenes hidrológicos de estos ecosistemas cuyo control es fundamental para su existencia (Acreman, 2000). No se sabe con certeza si los humedales tendrán la capacidad de desplazarse. Sin embargo, se prevé que un aumento de la temperatura o un cambio en la disponibilidad de agua, hará que algunas especies de vegetación hidrófila puedan adaptarse a suelos con menores niveles de saturación hídrica.

No existe ninguna alternativa práctica para proteger los humedales del cambio climático, debido a que éste depende de las emisiones globales de gases efecto

invernadero. La alternativa que se está explorando para reducir estas emisiones se negocia a nivel global a través del Protocolo de Kyoto.

Las variaciones en la cantidad y la calidad del agua son de enorme importancia para las diferentes especies de plantas, animales y seres humanos que viven a lo largo de los cursos de los ríos y que dependen de los recursos naturales. Se debe evitar alterar el régimen hídrico de los ríos, ya que una gestión poco responsable de los recursos del agua o su sobreexplotación, pueden tener efectos desastrosos para el ecosistema de ribera.

Las acciones para mitigar el impacto en los humedales por el cambio climático se deben realizar desde diferentes perspectivas. Se debe **promover la investigación**, en donde se genere el conocimiento necesario para identificar el problema. En este campo debe completarse el inventario de humedales. El inventario debe identificar los humedales actuales, pero también los humedales que han sido eliminados y que por sus características naturales es posible que puedan restaurarse. Debe realizarse un estudio integral sobre la situación legal de los humedales en el área centroamericana.

La tenencia de la tierra es un factor determinante en la conservación de los humedales. Es importante identificar cuales humedales son propiedad del Estado y cuales privados, y cuál es el alcance legal para cada situación de tenencia, sobre si se permite la tala árboles, palmas y manglares, el avenamiento, el uso del agua para riego, el establecimiento de industrias y la construcción de infraestructura.

CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA



En este apartado se expone el capítulo de libro titulado “revisión comparativa de los métodos para la medición de gases de efecto invernadero en cuerpos de aguas interiores” que forma parte del libro Carbono en Ambientes Biofísicos y productivos. Línea base sobre Cambio Climático, que para fines y requerimientos dentro del Programa de Maestría y Ciencias Ambientales es un requerimiento para la presentación de esta tesis y además fundamenta el marco de referencia que sustenta el proyecto de investigación, en este apartado se encuentran también algunas correcciones al capítulo en forma de fe de erratas, y se han agregado algunos subtemas que se consideran importantes para completar el marco teórico de esta investigación.

En primer lugar es necesario recalcar que el capítulo forma parte del libro CARBONO EN AMBIENTES BIOFÍSICOS Y PRODUCTIVOS. LÍNEA BASE SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, y se encuentra en edición final en la dirección de Divulgación Cultural de la Universidad Autónoma del Estado de México, todo lo anterior se hace constar el oficio (figura 1).

En recomendación de las revisiones y como parte del progreso de la investigación se encontraron que algunas de las afirmaciones hechas en el capítulo han cambiado o para un mejor entendimiento se tiene que reconsiderar su redacción a manera de concretizar más las ideas allí plasmadas o bien errores meramente humanos o de formato, que por conciencia, ética y profesionalismo tienen que ser aceptados y modificados, por lo que se decidió poner el capítulo tal cual será impreso y una fe de erratas en el anexo 1.

Al final de esta sección se incorporaran algunos subtemas que se consideran importantes para concretar de forma adecuada el marco teórico de esta investigación, dichos subtemas son: el océano como fuente o reservorio de CO₂; gases efecto invernadero en los humedales, Calidad de agua y el aporte de nutrientes, parámetros fisicoquímicos del agua, carbono en los sistemas de aguas continentales y parámetros morfológicos de la cuenca.

Finalmente este capítulo es un resultado de la investigación realizada durante los dos años y es también el fundamento teórico-metodológico de la investigación, por tal motivo se expone como parte del marco teórico y no de los resultados.



Figura 1 Oficio otorgado por la Directora de Divulgación cultural, referente al estatus del capítulo del Revisión comparativa de los métodos para la medición de gases de efecto invernadero en cuerpo de agua interiores.

2.1. Revisión comparativa de métodos para la medición de gases efecto invernadero en cuerpos de agua

REVISIÓN COMPARATIVA DE MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO EN CUERPOS DE AGUA

Gratia Dei Flores Salgado¹, Patricia Mireles Lezama²,
María Estela Orozco Hernández²

¹Facultad de Química, ²Facultad de Planeación Urbana y Regional,
Universidad Autónoma del Estado de México

RESUMEN

La revisión de algunos métodos de medición de los procesos de flujo y emisión de gases de efecto invernadero, es un ejercicio necesario para abordar el estudio de los humedales de agua dulce. Los métodos generales aplicados en distintas latitudes deben ser analizados y depurados para que se apliquen en un medio acuático específico, para lo cual se deben considerar las ventajas de la moderna tecnología de medición y sus posibilidades de aplicación, así como los procedimientos de medición de menor costo y accesibles en un contexto de recursos limitados para la investigación.

Palabras clave: métodos, medición, gases de efecto invernadero, humedales.

[213]

COMPARATIVE REVIEW OF METHODS FOR MEASURING GREENHOUSE GASES IN WATER BODIES

ABSTRACT

The review of the assessment of the fluxes and emissions of greenhouse gases is extremely necessary for the study of the wetlands and interior water bodies. The general methods that had been applied in all over the world have to be analysed and depurated in order to apply one of those or create a new one according with an specific water body, for which should be taken in account to be applied the modern technology measurements techniques, as well as low cost methods as a resource when the research has limited finding`s.

Key word: methods, assessment, greenhouse gas, wetlands.

INTRODUCCIÓN

La Convención Internacional sobre los Humedales de importancia Internacional (Ramsar) define los humedales como ecosistemas naturales y artificiales que se hallan permanente o temporalmente inundados, por aguas dulces, salobres o salinas, estancadas o corrientes; incluyen regiones ribereñas, costeras o marinas que no excedan los seis metros de profundidad. Los humedales son ambientes intermedios entre terrestres y acuáticos, con características de ambos, y que mantienen su particularidad. Los humedales que nos interesan son los interiores, entre los que se hallan los pantanos, las ciénagas, lagos y cenotes. Estos sistemas dinámicos cambian en forma natural como resultado del aporte de sedimentos de las áreas adyacentes, de la subsidencia (hundimiento del fondo), del clima extremo, todo esto acelerado por las actividades humanas (De la Lanza, 2008).

Se estima que en el mundo los humedales cubren una extensión de siete a nueve millones de kilómetros cuadrados; sin embargo tiende a disminuir su extensión y recursos naturales por las necesidades humanas, en este contexto un número

significativo de países han adoptado la política de poner límites a la destrucción y la degradación, reconociendo que los humedales deben utilizarse y conservarse (Barcada *et al.*, 2007).

La importancia de los humedales radica no sólo en que proporcionan variedad de bienes, servicios y funciones ecosistémicas, también almacenan y emiten bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) que inciden en el micro clima local y global, asimismo los cambios en la temperatura, en los patrones de precipitación, aumento en el nivel del mar, son entre otras variaciones del clima, las que pueden producir sensibles impactos en los humedales (Bábaro y Moya, 2005).

La trascendencia de la línea de atención que se aborda, la captura y emisión de GEI en los cuerpos de agua interiores, parte de los argumentos siguientes: varios de los precursores de GEI se encuentran como parte natural de los humedales interiores, empero la adición masiva de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) de forma natural o inducida por la influencia humana, acelera la pérdida de oxígeno, la descomposición de la materia orgánica y como consecuencia favorecen la emisión de GEI hacia la atmósfera. Algunos estudios realizados en el mundo exponen el papel que desempeñan los humedales en el proceso de emisión y absorción de gases de efecto invernadero.

Los sitios que más han estudiado la relación que guardan los cuerpos de agua y los GEI son Canadá y Brasil en el continente americano, sin embargo, algunos países europeos han hecho lo propio tales como Reino Unido y Holanda, empero no existe ningún acuerdo sobre cuál es el mejor método para muestrear el flujo de gases ni mucho menos para conocer su composición, mas desde 2004 la UNESCO apoya este tipo de investigaciones, en aquel entonces comenzó con cursos-talleres para identificar los trabajos más sobresalientes, pero hoy en día se realizan reuniones anuales que aportan grandes descubrimientos. Ejemplo de lo anterior es que en 2008, Tremblay determinó que después de algún tiempo los GEI emitidos por un cuerpo de agua en la región boreal se encuentran en equilibrio en lo que contienen de precursores como los que emiten, sin embargo, para zonas tropicales esto no se ha sugerido, otro de los grandes productos que se han obtenido a través de la UNESCO/ IHA es un manual de cómo aplicar los métodos de medidas de flujos y de identificación de gases que año con año se renueva de forma que facilite a los investigadores la obtención de

datos y su análisis en esta relación agua- GEI, aun así y de los grandes esfuerzos de dichas instituciones no se tiene un acuerdo ni consenso de los métodos necesarios y requeridos para el estudio de la relación agua- GEI.

En un esfuerzo por comprender la relación agua-GEI, como medirlos e identificarlos, se desarrollan cuatro subtítulos que conforman este capítulo.

Dentro del subtema, la dinámica de los gases en el agua se menciona como se encuentran los precursores de GEI, sus ventajas, desventajas cómo llegan al agua, como se encuentran en el agua y las constantes de Henry establecidas para ellos.

En el apartado de la definición de emisiones (brutas y netas) de gases efecto invernadero se pretende dar una explicación concisa de qué es una emisión de GEI, como y para qué funcionan cada una y que es lo que se mide directa e indirectamente.

Por último, en el subtítulo de metodología para la cuantificación de emisión de gases se explican los métodos para medir el flujo y las emisiones de GEI, sus ventajas y desventajas según algunos de los autores y la guía UNESCO/IHA 2010. Al final se mencionan las conclusiones a las que se llegaron.

LA DINÁMICA DE LOS GASES EN EL AGUA

Los gases disueltos son cruciales para la vida de las especies acuática como el O₂ para los peces y el CO₂ para las algas fotosintéticas aunque también pueden causar grandes daños cuando hay una saturación del N₂, por mencionar un ejemplo. Por eso es que la disolución de los gases en el agua es de suma importancia, ya que permite la vida de los organismos, o bien la puede restringir; sin embargo la cantidad de gas que se disuelve en agua depende del propio gas en equilibrio con el agua, y la temperatura (Rodríguez-Medallo *et al.* 1999 y Manahan, 2000).

La solubilidad de un gas en agua será calculada acorde a la ley de Henry (cuadro 1), la cual establece que la solubilidad de un gas es proporcional a la presión parcial del gas contenido en el líquido, sin embargo, la temperatura juega un papel importante en la disolución de los gases, ya que al aumentar, ésta disminuye la solubilidad de los gases y se calcula a partir de la ecuación de Clausius-Clapeyron (Manahan, 2000).

Cuadro 1
CONSTANTES DE LA LEY DE HENRY PARA ALGUNOS GASES A 25 °C

<i>Gas</i>	<i>K, mol X L⁻¹ X atm⁻¹</i>
O ₂	1.28x10 ⁻³
CO ₂	3.38x10 ⁻²
H ₂	7.90x10 ⁻⁴
CH ₄	1.34x10 ⁻³
N ₂	6.48x10 ⁻⁴
NO	2.0x10 ⁻⁴

El oxígeno disuelto en el agua proviene principalmente de la atmósfera, el cual representa 20.95% de volumen del aire seco. Por consiguiente, la capacidad de que un cuerpo de agua se re-oxigene al entrar en contacto con la atmósfera es vital para los diferentes ciclos que allí se llevan a cabo. La solubilidad del oxígeno depende directamente de la temperatura, la presión parcial y el concentración de sal en el agua; cabe mencionar que hay dos conceptos que distinguir dos conceptos: La solubilidad del oxígeno (es la máxima concentración de gas disuelto en el equilibrio) y la concentración de oxígeno disuelto (no es la concentración en equilibrio, está limitada por la velocidad a la que se disuelve), cuando el agua se encuentra en equilibrio las concentraciones de oxígeno disuelto no son muy altas. Por lo tanto, cuando hay altas temperaturas la solubilidad del O₂ disminuye y si a esto se suma un incremento en la tasa de respiración de los organismos (condiciones de grandes demandas de oxígeno y bajos niveles de solubilidad en el agua) resultando un agotamiento severo de O₂ (Manahan, 2000).

El dióxido de carbono en el agua está presente por encontrarse en la atmosfera, por la descomposición de la materia orgánica y la producción por algunos microorganismos. El dióxido de carbono al igual que sus productos de ionización el ion bicarbonato (HCO₃⁻) y el ion carbonato (CO₃²⁻) tienen una gran influencia en la química del agua; un ejemplo de lo anterior es cuando el CO₂ disuelto en el agua, adicionado al que se encuentra en la atmósfera, el ion de carbonato y otros minerales en equilibrio y en solución acuosa tiene un efecto de amortiguador de

pH muy importante. Otras características químicas que se ven afectadas por la concentración de dióxido de carbono son la alcalinidad y la concentración de calcio disuelto. El exceso de este gas en los cuerpos de agua afecta negativamente el intercambio gaseoso en los animales acuáticos (Manahan, 2000, Liikanen, 2002 y Tremblay *et al.*, 2005).

Definición de emisiones de gases (brutas y netas)

Las emisiones brutas (GE) de gases efecto invernadero (GEI) son aquellas que se miden en la interface agua-aire, suelo-aire o bien suelo-agua. Las emisiones netas son más utilizadas para los cuerpos de agua creados por el hombre, y se calculan restándole a las GE las emisiones previas a la creación del cuerpo de agua tomando en cuenta las emisiones naturales (ecosistemas terrestres y acuático) de toda la cuenca incluyendo la corriente del río y la parte del estuario (Tremblay *et al.*, 2005, Goldenfum, 2010). Para Goldenfum (2010) las emisiones netas (NE) son para contabilizar las emisiones de GEI, de las presas creadas por el hombre junto a las hidroeléctricas no para cuerpos de aguas naturales. Las NE no se pueden medir directamente para lo que se utiliza las medida de GE antes y después de la construcción y obteniendo la diferencia de éstas.

Las GE están relacionadas con las medidas de rutina tales como velocidad, dirección y temperatura del aire, pluviosidad, la radiación solar, concentraciones disueltas de partículas de materia orgánica y nutrientes, la tasa de mineralización de la materia orgánica, a partir de las cuales se pueden inferir las emisiones de CO₂ y CH₄, dado que la oxidación aeróbica de este último es un factor de control del flujo del CH₄, ofreciendo un panorama general del balance en las emisiones de ambos gases. (UNESCO/IHA, 2008 y Goldenfum, 2010).

La importancia de tomar en cuenta ambos tipos de emisiones radica en la inclusión e inferencia del ciclo del C y los nutrientes que están presentes en la cuenca, ya sea por razones humanas o naturales (Delmas, 2001, Goldenfum, 2010), además de las interacciones que se llevan en la superficie agua-aire de los cuerpos de agua donde se llevan a cabo los intercambios gaseosos entre dichas superficies.

Cuerpos de agua, fuentes potenciales de la emisión de gases efecto invernadero

Se estima que los sistemas dulceacuícolas reciben alrededor de 1.9 Pg C/año de nutrientes, en una combinación de los alrededores y la influencia antropogénica, de ellos el 0.2 Pg C/año se convierte en sedimentos, aproximadamente 0.8 es devuelto a la atmósfera en gas, y 0.9Pg C/año se transporta hasta los océanos, todo lo anterior nos indica la importancia de los cuerpos de agua en el ciclo del carbono (Cole *et al.*, 2007). Sin embargo, existen relativamente pocos trabajos que estiman la emisión de GEI de ecosistemas acuáticos comparados con los ecosistemas terrestres que se centran en encontrar si se encuentran en balance las emisiones de los cuerpos de agua, con las emisiones de la vegetación aledaña (Cole y Caraco, 2001).

Los cuerpos de agua al jugar un papel de suma importancia en el ciclo del carbono, al ser considerados fuentes potenciales de emisiones de GEI a la atmósfera, tales como el metano y el dióxido de carbono en diferentes ambientes como el boreal, el templado y el tropical, donde sus máximos representantes son: Rudd *et al.*, 1993; Duchemin *et al.*, 1995; Kelly *et al.*, 1997; Tremblay *et al.* 2005; Keller and Stallard, 1994; Rosa and Schaeffer, 1994; Delmas *et al.* 2001; Therrien *et al.* 2005 y Soumis *et al.* 2004, en las diferentes zonas climáticas del mundo, siendo las principales la boreal, tropical y templada. El nivel de emisiones de GEI dependen de la edad del cuerpo de agua y la región tropical, boreal y templada donde se encuentre (Tremblay, 2008); asimismo los mecanismos de control de la emisión de GEI están asociados con los ciclos que se llevan a cabo en los cuerpos de agua, como los de carbono, nitrógeno, metano y oxígeno principalmente (Unesco/HIA 2008).

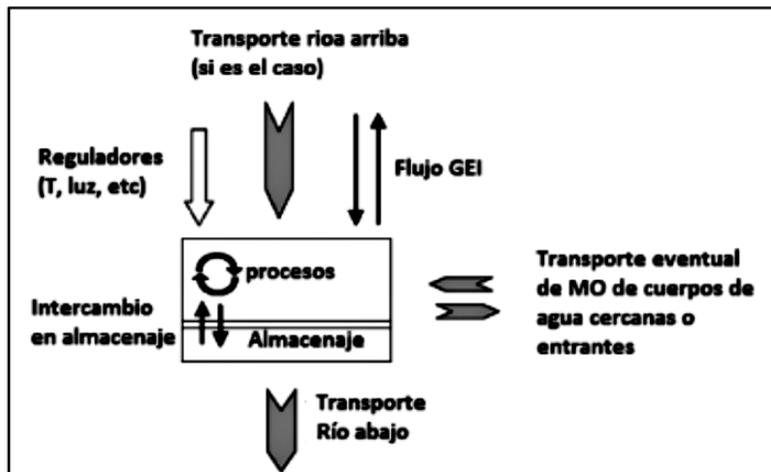
Continuando con el ciclo del carbono en una cuenca está directamente relacionado con el ecosistema terrestre alrededor del acuático, consecuentemente la mayor de CO₂ en el sistema será el atmosférico, el cual se fijará por la fotosíntesis en la producción primaria de materia orgánica (MO), y se incorporará al suelo donde puede ser almacenado o bien se almacena en la biomasa. Cuando se almacenan en el suelo, el CO₂ y el CH₄ pueden oxidarse en ambientes óxicos o anóxicos por bacterias metanotróficas, cuando pasa a la parte óxica del suelo se convierte en el principal emisor de CH₄ a la atmósfera. Lo anterior se puede transportar al sistema acuático, el

CO₂ y CH₄ entran al sistema acuático por escorrentía, o por la disolución de los gases en el agua; de aquí sufrirán procesos de oxidación y se regresarán a la atmósfera o se almacenarán en el cuerpo de agua. Otro recurso es la MO que llega al cuerpo de agua (Liikanen, 2002; figuras 1 y 2).

Figura 1
FUENTES DE ENTRADA DE CO₂ Y CH₄ Y SUS CICLOS (MODIFICADO DE GOLDENFUM, 2010).



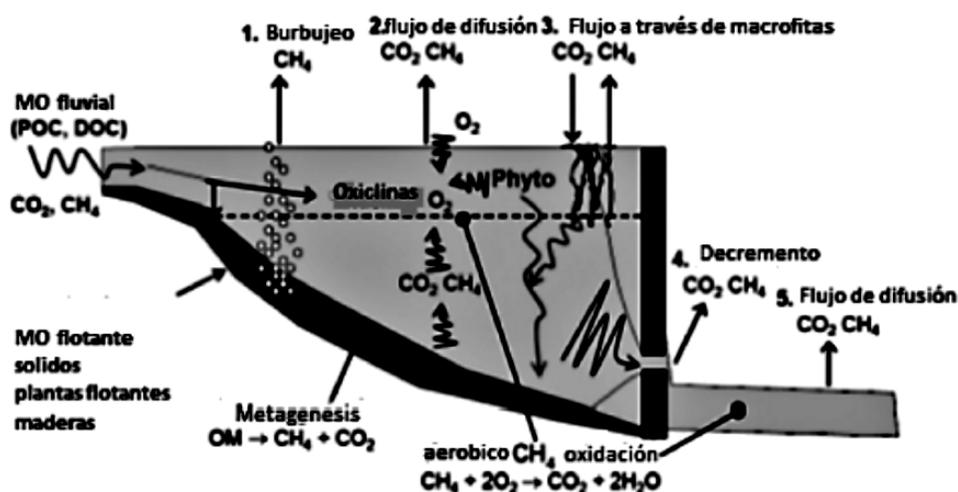
Figura 2
SINTESIS DE LOS PROCESOS Y FLUJOS DE CO₂ Y CH₄ (MODIFICADO DE UNESCO/IHA 2008).



En síntesis el CO₂ y el CH₄ provienen de la materia orgánica que aporta la cuenca, la que se produce en el cuerpo de agua y la descomposición de la materia orgánica proveniente del suelo y de las plantas y tiene cinco vías fundamentales: 1) flujo de burbujas de las aguas superficiales, 2) difusión de gases de la superficie del cuerpo de agua, 3) difusión por tallos y raíces de plantas, 4) desgasificación en las salidas río abajo y 5) incremento de la difusión de gas a lo largo del río. (fig. 3) (Goldenfum, 2010).

Figura 3

TOMADO DE GOLDENFUM, 2010, VIAS DEL CO₂ Y CH₄ EN CUERPOS DE AGUA DULCE CON UN HIPOLIMNION ANÓXICO. PARA CUERPOS DE AGUA BIEN OXIGENADOS LAS EMISIONES DE METANO SIGUEN LAS VIAS 2, 4 Y 5 EN SU FORMA REDUCIDA



Para el óxido nitroso es diferente en algunos sentidos al ser producido principalmente por actividades humanas: la agricultura, producción de ganado, quema de combustibles fósiles, sin dejar a un lado la producción natural del N₂O de un sinfín de recursos biológicos en suelo y en el agua especialmente por la acción de microorganismos (USEPA, 2009).

Mengis y colaboradores (1997) estipularon que las concentraciones de N_2O están correlacionadas con las concentraciones de O_2 en los lagos, además de que las concentraciones del óxido nitroso aumentaron cuando las de O_2 disminuyen, siempre y cuando sea un ambiente óxico en el caso contrario el N_2O se encontrará poco saturado, ya que éste es consumido por las diferentes partes de la columna de agua anóxica.

Los flujos de óxido nitroso han sido poco estudiados en los humedales pues no son propicios para la producción de éste, ya que hay un nivel de oxígeno muy bajo, poca disponibilidad de nitrógeno y pH no adecuados y bajos niveles de nitrificación (Regina *et al.*, 1996 y Bridgham *et al.*, 2001).

Para Goldenfum (2010) existen cuatro procesos acuáticos fundamentales que producen emisiones de GEI al atmosfera:

1. Suministrar carbono orgánico al reservorio (almacenaje) o a los sedimentos: por las entradas y salidas de materia orgánica entre las conexiones acuáticas y en la cuenca *per se*, la producción primaria en agua que dependen de los nutrientes y la luz del embalse, erosión del suelo como fuentes de MO al cuerpo de agua.
2. Proporcionar las condiciones para la producción de precursores y compuestos de GEI: descomposición de la MO flotante y toda la que entre al sistema dependiente de los organismos, temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes, asimismo, la foto-oxidación del carbono orgánico disuelto, la oxidación aeróbica del metano y por último de nitrificación y desnitrificación.
3. Influir en la distribución de GEI dentro del cuerpo de agua: las diferentes formas en las que el CO_2 y CH_4 se mueven en la superficie, al igual que la oxidación del metano en los sedimentos dependientes del oxígeno disuelto, por inhibición de la luz y la temperatura entre otros, y también la producción primaria que consume CO_2 .
4. Facilitar las vías para que los GEI puedan movilizarse en el embalse y en la atmósfera: la ebullición, intercambio de gases por medio de la difusión en la superficie del embalse, transporte de gases en plantas a través del cuerpo de agua, finalmente la desgasificación con el curso del agua.

Es fundamental identificar los procesos que controlan la emisión de GEI, que coadyuven a predecir la vulnerabilidad de un embalse para elevar o disminuir el flujo de gases, lo que Goldenfum (2010) y Tremblay y colaboradores (2005), dividen dos tipos de parámetros, los primarios que consisten en la creación de un suministro de GEI, los cuales están modulados por las tasas biológicas de la producción de la materia orgánica, respiración y la metalogénesis y oxidación de metano, asociadas a las concentraciones de oxígeno disuelto, la temperatura los almacenes de MO , concentraciones de nitrógeno, carbono entre otros, de igual manera la luz (turbidez del agua), la biomasa de las plantas, algas, bacterias y animales, los sedimentos y la estratificación del embalse, y los parámetros secundarios los cuales están directamente con el intercambio gaseoso entre la atmósfera y las diferentes partes del cuerpo de agua, lo que dependerá directamente de la dirección y velocidad del viento, la forma del embalse, la pluviosidad, las corrientes de agua, la profundidad, las reducciones por temporadas y el incremento de turbulencia. Sin olvidar que todo lo anterior debe adaptarse al contexto geográfico de cada caso.

Metodología para la cuantificación de la emisión de gases

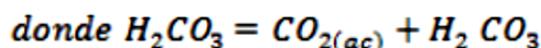
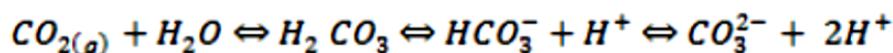
Los GEI especialmente el CH_4 , CO_2 y N_2O , son de gran importancia tanto en el medio acuático como en el terrestre y por ende relevantes para los inventarios globales, siendo que el CO_2 puede estar produciendo 80% de las emisiones de un embalse, mientras que el CH_4 es una emisión natural de baja intensidad o casi nula, pero por influencia humana ésta se puede ver alterada y en aumento. Por su parte, las emisiones del óxido nítrico no han sido completamente estudiadas, pero tienen importancia en los lugares que han sido alterados por el hombre con la creación de presas. (Guérin *et al.*, 2008 y Goldenfum, 2010). Es por tanto, importante hacer estudios sobre los tres gases para aportar la información necesaria para actualizar los inventarios globales.

De acuerdo con Goldenfum (2010) existen tres técnicas básicas para medir la difusión de los gases en la interface agua atmósfera: las cámaras flotantes, las torres de covarianza de Eddy y la delgada capa límite o TBL (por sus siglas en inglés Thin

Boundary Layer), Tremblay y colaboradores adicionan a los métodos mencionados, la cromatografía de gases después de atrapar el gas en cámaras flotantes, también utilizan trampas para atrapar las burbujas de metano. Annick-SPierre (2009) sugiere también los métodos químicos dependientes de la alcalinidad y el pH para encontrar las concentraciones de los diferentes gases, el EGM (Infrared gas analyser) y por último el cálculo de la concentración de CO₂ en el agua. A continuación, se describen brevemente los métodos para medir el flujo y concentración de gases efecto invernadero.

Annick-SPierre (2009) precisa que hay dos técnicas principales para determinar la concentración de gas disuelto en gas y son:

1. Método químico basado en el pH, alcalinidad y temperatura, que consiste en que el carbono inorgánico está compuesto por cuatro tipos de CO₂ disuelto, ácido carbónico H₂CO₃, bicarbonato HCO₃⁻ y el carbonato CO₃²⁻, los que están estrechamente relacionados con la alcalinidad, con la curva de valoración se mide la alcalinidad, es decir, la capacidad de neutralizar los iones H⁺, a partir de esta se infiere la concentración de carbón inorgánico en la ecuación 1 se calculan indirectamente las otras tres compuestos de carbón.
2. Cromatografía de gases, consiste en tomar una muestra de agua, y en el laboratorio es transferida por mezclas mecánicas en volúmenes conocidos de aire, el cual es analizado usando una cromatógrafo (fig. 4) de gases para separar y cuantificar los diferentes gases, Strömberg (1998) también utiliza y recomienda este método, 3).

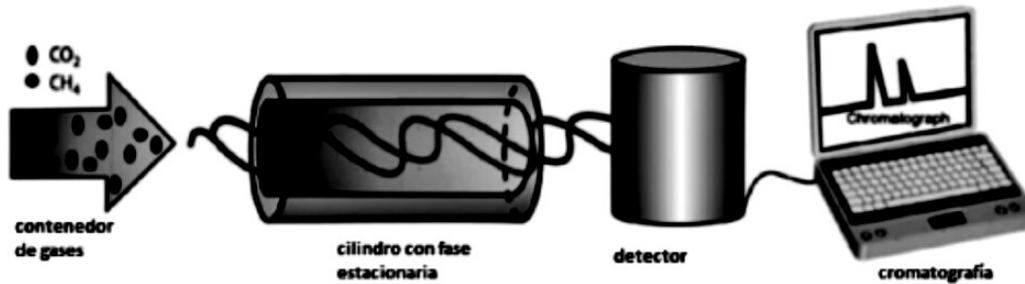


Ecuación 1

Sintetiza las reacciones involucradas del carbono y carbonatos en el agua y de la cual con un balanceo se pueden calcular las concentraciones de estos disueltos en el agua.

Figura 4

DIAGRAMA DE LA CROMATOGRFIA DE GASES PARA CUANTIFICAR LOS GEI EN SISTEMAS ACUÁTICOS



Para calcular el intercambio gaseoso. Annick-SPierre (2009) Goldenfum (2010) y Tremblay y colaboradores (2005) proponen los siguientes métodos que se basan en la dinámica de los gases en agua y en tecnologías que se pueden utilizar en las diferentes regiones climáticas del planeta:

1. Cálculo basado en las concentraciones de CO₂ encontradas en el agua: está basado en la primera ley de Flick's, donde el flujo es proporcional a la concentración del gradiente a través de la interfaz (presiones parciales), respondiendo a la ecuación 2 :

$$F = k * Kh (pCO_{2\text{agua}} - pCO_{2\text{aire}})$$

Ecuación 2

Donde F (flujo) representa la cantidad emitida por superficie y unidad de tiempo.

2. Trazador de gas inerte (SF₆): consiste en medir la evasión biológica inactiva del gas SF₆, de una concentración conocida de dicho gas que es introducida al sistema, arrojando resultados de la velocidad de transferencia del gas en una escala de días o semanas, la desventaja de éste es que es para cuerpos de agua muy pequeños.

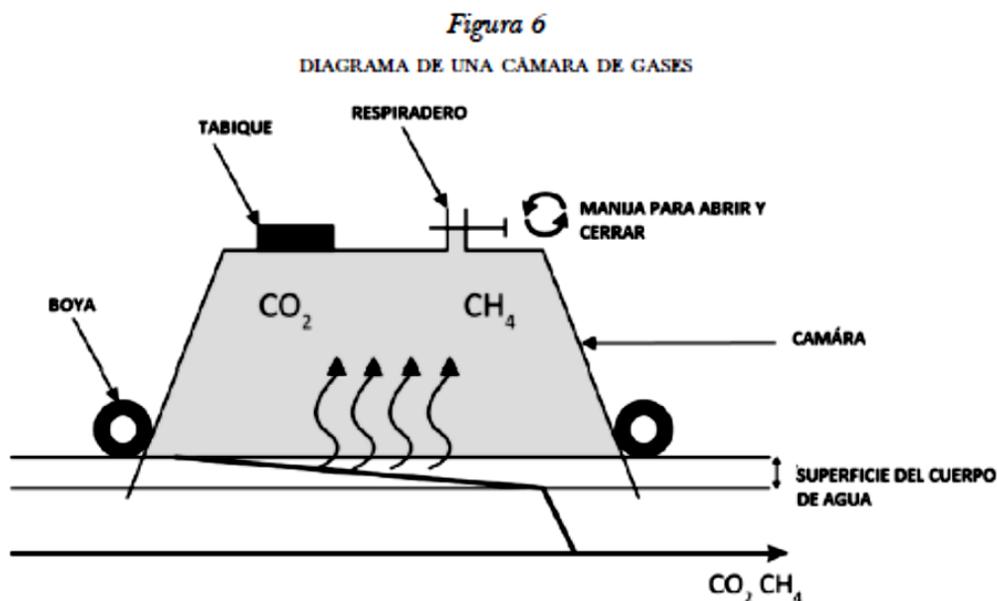
3. **Técnica de la covarianza de Eddy:** por medio de complejos instrumentos instalados en lo más alto de una torre que mide precisa y concisamente la presión de CO_2 en el aire, la velocidad del viento en tres dimensiones, bajo un concepto simple donde los vectores ascendentes de la velocidad del viento es pareado con la concentración más alta de dióxido de carbono, así que el medio acuático se convierte en la principal fuente del gas; por ende calcula la velocidad de ascenso del gas; sin embargo este método es mucho más utilizado para sistemas terrestres, por ello los autores sugieren usarlo como un método alternativo para casos acuáticos.

Figura 5

EJEMPLO DE UNA TORRE DE COVARIANZA DE EDDY INSTALADO EN EASTMAN-1 QUEBEC, CANADA.



4. La delgada capa límite o TBL (por sus siglas en inglés Thin Boundary Layer): consiste en calcular el flujo usando ecuaciones semiempíricas, aunque existe literatura al respecto, el funcionamiento y entendimiento de esto no es claro, su uso principal es el de predecir el flujo a través de modelaje y es lo que se ha concluido por Benerjee y MacIntyre (2004), otras de las desventajas encontradas a este método son las relaciones sito-específicas y que las ecuaciones teóricas no son válidas para altas y bajas velocidades de viento, sin embargo, los puntos a favor de esta técnica son: su rapidez, las muestras pueden ser conservadas por meses, los cuerpos de agua inestables son medidas a gran velocidad y por el uso de la ecuación de solubilidad se conoce la concentración de gases, las series de tiempo son fáciles de obtener, sin embargo, los autores recomiendan que se use sólo a manera de probar su efectividad para estudios posteriores.
5. Cámaras flotantes: es el método más económico, requiere el mínimo planeamiento logístico, son fáciles de transportar, y permite la localización precisa de las medidas de flujo de gases, su objetivo es medir la tasa de acumulación de gas en un compartimento cerrado (cámara) flotante en la superficie del agua ligado a un analizador de gases que se expande en un lapso de 10 minutos (generalmente), lo que es suficiente para obtener una tasa de acumulación que se determina con un coeficiente R^2 que se espera sea mayor a 0.95, en síntesis, el método consiste en atrapar gas en una cámara flotante para que el flujo de gases sea calculado de acuerdo a la concentración de gas dentro de la cámara, por lo que la difusión del gas dependerá de la concentración de gas que existe entre la superficie del agua y la atmósfera con la interacción de los parámetros físicos como la velocidad del viento y la pluviosidad (Abril *et al.*, 2005, Guérin *et al.* 2007, Tremblay y Bastein, 2009 Fig. 6), algunas de las ventajas de este método son: es barato y fácil de transportar, proporciona medidas exactas y puede ser conectado a sistemas automatizados en tiempo real, aunque tiene la desventaja que sólo es un punto de medida en el espacio y tiempo, no existe un diseño estandarizado, y el viento puede alterar los resultados dando datos exagerados.



CONCLUSIONES

Los GEI juegan un papel importante dentro de los ciclos naturales que se llevan a cabo en los cuerpos de agua y son importantes para el proceso de cambio climático a nivel mundial, sin embargo, no se han estudiado lo suficiente, por ello existe una discrepancia en el método y la estandarización para obtener datos. Se requiere mayor investigación y desarrollo de tecnologías que faciliten la medición tanto del flujo de gases como de la concentración de éstos en los cuerpos de agua.

La interacción del C, N y O con el agua brinda las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua que a su vez generan de manera directa el flujo y concentración de los precursores de GEI en los cuerpos de agua, dependiendo de ésta su existencia y por ende su interacción con el medio.

Para comprender el aporte de los medios acuáticos a los GEI no podemos concebir a los sistemas terrestres y acuáticos como ecosistemas separados, sino como medios que interactúan entre ellos dándole un aporte global al conocimiento y entendimiento del cambio climático, puesto que uno depende directamente del otro y las alteraciones que sufran individualmente tendrán resultados globalmente, afectando los ciclos biogeoquímicos y biológicos que se dan en ellos.

Los cuerpos acuáticos contienen a la mayoría de los precursores de los GEI, por eso es de suma importancia contemplar sus emisiones en los inventarios globales; también se deben contemplar los sedimentos, ya que las emisiones comienzan en ellos.

La diversidad de métodos para calcular el flujo y la concentración de GEI, permite al investigador adecuarlo al sistema acuático al que se enfrente. Es posible usar más de un método para la validación y cotejo de datos, y la intención de ayudar a inferir cuál es el método con mayor universalidad para que los estudios cumplan con una de las premisas del método científico la repetividad o réplica de la experimentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, G., F. Guérin, S. Richard, R. Delmas, C. Galy-Lacaux, P. Gosse, A Tremblay, L. Varfalvy, M.A. Dos Santos y B. Matvienko (2005), "Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana)", *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 19, GB4007, doi:10.1029/2005GB002457.
- Abril, G., M.V. Commarieu y F. Guérin (2007), "Enhanced methane oxidation in an estuarine turbidity maximum", *Limnology and Oceanography*, 52(1): 470-475.
- Annick St-Pierre (2009), Measuring greenhouse gas in aquatic environments Eastmain EMI reservoirs' net greenhouse emissions research project EMI, On line EASTMAIN1.ORG, consultado el 10 de agosto de 2011.
- Bridgham S.D., Updegraff K., Pastor J. (2001), "A Comparison of Nutrient Availability Indices Along Ombrotrophic- Minerotrophic Gradient in Minnesota Wetlands", *Soil Sci Soc Am J*, 65: 259-269.
- Cole, J.J. y N.F. Caraco (1998), "Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-wind oligotrophic lake measured by the addition of SF₆", *Limnology and Oceanography*, vol. 43, no. 4, pp. 647-656.
- Cole, J.J. y N.F. Caraco (2001), "Carbon in catchments: connecting terrestrial carbon losses with aquatic metabolism", *Mar. Freshwater Res*, 52: 101-110.
- Cole, J.J., Y.T. Prairie, N.F. Caraco, W.H. McDowell, L.J. Tranvik, R.R. Striegl, C.M. Duarte, P. Kortelainen, J.A. Downing, J. Middleburg y J.M. Melack (2007), "Plumbing the global

- carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget”, *Ecosystems*: 10: 1007/s10021-006-9013-8.
- De la Lanza Espino, Guadalupe (2008), *La importancia de los humedales en México*, Instituto de Biología, UNAM (http://www.smf.mx/C_Global/webHumedales.htm), consulta 14 septiembre, 2011.
- Delmas R., C. Galy-Lacaux y S. Richard (2001), “Emissions of greenhouse gases from the tropical hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) compared with emissions from thermal alternatives”, en *Global Biogeochem. Cycles*, 15: 993-1003.
- Dipote- Barcada P. y G. de la Lanza-Espino (2007), “Humedales y territorio con humedales”, en: G. de la Lanza-Espino G., *Las aguas interiores de México, conceptos y casos*, AGT.
- Duchemin, E., M. Lucotte, R. Camuel y A. Chamberland (1995), “Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs in the boreal region”, *Global Biogeochem. Cycles*, 9:529-540.
- Guérin, F. Y G. Abril (2007), “Significance of pelagic aerobic methane oxidation in the methane and carbon budget of a tropical reservoir”, *Journal of Geophysical Research*, 112: G03006, doi: 10.1029/2006JG000393.
- Guérin F., Abril G., Tremblay A. y Delmas R. (2008), “Nitrous oxide emissions from tropical hydroelectric reservoirs”, *Geophysical Research Letters* 35, doi: 10.1029/2007GL033057.
- Kelly C.A., J.W. Rudd (1997), “Increases in fluxes of greenhouse gases and methyl mercury following flooding of an experimental reservoir”, *Env. Sci. Technol.*, 31: 1334-1344.
- Keller M. y R.F. Stallard (1994), “Methane emissions by bubbling from Gatun Lake, Panama”, *J. Geophys. Res.*, 99, 8307-8319.
- Liikanen, A. (2002), “Greenhouse Gas and Nutrient Dynamics in lake Sediment and Water Column in Changing Environment. Kupio University Publications”, *C. Natural and Environmental Sciences*, 147, 50 pp. ISBN 951-781-245-0, ISSN 1235-0486.
- Manahan, S. (2001), *Fundamentals of environmental chemistry*, Lewis Publishers, 1003 pp.
- Mengis M., Gächter R., Wehrli B. (1997), “Sources and Sinks of Nitrous Oxide (N₂O) in Deep Lakes”, *Biochemistry*, 38: 281-301.
- Moya, Bárbaro V.; Hernández, A. E.; Elizalde Borrell, H. (2005), “Los humedales ante el cambio climático”, *Investigaciones Geográficas*, no. 37, pp. 127-132.

