

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA COLUMNA DE AGUA DEL LAGO CRÁTER QUECHULAC, PUEBLA.

AREA DE LIMNOLOGÍA

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I Ó L O G O

FLORES SOLIS ABIGAIL

MORENO MOLINA VERONICA

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. ERNESTO MENDOZA VALLEJO

MEXICO, D.F:

JUNIO 2014

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
Marco Teórico	4
Justificación	14
Antecedentes	15
Descripción de la cuenca	17
Hipótesis	28
Objetivo	28
Materiales y métodos	29
Resultados	35
Discusión de resultados	48
Conclusiones	59
Bibliografía	60

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres que me apoyaron en todo momento. En especial al más grande ser humano que es mi madre ESTELA SOLIS ALONSO, nunca terminare de agradecerte todo lo que me has amado. "Esta tesis es tuya mama"

A mi padre PEDRO FLORES LOPEZ, un luchador tenaz por su familia, que siempre nos alentó a ser una familia muy honorable "Gracias infinitas".

A mis hermanos grandes seres humanos, llenos de virtudes, en especial la bondad que no les cabe en el cuerpo. "Los amo con todo mi corazón hermanos hermosos". Empezare por mi hermana la mayor POMPOSA FLORES SOLIS, te amo por ser el gran pilar de la familia y un ejemplo a seguir, por todo lo que me has apoyado, consentido y querido como si fuera tu hija "Gracias hermana hermosa". GUADALUPE, te amo por dar todo lo que tienes a los seres que amas y siempre dar lo mejor de ti; por el gran apoyo que me das y por tus pláticas que me hacen ordenar un poco mis ideas "Gracias hermana Sol" alumbras cuando llegas a la casa. Gracias a las dos por siempre cuidarme desde pequeña y dejarme disfrutar de sus hijos. VALERIO, te amo por ser mi guía ideológico, porque siempre tus ideas me parecieron las más acertadas, gracias hermano sabio por tu importante apoyo y por las veces que unimos fuerzas para resolver los problemas cotidianos de la familia. Ya sabes tu frase favorita cuando me abrazas "Sin palabras". ELADIO, te amo por ser la alegría de la casa, por ser tan inteligente, bailarín, jugadorazo y siempre alimentarnos con tus platillos a todos. Además por eres mi compadre. "Gracias por tu apoyo de felicidad hermano" MARIO, te amo por ser mi hermanito chiquito, al único que pude, cuidar, proteger y regañar, que nunca me hiciste caso, pero aun así te amo. También te amo por ser capaz de realizará un buen trabajo en donde te pongan. Siempre tan competitivo como cuando jugábamos de niños, jajaja no has cambiado siempre quieres ganar. Por esta razón quiero que sigas mi ejemplo y que para dentro de poco tiempo yo sea la que este en tus agradecimientos. "Gracias Hermano hermoso".

A mis sobrinos quien son las cosas más hermosas de la vida: ESTELA y MARTHA ROBLEDO FLORES, que les puedo decir "Gracias por ser tan lindas, son mis bebés alas que cuido de niñas y las amo". Te amo Estela, por tu gran inteligencia y belleza, también por hacerme tía abuela de ese bebe tan gracioso DIEGO SERVIN ROBLEDO y por escuchar mis problemas. Te amo Martha, por ser mi ídolo jajaja. No dejas de sorprenderme, me fascinas.

EDSON Y ALEXIS OLGA FLORES. "Gracias por estar siempre a mi lado", Escuchar sus voces en la mañana es un bendición, desde que nacieron verlos y saber que están bien era mi prioridad, sin ustedes la casa está muy triste. EDSON, te amo porque siempre quieres que te consientan, me gusta que me tengas confianza cunado me preguntas tus dudas. Ver películas contigo y platicar. Eres un chico guapísimo ALEXIS, te amo porque te gusta estar con la familia y siempre nos acompaña a todas partes. Eres un niño muy lindo, con muchas millas recorridas. Quiero llevarte a la prepa en tu primer día, ese día voy a estar muy feliz de ver tu carita. "Siempre serás mi duraznito él bebe más hermoso de mundo"

MARIO Y XIMENA FLORES NAVA, "los amo por ser unos niños muy lindos e inteligentes", Mario me encanta tu sonrisa, porque siempre te ries de los chistes que te cuento, eres una persona que siempre entiende todo lo que se le dice. Ximena te amo por ser tan picara y bonita. Me gusta mucho tu voz porque a todos los que la escuchan convencen. Por último ala más pequeña de la casa, SOFIA FLORES, espero verte mucho más y que nos sorprendas con tu risa y tus gracias, que hacen tan feliz a mi hermano☺.

PAOLA ABIGAIL FLORES QUINTERO, te amo por ser mi sobrina, mi ahijada y llevar mi nombre. Es el más alto honor r que he tenido en la vida y quiero cuidarte mucho. Quiero ser tu madrina la que toda la vida vele por ti y que me quieras mucho como yo te quiero.

A mis cuñados ODILON ROBLEDO RODRIGUES Y LOURDES QUINTERO DE FLORES☺, te quiero cuñada comadre "la quiero como una hermana más" Gracias por darme ánimo y siempre saludarme con una sonrisa.