- UNESCO/IHA (2008), *Assessment of the GHG status of freshwater reservoirs: scoping paper*, Working Group on Greenhouse Gas Status of Freshwater Reservoirs, International Hydrological Programme, 28 pp., IHP/GHG-WG/3.
- UNESCO/IHA (2009), *The UNESCO/IHA Measurement Specification Guidance for Evaluating the GHG Status of Man-Made Freshwater Reservoirs*, Edition 1 – June.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1997), *Volunteer stream monitoring: a methods manual*, Office of water (4503F) – EPA 841-B97-003, United States.
- Regina K., Nykänen H., Silvola J., Martikainen P.J., (1996), “Fluxes of Nitrous Oxide from Boreal Peatlands as Affected by Peatland Type, Water Table Level and Nitrification Capacity”, *Biogeochemistry*, 35: 401-418.
- Rodríguez Mellado, J. (1999), *Fisicoquímica de Aguas*, Madrid de Díaz Santos, 466 pp.
- Rosa, L.P. y R. Schaeffer (1994), “Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs”, *Ambio*, 23:164-165.
- Rudd, J.W.M., R. Harris, C.A. Kelly and R.E. Hecky (1993), “Are hydroelectric reservoirs significant sources of greenhouse gases?”, *Ambio* 22: 246-248.
- Soumis, N., E. Duchemin, R. Canuel and M. Lucotte (2004), “Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States”, *Global Biogeochem. Cycles* 18:doi:10.1029/2003GB002197.
- Therrien, J., A. Tremblay and R. Jacques (2005), “CO₂ emissions from semi-arid reservoirs and natural aquatic ecosystems, 233-250 pp., in Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau(eds.), “Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments”, *Environmental Science Series*, Springer, New York.
- Tremblay A., Varfalvy L., Roehm C., Garneau M. (2005), *Greenhouse Gas emissions – Fluxes and Processes. Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*, Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau, (eds.) (2005), “Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environment”, *Environmental Science Series*, Springer, New York, 732 pp.
- Tremblay, A. Y J. Bastien (2009), *Greenhouse Gases Fluxes Water Bodies in Québec, Canada*, *Verh. Internat. Verein. Limnol*, vol. 30, part 6, pp. 866-869.

2.2. El océano como fuentes o reservorios de CO_2

El planeta está constituido en un 60% de océanos, por lo tanto el agua de mar juega un papel importante en la captura del carbono, sin embargo en varios países del mundo no se conoce, cómo están actuando los cuerpos de agua interior en el ciclo del carbono.

La mayoría de los estudios de flujos de CO_2 se han realizado en el océano abierto ((Takahashi et al., 2002)), y los trabajos en la zona costera son escasos y los estudios para cuerpos epilimneticos son aún más escasos, existe el debate sobre si el océano se comporta como sumidero de carbono, debido a la alta productividad y tasas de sedimentación de partículas orgánicas que ahí se presentan; o como una fuente de CO_2 debido al afloramiento de agua sub superficial rica en carbono inorgánico disuelto (CID), producido por diferentes procesos, como las surgencias, giros y otros procesos costeros.

Los océanos contienen aproximadamente cincuenta veces más CO_2 que la atmósfera y quince veces más que el contenido en suelos y la biota terrestre. El CO_2 se mueve entre la atmósfera y el océano por difusión molecular cuando hay una diferencia de presión parcial ($\Delta p\text{CO}_2$) cerca de la interface entre ambos.

Se sabe que el CO_2 es el único gas atmosférico que reacciona con el agua de mar, con base en ello se ha calculado que el océano absorbe aproximadamente, el 30% del carbono liberado antropogénicamente (Sabine et al., 2004), el efecto neto de este proceso, ha sido un aumento de ~ 100 mg/L en la presión parcial del CO_2 ($p\text{CO}_2$) atmosférica. La presión parcial de CO_2 atmosférico ($p\text{CO}_2$ atm) permite conocer la presión que ejerce este gas sobre la superficie de los diferentes cuerpos de agua, entonces si la $p\text{CO}_2$ en el agua de ($p\text{CO}_2$ agua) es mayor que la $p\text{CO}_2$ atm, entonces se presenta un flujo de carbono hacia la atmósfera, es decir, el cuerpo de agua estudiado se convierte en fuente de CO_2 . Por otro lado, si la $p\text{CO}_2$ agua es menor a la atmosférica,

entonces puede ocurrir un flujo de CO₂ hacia el fondo acuático, y éste actúa como un sumidero de carbono.

Debido a que el CO₂ no es limitante para la fotosíntesis en el mar, su aumento no tiene un impacto significativo en los procesos biológicos marinos, como por ejemplo la producción primaria. Sin embargo, hay evidencias de que ciertas especies de cocolitofóridos muestran una reducción significativa en su habilidad para formar sus exoesqueletos debido a la disminución del pH del agua producida por el incremento del CO₂ (Riebesell et al. 2000). La distribución del CO₂ antropogénico en el mar resulta de procesos que tienden al equilibrio físico-químico en la superficie del océano a medida que aumenta el CO₂ atmosférico, seguidos por mezcla lenta hacia el interior del océano. La profundidad media de penetración del CO₂ antropogénico en el océano global es únicamente de ~800 m (Sabine et al. 2002).

Cai y colaboradores (2003) han sugerido que los ecosistemas costeros pueden ser una fuente de bombeo para el CO₂ fuera de la atmósfera mientras que la plataforma continental (desde el quiebre de la plataforma hasta la línea de costa) pueden ser responsable del secuestro de más del 50% del total de CO₂ en el océano (Thomas et al., 2004). Además las aguas costeras más someras son comúnmente más propensas al impacto antropogénico del CO₂ (Doney et al., 2009).

2.3. Gases efecto invernadero (GEI) en los humedales

Los humedales se caracterizan por estar inundados en largos periodos de tiempo, lo que da lugar al secuestro de carbono (C) y en los periodos que no están inundados forman suelos conocidos como gleysoles ((Gorham, 1991) (Eswaran, Van Den Berg, & Reich, 1993)). Este tipo de cubiertas del suelo también contribuyen a través de las emisiones naturales y las emisiones derivadas del cambio de utilización del suelo, con una cantidad significativa de gases efecto invernadero (GEI).

Aunque los humedales solamente ocupan cerca del 4% de la superficie de la tierra, se estima que contienen el 33% del carbono en suelo. ((Gorham, 1991) (Eswaran et al., 1993)).

Wright y Reddy (2009(L & R., 2009)) precisan que las ciénagas contienen 771 billones de toneladas de GEI, o 1/5 de todo el carbono en la tierra, lo que representa la misma cantidad de este elemento contenida en la atmósfera, lo anterior es resultado de la captura por cientos de años.

Está comprobado que los gases, como el CO₂, el CH₄ y el N₂O son emitidos por procesos naturales que tienen lugar en los humedales, es el caso de la descomposición de la materia orgánica. En su caso, el dióxido de carbono (CO₂) es producido por procesos microbianos aerobios y la respiración por medio de la raíz (vegetación riparia); por su parte el metano (CH₄) incluye las fuentes naturales y antropogénicas, es producido por procesos anaerobios en suelos inundados y contribuye hasta 25% de todas las emisiones globales de este gas; así mismo el óxido nitroso es un producto de la desnitrificación, este proceso es otro mecanismo descomposición microbiana de la materia orgánica, para que la desnitrificación ocurra, el nitrato debe estar presente en grandes cantidades (Reddy & DeLaune, 2008)

Durante el estiaje, los sedimentos están expuestos a la atmósfera, esto facilita a las altas tasas de descomposición aeróbica lo que lleva a la pérdida del carbón almacenado, sobre todo CO₂; aunado a la quema de suelos en dichas condiciones, lleva a una mayor pérdida de carbón de los sedimentos a través de la emisión de CO₂, por lo tanto las condiciones hidrológicas tienen una influencia importante en los tipos de gases de efecto invernadero emitidos por los humedales ((Huttunen et al., 2003; L & R., 2009)).

Las emisiones de GEI en cuerpos de agua pueden darse de la siguiente forma: 1) la difusión en la superficie del cuerpo de agua y 2) las burbujas producidas en la interface sedimentos-agua que migra desde allí pasando por la columna de agua hasta la

atmosfera, aunque para algunos existe una 3) las emisiones río abajo, las cuales incluyen emisiones por difusión en los rápidos ((Huttunen et al., 2003) (Rosa, dos Santos, Matvienko, dos Santos, & Sikar, 2004) (Abril et al., 2005) (Demarty, Bastien, & Tremblay, 2011)).

Para Wringh y Reddy (2009(L & R., 2009)), varios factores ambientales pueden influenciar los tipos y los índices de la emisión de GEI en humedales. Por ejemplo, el enriquecimiento por adición de nutrientes puede tener una influencia importante en emisiones de gases, y de hecho puede cambiar los tipos de gases emitidos.

El N_2O es un producto final de la desnitrificación, este proceso consiste, en la reducción del nitrato por la acción de los microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica, para que se forme el nitrato debe estar presente en grandes cantidades ((Reddy & DeLaune, 2008)), las entradas del nitrato en humedales puede estimular la producción de N_2O a expensas del CH_4 . Y puesto que N_2O tiene un potencial de calentamiento global (GWP, global warming, potential por sus siglas en inglés) mucho más alto que el CH_4 . El papel de los humedales en la captura del carbono y la emisión GEI puede ser alterado como resultado de la eutrofización.

Por su parte Huttunen y colaboradores (2004(T, Tania, Pertti, Kristina, & Martikainen, 2004)) determinan que la concentración de CH_4 , CO_2 y N_2O se incrementa con la profundidad de los humedales o lagos, aunque la variación entre un año y otro, no es significativa, sin embargo para ellos el CO_2 constituye un calentamiento global de 99% del, las emisiones de GEI durante la primavera en los lagos mesotróficos del hemisferio norte se encuentran en un rango de 103-128 g/l de CO_2 , lo que indica que dichos lagos no son fuente importantes de CH_4 y de N_2O , pero sí de CO_2 .

Tremblay y colaboradores ((Tremblay, 2005)), al igual que Wringh y Reddy ((L & R., 2009)), concluyeron que los humedales desempeñan un papel importante en el calentamiento global, a través de la producción de GEI y la captura de carbono

atmosférico, y que los principales GEI emitidos por los cuerpos de agua, incluyen el CO₂, el CH₄, y N₂O, y estos a su vez son afectados por la concentración de nutrientes en el medio acuático, así como por condiciones hidrológicas, estas últimas influyen el índice de emisiones de GEI, aumentan la pérdida de sedimento y emisiones de CO₂. Cuando los humedales cambian el uso de suelo para la agricultura durante el estiaje, las emisiones de CO₂ resultantes son más altas que para los humedales en lluvias. Sin embargo, los índices de emisiones del CH₄ y de N₂O de humedales inundados son más altos que para los sedimentos expuestos, el efecto neto sobre los gases de efecto invernadero puede ser similar entre ambas condiciones hidrológicas.

La calidad de agua de los humedales cambia el nivel de producción de GEI a través de emisiones crecientes de N₂O, que tiene un índice de calentamiento global superior a otros gases. Así, el continuo aumento en la concentración de los nutrientes en humedales puede aumentar su contribución al calentamiento del planeta comparado con cuerpos de agua en estado oligotrófico.

Se ha determinado que la emisión de GEI de los cuerpos de agua está altamente relacionado con la calidad de agua que presentan los cuerpos lenticos, por lo que la descripción fisicoquímica del agua ayuda a predecir la calidad de agua y la emisión de GEI ((Tremblay, Varfalvy, Roehm, & Garneau, 2011)).

2. 4. Calidad del agua y el aporte de nutrientes

Debido a la relación de la emisión de GEI en los cuerpos de agua lenticos, la calidad de agua y el aporte de nutrientes, adquieren importancia los niveles de contaminación y eutrofización que presentan estos cuerpos de agua.

La eutrofización es un proceso natural lento en ecosistemas acuáticos, especialmente en lagos, caracterizado por un aumento en la concentración de nutrientes (nitratos y fosfatos) este aumento puede ser por el aporte desde la cuenca o bien por influencia

antropogénica por medio del vertido de desechos de fertilizantes, detergentes, etcétera, siendo la intervención humana la que acelera el proceso ((Goyenola, 2007)).

Para Montalvo y colaboradores (2000) las principales causas de la eutrofización, son de índole natural y antropogénicas:

- a) Naturales: Aportes atmosféricos: precipitación, re-suspensión de los sedimentos del fondo, liberación desde los sedimentos anóxicos, descomposición y excreción de organismos y fijación de nitrógeno por microorganismos.
- b) Antropogénicas: Vertidos de residuos industriales, agrícolas, urbanos y de plantas de tratamiento, deforestación que aumenta la erosión y disminuye el reciclaje de nutrientes en la cuenca, fertilizantes aplicados en exceso, aguas residuales de granjas (silos, tambos), tanques sépticos, uso de detergentes con grandes cantidades de fósforo, aporte de contaminantes por agua de lluvia y sistema de alcantarillado de ciudades y pueblos.

La eutrofización de los humedales cambia el nivel de producción de GEI a través de emisiones crecientes de N₂O, así, el continuo aumento en la concentración de los nutrientes en humedales puede incrementar su contribución al calentamiento del planeta comparado con cuerpos de agua en estado oligotrófico.

Los principales indicadores de la eutrofización son básicamente cuatro, el fosforo, nitrógeno, clorofila y la profundidad de Secchi. La siguiente tabla muestra los valores límite de los indicadores según la clasificación de la OCDE (tabla 1, (C, 2000)).

Donde:

Categoría Trófica	TP	Chl Media	Chl Máxima	Media de Secchi	Mínimo de Secchi
Ultraoligotrófico	<4.0	< 1.0	< 2.5	>12.0	>6.0

Oligotrófico	< 10.0	< 2.5	<8.0	> 6.0	>3.0
Mesotrófico	10-35	2.8 - 8	8 -25	6 - 3	3 - 1.5
Eutrófico	35 - 100	8 -25	25 - 75	3 - 1.5	1.5 - .07
Hipertrófico	> 100	>25	>75	< 1.5	<0.7

Tabla 1 adaptación de (Dugan, 1992)

TP = media anual de la concentración de fósforo total en el lago (ug/l)

Chl media = media anual de la concentración de clorofila a en agua superficial (ug/l)

Chl máxima = pico anual de la concentración de clorofila a, en agua superficial (ug/l)

Media de Secchi = media anual de transparencia de la profundidad de Secchi (m)

Mínimo de Secchi = mínimo anual de transparencia de la profundidad de Secchi (m)

Índice de Eutrofización

El índice de eutrofización asociado a nutrientes se estimó de acuerdo a la ecuación de Kerydis (Montalvo et al, 2000):

$$I = \frac{C}{C - \log x} + \log A$$

Donde

I: Índice de eutrofización por nutrientes

C: Logaritmo de la concentración total del nutriente durante la etapa de estudio

X: Concentración total del nutriente durante la etapa de estudio en el punto de muestreo

(mmol/L).

A: Número de puntos de muestreo

Y la clasificación de los sistemas de acuerdo al índice de eutrofización por nutrientes, determinado por (D, D, & K, 1992) y usada por Montalvo, et.al., 2000 es la siguiente (tabla 2):

Tabla 2 Clasificación según el índice de eutrofización según (D et al., 1992)

Índice de Eutrofización	Clasificación
Mayor de 5	Altamente eutrofizado

3-5	Mesotrófico
Menor de 3	Oligotrófico

En líneas generales el estado trófico de un cuerpo de agua está definido por la cantidad de nutrientes que se encuentran en el sistema. Los nutrientes son elementos químicos y los compuestos presentes en el medio ambiente que las plantas y los animales necesitan para crecer y sobrevivir. En los ecosistemas acuáticos, la limitación de nutrientes son generalmente de fósforo (P) y nitrógeno (N).

De acuerdo con las concentraciones de nutrientes los sistemas acuáticos se clasifican en oligotrófico (Bajas concentraciones de nutrientes), mesotrófico (estado intermedio y no existe una importante alteración de los procesos ecológicos) y eutrófico (cuando la concentración de nutrientes es tan alta que los flujos de materia y energía son gravemente perturbados). Un cuarto estado, el distrófico se caracteriza por una elevada concentración de sustancias húmicas (aguas marrón-amarillentas) y es independiente de la carga de nutrientes ((Goyenola, 2007)).

La elevada disponibilidad de nutrientes, antes limitado recurso para los productores primarios provoca un aumento de la tasa neta de producción, generándose grandes cantidades de biomasa. La producción se incrementa dándose altas tasas de generación de oxígeno durante las horas de luz sólo en la zona donde se da la fotosíntesis, pero cuando los organismos mueren, los procesos de descomposición comienzan a consumir oxígeno. A veces todo el cuerpo de agua se vuelve anóxico, provocando la muerte masiva de los organismos acuáticos.

En el grupo de gases de efecto invernadero y precursores de ozono troposférico se encuentran los óxidos de nitrógeno (nox), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (covdm), el monóxido de carbono (co), óxidos de azufre y partículas.

Además de contaminar el aire ambiente local y la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo ((O. & E., 2007)).

2.5 Parámetros fisicoquímicos del agua

Temperatura. La temperatura influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinando su metabolismo, productividad primaria, respiración, descomposición de materia orgánica, cuando la temperatura aumenta prolifera el fitoplancton y aumenta la absorción de nutrientes disueltos. La temperatura *in situ*; juega un papel importante en la solubilidad de las sales (por lo tanto en la conductividad eléctrica), en el pH, en la solubilidad de los gases. La temperatura aumenta de acuerdo al gradiente geotérmico (1 °C cada 33m), de igual forma la temperatura de las aguas superficiales está influenciada por la temperatura del aire y ello sucede tanto más cuanto menos profundo (Rodier & Geoffray, 1990).

El aumento de la temperatura del entorno incide en la solubilidad del oxígeno disuelto, a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, influye también en las velocidades de las reacciones químicas, en los usos del agua y en la vida de la flora y la fauna acuática, y aumentar la toxicidad de algunas sustancias. Los datos de temperatura se utilizan en el cálculo de la alcalinidad, saturación y estabilidad respecto al carbonato de calcio, y en el cálculo de la salinidad.

Igualmente incide en los procesos biológicos, la temperatura óptima para el desarrollo bacteriano se encuentra comprendida en el rango de 25 a 35 °C, estos procesos se inhiben cuando se llega a los 50 °C. A los 15 °C las bacterias productoras de metano cesan su actividad.

Conductividad: Es la conductancia de una columna de agua comprendida entre dos electrodos metálicos de 1 cm² de superficie separados uno del otro (Rodier & Geoffray, 1990), la concentración de electrolitos, es decir que corresponde a los iones disueltos

principalmente a los iones mayoritarios entre otros el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloruros y bicarbonatos. En el agua natural la medida de la conductividad tiene varias aplicaciones, tal vez la más importante sea la evaluación de las variaciones de la concentración de minerales disueltos en aguas naturales y residuales. La variación estacional mínima que se encuentra en las aguas embalsadas contrasta notablemente con las fluctuaciones diarias de algunas aguas de río contaminadas, ya que es un indicador de calidad. La conductividad eléctrica se puede expresar de diferentes formas, lo más común es expresarla en microhomios por centímetro ($\mu\text{mhos/cm}$), con respecto al sistema internacional en micro siemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) (Robert, 1981; Rodier & Geoffray, 1990).

Oxígeno Disuelto: es el oxígeno que está disuelto en el agua. Esto se logra por difusión del aire del entorno, la aireación del agua que ha caído sobre saltos o rápidos. La presencia de oxígeno en el agua es indispensable para la vida acuática y depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión.

La distribución del oxígeno disuelto es de suma importancia para poder determinar el comportamiento y crecimiento fisiológico de los organismos acuáticos, además de que algunas veces materia orgánica que se encuentran en el agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno para su respiración, esto quiere decir que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica mayor es el número de microorganismos y por tanto mayor el consumo de oxígeno. En muchas ocasiones esta falta de oxígeno es la causa de la muerte de peces y otra fauna acuática más que la existencia de compuestos tóxicos. Por tanto el análisis de oxígeno disuelto es una prueba clave en la determinación de la contaminación del agua.

La distribución del oxígeno influye en: 1) la solubilidad de nutrientes inorgánicos, 2) productividad del cuerpo de agua, 3) profundidad y 4) la saturación.

La solubilidad del oxígeno se puede ver afectado de manera no lineal con la temperatura, sin embargo la solubilidad de los gases está regulada por la presión en su mayoría, por lo tanto el equilibrio del oxígeno atmosférico con la concentración del oxígeno en el agua dependerá de la presión parcial atmosférica y de la altitud del lago, otro factor que disminuye la solubilidad del oxígeno es la salinidad. La difusión de los gases en un cuerpo de agua es un proceso muy lento. Para que se establezca un equilibrio con la atmosfera, el agua tiene que circular.

Salinidad: para aguas interiores está determinada completamente por cuatro iones principales calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), y potasio (K); y por los iones carbonato (CO_3), sulfato (SO_4) y cloruros (Cl). La salinidad está controlada principalmente por tres mecanismos principales: la mineralización en equilibrio con las rocas, la prestación atmosférica y el proceso de evaporación- precipitación; todos altamente ligados al clima, por ende el clima tiene un gran efecto sobre la salinidad del agua ya que manifiesta un incremento de esta al disminuir la altitud del cuerpo de agua (Ramon, 1983; Wetzel & Likens, 2000).

pH (potencial de hidrógeno): El término pH es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica. El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9. Las aguas de pH menor de 6,5 son corrosivas debido al anhídrido carbónico, o sales ácidas que tienen en disolución. Este valor depende de las especies químicas presentes en el agua y las reacciones que se llevan a cabo entre ellas y con la propia agua. Es un parámetro que mide la acidez o alcalinidad del agua, además de que es un parámetro importante en la determinación de dióxido de carbono, carbonatos bicarbonatos e hidróxidos (Alfaro, 2002).

Alcalinidad: La alcalinidad de una muestra de agua es su capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidronio, (H_3O^+), hasta un valor de pH igual a 4,5. La alcalinidad se debe principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en de

solución, y en menor grado fosfatos y silicatos, que puedan estar presentes en la muestra. En un sentido estricto las principales especies causantes de alcalinidad. Los valores altos de la alcalinidad están asociados frecuentemente a valores altos de pH y a niveles de sólidos disueltos. La alcalinidad en el agua se expresa como la cantidad equivalente de CaCO_3 , en mg/L. su valor en aguas dulces oscila entre 100 y 200 mg/L (Alfaro, 2002).

El agua subterránea relativamente antigua que discurren por estratos arenosos, constituyen una buena excepción, en donde la alcalinidad también se halla relacionada a los silicatos disueltos.

La alcalinidad en la mayoría de los cuerpos de aguas naturales tiene su origen en el sistema carbonato, debido a que el dióxido de carbono y los bicarbonatos forman parte del metabolismo de los organismos vivos, aeróbicos o anaeróbicos, donde quiera que haya agua, materia orgánica y unas condiciones mínimas de supervivencia.

La conductividad eléctrica está muy influenciado por la cantidad de iones en el agua, siendo el Calcio y el Magnesio dos de los más importantes. La conductividad eléctrica de un agua debería aumentar al aumentar la concentración iónica.

La conductividad eléctrica y la dureza son dos parámetros cuyos valores están relacionados y reflejan el grado de mineralización de las aguas y nos permite clasificar las aguas para su productividad potencial. En cuanto a la conductividad observamos que oscila entre 288.33 - 683.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ según el análisis realizado, MS1 obtuvo un valor mínimo

Acidez: Es el resultado de la presencia de ácidos débiles, principalmente el H_2CO_3 . Sin embargo, también puede deberse a la presencia de ácido clorhídrico o sulfúrico en zonas de actividad volcánica. El agua ácida se encuentra sólo en casos de severa contaminación (Alfaro, 2002).

2.6 Carbono en los sistemas de aguas continentales

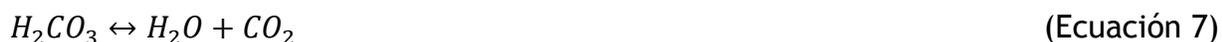
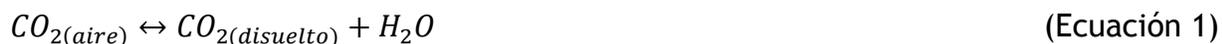
El carbono de los sistemas de aguas continentales se halla principalmente en forma de productos en equilibrio con el ácido carbónico y en menor proporción aparece formando compuestos orgánicos en forma de carbonato y una parte aún más pequeño en forma de seres vivos (Reddy & DeLaune, 2008).

El carbono inorgánico constituye uno de los principales nutrientes del metabolismo fotosintético de las algas y los macrofitos sumergidos. En la naturaleza, el carbono inorgánico se comporta raras veces como limitante de la fotosíntesis. La asimilación de bicarbonato es bien conocida, pudiendo ser inducida en plantas con afinidad tanto para los iones CO_2 como para los HCO_3^- , sometiéndolas a condiciones de bajas concentración de CO_2 libre y de concentraciones elevadas de bicarbonato.

El contenido atmosférico del dióxido de carbono varía según el lugar y los aportes debidos a la polución industrial. El dióxido de carbono es muy soluble en agua y cumple las leyes de solubilidad. La cantidad de CO_2 atmosférico que se disuelve en el agua es aproximadamente de 1.1 mg l^{-1} a 0°C , 0.6 a 15°C ; cuando el CO_2 se disuelve la solución contiene aproximadamente la misma concentración de CO_2 no hidratado (ecuación 1) por unidad de volumen que la atmosfera, al hidratarse se convierte en ácido carbónico por medio de una lenta reacción (ecuación 2), está reacción prevalece a un p-H inferior a 8 y en sustitución de equilibrio, la concentración del H_2CO_3 alcanza sólo aproximadamente $1/400$ de la de CO_2 no hidratado; cuando el pH es superior a 10 domina la reacción (ecuación 3). El H_2CO_3 es un ácido bastante débil, siendo su velocidad de disociación más rápida que la de hidratación (ecuación 4 y 5)

El valor de disociación, pK_1 , de la primera reacción es de 6.43 a 15°C y el pK_2 de la segunda reacción es de 10.43 (15°C).

Una vez establecido el equilibrio los iones bicarbonato y carbonatos se disocian (ecuaciones 6, 7 y 8)

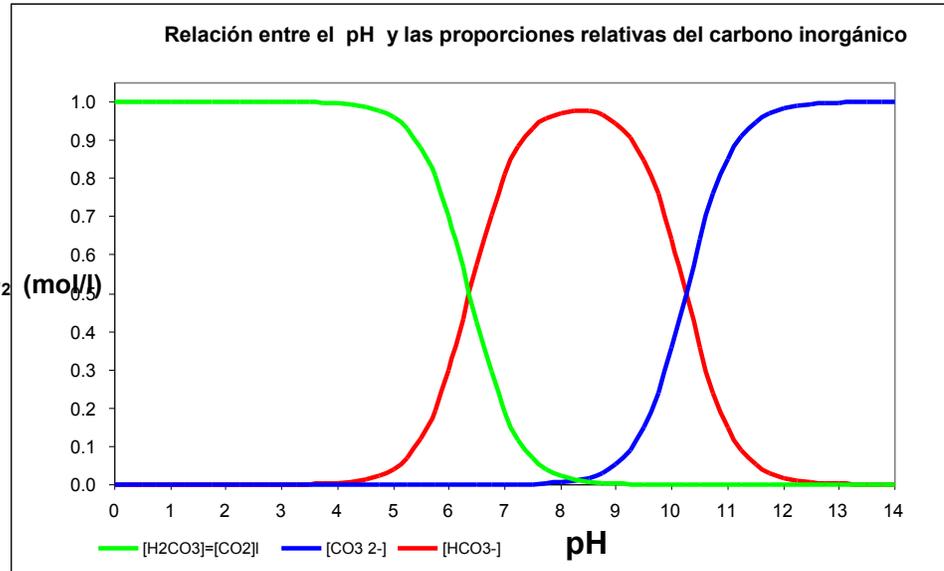


Los iones hidroxilo (OH⁻) formados en las dos reacciones primeras provocan alcalinidad en las aguas (pH superior a 7), entonces cuando esta agua penetra en el suelo se enriquece con el CO₂ resultante de la respiración vegetal y microbiana. El ácido carbónico solubiliza la calcita de las formaciones rocosas ricas en calcio, formando así bicarbonato de calcio, relativamente soluble en el agua y provocando un aumento en la cantidad de Ca⁺⁺ ionizado y de HCO₃⁻. Al aumentar el contenido de HCO₃⁻ y del CO₃⁼, el pH se verá aumentado.

La fotosíntesis y la respiración son dos de los principales factores que influyen sobre las cantidades de CO₂ en el agua, sin embargo los equilibrios de las ecuaciones anteriores explican la acción amortiguadora de las aguas alcalinas con concentraciones considerables de bicarbonato. Al mantener constante el pH permite el equilibrio del dióxido de carbono gaseoso, el CO₂ total, hidratado o no de la solución es independiente al pH, mientras que las concentraciones de bicarbonato y de carbonato aumentan con el pH de acuerdo a los valores de pK; dichos equilibrios están influidos por la temperatura y la concentración de sales. El carbono inorgánico (ΣCO₂) en agua dulce es variable, oscilando típicamente entre los 50 y 100 milimoles l⁻¹, y los valores de [HCO₃⁻] y [CO₃⁼] son más dependientes del pH, a partir de estas reacciones de disociación se pueden calcular las proporciones de CO₂, HCO₃⁻ y CO₃⁼ a distintos valores de pH. Si el pH del agua es igual o inferior a 5 domina el CO₂ libre mientras que a un

pH superior a 9.5 aparece CO_3^{2-} y a valores de pH entre 7 y 9 predomina el HCO_3^- (figura 2; (L & R., 2009; Reddy & DeLaune, 2008; Robert, 1981; Wetzel & Likens, 2000)

Figura 2 Relación entre el pH y las proporciones relativas de las distintas formas de carbono inorgánico. Tomado de (Reddy & DeLaune, 2008; Wetzel & Likens, 2000)



2.7 Parámetros morfológicos de la cuenca

Las características morfológicas de una cuenca son: Área de la cuenca (A): es el espacio delimitado por la curva del perímetro; esta característica es importante debido a la relación que guarda con la escurrentía-característica morfológica-. Perímetro de la cuenca (P): es la forma de la cuenca; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor corresponden a cuencas alargadas, mientras que los de menor a cuencas de forma redondeada.

Longitud de la cuenca (L): de la cuenca se define por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba. El ancho (W) se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L).

Los parámetros de forma son determinantes para su comportamiento hidrológico (cuencas con la misma área pero de diferentes formas presentan diferentes respuestas hidrológicas), por lo que las características morfológicas se obtienen por medio de índices o coeficientes. Los parámetros de forma principales son: Coeficiente de Gravelius y Rectángulo equivalente y coeficiente de Horton. Coeficiente de Gravelius: También conocido por el nombre de Coeficiente de Compacidad, este coeficiente relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de una cuenca teórica circular de igual área, en otras palabras es la comparación del perímetro de la cuenca con un círculo de la misma superficie, estos valores pueden ser iguales (cuando la forma de la cuenca corresponde con la del círculo) o mayores que uno cuando es alargada. Es decir cuánto más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente de compacidad por ende una cuenca con un coeficiente mínimo o igual a 1 tendrá una forma circular (R & J.L., 1995).

CAPÍTULO 3: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.



En este capítulo presenta la justificación de la investigación, el planteamiento del problema de investigación, la pregunta de investigación, la hipótesis y los objetivos.

3.1 Justificación

Las ciénegas del Lerma han sido estudiadas en diferentes aspectos desde su prioridad para la conservación de aves, fitoplancton y peces hasta su importancia hidrológica, para su explotación. Sin embargo, aún no se conoce el papel que juegan en el cambio climático, a través de la emisión o captura de precursores de GEI, que siendo de vital importancia para definir los efectos o impactos ambientales producidos por las actividades antropogénicas que han influenciado en el desarrollo natural de las ciénegas.

La trascendencia de la línea de atención parte de los siguientes argumentos:

1. Algunos de los precursores de GEI se encuentran como parte natural en las ciénegas de Lerma.
2. Empero la adición masiva de los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), ya sea de forma natural o inducida por la influencia humana, aceleran la pérdida de oxígeno, afecta la descomposición de la materia orgánica y la disminución de la calidad de agua y por ende la variación de parámetros fisicoquímicos favoreciendo la emisión de GEI hacia la atmósfera o el secuestro de los gases en la columna de agua.
3. La investigación es innovadora para los estudios de cambio climático, aportando la sistematización de los procedimientos de medición y recopilación de información y la conformación de la base de datos que retroalimentarán el proyecto: “Cambios de uso del suelo inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del estado de México: impactos locales y emisiones globales de gases de efecto invernadero (CONACyT- SEMARNAT 1079563), coadyuvando a determinar el papel que jugaran los cuerpos de agua dulce en los balances regionales del cambio climático.
4. Se tiene el aporte del conocimiento de cómo el CO_2 , el CH_4 y el N_2O , interactúan en los diferentes ciclos biogeoquímicos de sus precursores, así mismo como complemento a las investigaciones que se llevan a nivel nacional e internacional sobre la función de los

cuerpos de agua en el amortiguamiento de cambio climático; debido a que existe un hueco de conocimiento, puesto que mayoría de estos estudios se ha hecho para el océano y no para aguas dulces por lo que se desconoce en 95% en la intervención de estos en los procesos mencionados.

5. Desde el punto de vista ambiental aportan alternativas de prevención, control y manejo que permitan conservar los valores ecosistémicos y mitiguen las emisiones de GEI en el área natural protegida.

3.2 Planteamiento del problema

El objeto de estudio de la investigación está definido por el humedal de Chignahuapan o Atarasquillo (346 ha), en conjunto con las ciénegas de Chimaliapan o Lerma (2081 ha) y Chiconahuapan o Almoloya (596 ha), conforman el Sistema de las Ciénegas de Lerma (figura 3).

El sistema se ubica en la cuenca del alto río Lerma, la que a su vez pertenece a la región neártica mexicana y se le considera como una zona biogeográfica de transición. Cuenta con una superficie total de 3,023-95-74.005 hectáreas y depende de jurisdicción de los municipios de Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Calpulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac en el Estado de México (Figura 3 (CCRECRL, 1993)) y que rectifica el decreto que aparece en el diario oficial de la federación en 2002, aunque (Esteller & Diaz-Delgado, 2002) determina que existe una reducción de más del 10% del territorio señalado en los documentos oficiales.

El interés deriva del antecedente de la sobreexplotación de los años cincuenta y la reciente preocupación por su conservación, en el año 2000, además por su posición geográfica y confinamiento urbano.

El humedal de Chignahuapan se encuentran entre las coordenadas N 19° 06' 29" y W 99° 30' 53" en el sur y N 19° 21' 48" y W 99° 30' 13" en el norte, a una altitud de 2600 msnm, cubre una superficie de 346 hectáreas, prevalece un clima templado subhúmedo, semifrío y frío con lluvias en verano y parte del otoño. Temperatura media anual 10-14°C. La precipitación total anual es de 700-1,200 mm (Federación, 2002).

Ciénega Chignahuapan o Atarasquillo:
Área en 1950: 1613-15-27 ha
Área actual: 346-61-28 ha
Mpios.: Lerma.

Ciénega Chimaliapan:
Área en 1950: 2297-45-90 ha
Área actual: 2081-18-63 ha
Mpios.: Lerma, Ocoyoacac, Capulhuac, Santiago Tianguistenco, San Mateo Atenco, Chapultepec y Mexicalcingo.

Ciénega Chiconahuapan o Almoloya:
Área en 1950: 879-17-91 ha
Área actual: 596-15-79 ha
Mpios.: Almoloya del Río, Santa Cruz Atizapán, Texcalyacac, Sta. Ma. Rayón y San Antonio la Isla.

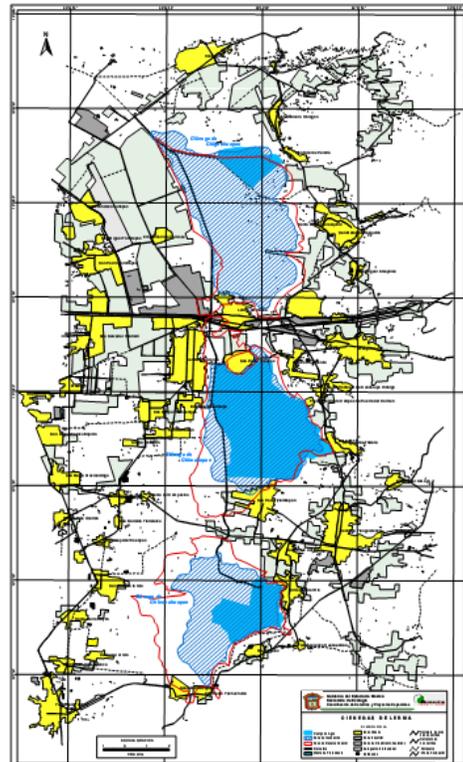


Figura 3 Composición de las Ciénega del Lerma, tomado de (CCRECRL, 1993)

El sistema de ciénegas fue decretado área Natural Protegida el 27 de noviembre del 2002, debido a que la región representa una unidad ecológica en la que están presentes diversos ecosistemas, siendo uno de los pocos sitios de la República Mexicana que aún conserva sistemas ecológicos bien desarrollados, considerados como los últimos remanentes de lo que fueron los extensos humedales del Altiplano Central, de una alta diversidad biológica y de gran fragilidad ambiental; cuenta con una gran diversidad de especies de fauna y flora silvestre, tanto terrestres como acuáticas (Federación, 2002).

Las ciénegas del Lerma son los humedales remanentes más extensos del Centro de México especialmente de los Valles de México y Toluca. Cubren más de 3000 hectáreas, en tres cuerpos de agua, que son los reductos de las 27,000 hectáreas de humedales que había en la zona a finales del siglo XIX. Las ciénegas presentan diferentes hábitats, incluyendo zonas de aguas profundas (hasta 5 metros), zonas con vegetación emergida, zonas de vegetación inundada y zonas de vegetación rarápía. Mantienen una alta diversidad de fauna y flora acuáticas incluyendo decenas de especies endémicas y en riesgo de extinción. También son importantes para el mantenimiento de las aves acuáticas migratorias, ya que son el hábitat más extenso en la región en la que se encuentran, es la ficha número 1335, de la convención (RAMSAR, 2011).

Los principales problemas que presenta, al igual que la cuenca Alta del Lerma, resalta la sobre extracción de agua y reducción de hasta el 85 %, y la contaminación por aguas residuales, residuos sólidos, y residuos industriales de alto riesgo (Gratia, 2009).

Se estima una reducción de la extensión en un 57%, actualmente abarca una extensión de 10.3 km², cuando para 1970 era de 23.9 km², también advierte que ha sufrido una disminución en los niveles de oxígeno disuelto y un aumento en la presencia de materiales pesados como el cadmio (Esteller & Diaz-Delgado, 2002). La identificación de la disminución en los niveles de oxígeno disuelto y la reducción de la extensión es un comportamiento que se prevé se manifieste en los tres cuerpos de agua que componen el sistema lacustre. Lo cual se asocia a diferentes estados de eutrofización, caracterizados por la producción o liberación desde los sedimentos de sustancias tóxicas y la emisión de nitrógeno a la atmósfera por la evaporación del amoníaco o por desnitrificación, el desconocimiento del papel que juegan en el ciclo del carbono como reservorios o fuentes de carbono, y en su potencial para convertirlas en amortiguadores del cambio climático. Este estudio aportará información que ayudará a entender el cambio climático como un proceso local-global, cuya utilidad se orienta a favor de la elaboración de planes de manejo y mitigación para esta área.

3.3 Pregunta de investigación

Lo que se pretende resolver en este proyecto se resume a la siguiente pregunta:

¿Cuáles son los factores físicos y químicos que determinan la emisión y captura de gases de efecto invernadero en el humedal de Chignahuapan?

3.4 Hipótesis

Si la relación de los parámetros físicos y químicos del agua del humedal de Chignahuapan varían (presión atmosférica, temperatura del agua, temperatura del ambiente, profundidad, turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y carbono orgánico en los sedimentos); luego entonces se tendrán áreas que actúan como sumideros de carbono atmosférico y otras actuarán como fuentes de emisión.

3.5 Objetivos

3.5.1 Objetivo general

Determinar la función que desempeña el humedal de Chignahuapan en la emisión y captura de gases de efecto invernadero, a través del análisis de los parámetros físicos y químicos del agua.

3.5.2 Objetivos específicos

Establecer el marco de referencia sobre el tema en el ámbito internacional y nacional.

Elaborar la batimetría del humedal de Chignahuapan a fin de relacionarla con los parámetros físicos y químicos del agua.

Determinar los parámetros físicos y químicos del agua, a fin de obtener los datos para estimar las interacciones que determinan la dirección de los gases de efecto invernadero.

Determinar el comportamiento del cuerpo de agua en estudio, como fuente o reservorio de los gases de efecto invernadero.

Capítulo 4 Metodología

© GratiaDeiiFlores 2013



En este capítulo se expone el diseño experimental utilizado en esta investigación, así mismo se explican detalladamente las metodologías usadas para el trabajo de campo, laboratorio y de gabinete que esta investigación conllevo, así como algunos conceptos.

4.1 Diseño metodológico

El diseño partió de un procedimiento hipotético- deductivo el cual se alimentó de visitas de campo exploratorias en la zona en estudio; las cuales permitieron concretar los ejes metodológicos de la investigación: 1) planteamiento del problema, 2) justificación, 3) pregunta de investigación, 4) hipótesis, 5) objetivos, 6) el modelo operacional de la hipótesis y 6) la metodología específica.

Basados en autores como Orozco et al, 2013 (Estela, J, & Leonor, 2013), Sweeney et. al 2007 (Sweeney et al., 2007), CO2Sys.xls de Lewis y Wallace, 1998 (Lewis, Wallace, & Greg Pelletier, 1998), Mehrbach et al 1973 (Mehrbach, Culberson, Hawley, & Pytkowicz, 1973), Wanninkhof y McGillis (1999). (Wanninkhof & McGillis, 1999) Se diseñó el siguiente esquema metodológico con la finalidad de que ayudara a organizar y esquematizar el método de trabajo seguido en esta investigación (figura 4).

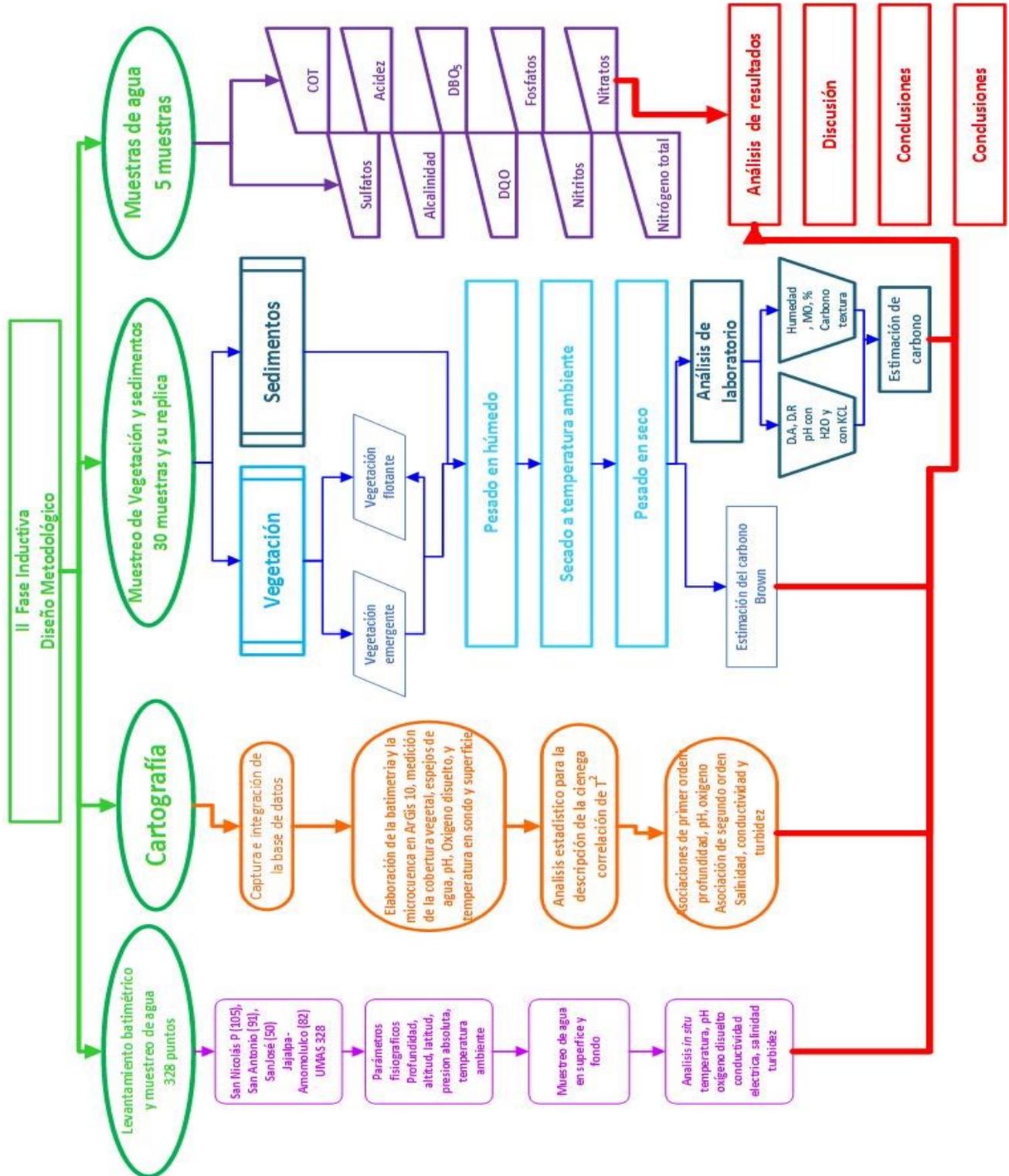


Figura 4 Diseño metodológico; elaboración propia con base en Orozco et al, 2013, Sweeney et al 2007, Co2sys.xls de Lewis y Wallace, 1998, Mehrbach et al 1973 y Wanninkhof y McGillis 1999.

4.2 Entrada a la Ciénega de Chignahuapan

De acuerdo a la ley general de aguas en su artículo nueve señala que para salvaguardar la integridad de los recursos hídricos serán administrados y conservados a través de la comisión nacional del agua y para realizar estudios sobre las mismas tendrá que ser a través de concesiones por lo que se informó del estudio y a la CONAGUA, en su delegación estado de México solicitando las autorizaciones correspondientes para poder entrar a la laguna (LGA, 1992).

La constitución política manifiesta en su artículo 27 que es propiedad de la nación las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites nacionales corresponden originalmente a la nación pero puede transmitirse el dominio de estas a particulares, así mismo reconoce a poblaciones y núcleos ejidales para su protección uso y manejo, de tal forma que se contactó a las comisariados ejidales correspondientes a las poblaciones de san Antonio el llanito, san José el llanito, san Nicolás peralta y Jajalpa, entonces con la finalidad de acceso a la ciénega sin ningún problema y con toda la seguridad necesaria se contó con los permisos correspondientes, las autoridades ejidales a su vez nos remitieron con los arrendatarios de la laguna quienes brindaron todas las facilidades y los permisos correspondientes.

De igual manera para ingresar a las ciénegas se contó con la autorización de la comisión Nacional de Agua (CONAGUA) delegación Toluca y de la dirección de áreas naturales protegidas nevado de Toluca y ciénegas de Lerma y con los ejidatarios. De acuerdo con lo establecido en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 1988)¹.

¹ En el capítulo 5 de la ley general de equilibrio ecológico, establece que las áreas protegidas estarán administradas, conservadas, reguladas y vigiladas por el gobierno federal a través de la comisión nacional de áreas naturales.

4.3 Entrevistas

Las entrevistas el medio para conseguir información e indagar sobre múltiples aspectos del caso de estudio, donde el entrevistado expone con sus palabras hechos, razones, opiniones, creencias, actitudes o conocimiento de un tema específico, a manera de que el entrevistador pueda formar un criterio o conclusión con validez cualitativa para investigar la realidad social (A, 1998 ; Angel & Jesús, 1994; Del Rincón, Arnal, Latorre, & Sans, 1995; José, 1993).

El tipo de entrevistas que se realizaron fueron de carácter informal, no existió un esquema de preguntas o secuencia preestablecida, siendo una charla libre e informal a manera de un dialogo lo que permitió la obtención de datos a través de preguntas lanzadas al entrevistado que provocó su discurso obteniendo su conocimiento y opinión (Granato & Harvey, 2000; Patton, 1980).

Existieron dos tipos de entrevistados A) las autoridades de la CONAGUA y la CONANP sus entrevistas se llevaron a cabo en sus oficinas y B) fueron los lancheros, sus familias y los arrendatarios, las entrevistas se llevaron a cabo en las lanchas durante el trayecto de campo.

4.4 Diseño de hoja de campo

La obtención de datos en el campo, su ordenamiento y captura se agilizó con la elaboración de una hoja de campo, en la que se registraron datos esenciales y necesarios para esta investigación, por razones de logística se dividieron en dos hojas de campo la primera es la parte geoespacial y la segunda es la fisicoquímica del agua, además de los datos mencionados en ambas hojas, se colocaron los escudos universitarios, los nombres de los responsables del proyecto y datos de control, con el

objeto de mantener la secuencia entre los puntos a través del manejo de números progresivos de puntos registrados en el Global Position Systems (GPS).

La primera hoja de campo (anexo 2) registra la descripción geográfica del punto de muestreo y levantamiento batimétrico, sugeridos por Pintor y colaboradores (Cristina Pintor Ruano, García, & Berenguer, 2009), Ensing 2004(Ensign, Halls, & Mallin, 2004), (Vázquez-Figueroa et al., 2009)y (Brenner, 1997), principalmente se registraron los datos de profundidad, longitud y latitud.

En la segunda hoja (anexo 3) y de acuerdo a las investigaciones de Aguilar Salazar y colaboradores, 2003 (Aguilar-Salazar et al., 2003), Worrall y colaboradores, 2009 (Worrall, Burt, Rowson, Warburton, & Adamson, 2009), Emerson y colaboradores, 2001 (Emerson et al., 2011) Wang, 2009 (Wang et al., 2010) y Ortega Guerrero, 2009 (Ortega-Guerrero, 2009). Los parámetros sugeridos para obtener la caracterización fisicoquímica del fondo y la superficie del lago fueron los siguientes:

- ◆ pH
- ◆ conductividad eléctrica
- ◆ turbidez
- ◆ oxígeno disuelto
- ◆ salinidad

El número de datos registrados en ambas hojas en cada punto, fue de 33 datos contando con los nombres y datos de los equipos de cada lancha y el tipo de equipo o material que se usó de manera extraordinaria.

4.5 Levantamiento batimétrico

El objetivo del levantamiento fue obtener las coordenadas X, Y, Z (X es la altitud, Y es la longitud y Z la profundidad) ((Vicente Esteban Chapapría, José Aguilar Herrando,

José Serra Peris, & Folgado, 1995) (Reissmann, 1999) (Edy Godoy Oriundo, 2005; Ensign et al., 2004) (Brenner, 1997)), la parte más compleja fue la determinación de la profundidad (el punto de la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo).

La metodología que se usó para determinar la coordenada Z, fue modificada de Martínez-Torres (Martínez Torres Luis Miguel, González Tapia, & Ramon-Lluch, 1992)(1992) en el lago de Arreo, España, el autor usó una cinta métrica de la que pendía un plomo para tocar el fondo, la modificación fue utilizar una baliza topográfica, mucho más funcional por su peso, color y resistencia a la corrosión y otro tipo de deterioros producidos por el agua, y una cinta métrica (Martínez Torres Luis Miguel et al., 1992) para corroborar las medidas de la baliza. Así mismo se utilizó un GPS GARMIN 65SCP, para determinar la altitud y longitud de cada punto (Clark-Tapia et al., 2010; Cristina Pintor Ruano et al., 2009; Ensign et al., 2004) (Brenner, 1997) (Reissmann, 1999)), un aerómetro Skywatch Xplorer4 (figura 5), para medir la presión absoluta y relativa, y la temperatura ambiente (Molina -Giraldo 2007)

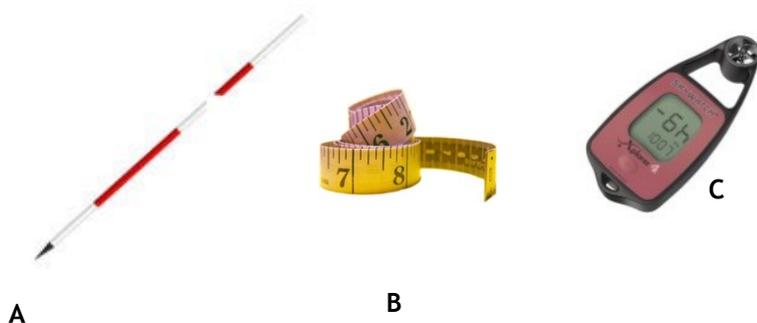


Figura 5 Aparatos para medición a) baliza topologica, b)cinta metrica, c)Skywatch Xplorer 4

Los métodos batimétricos propuestos por (M, 2010), (Gallardo Sancha Juan , Agustín, & Fuente Gil, 1992) y (Ensign et al., 2004), sugieren que el muestreo debe organizarse en perfiles, consiste en un conjunto de puntos alineados en determinada dirección, estos son paralelos en un principio y después se realizó en secciones transversales para

una mayor cobertura del área, sin embargo (Aguilar-Salazar et al., 2003) y (Martínez Torres Luis Miguel et al., 1992).

El número de puntos a tomar depende de la escala del levantamiento, la norma, tal como sucede en los levantamientos terrestres, es contar con un punto por cada cm² de plano, para poder asegurar la precisión entre las cotas, la distancia entre los puntos será la que corresponde al centímetro a la escala del levantamiento (Gallardo Sancha Juan et al., 1992)).

Asimismo la forma, la posición, la cantidad de vegetación y el área del cuerpo de agua son datos necesarios para estimar la cantidad de puntos por espacio geográfico, (Augusto, Wills Toro, & J, 2008) (Ensign et al., 2004).

El método que se siguió para este estudio, fue el llamado Single Point Measurement (SPM mediciones en un solo punto), en el cual la embarcación se detiene y obtiene las tres coordenadas básicas del levantamiento, aprovechando para tomar parámetros fisicoquímicos, muestras de agua sedimentos entre otros aspectos (Ensign et al., 2004).

Las fechas y horas de muestreo fueron del 27 de abril al 02 de mayo, en jornadas de 8:00 a 12:00 horas y de 13:00 a 17:00 horas, en dos lanchas, cubriendo un total de 7 días de muestreo cubriendo 56 horas de trabajo.

El recorrido de la lancha fue en sentido horizontal y posteriormente vertical, cada punto se tomó a 50 metros de distancia, en cada uno de ellos se tomaron los datos requeridos en los formatos diseñados para tal fin. Los transectos longitudinales y transversales se realizaron de manera zigzagueante y cada 50 metros se marcó el SPM, cada uno de ellos se registraron en la hoja de campo de caracterización geográfica, el perfil final sumo un total de 354 puntos.

En cada sitio de muestreo (Krebs 2000) se señalaron las coordenadas X altitud, Y longitud y Z profundidad ((Brenner, 1997; Edy Godoy Oriundo, 2005; Ensign et al., 2004; Reissmann, 1999; Vicente Esteban Chapapría et al., 1995)). La profundidad es el punto de la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo ((Gallardo Sancha Juan et al., 1992)), el método para obtener la profundidad fue modificado de (Martínez Torres Luis Miguel et al., 1992)), en sustitución de la cinta métrica y el plomo, se utilizó una baliza topográfica y para determinar la altitud y longitud se utilizó un GPS GARMIN 65SCP ((Brenner, 1997; Clark-Tapia et al., 2010; Cristina Pintor Ruano et al., 2009; Ensign et al., 2004; Reissmann, 1999)),

4.5.1 Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se distribuyeron en cinco zonas de aprovechamiento cinegético (UMA'S) (tabla 3), 105 en de San Nicolás Peralta, 91 en San Antonio el Llanito, 50 en San José del Llanito y 82 en Xajalpa y Amomululco.

Tabla 3 Distribución de los puntos de muestreo para el levantamiento batimétrico

Ejido	Coordenadas	Número de puntos de muestreo	Profundidad mínima (cm)	Profundidad máxima (cm)	Profundidad media (cm)
San Nicolás	445700 a 448696 214041 a 2139698	105	33	190	118.84
San Antonio el Llanito	445700 a 447381 2140347 a 2140606	91	52.0	122	89.63
San José del Llanito	445700 a 447381	50	122	171	146.5
Xajalpa y Amomululco	2140347 a 2140606	82	45	246	109
Ciénega de Chignahupan	445700 a 447381	328	33	246	103.41

4.5.2 Perfiles para el levantamiento batimétrico

En el muestreo se combinaron los métodos por perfiles ((Ensign et al., 2004; Gallardo Sancha Juan et al., 1992; M, 2010)) y recorrido zigzagante en sentido horizontal y vertical ((Aguilar-Salazar et al., 2003; Martínez Torres Luis Miguel et al., 1992)). Cada punto de muestreo se tomó a 50 metros de distancia, la medición de la presión absoluta y relativa, y la temperatura ambiente ((Molina Giraldo, Piza Torres, & Wills Toro, 2007)) se realizó con un aerómetro Skywatch Xplorer4.

4.5.3 Muestreo de agua

La caracterización fisicoquímica del agua se llevó a cabo con una multi-sonda sonda U10 marca Oriba *in situ*, midieron los parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbidez y la salinidad en el fondo y superficie, así mismo se tomó la temperatura del aire por ser determinante para la temperatura del agua y se midió con un termómetro ((Alvarado & Aguilar, 2009; Vázquez-Figueroa et al., 2009)).

Para la estandarización del método de muestreo en profundidad y la caracterización fisicoquímica de la ciénaga, se realizaron tres salidas de campo, en las que se puntualizó en el tipo de aparatos que se usaron, la prueba de las hojas de campo y la capacitación a las personas que auxiliaron en las salidas de campo (Figura 4 y 5).



Figura 5 Estandarización del muestreo fisicoquímico del agua, foto tomada en 2012.



Figura 6 Estandarización del método para el levantamiento batimétrico, foto tomada en 2012

4.6 Delimitación y caracterización de la cuenca de la Ciénega Chignahupan

Para la delimitación de la cuenca de la zona en estudio se utilizaron los parámetros establecidos por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el Instituto Nacional de Ecología (INE), y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), entidades que establecen criterios conjuntos para la delimitación de las cuencas de México siendo los siguientes criterios (Priego et al 2007).

- a) Integración, revisión y rectificación de la red hidrográfica y las curvas de nivel a escala 1:250 000 de la zona de estudio
- b) Generación del modelo digital de elevación a partir del continuo de curvas de nivel corregido y elaboración de un modelo sombreado del relieve.
- c) Complementación e incremento de la red de drenaje superficial infiriendo corrientes a partir del análisis de las curvas de nivel y el modelo sombreado, digitizando en pantalla.
- d) Identificación y trazado de las divisorias de aguas a partir de la visualización de las curvas de nivel, la hidrografía y modelos sombreados del relieve, es decir, se trazaron los parteaguas sobre las inflexiones de las curvas de nivel de máxima altura relativa, en la zona límite entre laderas de exposición opuesta separando a los diferentes sistemas hidrográficos junto con sus áreas de drenaje a través de su configuración geomorfológica (morfográfica).
- e) Posteriormente, se obtuvo el mapa final de la cuenca hidrográfica de la Ciénega Chignahupan, implementada bajo un ambiente de SIG, lo que permitió paralelamente la generación de una tabla de atributos que contiene las propiedades básicas de la cuenca

Para realizar lo anterior se efectuó la suma del método propuesto por Priego et al (2007), Sione et al., (2004) y Gerarldi y colaboradores 2010, para obtener un Modelo Digital del Terreno (DEM), creando una Red de Triangulación Irregular (TIN) con los datos de

las curvas de nivel. Un TIN representa una estructura de datos vectoriales utilizada para almacenar y desplegar un modelo de superficie. Este divide una superficie topográfica en un grupo de triángulos contiguos no superpuestos.

Los puntos de muestras forman vértices triangulares o nodos y los valores de elevación de estos nodos son interpolados para crear una superficie continua. Los triángulos son construidos de acuerdo con una técnica matemática denominada Triangulación Delaunay, la cual garantiza que un círculo dibujado a través de nodos de cualquier triángulo no contendrá ningún otro punto ingresado. Se aplicó el modelo «Hydrologic Modeling» (HM) de Arc Gis, que determinó la dirección de las corrientes. Este modelo trabaja con la topografía de la cuenca, simulando escurrimientos superficiales. Consiste en determinar todas las celdas que drenan a una en particular. Se evalúa el recorrido del flujo para cada celda a partir de la malla de direcciones de flujo. De esta manera, aquellas celdas que tengan mayor acumulación del flujo serán las que forman los canales de drenaje (Sione et al., 2004 y Gerarldi et al 2010).

Para las características morfológicas de la cuenca se utilizaron y modificaron las técnicas sugeridas por [110] [111] [49] para la obtención del área de la cuenca (A) trazándose normalmente mediante fotointerpretación de fotografía aéreas en las que se aprecia el relieve (y por lo tanto las divisorias de aguas) o sobre un mapa topográfico en función las curvas de nivel representadas; el perímetro de la cuenca, (P); la longitud (L) el ancho (W) que se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L); se designa por la letra W de forma que para obtenerlo se realizó la siguiente ecuación.

Ecuación 1.

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde A: Superficie de la cuenca en km² y L: longitud de la cuenca en km

Coeficiente de Gravelius (Cg)

Se estima por la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca (longitud que abarca desde la salida hasta el punto topográficamente más alejado de ésta) se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 2.

$$Cg = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde Cg= coeficiente de Graveluis

P=perímetro de la cuenca en km

A=superficie de la cuenca en km²

La distribución de la temperatura y la morfología determina la distribución de los minerales disueltos, disponibles y no disponibles, los nutrientes y organismos. La forma de los márgenes es resultado de su formación, por ejemplo los cuerpos de agua con forma de u o v o bien márgenes muy pendientes se han formado por fuerzas tectónicas, y las aguas superficiales someras tienden a tener un mayor contacto con la columna de agua lo que las hace mucho más productivas (intermedias a altas), ((Robert, 1981)). Para determinar las características morfológicas de la cuenca y la Ciénega de Chignahupan se utilizaron los siguientes criterios (tabla 4).

Tabla 4 Descripción de las características morfológicas de la cuenca, Tomado y modificado de (Wetzel & Likens, 2000) (Robert, 1981) (Ramon, 1983).

Características morfológica	Descripción y formula (en su caso)
Área (A)	También conocida como extensión superficial es el área que el polígono del cuerpo de agua (l * l * l * ln)
Perímetro (P)	Es la línea de intersección de la tierra con el agua (es el rededor del cuerpo de agua es decir la suma de todos sus lados)
Longitud (L)	Es la distancia en línea recta de los dos puntos más distantes de las orillas del lago, es decir la longitud máximadel agua con la que interactúa el viento.
Profundidad máxima	La profundidad mayor del cuerpo de agua
Profundidad mínima	Lo más somero del cuerpo de agua
Profundidad relativa	Es la profundidad máxima expresada como porcentaje del diámetro medio y la mayoría de los cuerpos de agua tiene una profundidad relativa menor al 2% cuando son someros y grandes y cuando son profundos y de superficie pequeña poseen uno mayor a 4% $z_r = \frac{50z_r\sqrt{\pi}}{\sqrt{A_0}}$
Desarrollo del perímetro	Es el cociente entre el perímetro del lago (L) y el perímetro de una circunferencia de la misma área Los lagos circulares como los de los cráteres volcánicos el valor del desarrollo del perímetro se aproxima a 1 sin embargo cuando el cuerpo de agua se desvía del circulo teniendo una forma subcircula o elíptica los valores de este parámetro se aproximan al valor de 2, y entre más alargada sea la forma del cuerpo de agua más alto será este valor. $D_L = \frac{L}{2\sqrt{\pi A_0}}$
Amplitud máxima	Corresponde a la distancia máxima entre las orillas del lago, en el ángulo recto con la línea de longitud al área dividida por la longitud máxima $b = A/l$

4.7 . Integración de la base de datos

4.7.1 Digitalización de datos

Los datos alimentaron una base de datos, ya que después del registro de los de puntos de muestreo, estos se transfirieron del GPS al software oziexplorer, a través de su procesamiento se obtuvieron los gpswaypoints, transformándolos en puntos de

extensión shp y klm, para después ser usados en el programa ARCGIS 9.3. Las coordenadas XY se digitalizaron, obteniendo la distribución de los puntos de muestreo y la ruta de las embarcaciones en la proyección UTM, NAD 27 para la zona 14 norte como sistema coordinado (Alvarado & Aguilar, 2009). El alcance de los puntos y la validación del muestreo, se realizó a través de buffer de 20, 50 y 100 metros en el programa ArcView 9.3. ((Alvarado & Aguilar, 2009; Ensign et al., 2004)).

4.7.2 Elaboración de la cartografía

Los puntos digitalizados se abrieron en el software ArcView, para luego transformarlos en un archivo de fichero de formas o shapefiles (*.shp), lo que nos permitió realizar el mapa de isolíneas. Previo se realizó un análisis de alcance de los puntos, es decir que tan representativo fue el muestreo y si los puntos obtenidos eran suficientes para realizar un mapa batimétrico o si era necesario muestrear nuevamente para obtener una mayor cantidad de puntos, esto se llevó a cabo a través de buffer de 20, 50 y 100 metros en el programa ArcView 9.3.

Siguiendo a (Alvarado & Aguilar, 2009), con los archivos en ficheros de forma (shapefiles) se realizó un polígono tomando como borde los puntos de control que se adhirieron a los puntos del levantamiento y coincidieran con el borde del área natural protegida, así se delimitó la ciénega en estudio. A partir de lo anterior se creó la imagen tridimensional vectorial tipo red vectorial (TIN por sus siglas en inglés), para lo cual se utilizó la extensión análisis tridimensional (3d analysis) de ArcView y crear la imagen TIN con las profundidades obtenidas del muestreo y los contornos (isobatas) cada diez metros de distancia, posteriormente se cortaron de acuerdo al área establecida por la CONANP, para lo que se utilizó la extensión herramientas de análisis (analysis Tool) de tal manera que sólo quedaron las isobatas correspondientes al área de estudio (Alvarado & Aguilar, 2009; Ensign et al., 2004).

A través de la estandarización, registro y ordenación de los datos se obtuvo la caracterización de la ciénaga y el levantamiento de muestreo con información específica de latitud, longitud, profundidad, presión absoluta, velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente, presión relativa, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, salinidad, turbidez y temperatura, dando un total de 5,080 datos para su análisis. El análisis de los datos obtenidos, la interpolación con las cotas altitudinales y demás procesos topográficos, permitieron la elaboración de cartografía.

4.8 Análisis de correlación y asociaciones principales

El análisis de los parámetros del muestreo se realizó con una T², que consiste es un tratamiento estadístico multivariado que permitió procesar en conjunto y por separado los parámetros considerados, para este fin se utilizaron los programas stata 8.0, y spss 20. Se agruparon los parámetros en dos niveles de análisis, a los que hemos denominado de primer orden y segundo orden; para ello se elaboraron figuras por cada uno de los parámetros, lo que facilitó el análisis de los resultados.

- Asociación de primer orden: profundidad, pH, oxígeno disuelto.
- Asociación de segundo orden: Profundidad, temperatura, salinidad, conductividad eléctrica y turbidez.

4.9 Muestreo de vegetación y sedimentos

Se realizó un segundo muestreo en 2013, en el cual se seleccionaron 30 puntos al azar de acuerdo con Krebs, 2000, que se distribuyeron en la unidad de aprovechamiento cinegético, de la siguiente manera, tres en San Nicolás Peralta, cinco en San José del Llanito, ocho en San Antonio del Llanito, siete en Amomolulco, y siete en Xajalpa; los puntos seleccionados representan el 10% de los puntos que se muestrearon en la primera etapa para la determinación de la batimetría del humedal; en dichos puntos se tomaron

nuevamente los parámetros fisicoquímicos, además se realizó un muestreo estratificado de vegetación, plantas flotantes, emergentes sumergidas.

4.9.1 Muestreo de Vegetación

Para la vegetación emergente se realizó un muestreo estratificado a través de cuadrantes de 50X50cm y para la vegetación flotante se realizó un muestreo por unidad de arrastre un cubo de 25X25X25 cm. La vegetación se analizó de acuerdo al método establecido por (J., H, O, & M, 2009) que a su vez está modificado de (Magnussen, 2004) y que sigue vigente, la modificación de este método consiste en el factor por el que se multiplica el de J., H, O, & M, 2009, es de 0.5 y el Magnussen, 2004 es de .45.

Este apartado se analiza la información reportada por treinta muestras de sedimentos y vegetación con su respectiva réplica, tomadas en un área 25X25 o de 50X50 .Las muestras se procesaron en el laboratorio, para determinar los parámetros que permitieron estimar el carbono almacenado.

La biomasa es la suma total de la materia orgánica viva de las plantas fotosintéticamente activas en una unidad de área y se expresa en términos de peso seco, masa o volumen (Pardé 1980 en Riofrío, 2007:9).

La estimación focaliza la capacidad de la vegetación para capturar carbono atmosférico y la conversión de estas áreas en fuentes de emisión de dióxido de carbono (CO₂), los cálculos se realizaron a través del método general de almacenes de carbono ((Brown, 1986))

Se pesó la biomasa en húmedo y posteriormente se puso a secar a temperatura ambiente, en el laboratorio se pesó nuevamente en seco, los datos se utilizaron para estimar el carbono almacenado con el método de (Brown, 1986).

$$CO_2 = B * F \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$F = CC * 44/12 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

En este procedimiento se consideró el peso de la biomasa seca de treinta muestras de vegetación y su réplica por metro cuadrado (B), la suma de la biomasa seca de cada muestra y su réplica se multiplicaron por un factor (F), que involucra el contenido de C (CC en proporción) en la biomasa seca y la relación entre el peso de la molécula de CO₂ (44) y el peso del átomo del C (12).

4.9.2 Muestreo de Sedimentos

En el muestreo de sedimentos se utilizó un nucleador, de 20 cm largo, por 5 cm de diámetro, obteniendo un volumen de muestra de 20 cm, las muestras se colocaron en bolsas de plástico etiquetadas con un número consecutivo, hora y fecha. De acuerdo al método propuesto por (Medina-Benavides, Calero-González, Hurtado, & Soto, 2009) (Márquez, 1997), las muestras se pesaron en húmedo, secado a temperatura ambiente, una vez secas se pesaron nuevamente, posteriormente las muestras se trasladaron al laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEMéx, en este sitio y de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT 2000(Naturales, 2002), se realizaron los análisis de Densidad Aparente (D.A), Densidad Real (D:R), pH con H₂O y pH con KCL, contenido de humedad, materia orgánica y porcentaje de carbono orgánico. Estimación del contenido de carbono en los sedimentos (COS) se calculó con base en el método aplicado por (González-Molina, Etchevers-Barra, & Hidalgo-Moreno, 2008).

El COS se calculó con la ecuación (3):

$$COS = DA * Pr * C * 1 \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde, Da es la densidad aparente (g cm⁻³), Pr es la profundidad del suelo (cm), C es el carbono orgánico del suelo (%).

Para la estimación de carbono en sedimentos los parámetros considerados en la estimación del carbono almacenado son: Profundidad en centímetros (Profcms), % Carbono Orgánico, Densidad Aparente (D.A).

a) $PR_{cm}/100cm = PR_m$. Profundidad en metros

b) 1 hectárea= 10,000 m²

c) $10000m^2 \times PR_m =$ Profundidad m³ (PRm³)

d) $PR_m^3 \times$ Densidad Aparente (DA) = t/ha

e) % CO /100

f) Operación final:

$t/ha \times \% CO/100 =$ TonCO/ha (Toneladas de carbono por hectárea)

$TonsCO/ha * 1000 =$ KgCO/ha (kilogramos de carbono por hectárea)

$KgsCO/ha/10,000 =$ KgCO/m² (kilogramos de carbono por metro cuadrado)

4.9.3 Análisis de las muestras de agua

De los 30 puntos de muestreo se eligieron cinco, uno en cada fracción ejidal que integra la unidad de aprovechamiento cinegético (San Nicolás Peralta, San José del Llanito, San Antonio del Llanito, Amomolulco y Xajalpa). El análisis de las cinco muestras fue realizado en laboratorio de calidad del agua del Centro Interamericano de Recursos del Agua. (Tabla 5). Parámetros y métodos para la determinación de las muestras de agua

Tabla 5 Parámetros y métodos para la determinación de las muestras de agua. Elaboración con base en los métodos y normas utilizados para la realización de estos análisis.

Parámetros	Método	Observaciones
Carbono orgánico total (COT)	Combustión	No hay norma que lo reglamente
Sulfatos	Método turbidimétrico	NNMX-AA-074-SCFI-1981(INDUSTRIAL, 1981)
Acidez	Método turbidimétrico	NMX-AA-036-SCFI-2001(SECRESTARÍA DE ECONOMIA, 2001)
Alcalinidad	Método turbidimétrico	NMX-AA-036-SCFI-2001(SECRESTARÍA DE ECONOMIA, 2001)
DBO ₅	Método electrométrico	NMX-AA-028-SCFI-2001(SECRETARIA DE ECONOMIA, 2001)
DQO	Método espectrofotométrico	NMX-AA-030-SCFI-2001(Secretaria de Economía, 2001b)
Fosfatos	Método espectrofotométrico	NMX-AA-029-SCFI-2001(SECRETARIA DE ECONOMÍA, 2001a)
Nitratos	HACH	No hay norma que lo reglamente
Nitritos	Método espectrofotométrico	NMX-AA-079-SCFI-2001(SECRETARÍA DE ECONOMÍA, 2001)
Nitrógeno total	HACH	No hay norma que lo reglamente

Los parámetros evaluados fueron los siguientes: Demanda química de oxígeno 5 (DQO₅), Carbono Orgánico Total (COT) usando el equipo de la marca O. I. Analytical 1020A mediante una curva de calibración con biftalato de potasio. La determinación de iones sulfato, pH, alcalinidad, acidez, fosfatos, nitratos, y nitritos se realizaron conforme a la normatividad mexicana de análisis de agua nitrógeno total (método hach), el COT se determinó por el método de combustión.

Los parámetros principales de la calidad del agua reflejan la función física y biológica del medio ambiente con el que el agua tiene interacción. Los parámetros principales

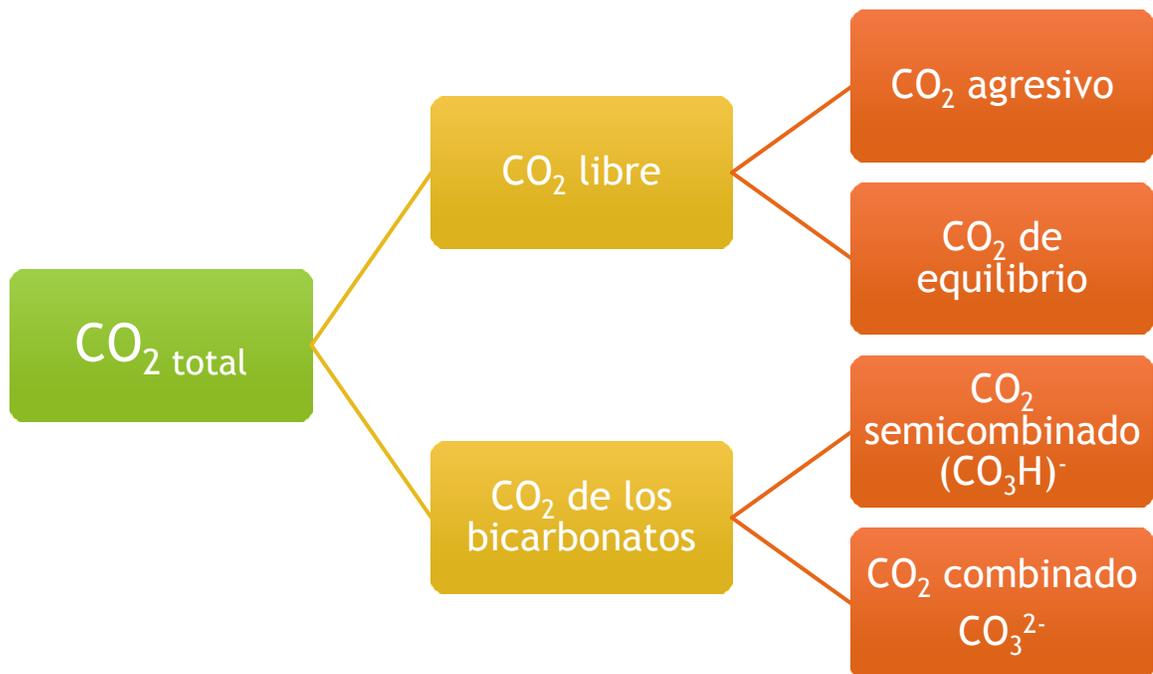
(temperatura, conductividad eléctrica, turbidez, pH, oxígeno disuelto), ((Alicia Chirinos, M, & Díaz, 2013)).

4.8.3 Metodología para determinar el CO_2 en el agua

Esta metodología es complementaria y modificada de (Trujillo, Martínez, & Flores, 2008), para su consideración es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

Asumiendo que:

- 1) La CO_2 total está repartido de la siguiente manera:



- 2) Que: $CO_{2total} = [H_2CO^3] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]$

- 3) La alcalinidad es el resultado de las especies de carbono inorgánico, y que su distribución de los carbonatos y bicarbonato, estos pueden ser calculados a partir

de las constantes de equilibrio y especiación y con la medida del pH en la solución se derivan las siguientes ecuaciones (Deutsch, 1997)

$$HCO_3^- \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\text{alcalinidad} \left(\frac{mg}{LCaCO_3} \right)}{\left(1 + \frac{2 * 10^{-10.3}}{10^{-pH}} \right) * 50} * 61$$

$$CO_3^{2-} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\text{alcalinidad} \left(\frac{mg}{LCaCO_3} \right)}{\left(2 + \frac{10^{-pH}}{10^{-10.3}} \right) * 50} * 60$$

Entonces bajo estas suposiciones podemos relacionar el ácido carbónico (acidez) con los bicarbonatos (alcalinidad) del agua, entonces a partir de su alcalinidad, acidez y el pH podemos obtener los valores de carbonatos, bicarbonatos y CO₂libre. (Alfaro, 2002; Deutsch, 1997).