A mi amiga y compañera de secundaria Magnolia Chávez León, por ser mi confidente de toda la vida y Sé que este logro mio le gustara.

A mis compañeros de la preparatoria, Lorena Luna Rivera y Mario Arzate Moreno †, mis grandes amigo, nunca me he divertido tanto que con ustedes. Lore te quiero porque sé que eres una amiga leal y desde el primer día de preparatoria fuiste la primera persona que conocí y hasta el día de hoy sigues siendo mi amiga. Mario te amo por tu cariño que siempre me distes.

A mis compañeros Y amigos de la facultad, Francisco Amonacid, Martha Quiroz, Jonathan Zambrano, Fidencio Bautista; José Blanco, Guisela Olidia; David García, Edgar Orta, es decir la bandata con la que me pasaria todas las tardes divirtiéndome Diana Uribe Y Alejandra Dávila. A mis amigos Laura Cortez y Javier Guerrero con quien me cultivo y divierto.

A una persona que llego este último año en mi vida, Alejandro Martínez Juárez," Gracias por apoyarme y estar conmigo".

A mi profesor, mentor y amigo, Ernesto Mendoza Vallejo." Gracias por guiarme y apoyarme en este trabajo, sé que sus consejos sabios me servirán en todo momento.

A mi compañera de tesis Vero Moreno Molina, por ser muy buena compañera y escuchar todos mis problemas ☺. Te amo Vero.

YO ABIGAIL FLORES SOLIS LOS AMO Y QUIERO QUE ESTÉN CONMIGO EN TODAS ETAPAS DE MI VIDA.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A una mujer extraordinaria y maravillosa a un ángel hermoso, que siempre estará presente en mi vida y que gracias a ella soy lo que soy. A mi mamita Angela, le dedico este gran esfuerzo, ya que ella me impulsó a realizar todos mis proyectos y a que nunca me venciera y siempre siguiera adelante ante todos los problemas que surgieran en mi vida, gracias a sus dulces palabras de aliento, consejos y regaños, gracias a ella realice es te gran sueño de las dos de llegar titularme, gracias por haber sido mi madre. Mil gracias mamita con amor, cariño y admiración. Te amare más allá de la muerte.

Gracias al M. en C. Ernesto Mendoza Vallejo, por su apoyo incondicional, a su paciencia y apoyo moral ante todos los problemas que surgieron a lo largo del trabajo de tesis, ante todo agradezco a la vida misma por haberlo conocido. Porque sin su apoyo no hubiera podido realizar este grandioso sueño mil gracias profesor Ernesto.

Gracias a mi familia: A mi papá Gabriel, a mis hermanas y hermanos: A la B.H. Lety, Paco, Lupe, Pilar, Socorro, Angélica y a mis hermanos que desafortunadamente ya no están con migo, mi hermana Clara y mi hermano Toño. Gracias a todos por su apoyo in condicional que es invaluable, los admiro y los amo.

A mis sobrinos Michel y David, porque me han soportado en todo momento, mil gracias por estar con migo los amo y los admiró, por lo cual me siento muy orgullosa de ustedes, por que juntos le hemos echado muchas ganas a la vida y a lo que se nos presente en un futuro.

Gracias a mi compañera de tesis, Abigail flores Solis, por todos los momentos buenos y malos en que estuvimos juntas, gracias por estar en este sueño que por fin se logró. Y solo te deseo lo mejor de la vida y que se cumpla todo lo que has soñado.

A mis hermosas y grandiosas amigas de generación: Elia, Vero, Norma, Alejandra, Maribel, Liliana, Margarita y Claudia, a las cuales amo demasiado, porque siempre he contado con su apoyo en todos esos momentos buenos y los difíciles, gracias por sus consejos y sus palabras de aliento. Sé que toda la vida contare con ustedes y ustedes con migo, en las buenas y en las malas, mil gracias por ello las amo. Y a mi compañero y amigo Ismael gracias por las caminatas juntos.

Gracias a mis sinodales, por el apoyo que nos brindaron a mí y a mi compañera a lo largo de la revisión de la tesis, para que lográramos esta meta, gracias a los profesores: Dr. Isaías Hazarmabeth, Biól. Raúl Arcos, Dr. Guillermo A. Blancas y Dr. Antonio Valencia. Mil gracias.

Gracias a la institución, U.N.A.M., por haber hecho realidad mi sueño de ser profesionista, gracias por sus enseñanzas a lo largo de mi carrera y al apoyo de los diferentes profesores y amigos . Orgullosamente UNAM

Mil gracias a todos.