CAPÍTULO 5. ENTORNO AMBIENTAL LA CIENEGA DE CHIGNAHUAPAN

(Descripción del área de estudio)



En este apartado se describe el conjunto de tierras que comparten condiciones biofísicas y climáticas, y están delimitados por la línea divisoria de aguas y dan lugar a la configuración de tres unidades territoriales: La cuenca, el curso alto, las ciénegas del Lerma y el humedal de Chignahuapan.

5.1. Sistema hidrológico del alto río Lerma

La Cuenca del Lerma-Santiago tiene una superficie de 130, 000 kilómetros cuadrados (GEM, 1993:10). Una porción de la cuenca está comprendida en territorio del Estado de México y recibe el nombre de Cuenca Alta del Río Lerma, ocupa un área de 5, 354 km² o 534, 942 hectáreas, y se localiza a los 19° 05' y 20° 05' de latitud norte y los 99° 25' y 100° 15' de longitud oeste. La cuenca en sentido amplio forma parte del sistema volcánico transversal de México, es la cuenca más alta del centro del país con una elevación de 2,570 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Es una cuenca volcano-sedimentaria circundada por edificios volcánicos, al oriente la sierra del Ajusco da principio al eje neovolcánico que se prolonga hacia el noroeste con la sierra de las Cruces, Cerro de San Miguel y Monte Alto, al sur se encuentran pequeños conos volcánicos y lomeríos; al poniente se eleva el nevado de Toluca, que tiene un área de 5 146 km² y una longitud de cause de 177 km (figura 13) ((B., 1995) (Gabriela, 2003), Arce 2009, Mooser 1969, Altas 1993, (Gratia, 2009) (Barbur, 1973)).

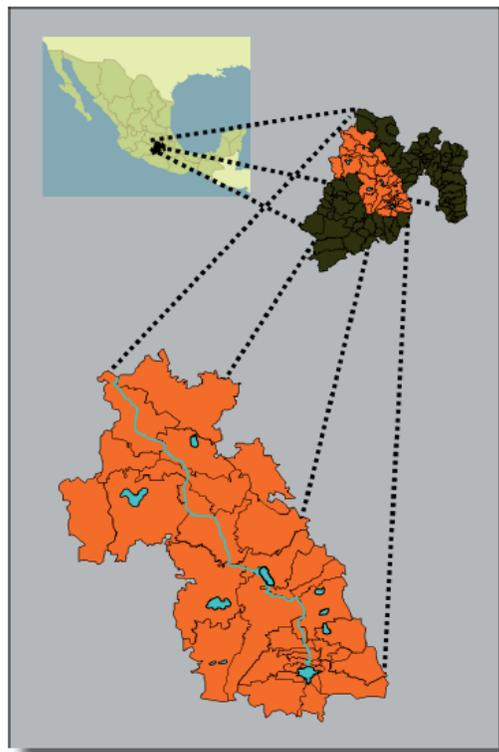


Figura 7 Localización de la Cuenca Alta del Alto Lerma (tomada de boletín de recuperación de la cuenca ecológica del río Lerma EDOMEX 2008)

El cauce del río Lerma en el territorio del Estado de México, recorre 179 kilómetros con orientación noroeste-sureste y tiene su origen en la laguna de Almoloya del Río. Su configuración está definida por un control hidrológico tectónico que divide a la cuenca en curso alto, curso medio y curso bajo. Este estudio se centra en el curso alto (12Aa), que comprende la vertiente norte de la Sierra Nahuatlaca-Matlazinca, la vertiente nororiental del Nevado de Toluca, el área comprende el altiplano más meridional de la cuenca con 2, 580 m. s. n. hasta la presa Antonio Alzate, a 9 kilómetros aguas abajo y a una altitud de 2, 570 m.s.m. termina el curso alto (GEM, 1993).

El arco continental andesítico del que forma parte se compone de grandes estratos volcánicos, (Su formación se remonta a la mitad del terciario, continuando con mayor intensidad en el pleistoceno) ((Bloomfield, 1975)), por las erupciones de los mismos comenzó a elevarse y por los plegamientos resultantes, las presiones orientales y las corrientes de lava debidas a la actividad tectónica en la Sierra Madre y en la Cordillera neo-volcánica se formó una capa de tripartita que se encuentra por encima de los suelos lacustres ((Barbur, 1973) (YamamotoYoko, 1998)). Atravesando esta planicie lacustre que se forma se encuentra el alto Lerma cuyo volumen y caudal son de tal magnitud, que el cauce se vuelve insuficiente para contenerlo inundando zonas cercanas y propiciando la formación de zonas pantanosas y niveles freáticos someros que se filtran hacia la superficie ((Javier, 1974) Ludlow Wicher 2003), Waitz 1985 determina que la cuenca del alto Lerma se formó al obstruirse el paso por el que descendía el antecesor del río Lerma, y que se fueron rellenado con aluviones y sedimentos lacustres.

En el curso alto nace el Río Lerma y sobresale por su importancia agrícola e industrial. Cuenta con 10 cuencas tributarias y 79 cuencas específicas, abarca una superficie de 209,775 hectáreas. El flujo subterráneo más importante proviene de la infiltración de la Sierra de las Cruces y circula con rumbo oeste, para desembocar en la zona cenagosa. La transmisibilidad del acuífero varían de media a alta, alcanzando 1286 a 11 X 10⁻³ m²/seg, mientras que el coeficiente de almacenamiento varía de 0.0003 a 0.0009. (Atlas 1993 Atlas Hidrológico 2011)

El factor altitudinal determina los climas templado subhúmedo con lluvias en verano C(w2)(w) y el semifrío húmedo con lluvias en verano C(E)(w2)(w). El primero presenta 5% de de lluvias en invierno; la precipitación anual supera los 800 mm, la mayor incidencia de lluvias se produce en el mes de julio con 150mm.

La temperatura media anual oscila entre los 12° y 16 °C, mayo es el mes más cálido y enero el más frío, este clima es mesotérmico, sin una variación considerable en la temperatura. La diferencia más significativa del segundo tipo de clima con el primero, es la vegetación y la altitud al que está asociado, la precipitación anual es de 800 mm y la máxima de 210mm en el mes de julio, la temperatura media anual es de 4° a 12 °C, cuando la temperatura desciende a 0°C se presentan las heladas y tienen una duración de 60 a 180 días. Altas 1993, Atlas Hidrológico 2011.

5.2. Área de protección de flora y fauna Ciénegas de Lerma

La posición geográfica e importancia económica, política, social y ecológica de las ciénegas, ha favorecido los procesos históricos y evolutivos de una manera comparable con otras zonas lacustres de la meseta central, como Chapala, Pátzcuaro y Puebla-Tlaxcala ((B., 1995)).

En los años cuarenta el río Lerma alimentaba los manantiales y grandes extensiones cenagosas poco profundas ((Sugiura Yamamoto, 2009), Lozano García). En el lago de Almoloya del Río localizado en la porción más alta, iniciaba el escalonamiento sucesivo para encausar las aguas cristalinas del río hacia las ciénegas de Lerma y San Bartolo, entonces tenían una extensión de más de treinta kilómetros en su eje longitudinal sur-norte (Javier, 1974; YamamotoYoko, 1998), Atlas Edomex1992, Atlas hidrológico 2011) y contaba por lo menos con un centenar de manantiales y nueve brotes de agua ((Javier, 1974)). La superficie original estimada en 53,415 hectáreas, manifiesta alta proporción de cambio de uso de suelo, el 56% de toda la superficie (29,946 hectáreas) lo ocupa el

uso agropecuario y urbano, 35% es de uso forestal (18,612) hectáreas, y sólo el 9% lo ocupa la zona lacustre (4.857 hectáreas), (INEGI, 2005).

La vegetación está compuesta por una riqueza florística de 97 especies de plantas vasculares incluidas en 39 familias y 65 géneros, 46% de los elementos registrados son acuáticos estrictos, 31% subacuáticos y 20% tolerantes, las familias predominantes son la *Cyperaceae*, *Asteraceae*, *Lemnaceae*, *Poaceae*, *Apiaceae* y *Polygonaceae*, presentando un índice de diversidad alta (índice de Shannon=3.2), con variaciones particulares para cada humedal ((Zepeda Gómez et al., 2012) (Zepeda-Gómez, Lot-Helgueras, Nemiga, & Madrigal-Uribe, 2012))

Presenta rasgos geomorfológicos típicos de un vaso lacustre, es plana y está compuesta por suelos aluviales y cimas de pequeños edificios volcánicos basálticos, conos cineríticos y contactos sedimentarios. Se encuentran rocas ígneas extrusivas-básicas, arenisca-toba, basalto, toba-arenisca y roca ígnea de brecha volcánica. Las tobas lacustres se presentan con estratificación horizontal y están formadas por intrusiones de capas horizontales de diferente granulometría, desde cenizas muy finas de materiales pumíticos, que forman acuíferos de gran capacidad, hasta materiales de aluvión que se observan generalmente como pequeñas franjas paralelas al cauce del río Lerma ((Isaura, 1993)).

En general el clima templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w)(w)b(i')), la temperatura mínima va de -5°C a 18° C y las máximas de 20° C y 25° C, los cuerpos de agua registran una evaporación de 1600 mm y la humedad atmosférica es menor al 40%. La precipitación media de verano, se encuentra distribuida con promedios mensuales que fluctúan entre 241.5 y 120mm. En invierno las lluvias son relativamente reducidas, clásicas de los frentes fríos que llegan del norte en esta época y sus valores oscilan entre los 20 y 40 mm. Los vientos predominantes van de sur a norte, la altitud es de 2600 msnm. El área es parte de la planicie que forma el valle de Toluca, la cual es

marcadamente plana, con un relieve escaso cuya topografía rara vez alcanza el metro (FG-Atlas 1993 y CONAMP, 2012)

La zona lacustre ocupa una parte del extremo sur de la región hidrográfica del Lerma-Santiago ((Federación, 2002)) y se localiza en las coordenadas, N 19° 06' 29" y W 99° 30' 53" en el sur y en el norte a N 19° 21' 48" y W 99° 30' 13". Actualmente está conformada por tres vasos de agua resultado del confinamiento de la primera laguna del Lerma, cuyos trabajos comenzaron a realizarse por el gobierno federal y estatal en los años 50s, y dieron origen al colector del Río Lerma ((Javier, 1974) y FG-Atlas 1993, (Falo, 1949)).

Las zonas lacustres de Chimaliapan y Chingnahuapan, presentan suelos histosol eútrico y gleysol húmico, vertisol pélico, feozem gléyico y andosol mólico; en la ciénega de Chiconahuapan, feozem gléyico y háplico, y Vertisol pélico ((Isaura, 1993)). Tienen una capacidad de almacenamiento de 62,218, 800 metro cúbicos de agua y captan al año 27,255, 227 metros cúbicos de agua de lluvia, asimismo el volumen de aguas residuales que llega al sistema lagunar es de 681,178 m³. La captación e infiltración de agua aumenta su importancia al ámbito económico y social, además funge como regulador el clima y las inundaciones (Caballero2002, Ludlow-Wiechers 2004, Metcalfe 1991). Los tres cuerpos de agua separados entre sí, están conectados por los canales artificiales del Río Lerma, ocupan en conjunto una extensión de 3,023 hectáreas y constituyen el 1.5% del curso alto (Ceballos 2003, Atlas 1993 y CONANP, 2012). Son cuerpos de agua muy someros caracterizados por la presencia abundante de vegetación acuática y subacuática, fauna endémica y migratoria, especialmente aves.

Se extiende en escalones sucesivos descendentes de sur a norte bajo los siguientes nombres, Chiconahuapan o Almoloya, Chimaliapan o Lerma y Chingnahuapan o Atarasquillo, por la altitud en la que se desarrollan, estos cuerpos de agua son comparables a los humedales andinos sudamericanos, figura 8. Las ciénegas presentan diferentes hábitats, incluyendo zonas de aguas profundas, zonas con vegetación

emergida, zonas de vegetación inundada y zonas de vegetación rarápía, consolidándolas como sitios de gran biodiversidad que mantienen una alta cantidad de fauna y flora acuáticas y terrestres, incluyendo decenas de especies endémicas y en riesgo de extinción. (Pérez Ortiz 2005, (RAMSAR, 2011), Colon Quezada 2009 (Zepeda Gómez et al., 2012)).

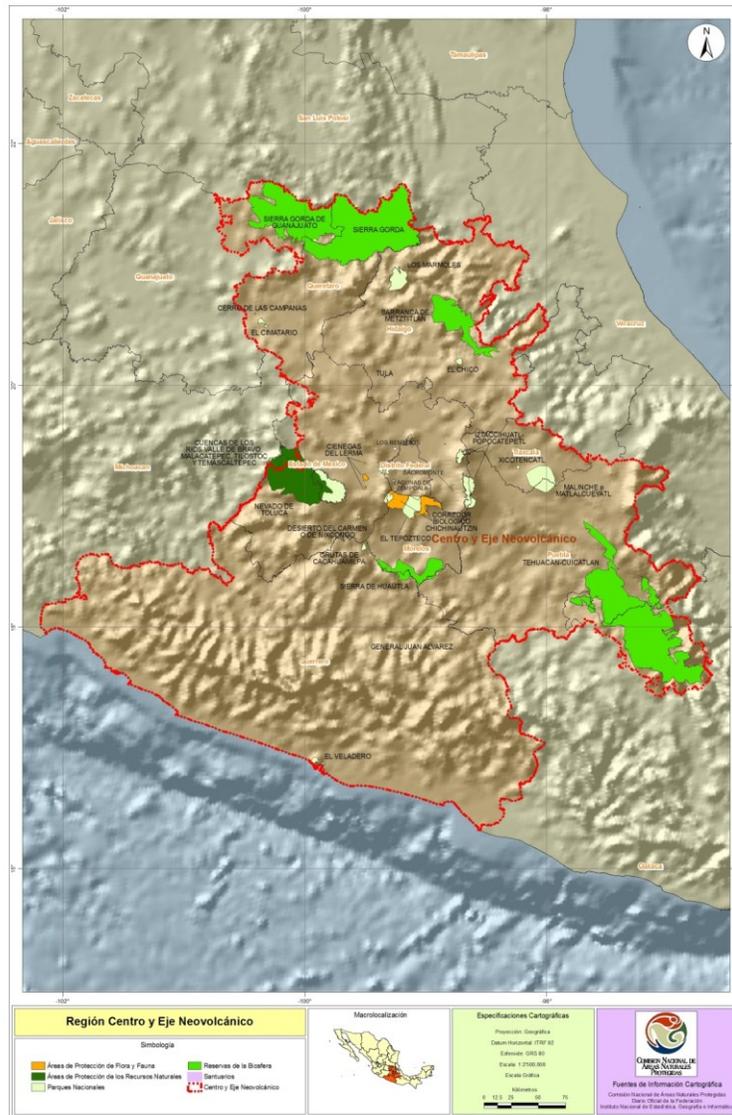


Figura 8 Ciénegas de Lerma (CONANP, 2012)

La explotación y conocimiento científico de las ciénegas de Lerma, no fue considerado hasta que surge la necesidad de abastecer de agua al valle de México, lo que llevó a

plantear su desecación en los años 1942 y 1951, y más tarde, en el año 2002 se comenzó a plantear lo relativo a su significado histórico, ecológico y social ((B., 1995)).

En el año 2002, las ciénegas se declaran área natural protegida, en el estatus de área de protección de flora y fauna, y en bajo la jurisdicción de siete municipios, Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Calpulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac. ((Federación, 2002)). El área natural protegida se integró por tres polígonos: Polígono Uno con una superficie de 596 hectáreas, Polígono Dos con una superficie de 2,081 hectáreas y Polígono Tres con una superficie de 346 hectáreas ((Federación, 2002)).

La joven ANP está considerada como los humedales remanentes más extensos del país y en el año 2004, a partir de su incorporación a la convención internacional de humedales (RAMSAR), como uno de los 25 humedales de importancia para México. La ficha 1335, establece que las ciénegas del Lerma son un ejemplo representativo de los ecosistemas del neovolcánico. Su función principal es conservar y proteger la biodiversidad, especialmente especies de flora y fauna categorizadas como endémicas, en peligro de extinción o migratorias. Otra de sus funciones tiene que ver con el amortiguamiento de las oscilaciones bruscas de temperatura y la creación de microclimas que coadyuvan a la salvaguarda de especies altamente afectadas por la destrucción de este tipo ambientes. ((RAMSAR, 2011)CONANP- 2012).

Un estudio reciente muestra que, la probada biodiversidad de las ciénegas de Lerma en un período de treinta y cinco años (1973-2008), ha sido gravemente impactada por los cambios de uso de suelo, y como consecuencia la pérdida de zonas de agua abierta y tulares, las cuales se transforman en zonas de baja inundación que favorece una flora hidrófita de menor talla y adaptada a los disturbios, que posteriormente es sustituida por campos de cultivo y eventualmente por espacios urbanos 48, lo que asociado a La extracción de elevados volúmenes de agua del acuífero ((Zepeda Gómez et al., 2012)), que entre otros procesos geomorfológicos micro locales, ocasionan la reducción

progresiva del área inundada. Se advierte sobre la importancia de la permanencia de la ciénegas del Lerma para mantener la diversidad regional y los servicios ambientales que éstas y su vegetación ofrecen; como la recarga de mantos freáticos, el reciclamiento de nutrientes, la retención de metales pesados y el control de inundaciones. Concluyen que cada vez será más difícil mantener la estructura y los procesos naturales de los ecosistemas acuáticos, si el deterioro progresivo continúa manteniendo un paisaje seco, dominado principalmente por campos de cultivo y zonas urbanas.

Estas condiciones exhiben un escenario poco alentador, que se caracteriza por el incesante crecimiento de la población, la pérdida progresiva de vegetación acuática y subacuática, la fragmentación del hábitat de múltiples aves migratorias y la pauperización de modos de vida precarios, que aprovechan la estacionalidad de los recursos aportados por las ciénegas para complementar sus necesidades básicas, a través de la pesca y la recolección.

5.3. Morfología de cuenca del humedal de Chignahuapan

La subcuenca que alberga el humedal de Chignahuapa, ocupa un área de 40,588.476m², ochenta y cinco corrientes intermitentes y un patrón de drenaje dendrítico, que deriva de la variedad de rocas que afloran en la región, sedimentos sueltos; arena, limo, arcilla y areniscas de grano grueso de alta permeabilidad, y la presencia de fallas y fracturas que generan variación de la pendiente, provocando cambios abruptos en la dirección y patrón de las corrientes ((Cristina Pintor Ruano et al., 2009)García et al, 2008:167), y define el poder erosivo de los escurrimientos.

La cuenca hidrográfica, es considerada como un sistema complejo integrado por cuatro subsistemas 1) Biológico, que integran esencialmente la flora y la fauna, y los elementos cultivados por el hombre, 2) Físico, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radiación, evaporación entre otros), 3) Económico,

integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria, servicios (camino, carreteras, energía, asentamientos y ciudades) y 4) Social, integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda, culturales, organizacionales, políticos, y legal. (Maas, 2005, García-Cheria, y WV 2005).

El origen de una cuenca está en la serie de procesos que van de lo natural a lo antropogénico, le son inherentes tres elementos principales: a) las fuerzas ambientales (movimientos tectónicos, actividad volcánica, lluvias, etc.), b) morfología del terreno (que tan acuchado está), y c) el agua (de dónde y cómo proviene el agua). Específicamente para la microcuenca de Chignahuapan, debemos considerar que pertenece a la cuenca alta del Lerma y su origen es volcánico, el vulcanismo en el mioceno y en el pleistoceno cambiaron la red de drenaje del Lerma, creando microcuencas que alimentan a la gran cuenca Lerma-Santiago. ((Barbur, 1973; Likens, 2010)

La caracterización geomorfológica ambiental de una cuenca fluvial se determina en primera instancia por su conocimiento morfométrico. Este último es uno de los aspectos más influyentes en la ecología acuática, dado que muchos indicadores, composición fisicoquímica, sedimentación dependen de la forma de la cuenca. La morfometría sirve, además, para hallar parámetros que caractericen un ambiente geomorfológico y que sean susceptibles de un tratamiento estadístico que permita disminuir la subjetividad en las conclusiones (Doffo y Bonorino, 2005).

5.4. Humedal de Chignahuapan, municipio de Lerma

El humedal en estudio se localiza a los 19° 20' 24'' y 19° 21' 28'' de latitud norte y 99° 29' 26'' y 99° 31' 08'' de longitud oeste, es un vaso natural formado a partir de la desecación de la cuarta laguna de Lerma y la construcción del sistema hidráulico Cutzamala, este sistema dispone de veintinueve acueductos y ochenta y seis canales en

el área de estudio. Chignahuapan tiene una superficie de 346.61 hectáreas y conforma el tercer polígono del Área Natural Protegida de Flora y Fauna Ciénegas de Lerma ((Federación, 2002), Arteaga 2002, (Falo, 1949)), su capacidad de almacenamiento es de 6 millones 932 mil m³, este cuerpo lacustre en el pasado recibía agua únicamente de la infiltración de la sierra de las cruces y la escorrentía de los conos volcánicos cercanos, actualmente por problemas hidráulicos (destrucción del bordo de la margen derecha) y la nula pendiente, el arroyo el Jilguero vierte sus aguas al vaso de la ciénega. (Pérez Ortiz 2005, (RAMSAR, 2011) Decreto y Manejo Estadísticas del Agua EMA 2011).

Los componentes territoriales destacan el curso del río Lerma hasta la presa Antonio Alzate, las tierras desecadas de la antigua laguna de Lerma y la laguna de Chignahuapan o de San Bartolo Atarasquillo (Fig. 9).

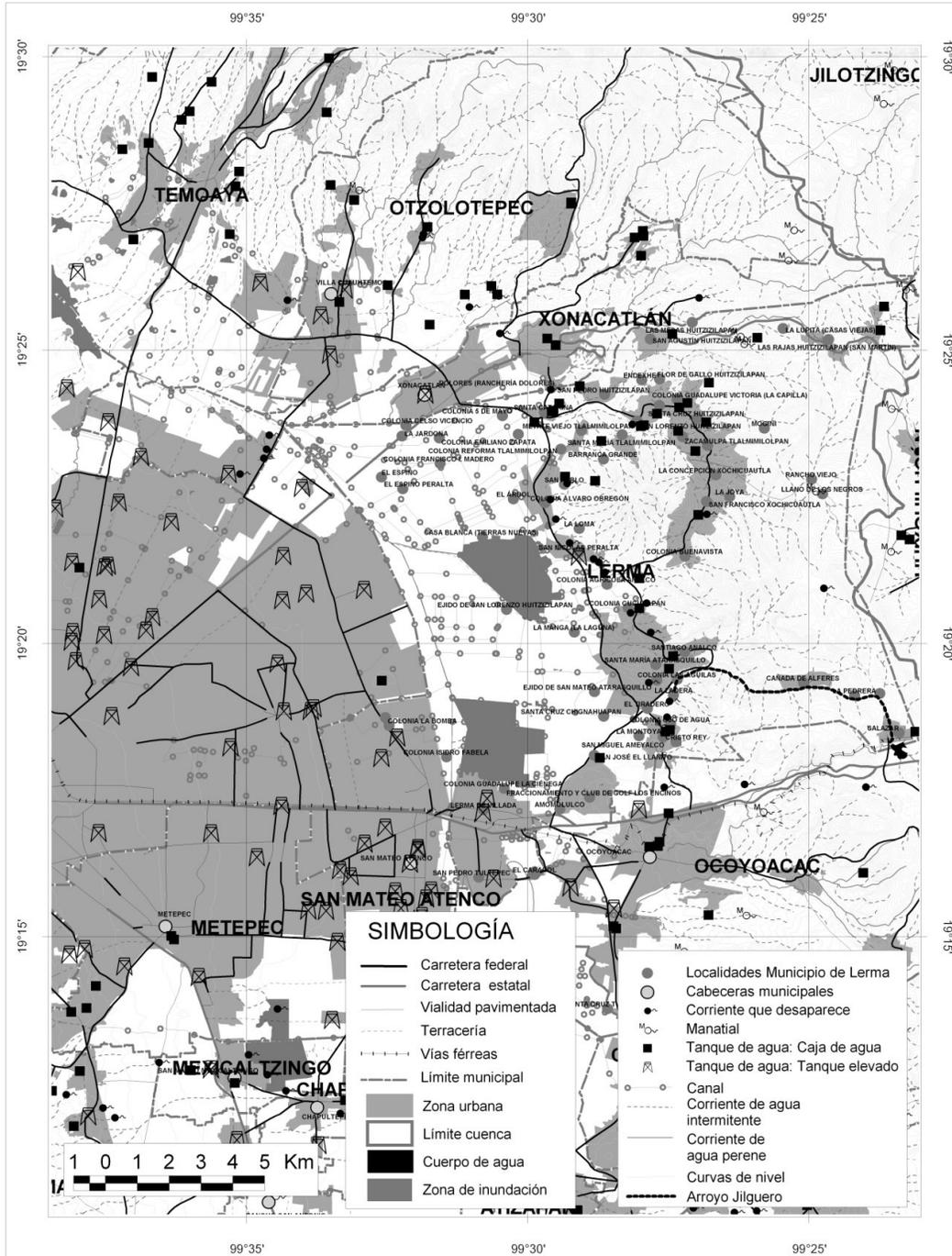


Figura 9 Confinamiento territorial del humedal de Chignahuapan; fuente Orozco-Hernández. Et al 2012.

La morfología conforma un escalonamiento que inicia al oriente en la Sierra de las Cruces a los 2800-3410msnm y pendientes de 30° y 100°, la cubierta de bosques de

coníferas en su asociación con el material volcánico fracturado, regula la alimentación de los mantos acuíferos y los manantiales del Calvario, Amomolulco, Alta Empresa y Ameyalco).

En la sierra de las Cruces se intercalan derrames lávicos de andesitas y dacitas, con afinidad calcialcalina y fracturamiento, y depósitos piroclásticos (cenizas, lapilli, tobas, flujos de bloques y cenizas con distinto grado de consolidación) (Vázquez y Jaimes, 1989) son el origen de los manantiales. La planicie compuesta por suelos aluviales que se disponen en pequeñas franjas paralelas al cauce del río Lerma y tobas lacustres formadas por intrusiones de capas horizontales de diferente granulometría, cenizas muy finas de materiales pumíticos, forman acuíferos de gran capacidad ((Isaura, 1993)).

Destaca la densificación de los crecimientos urbanos de borde, los asentamientos irregulares en el bosque², vulnerables a la eventualidad de los deslaves, remoción de suelo y rocas, la deforestación, los incendios forestales y la degradación ocasionada por la extracción de leña para consumo o venta en las comunidades serranas. Los lomeríos y pie de monte con altitudes de 2500-2800 msnmm y pendiente de 10°-25°, exhiben la densificación urbana en las localidades de San Mateo Atarasquillo, Santa María, Metate Viejo, San Nicolás Peralta, en la planicie con pendiente de 0° a 6° dominan los suelos arcillosos, ricos en materia orgánica, drenaje lento, vegetación de tular, la siembra de maíz y pastoreo libre (Orozco, Flores Salgado y Míreles, 2012).

Esta el año 1993, Chignahuapan no aparecía en los mapas tal como se encuentra ahora, lo que existía era un cuerpo de agua llamado puentecillas y se encontraban cuatro pozos de extracción cercanos a lo que actualmente es el lago. El uso de suelo en los alrededores es agrícola, y los suelos feozem en la parte NW, propensos a problemas de inundación y vegetación de pastizales y tulares, los suelos son utilizados para la agricultura, de granos, hortalizas y legumbres, los vertisoles en la parte NE, son suelos arcillosos negros o grises, producto del acarreo de materiales desde lo alto de las

²Cañada de Alférez, San Francisco Xochicuautla, Santiago Analco, Las Rajas Huitzizilapan y Zacamulpa.

montañas y son pegajosos en tiempo de lluvias, y en el estiaje son secos y duros (Figura 10).



Figura 10 Ubicación de la Ciénega de Chignahuapan; Fuente Fotografías tomadas de Google earth 2012

No obstante que la complejidad ambiental del medio lacustre se caracteriza por una marcada estacionalidad, baja productividad, madurez ecosistémica y alta diversidad de recursos bióticos ((YamamotoYoko, 1998)), poca profundidad (1-2m.), aguas levemente alcalinas (pH -8 a 8.5) y turbias (disco de Sechi -0.2 m) y abundante vegetación acuática y subacuática (Lozano et al, 2009: 47-50-53), se han identificado tres microambientes, las zonas de agua corriente (manantiales, ríos y arroyos); zonas de agua con poca corriente, someras y zonas profundas, estas últimas ocupan la mayor extensión y se dividen en áreas de vegetación emergente, vegetación flotante y vegetación mixta ((YamamotoYoko, 1998)).

Los primeros análisis químicos y bacteriológicos determinaron la excelente la calidad del agua que alimentaba las ciénagas del Lerma, los manantiales producían doce metros cúbicos por segundo, la temperatura variaba de 14 a 16 grados, las aguas suaves

presentaban un pH de 5 a 7.2, carente de materia orgánica y nula presencia de nitritos y nitratos, con 9 mg/l de cloruros de sodio, y 26 mg/l de carbonatos de calcio (Falo, 1949)

La relación de los parámetros de pH, nutrientes, profundidad y presencia de vegetación, identifica el pantano de aguas someras ligeramente alcalinas, alta concentración de nutrimentos y colonización de especies que habitan sobre el sedimento (bentónicas); el estanque presenta niveles de agua intermedios entre un pantano y un lago, prevalecen las aguas dulces, neutras (pH=7) y abundante vegetación acuática, dominan las especies de hábito epífita sobre un sustrato, que tienen afinidad por ambientes neutral a levemente alcalino; en el lago que representa los niveles lacustres más profundos, dominan las especies que habitan sobre un sustrato que pasan al plancton por turbulencia y afinidad por ambientes neutrales (pH 7), (Lozano et al, 2009).

La vegetación del humedal Chignahuapan presenta el mayor número de especies registradas, destacan cuatro grupos florísticos, que difieren de las demás ciénagas, el conjunto uno conformado por *Myriophyllum heterophyllum*, el conjunto dos está formado por *Typha latifolia*, *Schoenoplectus californicus*, *Paspalum distichum*, *Hydrocotyle ranunculoides* y *Ludwigia peploides*, y la asociación tres está formada por *Hydromystria laevigata*, *Jaegeria bellidiflora*, *Nymphoides fallax*, *Myriophyllum aquaticum*, *Eleocharis densa*, *Potamogeton illinoensis*, *Lilaeposis schaffneriana*, *Polygonum punctatum*, *Polygonum hydropiperoides* y *Potamogeton nodosus*, siendo *Ludwigia peploides* y *Myriophyllum heterophyllum*. El 60% de las especies son acuáticas, 37% semi-acuáticas y 3% son tolerantes. Presenta una riqueza de 29 especies, un índice de Shannon (H') de 2.92 y un índice de Fisher de 7.3 (Zepeda et al, 2012)

El humedal tiene gran importancia para los organismos terrestres, se identifican zonas de anidación y residencia, principalmente de aves nativas y migratorias, tales como el pato mexicano (*Anas diazi*), la mascarita transvolcanica (*Geothlypis speciosa*), la polla de agua (*Coturnicops noveboracensis*), (Colon 2008)

Anfibios como el ajolote de Lerma (*Ambystoma lermaensis*), y peces como la *Algansea barbata* (Méndez Sánchez, 2000). A pesar de que existen algunos estudios sobre la fauna de la ciénega en el plan maestro para la restauración de la de la cuenca alta del Lerma declaran la falta de conocimiento sobre la temática. A pesar de lo anterior los estudios se enfocan principalmente a las aves migratorias y las endémicas por su abundancia.

La mayor riqueza y diversidad de especies de aves está representadas por las aves que predominan en las áreas con vegetación acuática nativa (sumergida, flotante y enraizada), combinada con áreas de espejo de agua libre y zonas someras. Por otro lado, la cacería, principalmente de patos, palomas y aves de ribera, tanto de subsistencia como deportiva es una actividad también común. Al menos el 7.3% de las aves registradas (32 de 458) son utilizadas tanto por cazadores organizados en clubes registrados ante las autoridades como para subsistencia por campesinos independientes, en este grupo se incluyen principalmente patos, palomas y aves de ribera.

A la fecha la ciénega en estudio regula la infiltración de agua hacia el acuífero de Toluca y las inundaciones cíclicas, sin embargo la desecación progresiva ocasiona que la población de bajos ingresos a través de la compra-venta adquiera terrenos baratos expuestos a las inundaciones periódicas y los hundimientos, lo que aunado a la escasa pendiente del arroyo el Jilguero favorece el vertido de las aguas residuales conducidas por colectores en mal estado y sin tratamiento alguno³.

³ En la Ciénega de Chignahuapan se construyó un tramo de autopista a escasos metros de los humedales, algo que contradice la legislación vigente, y fue una de las acciones que propició la creación del “Frente de Pueblos Indígenas en Defensa de la Madre Tierra”, quienes en parte mantienen detenido el proyecto de la autopista Santa Fe (Naucalpan)- Aeropuerto de Toluca (<http://ret.org.mx/2012/11/las-cienegas-de-lerma-un-tesoro-casi-secreto-de-mexico-en-riesgo-de-desaparecer/>).

La distribución de las comunidades ribereñas, identifica cuatro de origen agrario (San Nicolás Peralta, Amomolulco, San José el Llanito y el Ejido de San Mateo Atarasquillo) y tres asentamientos en los terrenos desecados: La Colonia Guadalupe la Ciénega, Santa Cruz Chignahuapan y la Manga (la laguna), la tasa de crecimiento de la población en diez años, ratifica el aumento demográfico como un fenómeno desmesurado que rebasa la provisión de los servicios.

El manejo de la interface tierra-agua destaca la quema inducida en el tular al final de la época seca del año y la ruptura de los bordos para que escape el agua hacia los drenes o hacia las áreas de cultivo, estas prácticas aceleran la desecación. En el borde noroeste del cuerpo lacustre, las tierras de cultivo están expuestas las inundaciones y crecen los pastizales y tulares, al noreste en suelos producto del acarreo de sedimentos, los pobladores cultivan maíz con problemas de laboreo y rendimientos bajos, también practican el pastoreo libre de ganado vacuno y ovino, el circuito de subsistencia se completa con la venta eventual de los productos en el mercado local. Los grupos sociales de bajos ingresos aprovechan los recursos acuáticos de acuerdo a un calendario estacional, en la temporada de lluvias se intensifica la pesca y la recolección, que se prolonga al otoño, y en la temporada seca prevalece la caza de aves migratorias. Algunas opiniones señalan que la cacería furtiva se realiza todo el año e intensifica el periodo permitido y algunas especies amenazadas son aprovechadas en cantidades alarmantes.

El mundo aparte está representado por el aprovechamiento cinegético, en teoría la estrategia es coadyuvante del desarrollo comunitario a través de la cacería controlada de aves acuáticas (patos de especies residentes y migratorias: cercetas, gallaretas y agachonas), y no obstante que solo los ejidos de San Nicolás Peralta, Amomolulco y San Antonio de los Llanitos recibieron tierras cenagosas de la antigua laguna de Lerma y son los beneficiarios directos de los permisos para el aprovechamiento, los ejidos de San José del Llanito y Jajalpa hicieron valer sus derechos de poseionarios para gozar de

esta prerrogativa, es así como se crean cinco unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMAs).

Prevalece la propiedad pública (65.18%), seguida por la social (19.16%) y 15.69% desincorporada por decreto de amparo y persisten los litigios por el uso de la laguna. Las tasas de aprovechamiento cinegético las autoriza la Dirección General de Vida Silvestre y la temporada de cacería se realiza los domingos a partir del primer fin de semana de noviembre al primer domingo de marzo.

La distancia entre el los núcleos ejidales beneficiados y las unidades de aprovechamiento cinegético ocasiona que los ejidatarios no operen directamente las Unidades de Manejo Ambiental, durante diez años los propietarios rentaron los derechos a los intermediarios por un monto determinado que cubre toda la temporada de caza. El intermediario organiza las actividades cinegéticas por mediación de un prestador de servicios quien funge como corresponsable y cuyo salario lo paga el arrendatario, la cacería genera altas tasas ganancias que se concentran en grupos en conflicto y la distribución de los beneficios no es equitativa, ante la situación, los propietarios recientemente se organizaron en unión de ejidos para recuperar la explotación de la unidades de manejo cinegético (Orozco- Hernández, 2012).

CAPÍTULO 6. HUMEDAL DE CHIGNAHUAPAN ¿FUENTE O SUMIDERO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO?



En este apartado se analizan los resultados de la medición y tratamiento de las muestras de agua, los principales parámetros son: profundidad, temperatura, pH, turbidez, conductividad en y carbono orgánico en los sedimentos aportados por las tierras aledañas, y se determina la función que desempeña el humedal de Chignahuapan en la emisión y captura de gases de efecto invernadero.

Las ciénagas son ecosistemas de transición que desempeñan la función de interface entre los ambientes terrestre y acuático ((Mitsch William J & G.)), los procesos biogeoquímicos les dotan de alta productividad y funciones de provisión de servicios ambientales, entre ellos la regulación de los elementos soporte de la diversidad, el dióxido de carbono y oxígeno, los ciclos de estos elementos remiten a la influencia que tienen en la captura y emisión de carbono a nivel global y local ((Reddy & DeLaune, 2008)). El ciclo de carbono comienza con la incorporación de la materia orgánica que proviene de los sedimentos aportados por los ecosistemas terrestres, la vegetación natural y la descarga de aguas residuales.

El enriquecimiento por adición de nutrientes define el estado ambiental de los sistemas acuáticos, en la medida que éstos sistemas transitan de un estado oligotrófico, mesotrófico y eutrófico, el incremento de la concentración de nutrientes estará en relación directa con la perturbación y alteración ecológica del sistema ((Goyenola, 2007)), y la captura y emisión de gases de efecto invernadero. En este proceso la disponibilidad de oxígeno determinará el modo de descomposición de la materia orgánica, en presencia de oxígeno se descompone en ácido carbónico, carbonatos y bicarbonatos, y en ausencia de oxígeno seguirá la ruta metanogénica ((Wetzel & Likens, 2000) (L & R., 2009)).

6.1 Delimitación de la cuenca

La cuenca cuenta con 29 acueductos, 86 canales y 85 corrientes intermitentes, los cuales presentan una red de drenaje detrítico de acuerdo con la disposición de sus cauces, recalando que se encuentra en un terreno más o menos homogéneo y cercano a la planicie o plano. A continuación se muestra el mapa que ilustra la cuenca de la Ciénega de Chignahuapan (Mapa 1).

La geomorfología de la cuenca refleja los acontecimientos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el cuerpo de agua, y juegan un papel muy importante en el control del metabolismo del lago, teniendo en cuenta las características climatológicas de su localización. La temperatura y la estratificación, están directamente relacionados con la morfología y el volumen del cuerpo de agua.

6.2 Configuración batimétrica

La morfometría del cuerpo de agua Humedal Chignahupan, muestra que la superficie cubierta por agua y vegetación, presentan una proporción de 46.6% y % 53.38 de la superficie total estimada en la cartografía (tabla 7). El perímetro, la longitud y la amplitud, confirma su tamaño menor en comparación con los otros dos humedales que constituyen las Ciénega de Lerma.

Tabla 7 Características morfológicas del humedal de Chignahupan

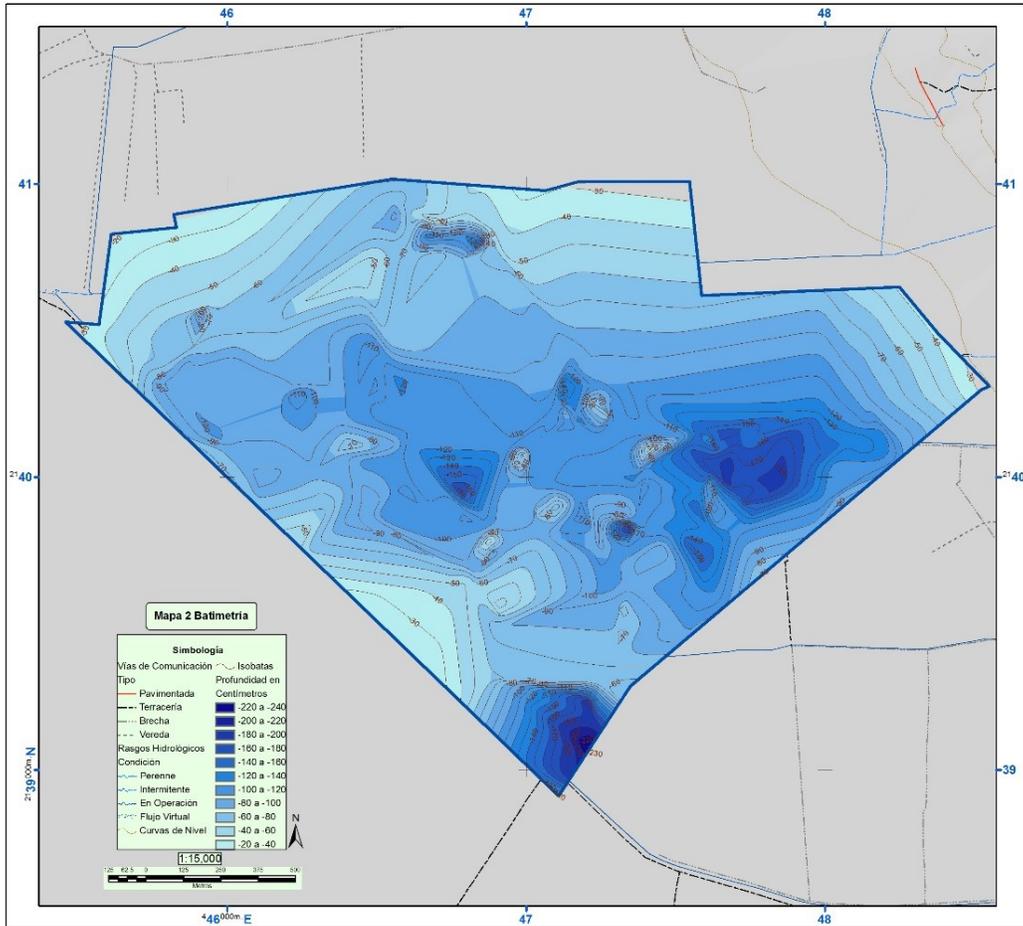
Característica	Valor
Área (A) km ²	4.5275
Perímetro (P) km	8.272388
Longitud (L) km	2.9811
Ancho (W) km	1.5187347
Coefficiente de Gravelius (Cg)	0.5154274
Área cubierta de Vegetación km ²	23.649
Área que ocupa el Agua en km ²	2.110415
Profundidad máxima m	2.46
Profundidad mínima m	0.33
Profundidad relativa m	218.0118237
Desarrollo del perímetro km	0.515427404
Amplitud máxima km	1.518734695

Los valores de profundidad obtenidos a través de 15 isobatas a 10 metros de distancia, reportó la profundidad mínima en 33 centímetros, la media 92.5 y la profunda en un canal artificial (2.46 metros) que conduce a la zona de aprovechamiento cinegético y se detectaron las 8 entradas de drenaje externo y el acueducto del Sistema hidráulico Cutzamala que atraviesa una parte del humedal. El muestreo y la exploración batimétrica se realizaron en marzo de 2012. Los resultados reportan, 328 puntos en las cinco unidades de aprovechamiento cinegético, 105 en San Nicolás, 91 en San Antonio el Llano, 50 en San José del Llano y 82 en Xajalpa y Amomolulco, la profundidad (tabla8).

Tabla 8 Distribución de puntos muestreo y sus atributos en las UMAS, levantamiento de campo 2012

Ejido	Coordenadas	Número de puntos de muestreo	Profundidad mínima (cm)	Profundidad máxima (cm)	Profundidad media (cm)
San Nicolás	445700 a 448696 214041 a 2139698	105	33	190	118.84
San Antonio el Llano	445700 a 447381 2140347 a 2140606	91	52.0	122	89.63
San Jose del Llano	445700 a 447381	50	122	171	146.5
Xajalpa y Amomolulco	2140347 a 2140606	82	45	246	109
Ciénega de Chignahupan	445700 a 447381	328	33	246	103.41

La morfología muestra que prevalece el pantano de poca profundidad (palustre) y cuatro espejos de agua. En el mapa 2 se aprecian los lugares menos profundos en color azul muy claro y los azules más fuertes son los más profundos, las líneas son las isobatas resultantes y se encuentran a 10m de distancia, la escala de salida es 1:15,000.



Mapa 2 Batimetría del humedal de Chignahupan, elaboración propia, resultados del primer muestreo de campo

Batimetría de la Ciénega de Lerma, a escala 1cm=15 000 m las zonificación es de azul claro lo menos profundo y lo más oscuro es lo más profundo (ver anexo 5).

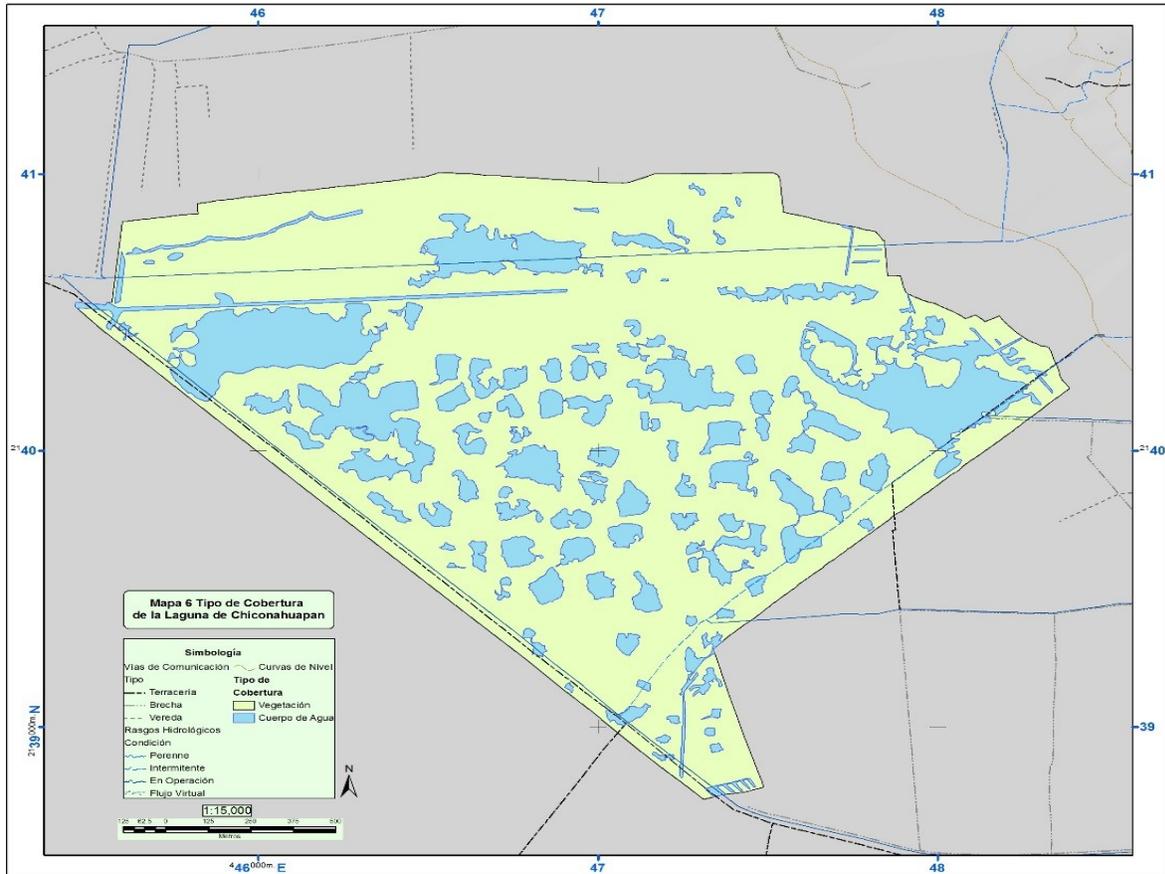
El volumen de agua del cuerpo lacustre está determinado por las condiciones micro climáticas, los flujos de agua y la profundidad, y se expresan en una capacidad de almacenamiento de 6 millones 932 mil m³ (Pérez Ortiz 2005, AMSAR 2012, Decreto y Manejo Estadísticas del Agua EMA 2011), el principal proveedor de agua superficial es el arroyo el Jilguero. Las áreas poco profundas dispuestas en la periferia se componen de tierras que están sometidas a la desecación para utilizarlas en la agricultura, pastoreo y los asentamientos humanos.

En el borde noroeste las tierras de cultivo están expuestas las inundaciones y crecen los pastizales y tulares, al noreste en los suelos producto del acarreo de sedimentos, los pobladores cultivan maíz con problemas de laboreo y rendimientos bajos, también practican el pastoreo libre de ganado vacuno y ovino. El uso permitido de las aguas profundas es el aprovechamiento cinegético de aves acuáticas (patos de especies residentes y migratorias: cercetas, gallaretas y agachonas). El manejo de la interface tierra-agua identifica la quema inducida del tular al final de la época seca del año y la ruptura de los bordos para que escape el agua hacia los drenes y hacia las áreas de cultivo (Orozco et al, 2012).

6.3 Coberturas de vegetal y agua

Como se acotó, 41.48% de la superficie del humedal de Chignahuapan está ocupado por cuerpos lenticulares de agua en los que se desarrolla vegetación (Mapa 3).

Zepeda-Gómez et al (2012: 23), determinaron la significativa diversidad florística de las ciénegas de Lerma y las variaciones particulares en cada humedal (Índice de Shannon de 3.2), el humedal de Chignahuapan, en estudio, presentó los valores más altos de heterogeneidad florística y producción primaria en las plantas acuáticas y subacuáticas, 60% de las especies vegetales son acuáticas, 37% semi-acuáticas y 3% tolerantes, presenta una riqueza de 29 especies, un índice de Shannon (H') de 2.92 y un índice de Fisher de 7.3; (Mapa 3).



Mapa 3 Cobertura vegetal y espejos de agua del Humedal Chignahupan, (resultados de la primera campaña de muestreo en 2012 anexo 6)

Uno de esos sumideros de carbono es la vegetación, que involucra los procesos de respiración y fotosíntesis y cuyo comportamiento se empieza a estudiar. Las tasas de captura del carbono están muy ligadas a la transpiración mediante un proceso de difusión molecular, en los estomas (Moreno, 2008: 53).

La presencia de abundante vegetación es un indicador de la calidad del agua, la oxigenación presente y la captación de carbono atmosférico, el conocimiento de los ciclos biogeoquímicos y, en especial, de los balances de carbono es clave para la validación de los modelos de cambio global para el presente y el futuro cercano.

La vegetación acuática y subacuática cumple una función determinante en los flujos energéticos del humedal de Chignahuapan, a través de la fotosíntesis procesa energía solar, los compuesto de carbono disponibles en agua y liberan oxígeno.

6.4 Clasificación de la Ciénega Chignahuapan según Mitsch William (J & R, 1994)

Las ciénegas son la combinación de atributos ecosistemas acuáticos y terrestres, pero no son ni uno ni otro, regularmente funcionan como sumideros. Las condiciones hidrológicas son extremadamente importantes para mantener su estructura y funcionamiento, estas condiciones afectan los factores abióticos y la disponibilidad de nutrientes, la salinidad y la anaerobiosis de los sedimentos, y todo lo anterior determina la parte biótica del ecosistema ((Mitsch William J & G.)), estas condiciones fisicoquímicas son únicas, especialmente el oxígeno disuelto, la disponibilidad de nutrientes y pH.

Likens (Likens, 2010) clasifica los lagos a través de sus parámetros morfológicos y conjuga lo que apunta (Robert, 1981), reporta ocho tipos de lagos, los estructurales, por meteoritos, volcánicos, glaciales fluviales, “solución”, eólicos y costeros. (J & R, 1994) Clasifican las ciénegas por la presencia de agua, cuando el nivel de agua disminuye, las denomina de temporal y las permanentes son aquellas en la que el nivel de agua no varía durante el año (tabla 9).

Las ciénegas las identifica como zonas de transición o ecotonos, la descomposición de los sedimentos y el reciclaje de la materia orgánica es muy lento y la disponibilidad del oxígeno disuelto es variable, además existe la presencia de tules característicos de cada zona, pastos y arboles adaptados a la humedad; si se encuentran en zonas alpinas el género más abundante es Sphagnum. Asimismo las clasifica en cuatro grandes categorías de acuerdo a las plantas dominantes, el recurso de agua y la calidad de los sedimento; dicha clasificación es la siguiente

Tabla 9 Descripción de las características de varios tipos de humedales, Elaboración propia con base en (J & R, 1994)

Nombre	Micrófitas típicas	pH	Recurso de agua	Descripción breve
Pantanos (marsh)	Tules, liris acuáticos,	5.1-7.0	rio	Dominado por macrofitas emergentes como los tules , también hay macrofitas flotantes, no hay árboles, acumulación de materia orgánica y el recurso agua es externo
Ciénegas (swamps)	Tules, arboles como cipres	3.0-7.0	Rio	Contiene grandes árboles poca acumulación de materia orgánica recurso de agua externo
Fangal (bog)	Sphagnum (no hay)	3.6-4.7	Lluvia	Acumulación de materia orgánica dominado por musgos acidofilicos, muy pocas macrofitas y el recurso agua depende de la tabla de agua y su recarga por lluvia
Pantanal /marisma (Fen)	Musgos, pastos macrofitas tules	5.4-7.6	Aguas subterránea	Es una mezcla entre las características de un bog y los marsh pero se distinguen por su riqueza mineral y el pH más alcalino.

La Ciénega representa los cuatro tipos de ciénegas descritas por el autor en dentro de las UMA'S, es decir existe una zonificación del humedal entre los cuatro tipos que el autor presenta.

6.5. Estimación de carbono en muestras de biomasa.

Después de aplicar el método propuesto por Brown 1986, se obtuvo la siguiente estimación de carbono en la vegetación obteniendo los resultados que se muestran en la figura 11).

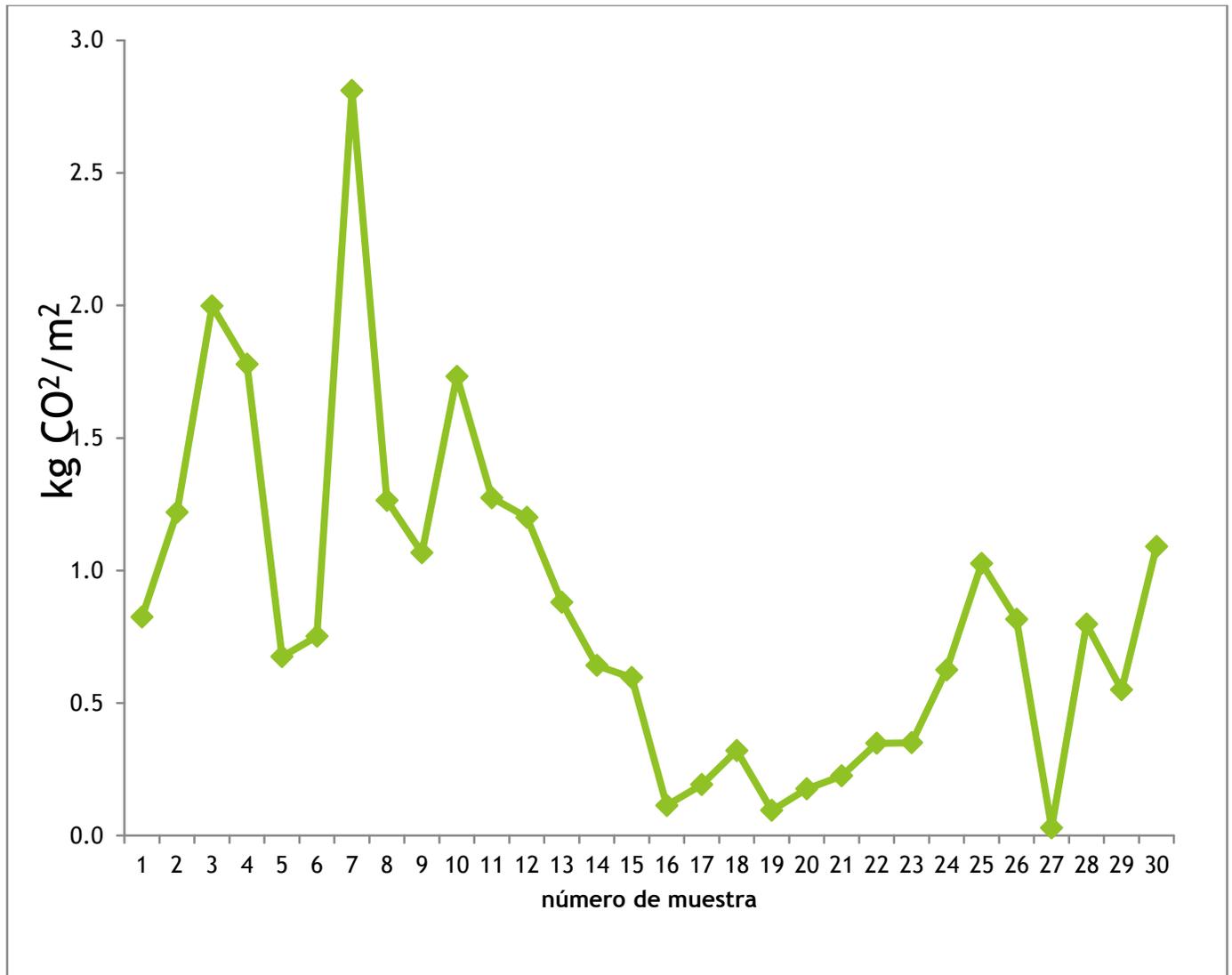


Figura 11 Estimación de la captura de carbono en biomasa seca por metro cuadrado resultados del método de Brown 1986.

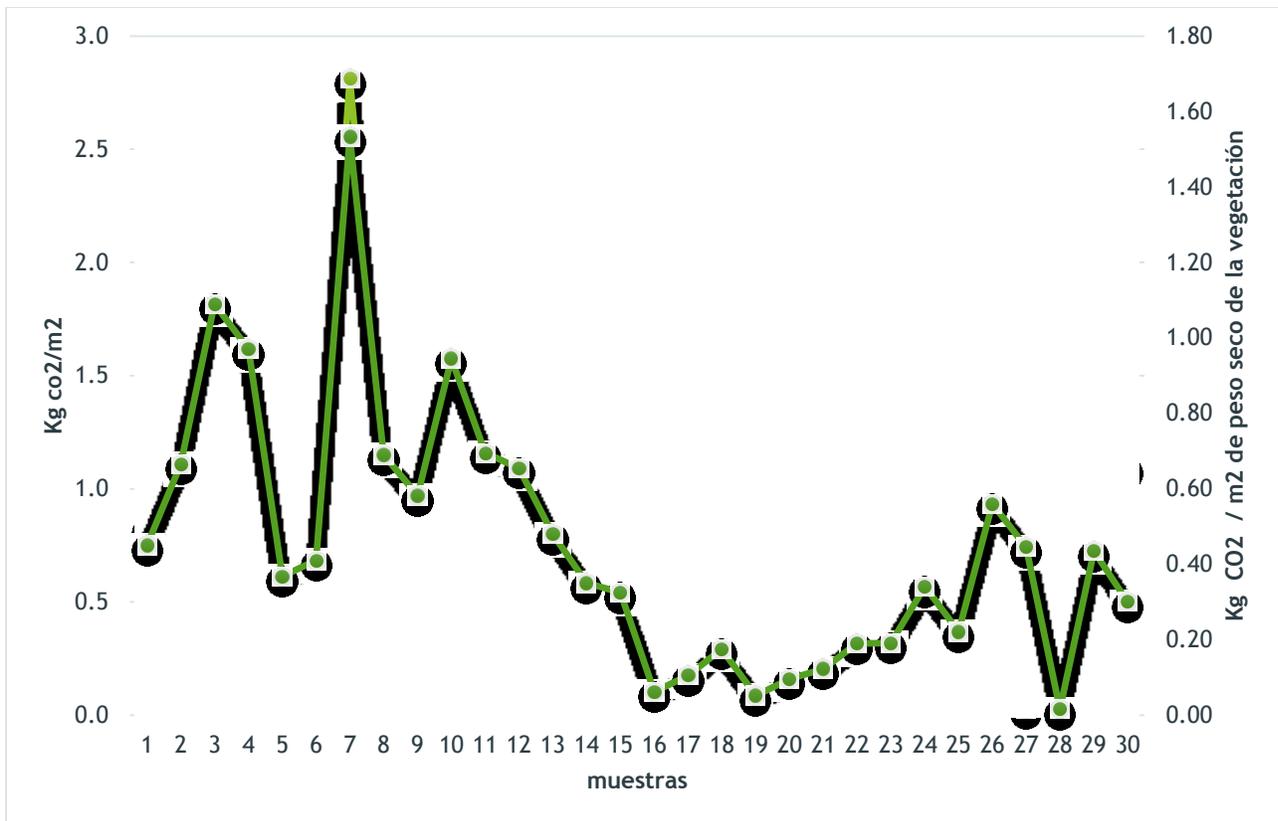


Figura 12 Relación Kg CO₂ t y peso seco por m²

La biomasa varía de una especie a otra y el almacenamiento de carbono depende de la productividad primaria neta de cada sistema, 1 gramo de biomasa es equivalente a 0.5 gramos de carbono o bien un CC de 50%, esta equivalencia ha sido aplicada en diversos trabajos para determinar los almacenes de carbono a distintas escalas (Maser et al, 2000: 28, Pacheco et al, 2007:251). Las treinta muestras de vegetación y su réplica tomadas en un metro cuadrado cada par, muestran correlación entre la biomasa seca y el almacenamiento de CO₂. La sumatoria de los parámetros reporta un área de treinta metros cuadrados, 13.52 kilogramos de biomasa seca, 25.5 Kg de CO₂, o bien 25472.3 gramos de CO₂. Si es así, y considerando la superficie ocupada por agua 2.110415 Km², 211.0415 hectáreas ó 2110415 m², la vegetación que en ellos vive, estaría almacenando 1,793, 852.75 kilogramos de CO₂ ó 1791.90413 toneladas de CO₂. (Tabla 7).

Cuadro 7. Estimación de CO Carbono Orgánico almacenado en las muestras de vegetación

	Kg CO/m ²	Ton CO /m ²	Espejos agua m ²	Ton CO	Kg CO
Sumatoria	25.5	0.0255	2110415	1793.85275	1793852.75
Promedio	0.85	0.00085			

Nota el promedio se obtuvo de la relación sumatoria / 30 puntos de muestreo, superficie ocupada por agua m² * 0.85= Ton CO y superficie ocupada por agua m² * 0.00085 KgCO.

6.6 Estimación de carbono en sedimentos

En las muestras prevalece en orden de importancia, el limo, la arena y la arcilla, la mitad de las muestras tuvieron una textura franco-limosa, doce francos, un franco arenoso y dos franco-arcilloso-limoso. La composición de las muestras destaca la menor presencia de arcilla y la abundancia de limo y arena. El limo es material fino que se deposita en el sustrato del fondo cuando llueve o es arrastrado por el arroyo el Jilguero, este material es rico en materia orgánica y en la medida que se incrementa su participación, la participación de las arenas decrece, sin embargo, el sílice (dióxido de silicio, SiO₂). que contiene la arena tiene un papel importante, puesto que su carácter básico le dota de la capacidad de disolverse en agua y producir hidróxidos (Fig. 19).

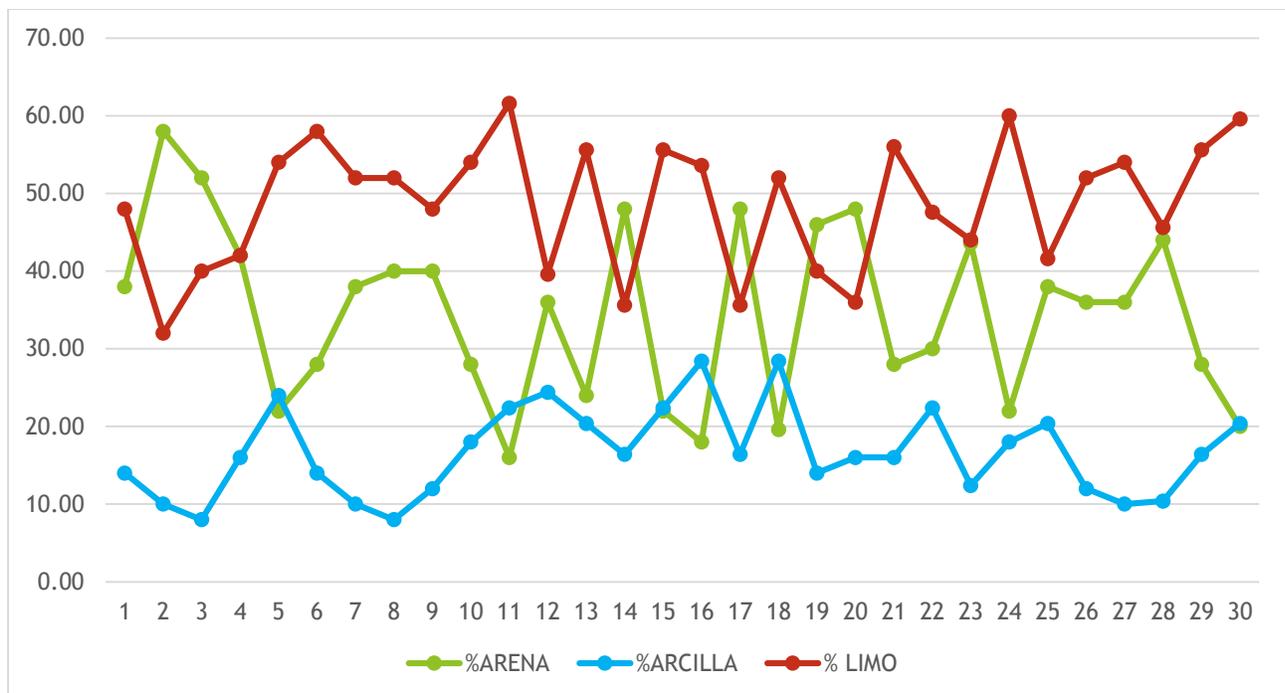


Figura 13 Composición granulométrica de las muestras de sedimentos.

El análisis de los sedimentos, indica que el pH en agua presenta valores inferiores a siete (Ácido), sólo cinco muestras de treinta tuvieron valores superiores a siete. Los porcentajes más altos de materia orgánica (MO) corresponden a las tasas más altas de carbono orgánico, el máximo de carbono orgánico se identificó en un rango de 7%-9.2% y el mínimo de 3%-6.9% (Figura20). La materia orgánica (MO) se conforma por un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición (Aguilera, 2000).

El CO (carbono orgánico) es el principal elemento que forma parte de la MO, en la que se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas. El CO se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el CO aumenta la solubilidad de varios nutrientes (Martínez et al, 2008).

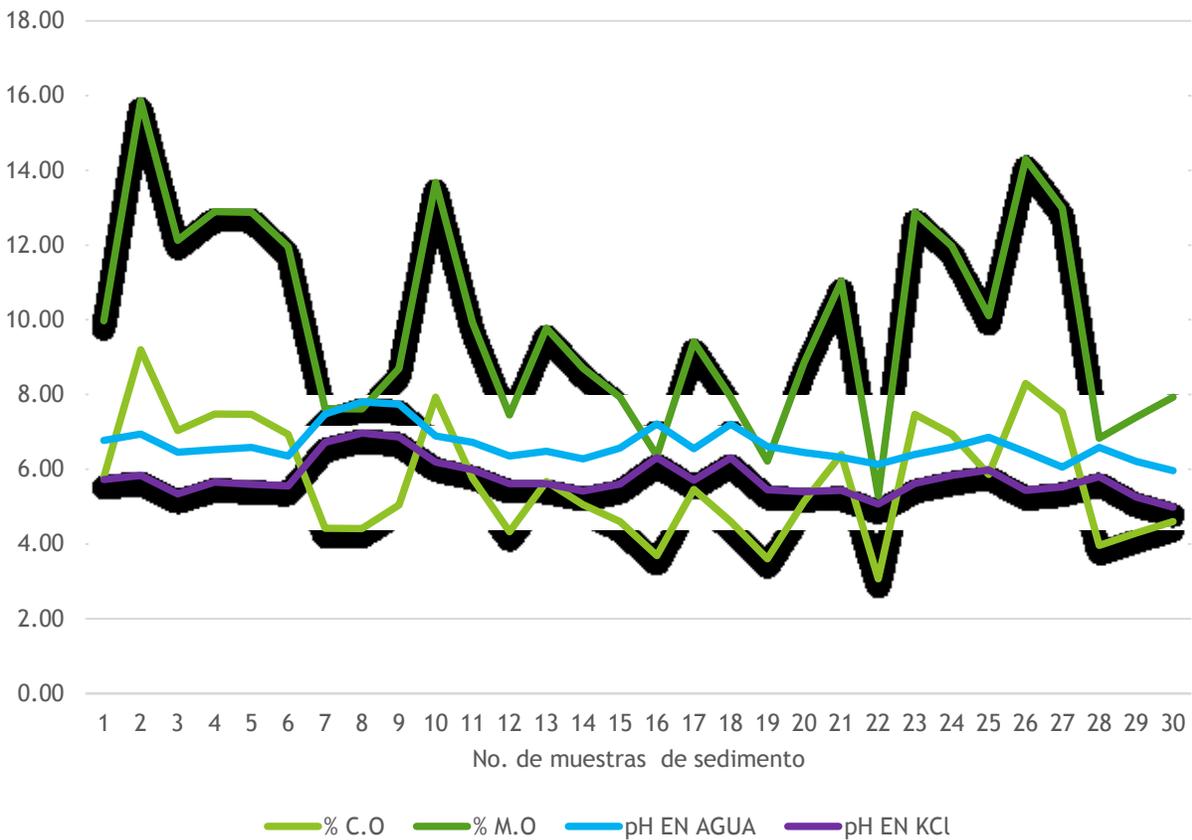


Figura 14 Parámetros físicos y químicos de los sedimentos.

El pH ácido y el contenido de materia orgánica en los sedimentos en su combinación indican que se tienen altos niveles de materia orgánica en descomposición. En la MO total existe una fracción de gran tamaño (> 53 µm) cuyo contenido de CO es conocido como carbono orgánico particulado (COP) o C orgánico lábil que es más activo y de rápida descomposición (Franzlubbers y Arshad, 1997). La MO afecta la reacción del suelo (pH) en el largo plazo, la MO tiende a aumentar el pH cuando el suelo es ácido y tiende a disminuirlo cuando el pH del suelo es alcalino (Carrasco, 1992). El carbono orgánico es esencial para la actividad biológica del suelo (Aguilera, 1999), proporciona recursos energéticos a los organismos del suelo, en forma de carbono lábil (hidratos de carbono), (figura 15).

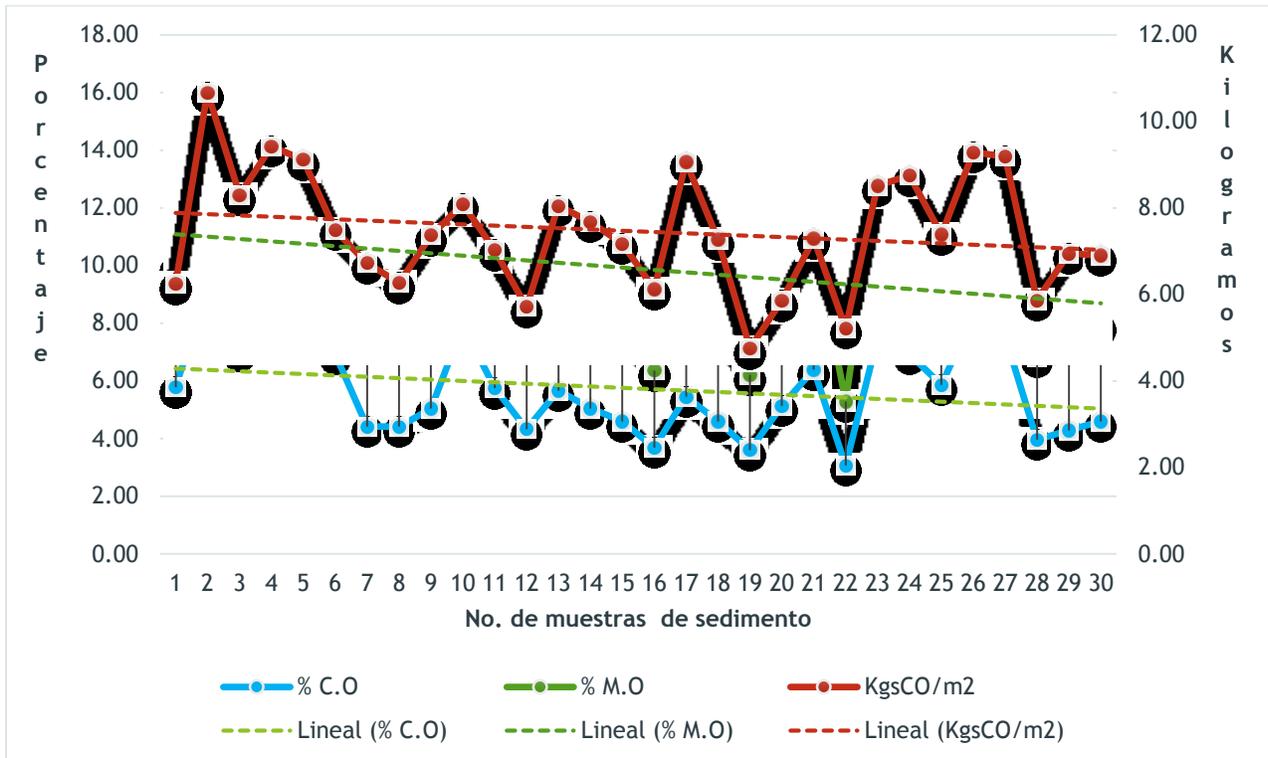


Figura 15 Relación %MO, %CO y estimación de CO almacenado en los sedimentos.

Existe una alta correlación lineal del parámetro de carbono almacenado, % de carbono orgánico y materia orgánica, la sumatoria y promedio de carbono en los treinta puntos muestreados, fue la siguiente: (tabla 10).

Tabla 10 Carbono almacenado promedio.

	TonCO/Ha	KgCO/ha	KgCO/m ²
Sumatoria	2237.5	2,237,486.03	223.75
Promedio	74.6	74582.87	7.46

Considerando la superficie del humedal de Chignahuapan, tercer polígono del ANP, Ciénegas de Lerma (346 hectáreas), es posible plantear que el humedal almacena en

los sedimentos depositados en el fondo, aproximadamente 25,811.6 TonCO, y de acuerdo a la superficie ocupada por agua 2.110415 Km² ó 211.0415 hectáreas, almacena 15,743.6 TonCO (Figura 16).

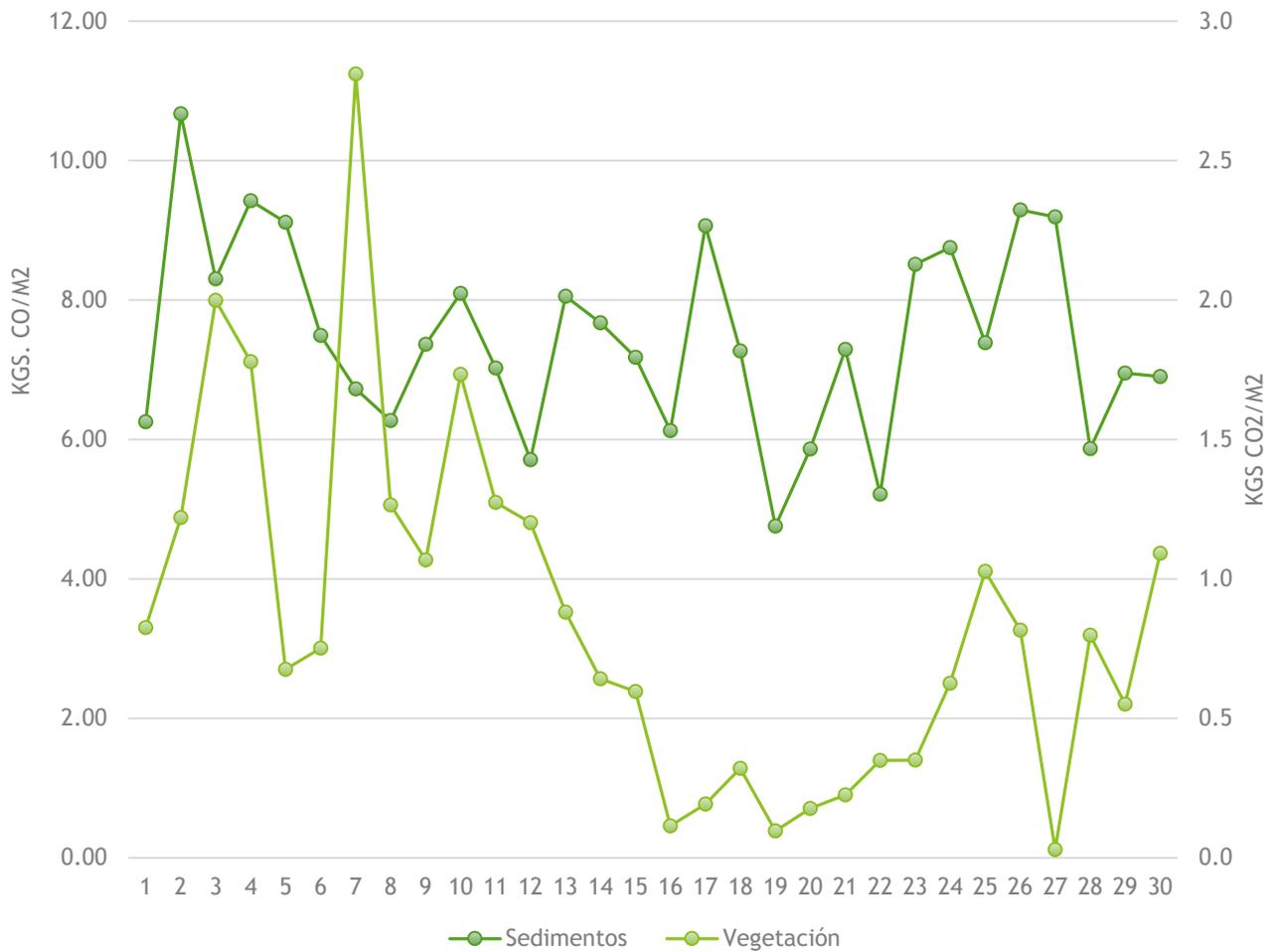
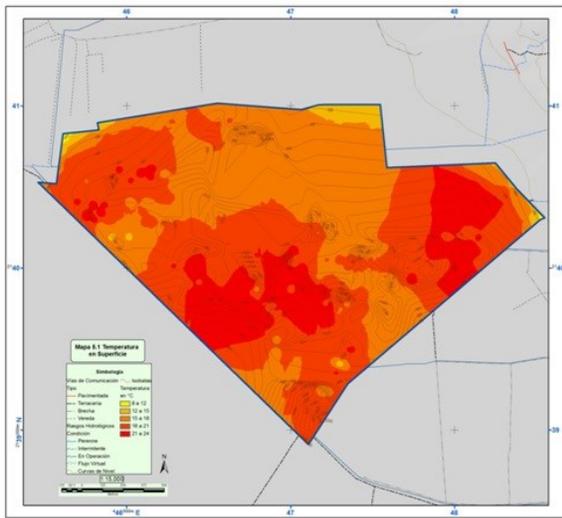


Figura 16 Comparativos de los almacenes de carbono en sedimentos y vegetación.

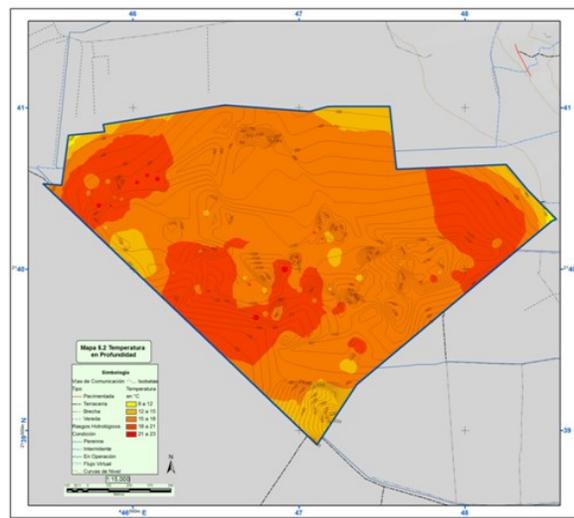
6.5. Distribución espacial de los parámetros físicos y químicos del agua.

El análisis T² no reporto diferencias significativas en el conjunto de los parámetros medidos (Profundidad, temperatura, salinidad, pH, turbidez y oxígeno disuelto): T²=305.327, F (6, 649),= 50.499, P<0.001, por este motivo

El oxígeno y el pH se desempeñan como amortiguadores que regulan la velocidad de los procesos biogeoquímicos. El oxígeno está en relación inversa a la temperatura; a mayor temperatura menor cantidad de oxígeno disuelto, el pH determina la degradación de la materia orgánica y el CO₂ libre ((J & R, 1994) (Wetzel & Likens, 2000)), (Mapas 4 y 5) Mapas 4 y 5. Comparativo parámetro de temperatura

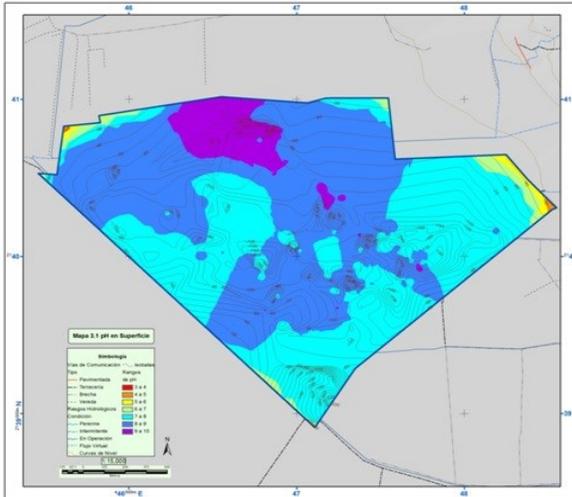


Mapa 4 Distribución de las temperaturas en la superficie. (anexo7)

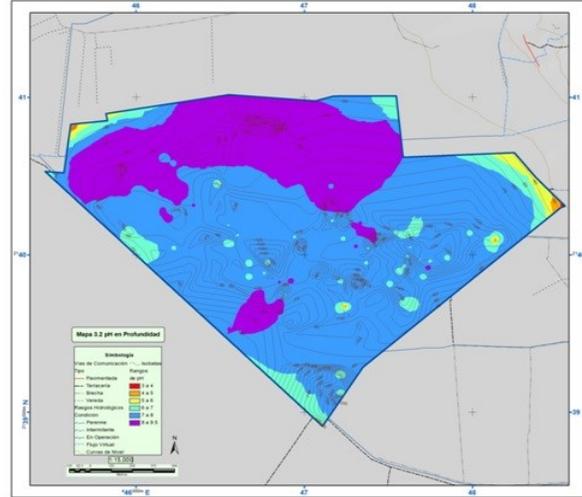


Mapa 5 Distribución de las temperaturas en el fondo. (anexo 8)

La distribución de la temperatura en superficie oscila entre 18° -24° y en profundidad entre 15° y 23°, y las áreas de menor temperatura se distribuyen en el perímetro y forma lenticular, en un rango de de 8° a 12°. (Mapas 6 y 7).



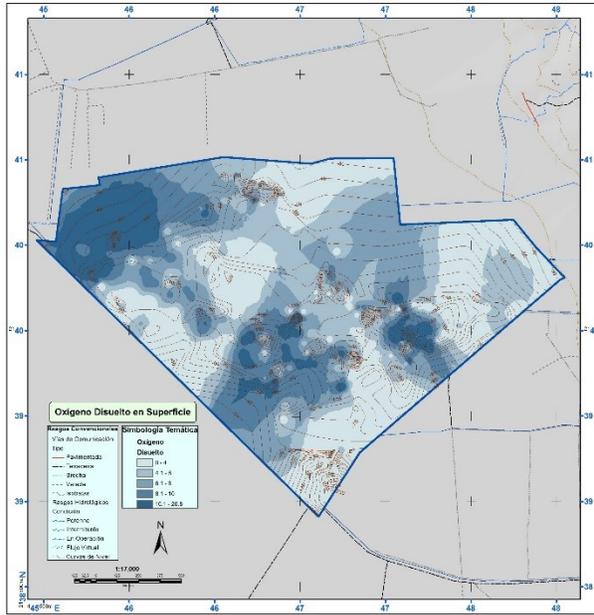
Mapa 6 Distribución del pH en superficie.



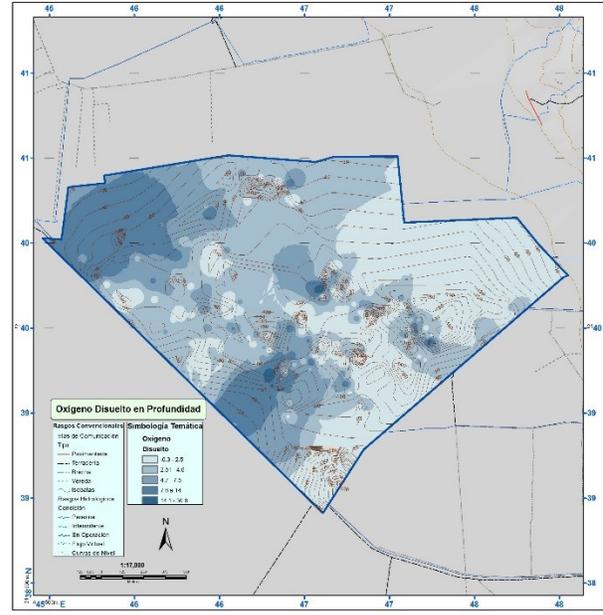
Mapa 7 Distribución del pH en el fondo Anexo 10 .

Anexo 9

La distribución del pH en la superficie, al norte identifica un área con valores de 9-10, en el contorno inmediato 8-9 y en el tercer contorno 7-8, los valores que corresponden a pH ácido se presentan en los bordes del cuerpo lacustre entre 6 y 4. En profundidad se extiende al norte-noroeste un área con valores entre 8 y 9.5, el contorno siguiente con valores de 7 a 8, y valores por debajo de siete en los bordes perimetrales.



Mapa 8 Oxígeno disuelto en la superficie.



Mapa 9 Oxígeno disuelto en el fondo.

Los valores más altos de oxígeno disuelto se identifican al centro del humedal, en el espejo de agua principal, el valor va de 0.5 a 30 (mg/l) o, cual es la unidad de medida en el mapa no dice, y las áreas con valores de 18 a 30 (color gris), las tonalidades de azul claro corresponden a valores de 3 a 15. En profundidad se identifican tres áreas, los valores de oxígeno disuelto oscilan entre 0.3-30.5 mg/l, y la mayor parte del área presenta valores de entre 20 y 5 mg/l.

La temperatura en superficie y en profundidad es propia de condiciones templadas a frías, este factor físico podría estar beneficiando la concentración de oxígeno disuelto en algunas áreas superficiales y en profundidad la reducción de los niveles de oxígeno disuelto, puede estar ocasionado por la descomposición de materia orgánica (las bacterias requieren oxígeno para descomponer la materia orgánica, por lo tanto consumen más oxígeno).

6.6. Quimioclina

El calor en el agua es una forma directa de almacenar energía luminosa; la cual esta ligada ampliamente a la morfometría del cuerpo de agua, las corrientes y movimientos, entradas y salidas de agua, dando como resultado una estratificación termal que influye en los procesos fisicoquímicos del lago y son así los que rigen la producción, utilización y descomposición de recursos (Robert, 1981)

El agua somera los sedimentos pueden absorber cantidades significativas de la radiación solar y este calor ser transferido a la columna de agua. Los aportes y pérdidas de calor son referentes de los fenómenos superficiales del cuerpo de agua. Por tanto las capas de agua más cálidas, menos densas y de calentamiento estable, se irán superponiendo sucesivamente a las de aguas más frías y densas; sin embargo, esto no es exactamente así, sino que se observa en el lago es una parte superior mezclada de forma relativamente uniforme que muchas veces es isoterma hasta por debajo de la zona fótica.

La mayor parte de los cuerpos de agua típicos de latitudes templadas, la mezcla de las aguas superficiales por corrientes de convección e insuficientes para que produzcan los perfiles termales. El proceso anterior se conoce como estratificación de un cuerpo de agua y en algunas ocasiones no solamente depende de la diferencia en la temperatura sino también depende de la salinidad, estos modelos determinan al menos tres capas el hipolimnion, mesolimnion y el epilimnion, sin embargo algunos cuerpos de agua no presentan esta estratificación, a este tipo de lagos se les conoce como meromicticos, son aguas someras que la profundidad no es suficiente para mantener los típicos epilimnion e hipolimnion, pero las capas de agua muestran una reducción de temperatura al aumentar la profundidad, esta pequeña estratificación es común en las áreas someras reguladas de cuerpos de agua grandes, o en la totalidad del lago si este es somero.

La profundidad requerida para la estratificación termal varía tanto según la vegetación, la orientación de los vientos y las relaciones de volumen profundidad entre otros factores. La meromixis biogénica se produce a consecuencia de la acumulación de sales en el monimolimnion que normalmente son liberadas por la descomposición de los sedimentos u de la materia orgánica al sedimentarse, y los cambios de temperatura entre el epilimnion no son tan evidentes ya que la descomposición de la materia orgánica cuenta con la suficiente energía para aumentar la temperatura abruptamente, este tipo de estratificación es muy común en cuerpos de agua con áreas superficiales pequeñas, y de profundidad media, además de localizarse en regiones continentales que sufren inviernos largos y severos. ((Robert, 1981) (Wetzel & Likens, 2000)).

Los fenómenos de estratificación y mezcla de las aguas lénticas están relacionados con el ciclo de energía de la Tierra. Dependiendo directamente de los cambios de la temperatura la altitud y latitud.

Las variaciones de temperatura en la columna de agua permiten reconocer las condiciones de circulación y estratificación, dándonos las siguientes opciones: 1) cuando la temperatura no cambia a medida que la profundidad y 2) cuando sí existe una variación en la temperatura provocando la formación de dos o más capas o estratos epilimnion, hipolimnion y en algunos casos el metalimnion. Y se caracteriza por la aparición de la termoclina es decir un gradiente rápido de cambio.

La temperatura provoca una diferenciación en densidades de las masas de agua y esta densidad además de provocar la estratificación, pues con esto existen cambios en las sales disueltas en el agua haciendo más fuerte la estratificación. A este fenómeno se le denomina holomixis (cuando la circulación afecta la totalidad de la columna de agua y existe una homogenización completa de las condiciones fisicoquímicas) y la meromixis, que es cuando la circulación tiene lugar únicamente en las capas superficiales quedando masa de agua profunda. En 1983 Lewis reclasifica a los lagos de acuerdo a la latitud y

latitud ajustada y la profundidad calificando a lagos holomicticos de la siguiente manera: Amicticos, Monomicticos frios, polimicticos frios continuos, Polimicticos frios discontinuos, dimicticos, monomicticos cálidos polimicticos calidos discontinuos, polimicticos calidos continuos, siendo estos últimos los que se encuentran en latitudes de $20^\circ \pm 0.34$, tienen un fetch de 5km y su profundidad máxima son los 10 m y se caracterizan por no tener una cubierta de hielo estacional y periodos de estatificación que no suele durar más de unas horas, lo que permite que la columna de agua no tenga diferencias significativas entre sus componentes de la superficie y el fondo.

En el análisis multivariado T^2 las diferentes características fisicoquímicas no presentan ninguna diferencia significativa entre las variables de los dos grupos (superficie y profundidad), $T^2=305.327$, $F(6, 649)=50.499$, $P<0.001$ en los resultados; sin embargo el análisis por variable si existen diferencias entre ellas especialmente en el pH ($T=11.55$, $df 654$ $p=0.062997$), la turbidez ($T=-12.3760$ $df 654$ $p=0.0000000$) y la temperatura ($T=4.2237$ $df 654$ $p=0.0446991$). Mientras que en el oxígeno disuelto no presenta diferencias.

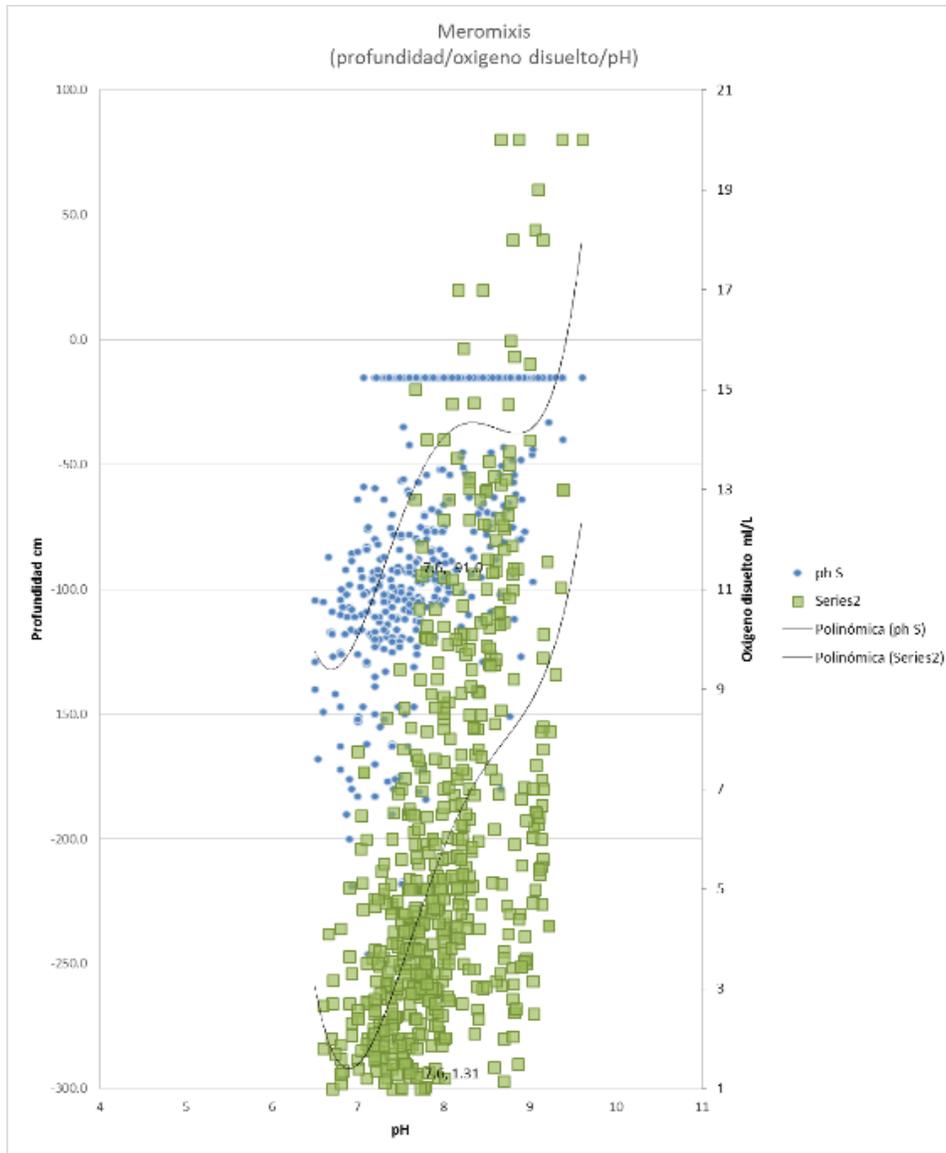


Figura 17 Ilustración de la quimioclina y la meromixis de la Ciénega Chignahupan.

Donde se observa claramente que existe una diferencia en el oxígeno que se encuentre alrededor de los 25 cm de profundidad para el oxígeno no hay un cambio significativo por en la figura se observa claramente la meromixis causada por la diferencia en pH, y solidos totales disueltos de la columna de agua.

En la curva de tendencia del pH sugiere como se forma el mixolimnion hasta los 50cm, después el quimiolimnion de los 51cm hasta los 60 cm y de allí hasta las zonas más

profundas el monolimnion, sin embargo hay que considerar que estos estratos sólo están presentes en las zonas más profundas de la Ciénega y que varían de acuerdo a la profundidad de cada punto. Se puede generalizar que hay tres capas no solo por la temperatura sino por las diferencias de pH y sólidos totales disueltos. Existiendo una estratificación siendo el pH, la turbidez y la temperatura los parámetros fisicoquímicos que logran esta diferencias, así mismo la homogeneidad del oxígeno hace inferir que el ambiente anóxico en el fondo de la ciénega es nulo o escaso por lo que la producción de metano y de óxido nitroso es muy bajo, la cuantificación de carbono en plantas y sedimentos cerrara el ciclo del carbono principalmente.

6.7. Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos del agua

En la estructura vertical del humedal se identificaron dos áreas de muestreo, la superficie y el fondo, en un primer momento se realizó la correlación de los parámetros con la prueba T2, (tabla 11).

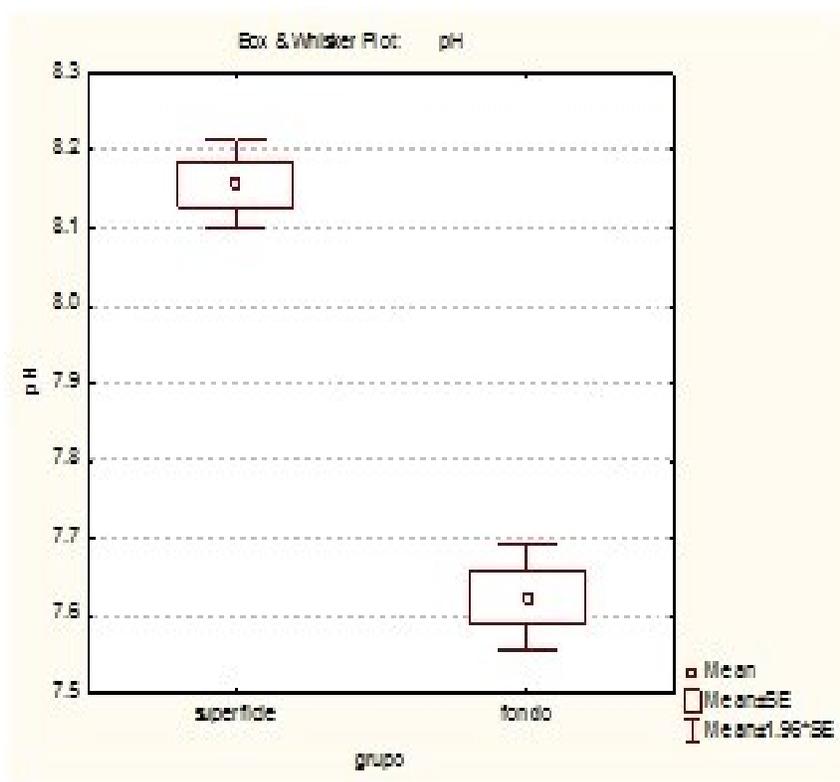
Tabla 11 Concentrado de calores de los resultados de la prueba T2

Variable	Media Superficie	Media fondo	Valor de T	Df	P	Desviación estándar Superficie	Desviación estándar fondo	F (1,df)	p
pH	8.15707	7.6235	11.557	654	0.0000	0.53492	0.6427	3.4685	0.062997
Conductividad Eléctrica	2.70573	8.2117	-1.2019		0.229841	35.91270	74.7918	5.6706	0.017537
Oxígeno disuelto	23.26006	156.0244	-12.3760		0.00000	38.03074	190.5254	211.48	0.0000040
Turbidez	7.43326	6.9809	0.1960		0.844646	16.60095	38.3492	1.6990	0.192878
Temperatura	19.96229	17.2151	4.2237		0.000027	11.65226	1.7261	5.8245	0.016078
Salinidad	0.002341	0.0229	0.5811		0.561374	0.01320	0.0093	0.5790	0.446991

La comparación multivariante de datos con distribuciones no normales, no reporto diferencias significativas en el conjunto de los parámetros medidos (Profundidad, temperatura, salinidad, pH, turbidez y oxígeno disuelto): $T^2=305.327$, $F(6, 649)=50.499$, $P<0.001$, (Tabla 13), por este motivo se decidió agrupar los parámetros en dos niveles de análisis, a los que hemos denominado de primer orden y segundo orden

6.7.1. Asociación de primer orden: profundidad, pH, oxígeno disuelto

Los valores promedio del pH, oxígeno disuelto y profundidad, muestran que la superficie del agua es alcalina (pH 8.1) y un valor de oxígeno disuelto de 7.4 mg/L, el fondo es neutro y ligeramente alcalino, (pH 7.6) y un valor de oxígeno disuelto de 6.98 mg/L. Los valores de oxígeno disuelto comparado con los de mar abierto (11-12 mg/L) son aceptables (Carbajal, 2009). (Figura 3).



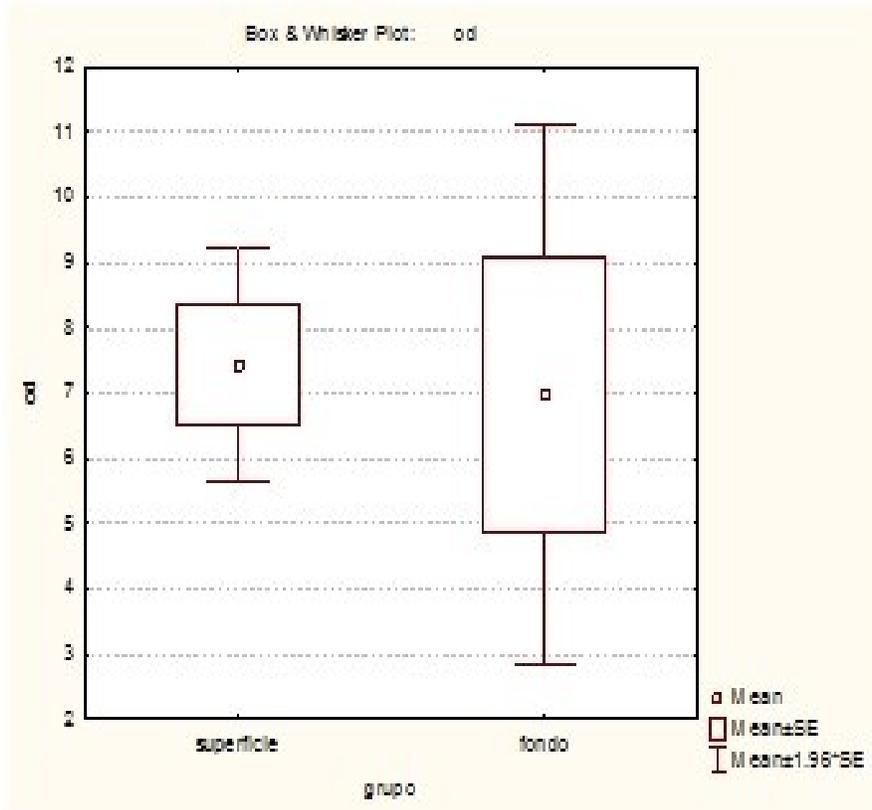


Figura 18 Asociación profundidad, pH y oxígeno disuelto. Elaboración propia

La asociación de primer orden indica que en el fondo del agua, los nutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo) estén disponibles y son absorbidos por las raíces de las plantas, y en la superficie la disponibilidad se reduce, la lentejilla y tule, son ejemplo de la adaptación a la alcalinidad.

6.6.2. Asociación de segundo orden: Profundidad, temperatura, salinidad, conductividad eléctrica y turbidez.

La temperatura establece diferencia de tres grados de la superficie al fondo, sin embargo las aguas están dentro del rango de condiciones templadas, este parámetro

favorece las concentraciones de oxígeno disuelto, tanto en el fondo, como en la superficie (Figura 24).

La temperatura-salinidad no presento una relación significativa, el valor de la salinidad es prácticamente el mismo para la superficie y el fondo del agua. La salinidad en aguas continentales está determinada por cuatro grandes iones: Calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), y potasio (K) y por los aniones de carbonato (CO_3^{2-}), sulfatos (SO_4^-) y cloruros (Cl), lo que indica que la densidad del agua tampoco variará por efecto de la temperatura. No obstante que la salinidad es muy baja, y es acorde al tipo de agua, comparada con la salinidad marina, (3,5% o 35 g/L) (Carbajal, 2009), la conductividad eléctrica en el fondo es tres veces mayor que en la superficie, lo que pudiera estar indicando mayor mineralización de las aguas (calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos), (Figura 19).

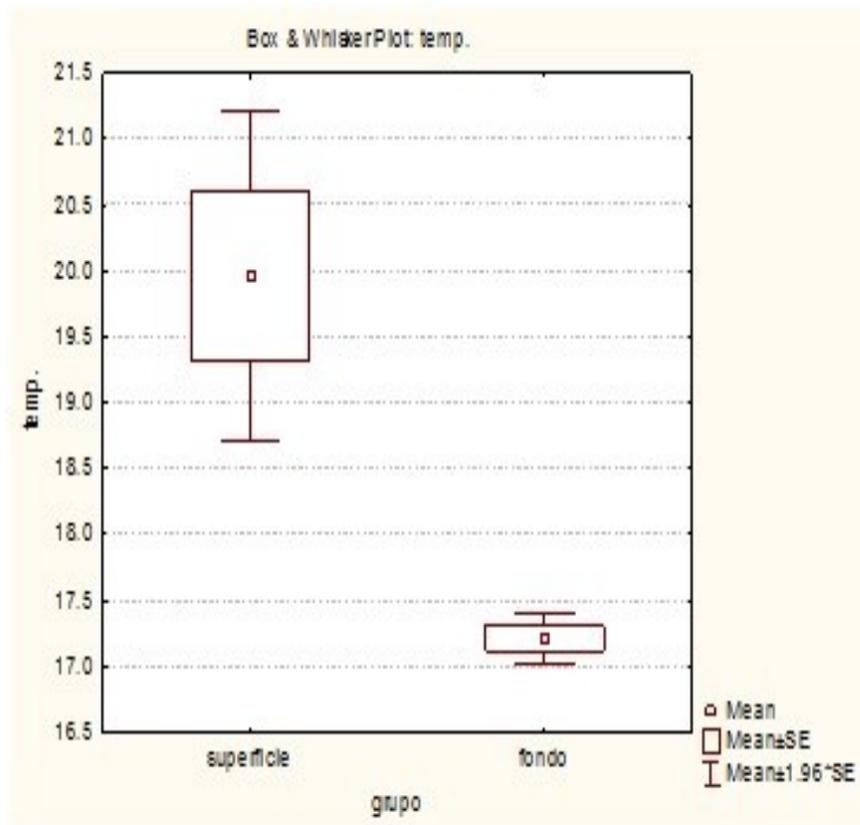


Figura 19 Asociación temperatura, salinidad y conductividad. Elaboración propia

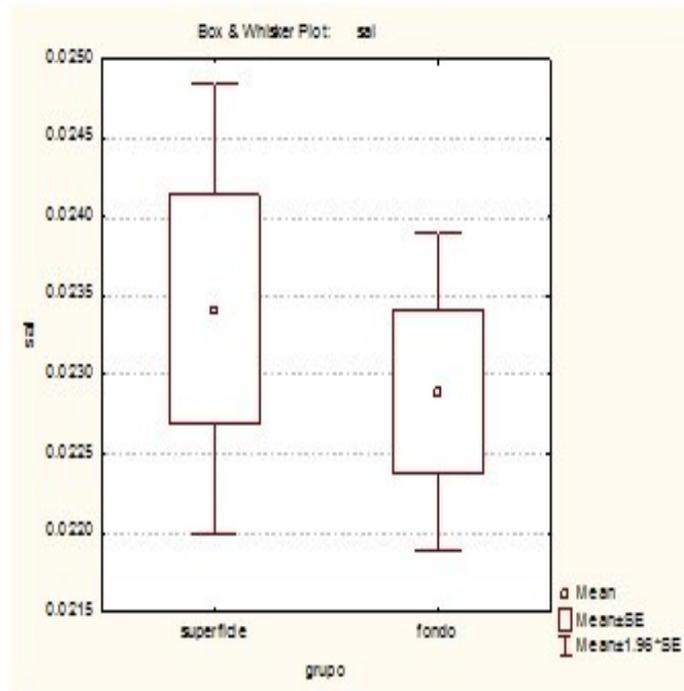


Figura 20 Asociación temperatura, salinidad y conductividad. Elaboración propia

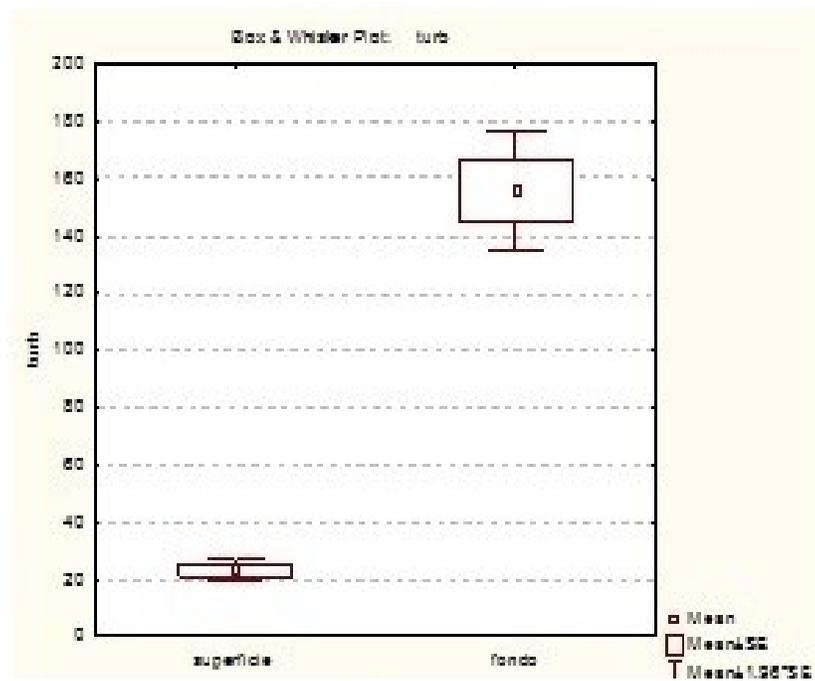
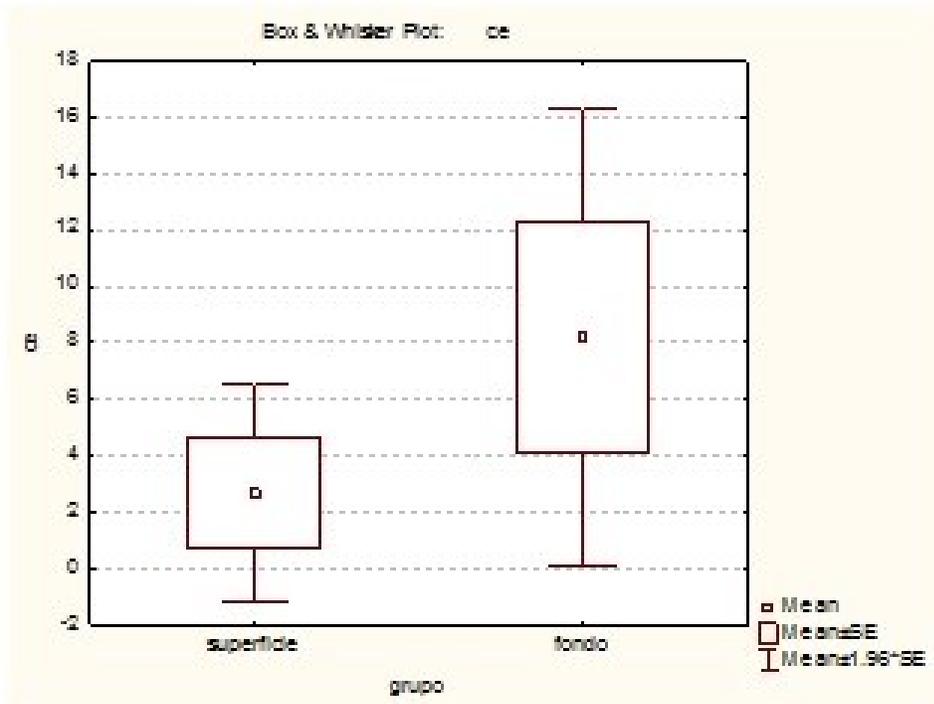


Figura 21 Asociación profundidad, conductividad y turbidez. Elaboración propia

La turbidez es determinante de la condición y productividad del sistema acuático (Standard Methods, 1992). La turbidez del agua en el fondo del cuerpo lacustre (aguas marrón-amarillentas) es producida por la descarga de sedimentos (sólidos no disueltos y suspendidos, lodo, arcilla). A la par la carpa introducida de hábitos bentóforo, al remover los sedimentos para alimentarse, incrementa la turbidez del agua y puede causar serios problemas en el sistema acuático (Lachner et al., 1970). Esta si presenta una gran diferencia entre el fondo y la superficie tal como la muestra la grafica de bigotes, lo cual es consistente con la cantidad de materia organica que existe en el fondo, y por estar en contacto con los sedimentos.

6.7. Análisis químico de las muestras de agua

El tratamiento de cinco muestras de agua la acidez, alcalinidad, DBO_5 , DQO, fosfatos, nitritos y sulfatos, carbono orgánico total por el método de combustión; nitrógeno y nitratos con el método de HACH. Se estimó que los cinco puntos muestreados son representativos de las condiciones del agua en el humedal en estudio. Los puntos con id 27 y 20 presentan valores de DBO_5 de 61.20 y 142.20 mg/L, el id 17 presenta un DBO_5 de 31.20 mg/L, el DBO_5 para la vida acuática debe ser 60 y para humedales naturales 15, lo que significa que los puntos con id 32 y 41 están por debajo de este parámetro de calidad del agua. (Cuadro 12)

Tabla 12. Parámetros químicos de las muestras de agua

id	Profundidad	pH	acidez	alcalinidad	COT mg/L	H ₂ CO ₃ mg/l	CO ₂ GAS mg/l	CO ₃ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CARBONO INORGÁNICO mg/l DE C	CO ₂ total mg/l = CO ₂ +HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ²⁻
17	85	7.43	21.32	622.48	49.269	13.2099456	9.37330868	0.9598	745.056	151.726537	767.807096
20	60	8.5	0	726.64	58.874	0	0	12.809	846.348	169.446988	873.263805
27	173	6.76	19.68	416.64	42.326	12.193796	8.65228494	0.1376	499.692	102.405533	516.810871
32	121	7	24.6	424.08	51.011	15.242245	10.8153562	0.243	508.409	104.741238	527.941505
41	106	9.63	0	297.6	43.004	13.2099456	9.37330868	51.773	253.573	43.004	767.807096

Los valores de carbono total van de 400 a 1200 mg/L, la alcalinidad indica que las aguas están formadas principalmente de HCO₃⁻ y una porción de CO₃²⁻, lo que indica la formación de sólidos insolubles que tienden a formar compuestos grandes y sedimentarse a una mayor velocidad. La alcalinidad comparada con la figura 26, La alcalinidad evita cambios repentinos en el nivel de acidez del agua y, por lo tanto, es importante para la vida acuática. La alcalinidad natural está en el intervalo de 400 a 500 mg / L. (Se mide en mg / L de CaCO₃).

La figura 27, muestra la distribución de especies del C en solución, que representa el estado de equilibrio ácido carbónico-bicarbonato-carbonato, indica que en una solución, la primera disociación del CO₂ se lleva a cabo en pH de 4.5 a 13, la segunda

disociación se lleva a cabo de los pH 9 a 12, lo que indica que ambas reacciones se llevan a cabo tanto en la superficie y en el fondo del humedal, por los valores de pH que se presentan en la zona de estudio se infiere la dominancia del ácido carbónico. La figura 21, muestra la concentración de los diferentes iones de acuerdo a la concentración de CO_3^{2-} en función de un pH hipotético.

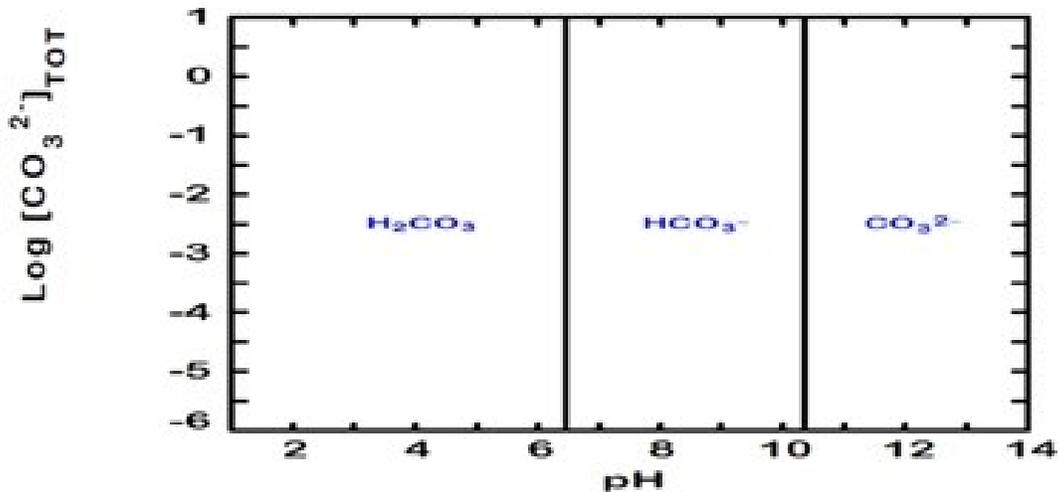
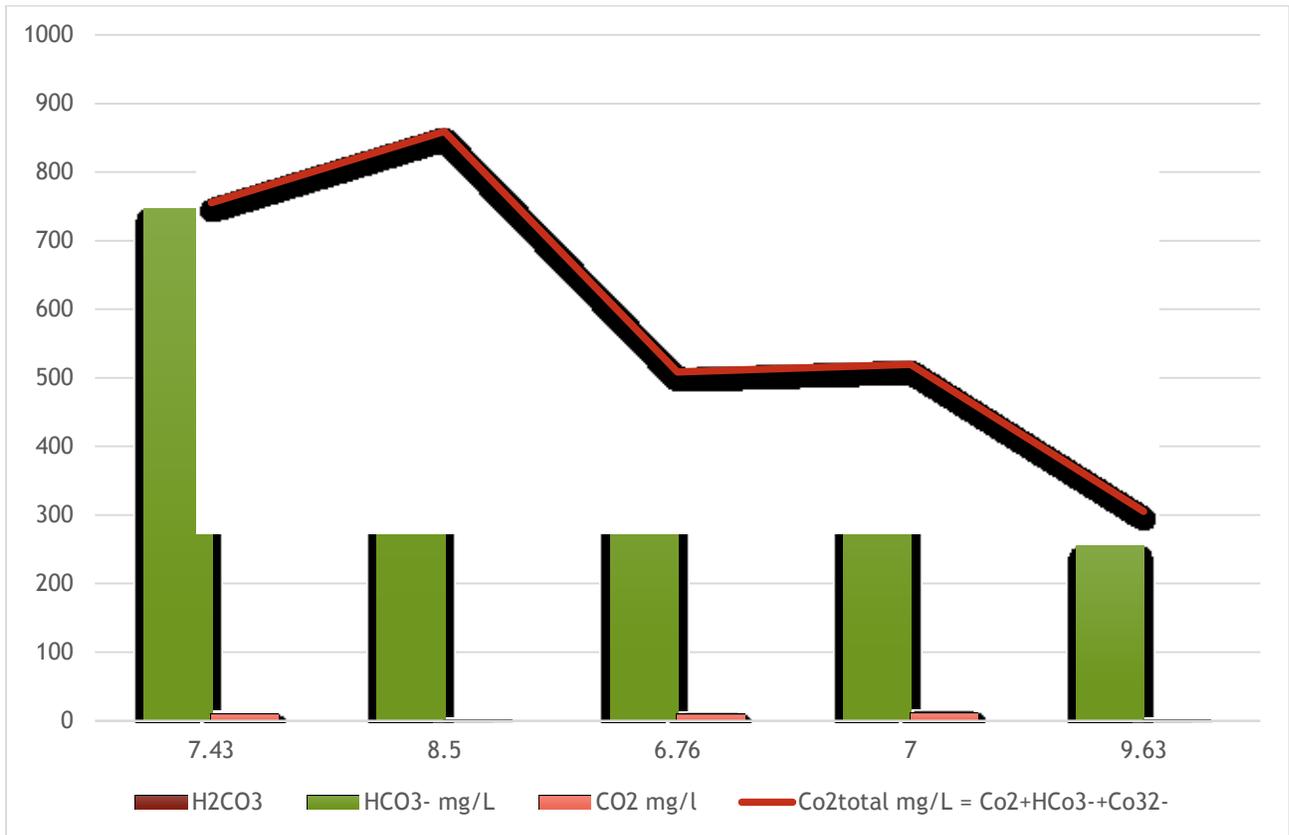


Figura 26 predicción del comportamiento de la disociación de CO_2 en el agua y como se distribuirán las especies.

A partir de las figuras 44 y 45, y los valores de pH que presentan las muestras de agua, identificamos que el ion dominante en agua es HCO_3^- , esto se debe a las siguientes razones 1) el pH del agua favorece la disociación del CO_2 en HCO_3^- , 2) la reacción necesita menos energía para llevarse a cabo, lo cual es también evidente en la figura #, en la que se observa que es mayor la concentración de HCO_3^- sin embargo cuando el pH es mayor a 9 la concentración de los tres iones es más cercana, es decir la diferencia entre ellos es menor que en pH 7 o menor, en pH de 8-8.5 la disolución de CO_2 atmosférico es mayor, además se disocia en HCO_3^- tal como lo predice el diagrama de especies de carbono (Fig. 27).

Figura 27. Distribución de las diferentes especies de carbono en el agua de acuerdo al pH de las cinco muestras.



El ciclo básico comienza cuando las plantas, a través de la fotosíntesis, hacen uso del dióxido de carbono (CO_2) presente en la atmósfera o disuelto en el agua (bicarbonato), una parte de éste carbono es liberado en forma de CO_2 por la respiración. El bicarbonato de sodio (HCO_3^-) (también llamado bicarbonato sódico o hidrogenocarbonato de sodio o carbonato ácido de sodio), es un compuesto sólido cristalino muy soluble en agua, con un ligero sabor alcalino parecido al del carbonato de sodio, de fórmula NaHCO_3 . Los bicarbonatos son sales ácidas derivadas del ácido carbónico, de fórmula H_2CO_3 , que contienen el anión bicarbonato, de fórmula HCO_3^- .

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN GENERAL



El origen volcánico de la cuenca en la que se ubica el humedal de Chignahuapan, define las características fisicoquímicas de las corrientes de agua que en ella fluyen y resalta el carácter del relieve denudativo-erosivo de la Sierra de las Cruces y el corrimiento de tierras (Ortiz y Oropeza, 2013:34), la composición geológica está conformada por materiales diversos, que forman estratos diferenciados de brechas (rocas andesitas y dacitas) y tobas volcánicas, compuestas por materiales piroclásticos, originados por fenómenos volcánicos de carácter explosivo, este es el caso de las pumicitas, grupo de vidrios volcánicos, que varían en tamaño de ceniza (0.025 mm) a lapilli (32 mm), las de mayor tamaño reciben el nombre de pómez. La pumicita puede ser la retransportada por corrientes de agua y constituir capas sedimentarias (tobas), (Pantoja-Alor et al, 2000).

La cuenca cubre un área mayor a los 25 km y menor a los 250 km, por lo que se puede considerar como relativamente pequeña. Presenta forma muy similar a la del círculo tal como lo señala el índice de compactación; todo lo anterior coincide con la teoría al encontrarse en zonas homogéneas, que termina en un plano que está por debajo de la tabla de agua del río Lerma, lo cual incide en las características climáticas y en la vegetación que se desarrolla en el humedal en estudio.

Las características más relevantes de la morfología de la cuenca en la que se localiza el humedal de Chignahuapan, es su tendencia a la circularidad pese a que visualmente es similar a una pirámide, por lo que se esperaría que el desarrollo del perímetro fuera mayor a 1, sin embargo el perímetro resulto muy cercano a la circunferencia y similar a la forma del cuerpo de agua. En concordancia con la clasificación de (J & R, 1994) y con base en la vegetación presente, la mayor parte del área de estudio (58.51%) está cubierta por vegetación de tular entre otras especies y el resto de la superficie está cubierta por espejo de agua (41.48%), lo que permite establecer la diferencia entre el pantanal (marshes), la ciénega (fen) que permanece inundada todo el año y fangal (bogs), existen al menos tres áreas que corresponden a las características de cada tipo.

La vegetación acuática y subacuática cumple una función determinante en los flujos energéticos del humedal de Chignahuapan, a través de la fotosíntesis procesa energía solar, los compuesto de carbono disponible y liberan oxígeno. El análisis comparativo de las concentraciones de carbono en los sedimentos y en la biomasa seca, indica que el carbono almacenado en los sedimentos (223.75 Kg CO/m²) es casi nueve veces mayor al carbono almacenado en las muestras de vegetación (25.5 Kg CO/m².)

En la columna de agua del humedal de Chignahuapan se identificó un pH de neutro a levemente alcalino, las muestras de sedimentos mostraron valores de pH predominantemente ácidos, lo que remite a la dinámica propia de la cuenca, en la que las corrientes de agua arrastran el material terrígeno, específicamente el arroyo el Jilguero y su deposición en el fondo del cuerpo lacustre.

Entonces la acidez de los sedimentos que se han depositado en el sustrato lacustre, se debe a los materiales piroclásticos, ceniza, lapilli y pómez que forman la brecha volcánica en el sitio de origen de los sedimentos, los cuales tienen alto contenido de óxidos, hidróxidos y carbonatos, hidrosolubles y la presencia significativa de arena y menos las arcillas que tienen su origen en las rocas andesíticas compuestas principalmente de dióxido de silicio (SiO₂) o silicatos. Al respecto se estima que los humedales ocupan cerca del 4% de la superficie de la tierra, y contienen el 33% del carbono en suelo ((Gorham, 1991) (Eswaran et al., 1993) zz

La emisión de GEI, está altamente relacionado con la calidad de agua que presentan los cuerpos lenticos, por lo que la descripción fisicoquímica del agua ayuda a predecir la emisión de GEI. En los cuerpos de agua lenticos, la relación emisión de GEI, la calidad de agua y el aporte de nutrientes, adquieren importancia los niveles de contaminación y eutrofización que presentan estos cuerpos de agua ((Tremblay, 2005)).

Los valores de pH, tanto en la superficie, como en el fondo del lago, exhiben un potencial de hidrogeno que determina la alcalinidad del agua y niveles aceptables de oxígeno disuelto, que se corresponden con temperaturas de ambiente templado. Lo anterior estaría una tendencia a la alcalinidad (7.6-8.1) que expresa una buena calidad del agua para la vida acuática, lo que prevé la prevalencia de minerales alcalinos (calcio, el sodio, el potasio, el magnesio) que cumplen la función de antioxidantes y en consecuencia oxigenan el agua y limpian el cuerpo lacustre.

La distribución espacial del oxígeno disuelto en la columna de agua, indica que el aporte de nutrientes, entre ellos los fosfatos y nitratos que se originan de las actividades humanas no es significativo y por lo tanto tampoco se identificaron evidencias de eutrofización en el humedal en estudio, este fenómeno fue identificado en los canales periféricos al cuerpo de agua con la presencia de abundante lirio acuático, en los canales la descomposición de materia orgánica es evidente, lo que pudiera estar indicando emisiones furtivas de metano en estos sitios y en consecuencia el estado de las aguas del humedal de Chignahuapan o Atarasquillo, por el momento se puede definir con cierto grado de equilibrio en los flujos energéticos (Contreras et al, 1995, Carbajal, 2009 (Manahan, 2000)) señala que el oxígeno disuelto en el agua proviene principalmente de la atmosfera, por consiguiente la capacidad de que un cuerpo de agua se re-oxigene al entrar en contacto con la atmosfera es vital para los diferentes ciclos que allí se llevan a cabo. Por lo tanto cuando hay altas temperaturas la solubilidad del O_2 disminuye y si se suma un incremento en la tasa de respiración de los organismos (condiciones de grandes demandas de oxígeno y bajos niveles de solubilidad en el agua) resultan un agotamiento severo de O_2 .

La lectura de la distribución espacial del oxígeno disuelto, fue confirmada con las cinco muestras de agua determinadas en el laboratorio. Cuyos resultados indican bajas concentraciones de sulfatos y fosfatos (sales ácidas), excepto el id 20, en dónde el valor fue de $93.75 \text{ mg/L SO}_4^{2-}$, el nivel máximo de sulfato sugerido por la organización Mundial de la Salud (OMS) en las Directrices para la Calidad del Agua Potable, es de 500

mg/l. Las directrices de la Unión Europea son más recientes, 1998, sugieren un máximo de 250 mg/l de sulfato en el agua destinada al consumo humano. La concentración de fosfatos en un agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización, las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/l PO₄-P en el agua corriente y entre 0,005-0,01 mg/l PO₄-P en aguas tranquilas. La forma asimilable del fósforo es el ión fosfato y dado que en los puntos de muestreo los valores de fosfatos son 5.37, 2.44, 0.14, 4.87 y 3.16 mg/l PO₄⁻³.

Este aumento puede ser por el aporte desde la cuenca o bien por influencia antropogénica por medio del vertido de desechos de fertilizantes, detergentes, etcétera, siendo la intervención humana la que acelera el proceso. De acuerdo con las concentraciones de nutrientes los sistemas acuáticos se clasifican en oligotrófico (bajas concentraciones de nutrientes), mesotrófico (estado intermedio y no existe una importante alteración de los procesos ecológicos) y eutrófico (cuando la concentración de nutrientes es tan alta que los flujos de materia y energía son gravemente perturbados). Un cuarto estado, el distrófico se caracteriza por una elevada concentración de sustancias húmicas (aguas marrón-amarillentas) y es independiente de la carga de nutrientes ((Goyenola, 2007)).

Los principales indicadores de la eutrofización son básicamente cuatro, el fósforo, nitrógeno, clorofila y la profundidad de Secchi ((C, 2000)). Por su parte, (Tremblay, 2005) , concluyen que las emisiones de GEI en los cuerpos de agua (CO₂, el CH₄, y N₂O), están afectadas por la concentración de nutrientes y por las condiciones hidrológicas, estas últimas aumentan la pérdida de sedimento y las emisiones de CO₂., las emisiones de CH₄ y de N₂O de humedales inundados son más altos que para los sedimentos expuestos, el efecto neto sobre los gases de efecto invernadero puede ser similar entre ambas condiciones hidrológicas.

En las muestras analizadas las concentraciones de nitrógeno total, presentaron valores de 1.8, 3.4, 9.0, 4.7 y 6.3 mg/L, la NMX-AA-026-SCFI-2001 establece cinco rangos de nitrógeno total, los valores obtenidos en las muestras se ubican en el rango dos de 1-10 mg/L.

Las concentraciones de nitratos en las muestras reportaron valores de 0.44, 0.22, 0.58, 0.34 y 0.69 mg/L, el apartado de interferencias de la NMX-AA-026-SCFI-2001: 13, señala que durante la digestión, el nitrato en concentraciones por arriba de 10 mg/L puede oxidar parte del amoníaco liberado produciendo N₂O y dando lugar a una interferencia negativa. Cuando se encuentre presente materia orgánica reductora, el nitrato puede reducirse a amoníaco, resultando una interferencia positiva.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES GENERALES



En el humedal de Chignahuapan, los parámetros físico-químicos que reporta el análisis espacial de los 328 puntos de muestreo, el análisis de los sedimentos y la biomasa, así como el análisis químico de las muestras de agua, indican poca variación de la temperatura en la columna de agua (superficial y en profundidad), bajos niveles de salinidad, niveles aceptables oxígeno disuelto, bajos niveles de materia orgánica flotante y la presencia de abundante vegetación acuática y subacuática, sintetiza no solo la buena calidad del agua, sino que definen su función eco-sistémica como sumidero de carbono atmosférico. Lo anterior se desprende de las siguientes relaciones.

El dióxido de carbono en el agua, está presente por encontrarse en la atmosfera, por la descomposición de la materia orgánica y la producción de algunos microorganismos. El dióxido de carbono al igual que sus productos de ionización el ion bicarbonato (HCO_3^-) y el ion carbonato (CO_3^{2-}), tienen una gran influencia en la química del agua un ejemplo de lo anterior es cuando el CO_2 disuelto en el agua de la Ciénega.

A la par las concentraciones de fosfatos son poco significativas, lo cual indica que el humedal en estudio manifiesta condiciones intermedias, que indica que no se tiene una importante alteración de los procesos ecológicos (mesotrófico).

La poca significancia de las concentraciones de sulfatos en el agua, indica bajos niveles de materia orgánica en suspensión y por lo tanto, el potencial de emisión de metano no es significativo. Sin embargo, la posible oxidación de metano en los sedimentos dependerá del oxígeno disuelto, inhibición de la luz, la temperatura y la producción primaria que consuma CO_2 .

La comparación de los resultados de los análisis de los sedimentos y biomasa seca, ratifican que estos fungen como almacenes de carbono y que los sedimentos acumulados en el sustrato del fondo, acumulan nueve veces más carbono que la

vegetación, en una relación 89% (sedimentos) y 11% (Biomasa). Esta relación es mayor a la reportada en los compartimientos de los ecosistemas terrestres, los suelos almacenan carbono tres o más veces que la biomasa de la vegetación.

En el estudio se identificaron tres tipos de áreas diferenciadas por el nivel de inundación que presentan: pantanal, fangal y ciénega, no obstante que estos tipos conforman ambientes distintos, en general presentan la merma de los niveles de inundación de forma natural e inducida, que conduce a la progresiva colmatación o relleno del cuerpo lacustre. Se constató que los ejidatarios realizaron un dragado para ampliar la profundidad máxima, esta actividad ha repercutido no solo en las características morfológicas, la profundidad relativa y el volumen del cuerpo de agua, sino que en el mediano plazo puede alterar las funciones ecológicas y bioquímicas especialmente en la ciénega.

El análisis de los datos aportados por el muestreo general de 328 puntos, se identificaron tres tipos de comportamiento del agua de acuerdo con el valor de pH. Los valores de 9, inducen que el humedal está alcalinizado.

Las fortalezas del humedal de Chignahuapan, está en las condiciones ecosistémicas prevalecientes, mismas que muestran todavía aptitudes y capacidad para recuperarse de la presión que ejercen los factores externos (resiliencia) y el mantenimiento de cierto equilibrio dinámico (homeóstasis). Estas condiciones están caracterizadas por la ciénega (espejo de agua) propiamente dicha, y las zona someras de los fangales y pantano, sitios en los que se desarrolla la vegetación acuática nativa (sumergida, flotante y enraizada), la elevada diversidad florística y la producción primaria en las plantas acuáticas y subacuáticas, así como las aves nativas y migratorias que estacionalmente anidan y se desarrollan en el área.

Las oportunidades se desprenden de la viabilidad de generar proyectos de desarrollo limpio, entre los que sobresalen los bonos de carbono, lo cual es posible sustentado en

su carácter de área natural protegida y humedal de importancia internacional; las debilidades están en el fraccionamiento de los derechos de propiedad en cinco áreas de aprovechamiento cinegético, que manifiestan rupturas sociales y carencia de acuerdos sobre el destino y forma de aprovechamiento del humedal; la propiedad del humedal es una atribución de cuatro ejidos: San José del Llanito, Amomolulco y Jajalpa, San Nicolás Peralta y San Antonio del Llanito, los ejidatarios arrendan el aprovechamiento de la ciénega a otras personas para que se encarguen del cuidado y presten el servicio de caza a los interesados. Las amenazas se expresan en la elevada influencia antropogénica que se observa en las numerosas localidades que se asientan en la sierra, pie de monte y la planicie, lo que demarca el confinamiento y ratifica el carácter remanente del cuerpo lacustre y expresa la propensión a las descargas de aguas residuales, deforestación y erosión de las sierras, las que colocan al humedal en condiciones altamente vulnerables, que entre otras cosas, pueden inducir variaciones en el potencial de hidrogeno del agua (pH) hacia condiciones más alcalinas, lo que desencadenaría alteraciones de gravedad para la biodiversidad presente.

La aproximación social que se tuvo con las autoridades, CONANP, ejidatarios y arrendatarios, permitió comprender la dinámica social del lago, la que se resume en la lucha por el control del mismo y el deseo de los ejidatarios de hacerla mucho más productiva desde el punto de vista económico.

Este estudio aporta información básica, para mejorar el aprovechamiento de la diversidad biológica del humedal, lo que remite a la importancia de tomar en cuenta el funcionamiento e interacción del medio biótico, abiótico y social, con la finalidad de desarrollar proyectos de manejo y conservación específicos para garantizar la sustentabilidad de este ecosistema complejo.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA



- A, A. I. (1998). *El proceso de la Entrevista: conceptos y modelos* Mexico DF
- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., . . . Matvienko, B. (2005). Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles*, 19(4), GB4007. doi: 10.1029/2005GB002457
- Aguilar-Salazar, F., González-Iturbide, J. A., Senties-Granados, A., Rueda, M., Herrera-Silveira, J., Olmsted, I., . . . Figueroa-Paz, F. (2003). *Batimetría, variables hidrológicas, vegetación acuática sumergida y peces de la laguna Yalahau, Quintana Roo, México*: Instituto Nacional de la Pesca
- Alfaro, R. V. C. (2002). *Determinación de la calidad de agua en pozos localizados en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán y alternativas de tratamiento para su mejoramiento* (Maestría en Ciencias del Agua maestría), Universidad Autonoma del Estado de México Toluca Mexico.
- Alicia Chirinos, M, A. G., & Díaz, M. S. (2013). Estudio preliminar de los parámetros físicos y químicos del agua cruda del río San Antonio del municipio Miranda del Estado Falcón from <http://www.monografias.com/trabajos40/calidad-agua-miranda/calidad-agua-miranda.shtml>
- Alvarado, J. J., & Aguilar, J. F. (2009). Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57, 19-29.
- Angel, O. M., & Jesús, M. (1994). *Técnicas de comunicación en radio (La realizacion radiofonica)* Barcelona
- Augusto, B. H. C., Wills Toro, Á., & J, A. R. N. (2008). Principales aspectos morfométricos de la ciénega de Cachimbero Santander-Colombia. *Gestión y ambiente*, 11(2), I-VIII.
- B., A. Z. (1995). *Tules y Sirenas El Impacto ecológico y cultural de la industrialización en el Alto Lerma* (1 ed.). México: El Colegio Mexiquense A.C
- Gobierno del Estado de México
- Barbur, C. D. (1973). A Biogeographical History of Chirostoma (Pisces: Atherinidae): A Species Flock from the Mexican Plateau. *Copeia*, 1973(3), 533-556.
- Bloomfield, K. (1975). A late-Quaternary monogenetic volcano field in central Mexico. *Geologische Rundschau*, 64(1), 476-497. doi: 10.1007/BF01820679
- Brenner, J. (1997). *Estimación de batimetría utilizando datos multiples caso de estudio Laguna La Nacha, Tamaulipas*
- (Maestro en Ciencias con especialidad Ingenieria Ambiental Subespecialidad en Evaluación e Impacto), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Monterrey Nuevo León
- Brown, S. (1986). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. (FAO Forestry Paper - 134). *FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations Forestry Paper*, 134, 35.
- C, O. G. (2000). Eutrofización en embalses de altura, Incachaca-jhampaturi. . *Problrmatica del siglo XXI*, 20-35.
- CCRECL. (1993). *Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrografica del Rio Lerma. Tomo 1 Cartografía y anexo de documentos básicos* (C. C. p. l. R. E. d. l. C. d. R. Lerma Ed. 1 ed. Vol. 1). Estado de México Gobierno del Estado de México
- Clark-Tapia, R., Angela, V.-G., Alfonso-Corradó, C., Mario, F. C., Venegas-Barrera, C. S., Viviana, R., & Gandarillas3., R. J. S. (2010). Estudio batimétrico y transformación de la laguna Encantada □ de Guelatao,
- Oaxaca, México.
- Cristina Pintor Ruano, García, J. Á. L., & Berenguer, R. C. i. (2009). Batimetrías de los lagos aragoneses *Naturaleza aragonesa: revista de la sociedad de amigos del mueseopaleontológico de la Universidad de Zaragoza*, 22, 45-56.
- D, S., D, S. S., & K, P. P. (1992). assessment of eutrophication in the marine environment of Visakhapatnam using nutrient index as a tool. . *Indian J. Mar. Sci.*, 21(2).

- Del Rincón, D., Arnal, J., Latorre, A., & Sans, A. (1995). *Técnicas de Investigación en Ciencias Sociales*. Madrid: Dykinson.
- Demarty, M., Bastien, J., & Tremblay, A. (2011). Annual follow-up of gross diffusive carbon dioxide and methane emissions from a boreal reservoir and two nearby lakes in Québec, Canada. *Biogeosciences*, 8(1), 41-53. doi: 10.5194/bg-8-41-2011
- Deutsch, W. J. (1997). *Groundwater Geochemistry: Fundamentals and Applications to Contamination*: Taylor & Francis.
- Dugan, P. J. (1992). *Conservación de humedales: un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias*: UICN, Unión Mundial para la Naturaleza.
- NMX-AA-028-SCFI-2001, Análisis de Agua- Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales Residuales (DBO5) y residuales tratadas- Método de Prueba (2001).
- ECONOMIA, S. D. (Cartographer). (2001). NMX-AA-036-SCFI-2001 Analisis de Agua- Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, Método de Prueba NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de Aguas Determinación de Fósforo total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas -Método de Prueba NMX-AA-029-SCFI-2001 C.F.R. (2001a).
- NMX-AA-030-SCFI-2001 Análisis de Agua Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba NMX-AA-030-SCFI-2001 C.F.R. (2001b).
- NMX-AA-079-SCFI-2001 Análisis de Aguas Determinación de Nitratos en Aguas Naturales Potables Residuales y residuales tratadas - Método de prueba NMX-AA-073-SCFI-2001 C.F.R. (2001).
- Edy Godoy Oriundo. (2005). *Levantamiento hidrográfico automatizado, para la determinación de la ruta óptima de navegación en el Río Ucayali*. (Ingeniero Mecánico de Fluidos), Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima
- Emerson, S., Sabine, C., Cronin, M. F., Feely, R., Cullison Gray, S. E., & DeGrandpre, M. (2011). Quantifying the flux of CaCO₃ and organic carbon from the surface ocean using in situ measurements of O₂, N₂, pCO₂, and pH. *Global Biogeochemical Cycles*, 25(3), GB3008. doi: 10.1029/2010GB003924
- Ensign, S. H., Halls, J. N., & Mallin, M. A. (2004). Application of digital bathymetry data in an analysis of flushing times of two large estuaries. *Computers & Geosciences*, 30(5), 501-511. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2004.03.015>
- Estela, O.-H. M., J, G.-H. N., & Leonor, G.-S. D. (2013). *Metodología de la Investigación Ambiental. Aproximaciones sucesivas en Comunidades y Recursos Naturales Gestion del Desarrollo Rural O.H.M.E.* Toluca México: Universidad Autonoma del Estado de México
- Esteller, M. V., & Diaz-Delgado, C. (2002). Environmental effects of aquifer overexploitation: a case study in the highlands of Mexico. *Environ Manage*, 29(2), 266-278.
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., & Reich, P. (1993). Organic Carbon in Soils of the World. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57(1), 192-194. doi: 10.2136/sssaj1993.03615995005700010034x
- Falo, F. (1949). *Trabajos Topográficos en el interior del Tunel del Río Lerma*. (Ingeniero), Universidad Autonoma Nacional de México, Mexico
- Federación, D. O. d. l. (2002). *Decreto por el que se declara Área Natural protegida la region de las Ciéngas del Lerma*. Mexico Diario Oficial de la federación Mexicana
- Gabriela, R. G. (2003). *Variación Temporal del Fitoplancton en la Laguna Chignahupan, Estado de México* (Biologa), Universidad Autonoma de México Mexico DF.
- Gallardo Sancha Juan , Agustín, H. A., & Fuente Gil, E. (1992). Batimetría mediante sensores remotos (y II). *Topografía y cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, 9(52), 68-75.
- González-Molina, L., Etchevers-Barra, J. D., & Hidalgo-Moreno, C. (2008). Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia*, 42, 741-751.
- Gorham, E. (1991). Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1(2), 182-195. doi: 10.2307/1941811
- Goyenola, G. (2007). Guía para la utilización de las Valijas Viajeras, Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, Red MAPSA. Retrieved Mayo 2011, 2011, from <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>

- Granato, L., & Harvey, A. (2000). La entrevista de divulgación científica: un estudio de casos *Onomazein*, 5, 83-94.
- Gratia, F.-S. (2009). *Variación morfológica de Aztecula Sallaei del Alto Lerma: implicaciones taxonómicas y de conservación*. (Biólogo), Universidad Autónoma del Estado de México Toluca Mexico
- Huttunen, J. T., Alm, J., Liikanen, A., Juutinen, S., Larmola, T., Hammar, T., . . . Martikainen, P. J. (2003). Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions. *Chemosphere*, 52(3), 609-621. doi: 10.1016/s0045-6535(03)00243-1
- NMX-AA-074-1981 Analisis de agua determinación del ion sulfato, NMX-AA-074-1981 C.F.R. (1981).
- Isaura, M. C. Y. (1993). *La evolución de la superficie de las lagunas de Lerma y sus principales repercusiones físicas, biológicas y humanas*. (Licenciatura de Geografía), Universidad Autónoma del Estado de México Toluca Mexico
- J, H. A., & R, G. C. (1994). *Limnology* (3 Ed ed.). USA.
- J., P. E., H, S., O, Z., & M, T. (2009). Estimates of Carbon Reservoirs in High-Altitude Wetlands in the Colombian Andes. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* 110(2), 115-126.
- Javier, R. Q. (1974). *Almoloyan Su Rio y Puentes Coloniaes Su Acueducto* (1 ed ed.): Gobierno del Estado de México.
- José, Z. V. (1993). La entrevista In R. N. T. Centre (Ed.), *Enciclopedia para la Autoformación Radiofonica* (1 Ed. ed., Vol. 6). Paisés Bajos
- L, W. A., & R, R. K. (2009). Greenhouse Gas Emmissions in the Everglades: The Role of Hydrologic Conditions [june 2012]. *University of Florida IFAS extension*(SL2888).
- Lewis, E., Wallace, D., & Greg Pelletier. (1998). Program Developed for CO₂ System Calculations. ORNL/CDIAC-105. (Version co2sys.xls
- A calculator for the CO₂ system in seawater for Microsoft Excel/VBA). Retrieved from <http://cdiac.esd.ornl.gov/oceans/co2rprt.html>
- Ley de Aguas Nacionales (1992).
- Ley general del equilibrio ecologico y la proteccion al ambiete (1988).
- Likens, G. E. (2010). *Lake Ecosystem Ecology: A global Perspective* (2 ed.). China.
- M, F. (2010). *levantamientos batimetricos* (tema 13).
- Magnussen, S. (2004). Modeling for Estimation and Monitoring. *National Forest Assessments knowledge reference*.
- Manahan, S. E. (2000). *Fundamentals of Environmental Chemistry, Second Edition*: Taylor & Francis.
- Márquez, L. (1997). *Validación de campo de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales.*, Universidad del Valle de Guatemala Guatemala.
- Martínez Torres Luis Miguel, González Tapia, J. R., & Ramon-Lluch, R. (1992). Batimetría y propuesta de cartografía geológica del Lago de Arreo (Diapiro de Salinas de Añana, Alava). *Cuadernos de Sección Historia-Geografía*, 20, 123-134.
- Medina-Benavides, C., Calero-González, c., Hurtado, H., & -Soto, E. V. (2009). CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA AEREA DE CAFÉ (Coffea arábica L.) CON SOMBRA, EN LA COMARCA PALO DE SOMBRERO, JINOTEGA, NICARAGUA. *La Calera*, 9(12), 28-34.
- Mehrbach, C., Culberson, C. H., Hawley, J. E., & Pytkowicz, R. M. (1973). Measurement of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure. *Limnology and oceanography*, 18(6), 897-.
- Mitsch William J, & G., G. *Wetlands* (4 ed.). USA: Wiley
- Molina Giraldo, N., Piza Torres, C., & Wills Toro, Á. (2007). Evaluación del comportamiento hídrico de la ciénega de Cachimbero, implementando un modelo de balances de flujo. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 56-68.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos estudio, muestreo y análisis, NOM021-SEMARNAT2000 C.F.R. (2002).

- O., B. B. H., & E., L. A. G. (2007). *Información técnica sobre el cambio climático y los gases efecto invernadero* Colombia
- Ortega-Guerrero, M. A. (2009). Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 26, 143-161.
- Patton, M. Q. (1980). *Qualitative evaluation methods*: Sage Publications.
- R, T. O., & J.L., G. C. (1995). *Introducción al manejo de datos Limnológicos* (1 ed.). México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.
- Ramon, M. (1983). *Limnología* (1 ED ed.). Barcelona: Ediciones Omega
- RAMSAR. (2011). El texto de la Convención de Ramsar y otros documentos originales importantes Retrieved 2013, 2011, from http://www.ramsar.org/cda/ramsar/display/main/main.jsp?zn=ramsar&cp=1-31-38_4000_2
- Reddy, K. R., & DeLaune, R. D. (2008). *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*: Taylor & Francis.
- Reissmann, J. (1999). Bathymetry of four deep Baltic basins. *Deutsche Hydrografische Zeitschrift*, 51(4), 489-497. doi: 10.1007/BF02764169
- Robert, W. (1981). *Limnología*. Barcelona, España.
- Rodier, J., & Geoffroy, C. (1990). *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar : química, fisicoquímica, bacteriología, biología*: Omega.
- Rosa, L., dos Santos, M., Matvienko, B., dos Santos, E., & Sikar, E. (2004). Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs in Tropical Regions. *Climatic Change*, 66(1-2), 9-21. doi: 10.1023/B:CLIM.0000043158.52222.ee
- Strömberg, K. (1998). *Greenhouse Gas Emission From small Wetlands in the Göteborg Area SW Sweden ; a comparative study of spring and summer dynamics of methane and carbon dioxide* (B172), Göteborg University Göteborg (B172)
- Sugiura Yamamoto, Y. (2009). *La Gente de la Ciénega en tiempos antiguos La historia de Santa Cruz Atizapan*. Mexico: El colegio Mexiquense
- Sweeney, C., Gloor, E., Jacobson, A. R., Key, R. M., McKinley, G., Sarmiento, J. L., & Wanninkhof, R. (2007). Constraining global air-sea gas exchange for CO₂ with recent bomb 14C measurements. *Global Biogeochemical Cycles*, 21(2), GB2015. doi: 10.1029/2006GB002784
- T, H. J., Tania, H., Pertti, M., Kristina, S., & Martikainen, P. J. (2004). Potencial springtime greenhouse gas emissions from a small southern boreal lake (Keihäsjärvi, Finland). *Boreal Environmental Research*, 9(1), 421-427.
- Takahashi, T., Sutherland, S. C., Sweeney, C., Poisson, A., Metzl, N., Tilbrook, B., . . . Nojiri, Y. (2002). Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49(9-10), 1601-1622. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0645\(02\)00003-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0645(02)00003-6)
- Tremblay, A. (2005). *Greenhouse Gas Emissions - Fluxes and Processes: Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*: Springer.
- Tremblay, A., Varfalvy, L., Roehm, C., & Garneau, M. (2011). *Greenhouse Gas Emissions - Fluxes and Processes: Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*: Springer.
- Trujillo, E., Martínez, V., & Flores, N. S. (2008). Ajuste del Equilibrio Químico del Agua Potable con Tendencia Corrosiva por Dióxido de Carbono. *Información tecnológica*, 19, 89-101.
- Vázquez-Figueroa, V., Canet, C., Prol-Ledesma, R. M., Sánchez, A., Dando, P., Camprubí, A., . . . Hiriart Le Bert, G. (2009). Batimetría y características hidrográficas (Mayo, 2007) en las Cuencas de Consag y Wagner, Norte del Golfo de California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61, 119-127.
- Vicente Esteban Chaparría, José Aguilar Herrando, José Serra Peris, & Folgado, J. R. M. (1995). levantamientos y seguimientos topo-batimétricos en ingeniería de costas *Ingeniería del Agua*, 2(num. Extraordinario), 181-200.
- Wang, L., Song, C., Song, Y., Guo, Y., Wang, X., & Sun, X. (2010). Effects of reclamation of natural wetlands to a rice paddy on dissolved carbon dynamics in the Sanjiang Plain, Northeastern China. *Ecological Engineering*, 36(10), 1417-1423. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.021>

- Wanninkhof, R., & McGillis, W. R. (1999). A cubic relationship between air-sea CO₂ exchange and wind speed. *Geophysical Research Letters*, 26(13), 1889-1892. doi: 10.1029/1999GL900363
- Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (2000). *Limnological analyses* New York Springer - Verlag
- Worrall, F., Burt, T. P., Rowson, J. G., Warburton, J., & Adamson, J. K. (2009). The multi-annual carbon budget of a peat-covered catchment. *Sci Total Environ*, 407(13), 4084-4094. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.03.008
- YamamotoYoko, S. (1998). *La caza, la pesca y la recolección: etnoarqueología del modo de subsistencia lacustre en las ciénegas del Alto Lerma Mexico* DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zepeda-Gómez, C., Lot-Helgueras, A., Nemiga, X. A., & Madrigal-Uribe, D. (2012). FLORÍSTICA Y DIVERSIDAD DE LAS CIÉNEGAS DEL RÍO LERMA ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO *Acta Botánica Mexicana*(98), 23-49.
- Zepeda Gómez, C., Nemiga, Xanat Antonio, HelguerasLot, Madrigal Antonio, & DelfinoUrabe. (2012). Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas (Mx)*(78), 48-61

Orozco- Hernández, María Estela, Nancy González Hernández, Dulce Leonor Gutiérrez Sánchez.(2013) Metodología de la investigación ambiental. Aproximaciones sucesivas, en Gestión del desarrollo rural. Orozco Hernández M. E, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, pp. 46-95.

Orozco-Hernández, María Estela, Grattia Dei Flores Salgado, Patricia Míreles Lezama (2013). Modos de vida y recursos lacustres: Comunidades ribereñas de la ciénega de Chignahuapan, México”, VII Congreso Internacional CEISAL 2013. Memoria, presente y porvenir en América Latina, realizado del 12 al 15 de junio de 2013, en la ciudad de Porto, Portugal., en la Universidad Fernando Pessoa.

CAPÍTULO 10 ANEXOS



©GratiaDeiiFlores 2012

Anexo 1 Fe de erratas del capítulo Revisión comparativa de métodos para la medición de gases efecto invernadero en cuerpos de agua.

En el capítulo se han advertido los siguientes errores y para su identificación será la paginación del capítulo/paginación de este documento:

1. Página 216/ : dice La solubilidad de un gas en agua será calculada acorde a la ley ...debiendo decir La solubilidad de un gas se calcula de acuerdo con la ley ...
2. Página 217/ : dice ... y el ion carbonato (CO_3^{2-})... debería decir ... y el ion bicarbonato (CO_3^{2-})...
3. Página 218/ : a) dice ...Otras características químicas que se ven afectadas por la concentración de dióxido de carbono son la alcalinidad y la concentración de calcio disuelto, debería de decir ...Otra característica química que se ve afectada por la concentración de dióxido de carbono es la concentración de calcio disuelto. b) dice...Las NE no se pueden medir directamente para lo que se utiliza las media de GE antes y después de la construcción y obteniendo la diferencias de éstas. Las GE están relacionadas con las medidas de rutina como la velocidad..., debería de decir Las NE no se pueden cuantificar directamente para lo que se utiliza la cuantificación de GE antes y después de la construcción y se obtiene las diferencias entre éstas. Las GE están relacionadas con los parámetros de rutina como la velocidad...
4. Página 223/ : dice ...existen tres técnicas básicas para medir la difusión... debería decir existen tres técnicas básicas para conocer las difusión..
 - 1) Página 224/ :dice... Método químico basado en el pH, alcalinidad y temperatura, el que consiste en que el carbono inorgánico está compuesto por cuatro tipos de CO_2 disuelto, ácido carbónico H_2CO_3 , bicarbonato HCO_3^- y el carbonato CO_3^{2-} , los que están estrechamente relacionados con la alcalinidad, con la curva de valoración...debería decir Método químico basado en el pH, acidez, alcalinidad y temperatura, que consiste en que el carbono inorgánico está compuesto por cuatro tipos de CO_2 disuelto, ácido carbónico

H_2CO_3 que depende de la acidez, mientras que bicarbonato HCO_3^- y el carbonato CO_3^{2-} están estrechamente relacionados con la alcalinidad y el valor del pH, con la curva de valoración se mide la alcalinidad es decir la capacidad de neutralizar los iones H^+ , a partir de esta se infiere la concentración de carbón inorgánico en la ecuación 1 se calculan indirectamente las otras tres compuestos de carbón.

5. Página 225/ : a) dice... CO_2 y debería decir CO_2 ... b)...consiste en medir la evasión biológica... debería de decir consiste en determinar la evasión biológica...
6. Página 227/ : dice ... proporciona medidas exactas y ...debería decir proporciona valores exactos ...
7. Página 228/ : dice ... a los GEI no podemos concebir... debería de decir a los GEI no es posible concebir ...
8. Así como la cita de Ströber 1998(Strömberg, 1998) no aparece y se pondrá la final de este trabajo con todas las demás referencias

Anexo 2 Hoja de campo datos geoespaciales



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM

REGISTRO DE CAMPO
BATIMETRÍA DE LA LAGUNA DE SAN BARTOLO
LABORATORIO DE CIENCIAS AMBIENTALES DE LA FACULTAD DE PLANEACION

PROYECTO DE INVESTIGACION “FLUJOS DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIENENGA DE CHIGNAHUAPAN, ESTADO DE MÉXICO”, RESPONSABLE: GRATIA DEII FLORES SALGADO

Caracterización geográfica

Fecha : ___/___/___ Hora: ___:___ hrs temperatura ambiente : ___°C

Velocidad del viento _____ dirección del viento: _____

NOMBRE DEL COLECTOR: _____

EQUIPO QUE SE UTILIZO: _____

Número de punto en la ruta de GPS: _____

Distancia entre el punto anterior y actual: _____ m

Longitud		
Latitud		
Profundidad		
Presión absoluta (qfe)	Presión absoluta (qfe)	
Presión relativa (qnh)	Presión relativa (qnh)	
Tules	Fijos	Móviles
Fauna	Nativa	migrante

Observaciones: _____

Anexo 3 hoja de campo caracterización fisicoquímica



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM

Caracterización química

Número de punto en la ruta de GPS: _____

Fecha : ___/___/___

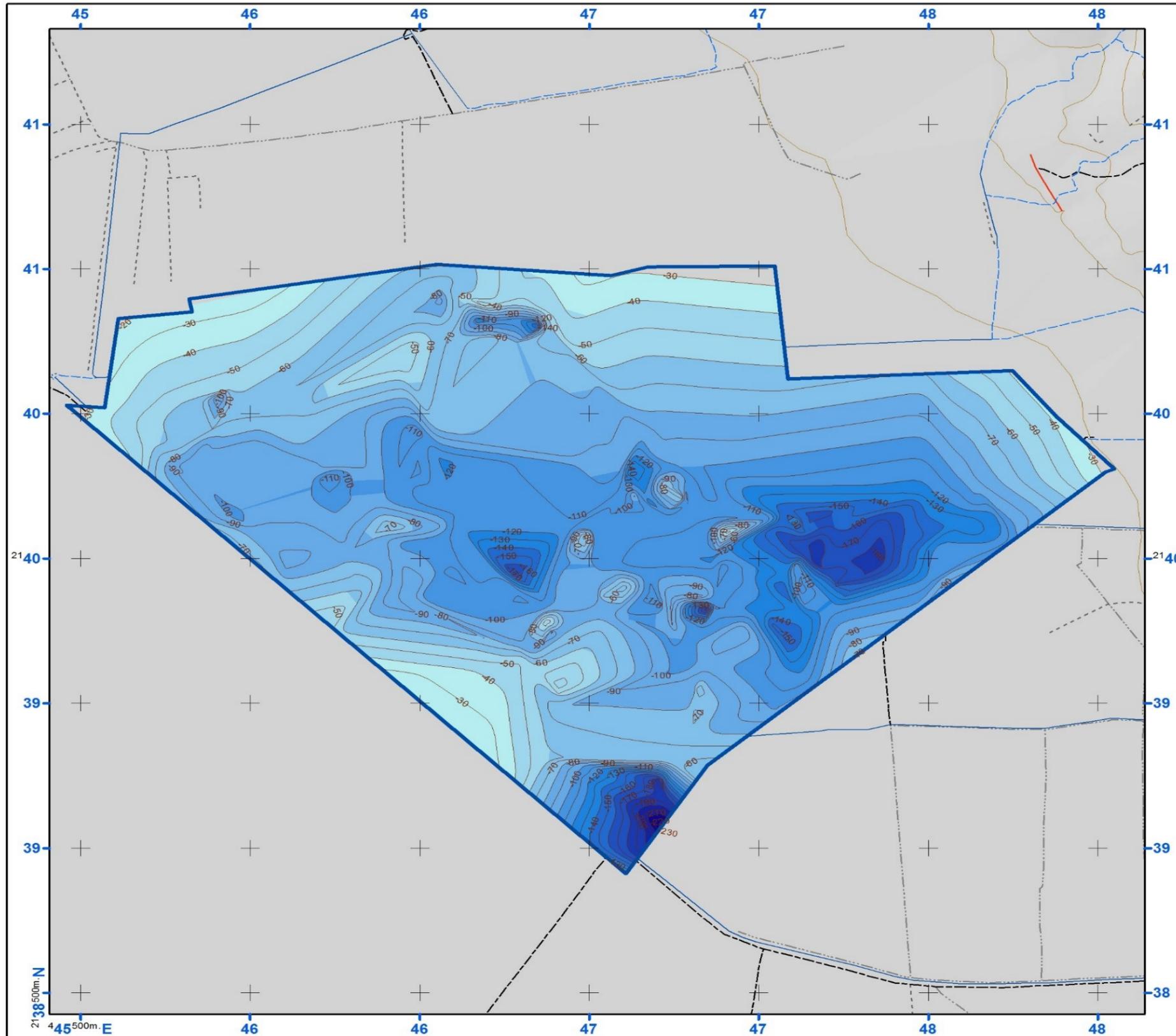
Superficial	
pH	
CE (conductividad eléctrica)	
Turbidez	
OD	
Temperatura del agua	
Salinidad	

Fondo	Profundidad
pH	
CE (conductividad eléctrica)	
Turbidez	
OD	
Temperatura del agua	
Salinidad	

Observaciones: _____



Anexo 4 Mapas obtenidos durante la investigación





Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Química

FLUJO DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIENEGA DE CHIGNAHUPAN, ESTADO DE MÉXICO

Batimetría

Simbología Temática

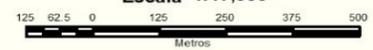
Profundidad en Centímetros

	-220 a -240
	-200 a -220
	-180 a -200
	-160 a -180
	-140 a -160
	-120 a -140
	-100 a -120
	-80 a -100
	-60 a -80
	-40 a -60
	-20 a -40

Rasgos Convencionales

Vías de Comunicación	Rasgos Hidrológicos
Tipo	Condición
Pavimentada	Perenne
Terracería	Intermitente
Brecha	En Operación
Vereda	Flujo Virtual
Isobatas	Curvas de Nivel

Escala 1:17,000



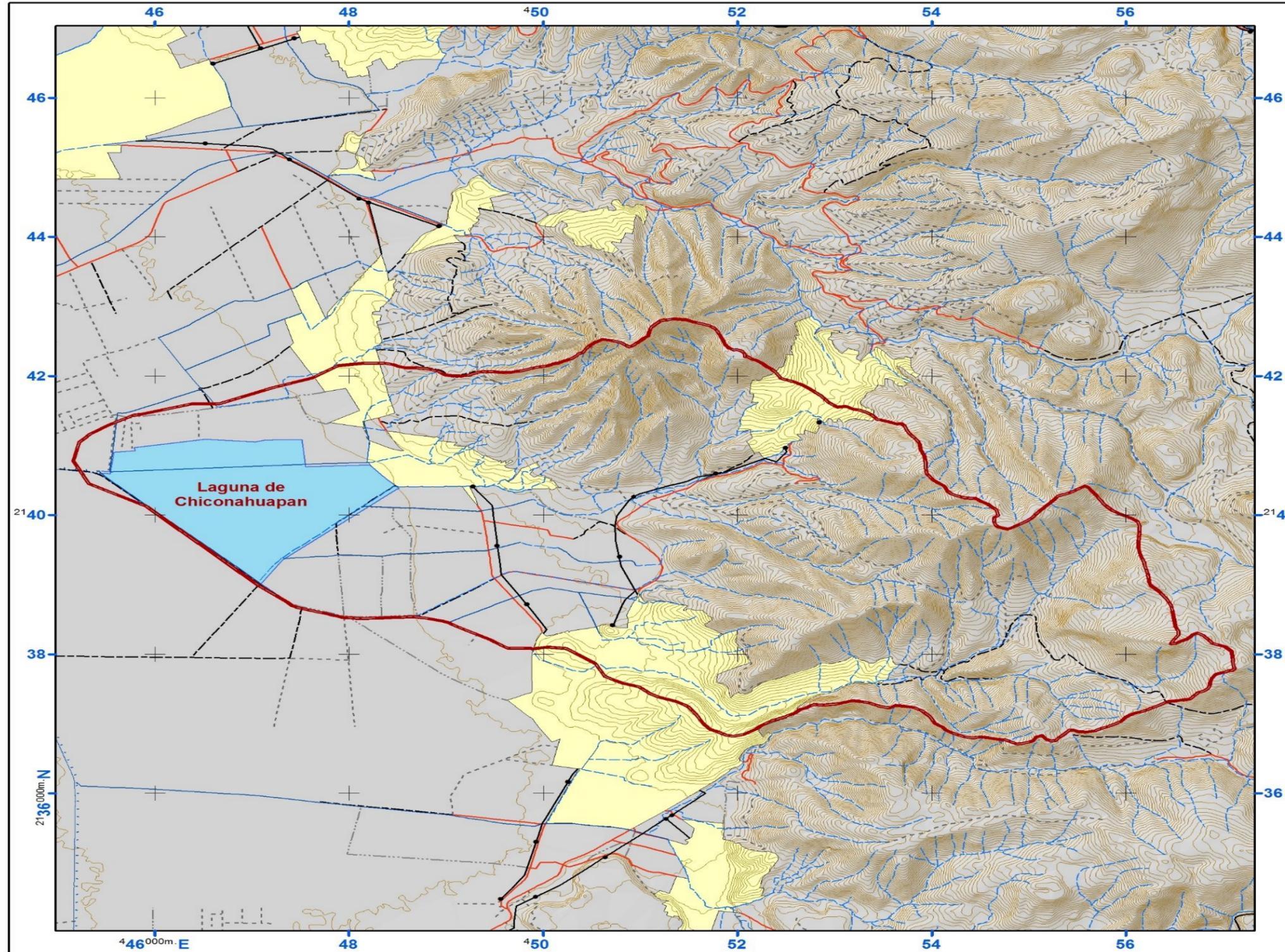
Metros



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Elipsoide: GRS80
 Datum Horizontal: ITRF92
 Zona Cartográfica: 14 Norte
 Fecha de Edición: Noviembre 2013

Fuente:
 Archivos vectoriales E14a38, INEGI, (2003)
 Trabajo de Campo, Bióloga Gratia Dei Flores Salgado

Dirigida por: Dra. María Estela Orozco Hernández
 M. en C. Patricia Mireles Lezama
 Dra. Verónica Martínez Miranda




Universidad Autónoma del Estado de México
 Facultad de Química
 

FLUJO DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIÉNEGA DE CHIGNAHUPAN, ESTADO DE MÉXICO

Localización del Área de Estudio

Rasgos Convencionales

-  Áreas Urbanas
-  Límite de Cuenca
-  Curvas de Nivel
- Vías de Comunicación
- Tipo
-  Pavimentada
-  Terracería
-  Brecha
-  Vereda
-  Telefónica
- Rasgos Hidrológicos
- Condición
-  Perenne
-  Intermiteinte
-  En Operación
-  Flujo Virtual

Escala 1:65,000

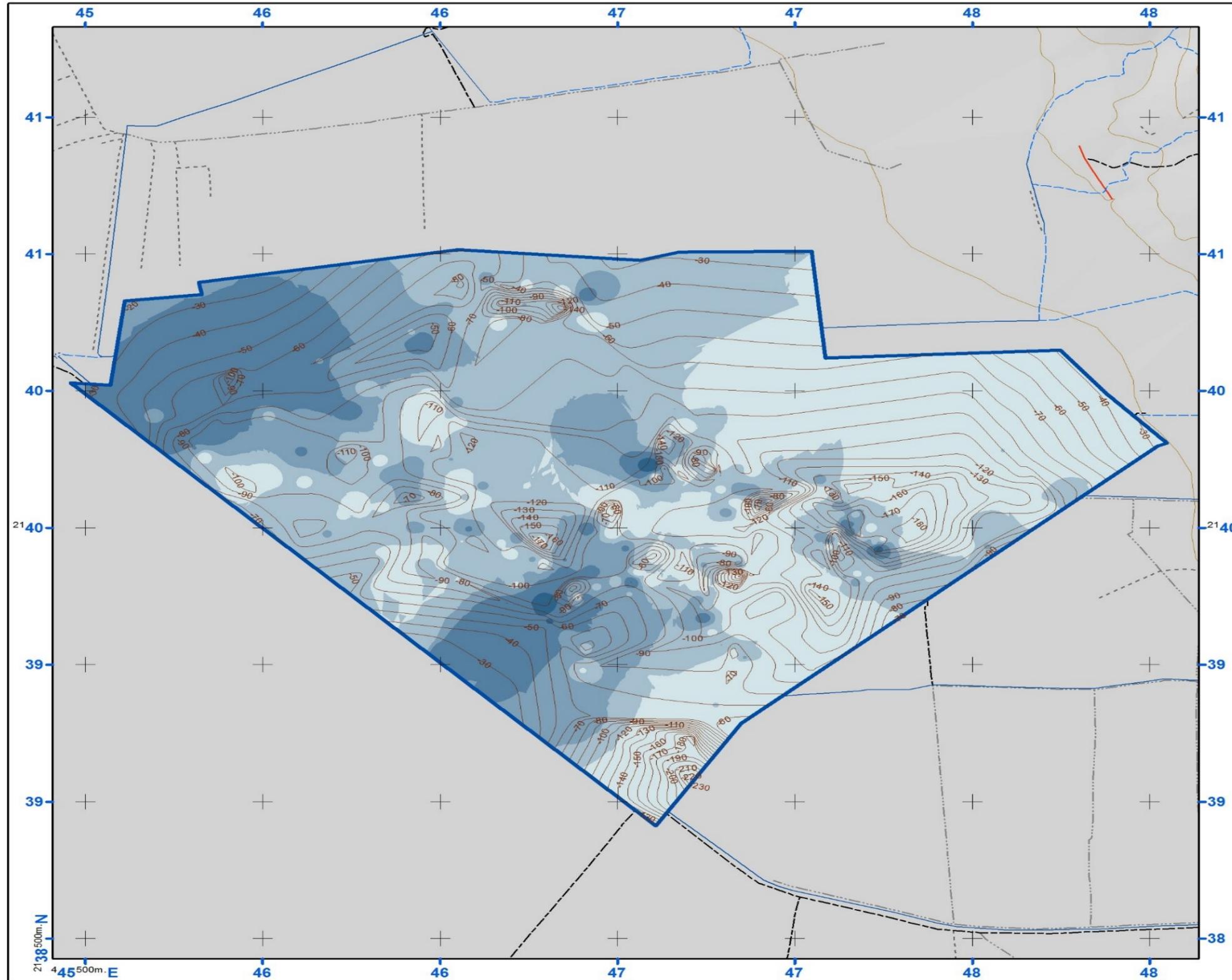


625 312.5 0 625 1,250 1,875 2,500 Metros

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Elipsoide: GRS80
 Datum Horizontal: ITRF92
 Zona Cartográfica: 14 Norte
 Fecha de Edición: Noviembre 2013

Fuente:
 Archivos vectoriales E14a38. INEGI, (2003)
 Trabajo de Campo, Bióloga Gratia Dei Flores Salgado

Dirigida por: Dra. María Estela Orozco Hernández
 M. en C. Patricia Mireles Lezama
 Dra. Verónica Martínez Miranda





Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Química

FLUJO DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIÉNEGA DE CHIGNAHUPAN, ESTADO DE MÉXICO

Oxígeno Disuelto en Profundidad

Simbología Temática

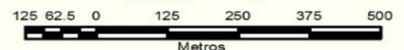
Oxígeno Disuelto

	-0.3 - 2.5
	2.51 - 4.6
	4.7 - 7.5
	7.6 a 14
	14.1 - 30.6

Rasgos Convencionales

Vías de Comunicación Tipo	Rasgos Hidrológicos Condición
Pavimentada	Perenne
Terracería	Intermittente
Brecha	En Operación
Vereda	Flujo Virtual
Isobatas	Curvas de Nivel

Escala 1:17,000



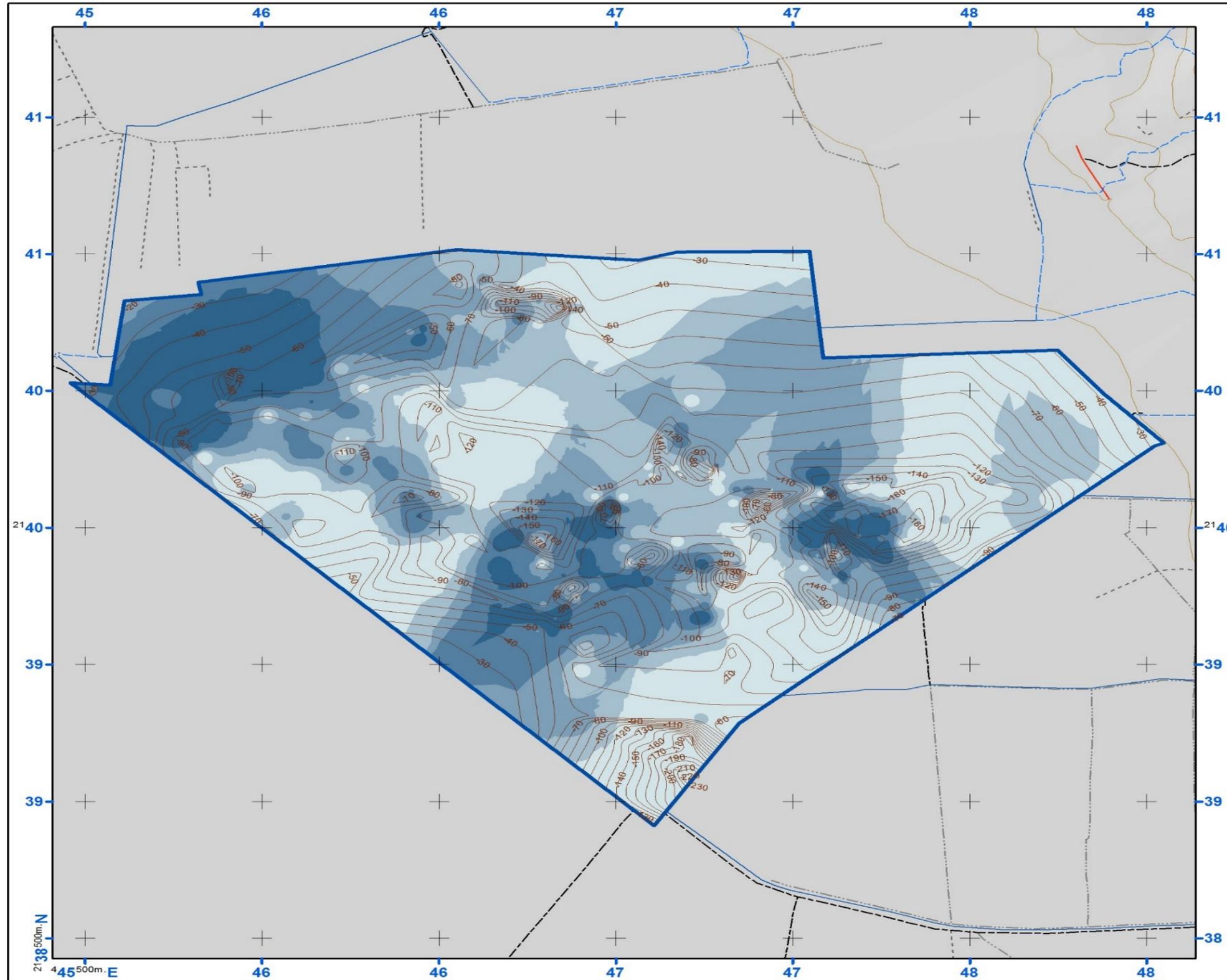
Metros



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Elipsoide: GRS80
 Datum Horizontal: ITRF92
 Zona Cartográfica: 14 Norte
 Fecha de Edición: Noviembre 2013

Fuente:
 Archivos vectoriales E14a38. INEGI, (2003)
 Trabajo de Campo, Bióloga Gratia Dei Flores Salgado

Dirigida por: Dra. María Estela Orozco Hernández
 M. en C. Patricia Mireles Lezama
 Dra. Verónica Martínez Miranda





Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Química

FLUJO DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIÉNEGA DE CHIGNAHUPAN, ESTADO DE MÉXICO

Oxígeno Disuelto en Superficie

Simbología Temática

Oxígeno Disuelto

	0 - 4
	4.1 - 6
	6.1 - 8
	8.1 - 10
	10.1 - 20.8

Rasgos Convencionales

Vías de Comunicación	Rasgos Hidrológicos
Tipo	Condición
Pavimentada	Perenne
Terracería	Intermitente
Brecha	En Operación
Vereda	Flujo Virtual
Isobatas	Curvas de Nivel

Escala 1:17,000



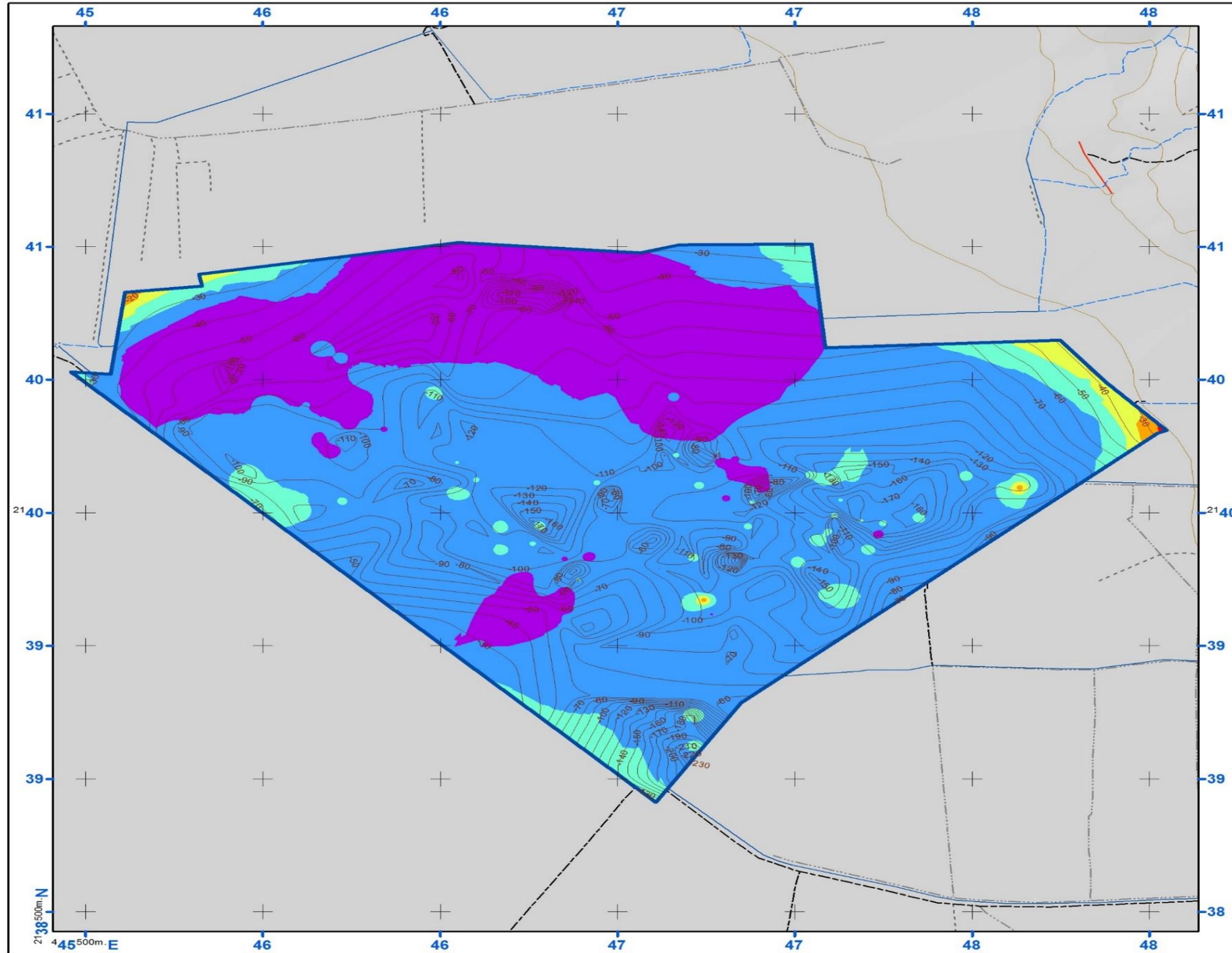
Metros



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Elipsoide: GRS80
 Datum Horizontal: ITRF92
 Zona Cartográfica: 14 Norte
 Fecha de Edición: Noviembre 2013

Fuente:
 Archivos vectoriales E14a38. INEGI, (2003)
 Trabajo de Campo, Bióloga Gratia Dei Flores Salgado

Dirigida por: Dra. María Estela Orozco Hernández
 M. en C. Patricia Mireles Lezama
 Dra. Verónica Martínez Miranda



FLUJO DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIENEGA DE CHIGNAHUPAN, ESTADO DE MÉXICO

pH en Profundidad

Simbología Temática

Rangos de pH

- 3 a 4
- 4 a 5
- 5 a 6
- 6 a 7
- 7 a 8
- 8 a 9.5

Rasgos Convencionales

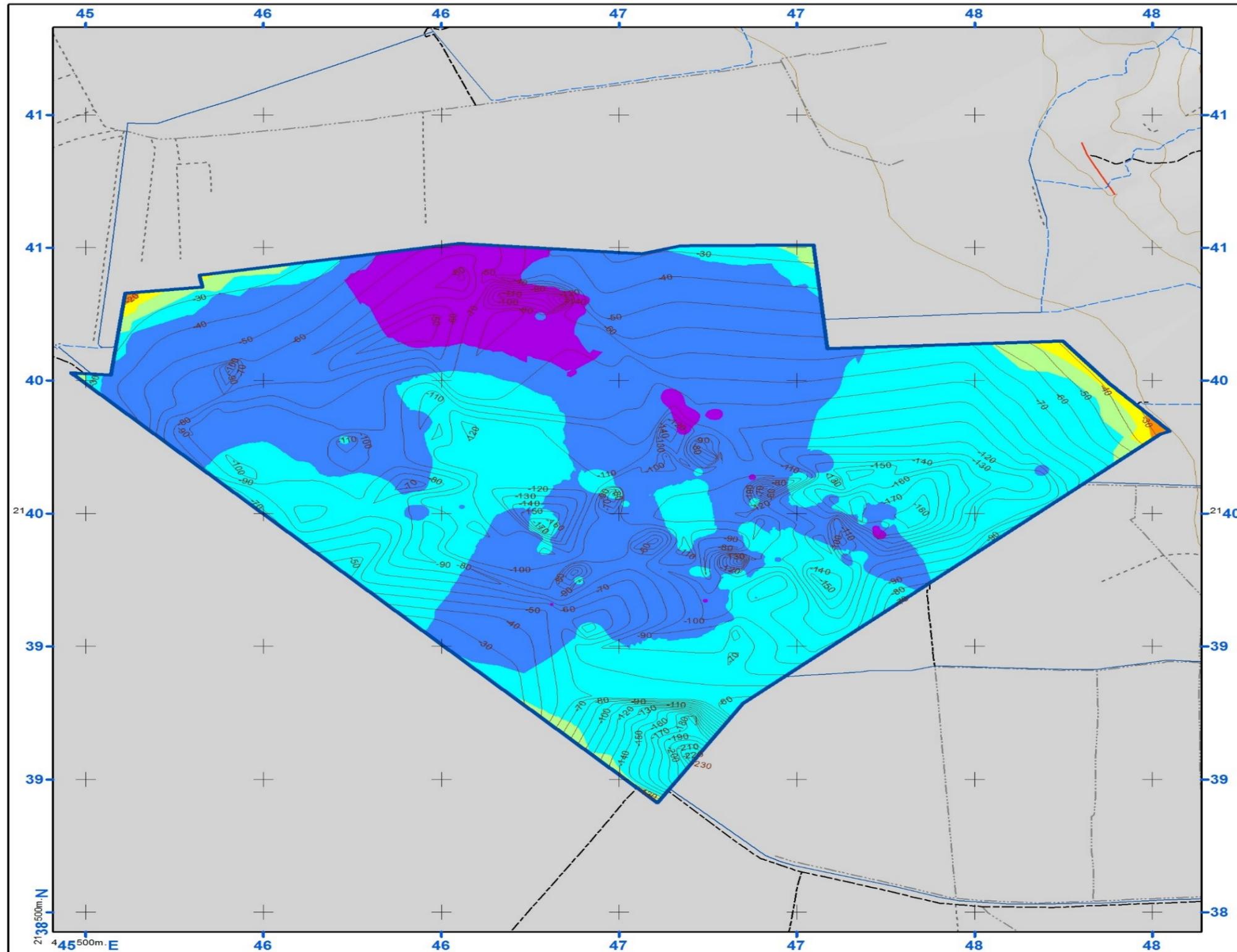
Vías de Comunicación	Rasgos Hidrológicos
Tipo	Condición
Pavimentada	Perenne
Terracería	Intermitente
Brecha	En Operación
Vereda	Flujo Virtual
Isobatas	Curvas de Nivel



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Elipsoide: GRS80
 Datum Horizontal: ITRF92
 Zona Cartográfica: 14 Norte
 Fecha de Edición: Noviembre 2013

Fuente:
 Archivos vectoriales E14a38. INEGI, (2003)
 Trabajo de Campo, Bióloga Gratia Dei Flores Salgado

Dirigida por: Dra. María Estela Orozco Hernández
 M. en C. Patricia Mireles Lezama
 Dra. Verónica Martínez Miranda





Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Química



FLUJO DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIÉNEGA DE CHIGNAHUPAN, ESTADO DE MÉXICO

pH en Superficie

Simbología Temática

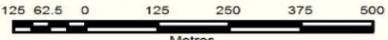
Rangos de pH

	3 a 4
	4 a 5
	5 a 6
	6 a 7
	7 a 8
	8 a 9
	9 a 10

Rasgos Convencionales

Vías de Comunicación	Rasgos Hidrológicos
Tipo	Condición
— Pavimentada	— Perenne
--- Terracería	— Intermitente
- - - Brecha	— En Operación
- - - Vereda	— Flujo Virtual
~ Isobatas	~ Curvas de Nivel

Escala 1:17,000



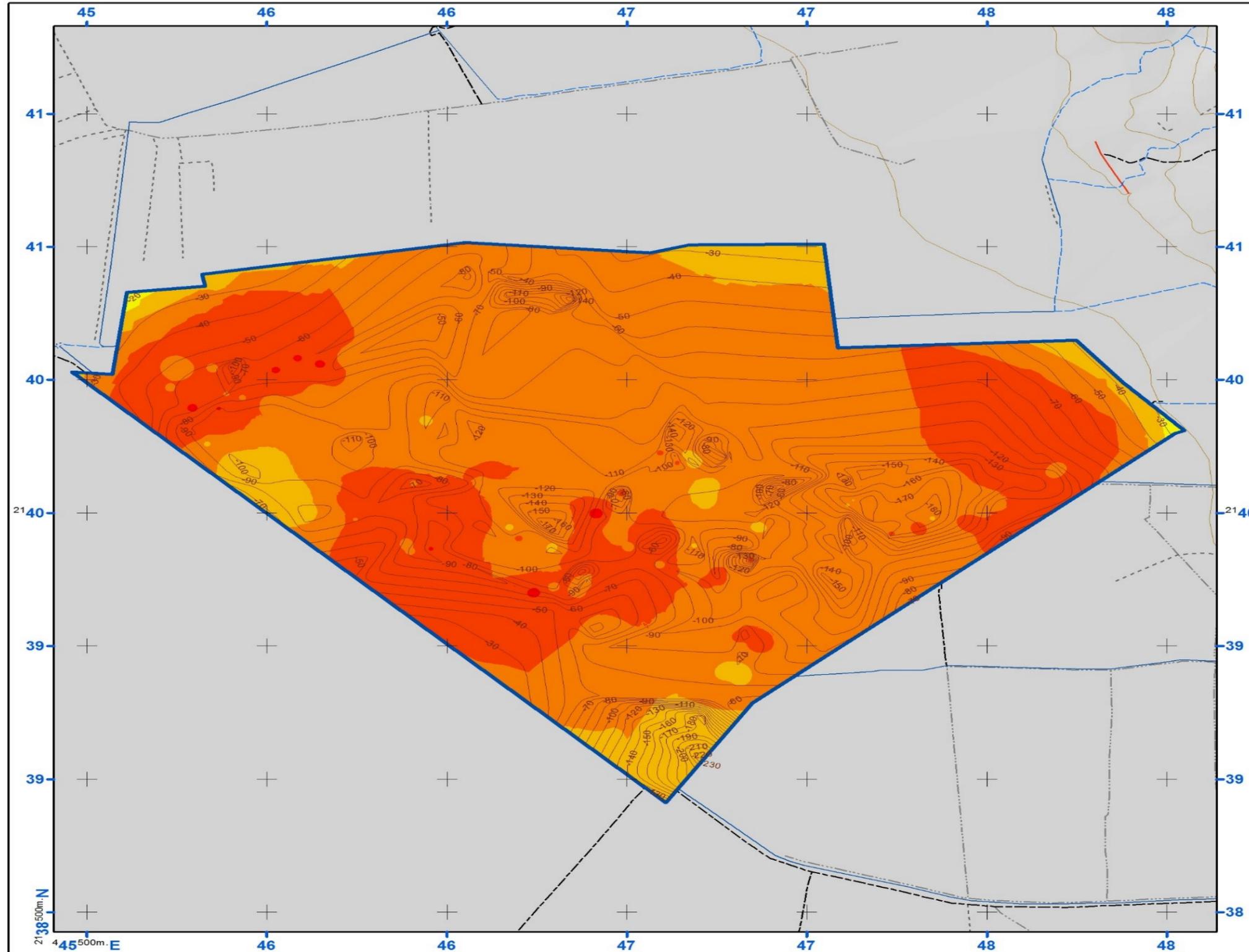
Metros



Proyección: Universal Transversa de Mercator
Elipsoide: GRS80
Datum Horizontal: ITRF92
Zona Cartográfica: 14 Norte
Fecha de Edición: Noviembre 2013

Fuente:
 Archivos vectoriales E14a38. INEGI, (2003)
 Trabajo de Campo, Bióloga Gratia Deii Flores Salgado

Dirigida por: Dra. María Estela Orozco Hernández
 M. en C. Patricia Mireles Lezama
 Dra. Verónica Martínez Miranda



FLUJO DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIÉNEGA DE CHIGNAHUPAN, ESTADO DE MÉXICO

Temperatura en Profundidad

Simbología Temática

Temperatura en °C

- 8 a 12
- 12 a 15
- 15 a 18
- 18 a 21
- 21 a 23

Rasgos Convencionales

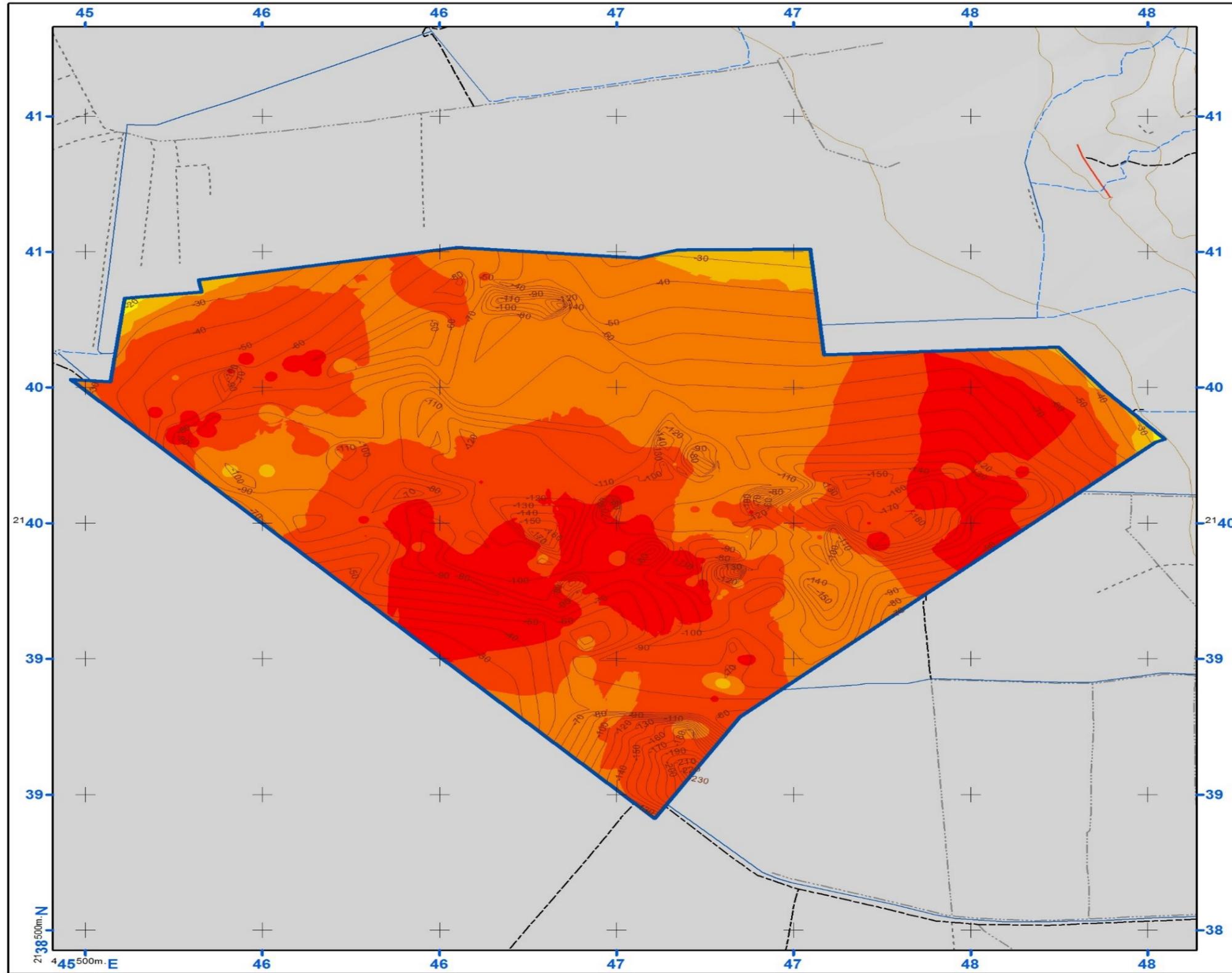
- | | |
|----------------------|---------------------|
| Vías de Comunicación | Rasgos Hidrológicos |
| Tipo | Condición |
| — Pavimentada | — Perenne |
| - - - Terracería | — Intermitente |
| · · · Brecha | — En Operación |
| - - - Vereda | — Flujo Virtual |
| ~ Isobatas | ~ Curvas de Nivel |



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Elipsoide: GRS80
 Datum Horizontal: ITRF92
 Zona Cartográfica: 14 Norte
 Fecha de Edición: Noviembre 2013

Fuente:
 Archivos vectoriales E14a38. INEGI, (2003)
 Trabajo de Campo, Bióloga Gratia Dei Flores Salgado

Dirigida por: Dra. María Estela Orozco Hernández
 M. en C. Patricia Mireles Lezama
 Dra. Verónica Martínez Miranda




Universidad Autónoma del Estado de México
 Facultad de Química
 

FLUJO DE GASES EFECTO INVERNADERO, CO₂, CH₄ Y N₂O EN LA CIÉNEGA DE CHIGNAHUPAN, ESTADO DE MÉXICO

Temperatura en Superficie

Simbología Temática

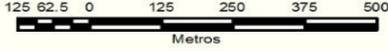
Temperatura en °C

	8 a 12
	12 a 15
	15 a 18
	18 a 21
	21 a 24

Rasgos Convencionales

Vías de Comunicación Tipo	Rasgos Hidrológicos Condición
Pavimentada	Perenne
Terracería	Intermitente
Brecha	En Operación
Vereda	Flujo Virtual
Isobatas	Curvas de Nivel

Escala 1:17,000



Metros



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Elipsoide: GRS80
 Datum Horizontal: ITRF92
 Zona Cartográfica: 14 Norte
 Fecha de Edición: Noviembre 2013

Fuente:
 Archivos vectoriales E14a38. INEGI, (2003)
 Trabajo de Campo, Bióloga Gratia Dei Flores Salgado

Dirigida por: Dra. María Estela Orozco Hernández
 M. en C. Patricia Mireles Lezama
 Dra. Verónica Martínez Miranda