RESUMEN

El lago Quechulac forma parte de un conjunto de lagos de origen volcánico, localizados en la cuenca Oriental del estado de Puebla. Estos lagos comparten características de aguas claras, ligeramente alcalinas con profundidades promedio de 30m. El origen geológico y la ubicación geográfica a las faldas de la sierra de Perote dan la calidad a estos suelos alcalinos. Estos lagos son alimentados principalmente por ríos subterráneos y con un menor aporte por la descarga de agua de lluvia, que hasta hace poco a lo largo del año mantenían el nivel superficial constante del lago. Los lagos reciben gran cantidad de materiales parentales derivados del lavado de los suelos en temporada de lluvias y también de las descarga de los ríos subterráneos, presentándose condiciones abióticas imprescindibles para el desarrollo de las comunidades acuáticas, como es el caso de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) o bien la perca (*Micropterus salmoides*), entre otras. El presente documento trata de la descripción de los movimientos verticales de la masa de agua que conforma al lago Quechulac, verificando la hipótesis planteada acerca de la existencia de al menos una etapa de estratificación a lo largo del año. Determinándose que la columna de agua presenta una etapa de mezcla al inicio del invierno y que la mayor parte del año tiende a la estratificación. Por su ubicación geográfica, altitud y calidad sedimentológica de la región, este lago es considerado como un lago oligotrófico. Finalmente siguiendo los criterios de clasificación emitida. Por Lewis et al., citado por Torres Orozco et al (1995) se determinó que el lago es considerado como monomíctico cálido.

INTRODUCCIÓN

Al igual que en la mayoría de las civilizaciones del mundo, desde tiempos prehispánicos los lagos mexicanos han sido determinantes en el desarrollo de los asentamientos humanos, ya que la mayor proporción de poblados se encuentran cercanos a zonas ribereñas de diversos cuerpos acuáticos (De la Lanza, 2002). Motivo por el cual, históricamente para muchas de las comunidades prehispánicas mexicanas no pasó inadvertida la gran cantidad de cráteres volcánicos diseminados en los dominios de sus imperios y menos de aquellos de explosión de gran diámetro constituidos por material parental y con agua en su fondo. Una gran cantidad de éstos se encuentran en medio de llanuras, por lo que junto a ellos pudieron erigirse pueblos con la finalidad de estar cerca del líquido necesario para sus necesidades. Particularmente, los mexicas del estado de Puebla llamaron a estos cráteres “Xalapazcos”, que en su lengua significa “vasijas de arena”, alusivo al material con el que están conformadas dichas cavidades en forma de vasija; pero aún con más propiedad, los llamaron “Axalapazcos”, que quiere decir “vasijas de arena con agua”. Por lo tanto, se pueden diferenciar tres palabras: Apazco, que se usa para indicar toda cavidad en forma de embudo de cualquier naturaleza; Xalapazco palabra que designa a los lagos cráter de explosión, hechos generalmente por tobas y Axalapazco designa a los cráteres que conforman el lago, también formados por explosión, que es equivalente al término “maars” (Ordóñez, 1906). México puede considerarse como un territorio eminentemente volcánico, por lo que los lagos cráter están bien representados, ejemplo de ello son: aquellos del valle de Santiago, de Tacámbaro, Guanajuato, las calderas del valle de México, los lagos cráter del estado de Puebla, volcán Popocatepetl, los cráteres del Sol y La Luna del Nevado de Toluca.

Los lagos “maars” han sido definidos como formas fisiográficas formadas por explosión

volcánica, consisten de un cráter cuya forma es próxima a lo circular cuyo diámetro no rebasa los dos kilómetros. El nivel superficial del agua se encuentra generalmente por debajo del nivel general del suelo y su profundidad es considerable, en muchos casos hasta de más de 100 m. Su borde circundante está construido del material eyectado del cráter mismo y en algunos se encuentran una vegetación generalmente constituida por ciperáceas (Gasca, 1981). El estado de Puebla ostenta varios lagos “maars” que se localizan en la Cuenca de Oriental; alimentados por aguas de los mantos freáticos derivados de las sierras de Perote y del Pico de Orizaba, así como por la precipitación pluvial directa, ambas contribuyen a conservar prácticamente constante su nivel durante todo el año. Sin embargo, durante la última década el nivel original de muchos de estos lagos ha disminuido notablemente, en algunos hasta más de cinco metros con respecto al nivel superficial original, (com. pers., 2006), ello es debido a la gran cantidad de pozos presentes actualmente en los alrededores de los campos de cultivo de los poblados de “El Carmen”, Zacatepec, Puebla.

En este trabajo determinó la dinámica espacial y temporal en la columna de agua del lago “Quechulac” de algunos parámetros físicos-químicos: temperatura, oxígeno, pH, dureza total, dureza de Calcio, alcalinidad, fósforo total, fósforo reactivo, nitrógeno en las formas de nitritos, nitratos y amonio

Entre los resultados obtenidos está en que el lago presenta una profundidad promedio de 30 m, se determinó proceso de estratificación y mezcla vertical a lo largo del año, por lo que ha sido clasificado como monolítico cálido. (Por Hutchinson et al., citados por Torres Orozco et al., 1995).

MARCO TEORICO

México cuenta con una gran variedad de ecosistemas acuáticos dulceacuícolas entre los que destaca un conjunto de lagos de origen volcánico, entre los que destacan aquellos ubicados en la cuenca oriental pertenecientes a los o lagos maars, que se encuentran ubicados en la cuenca oriental, los estados de Puebla Tlaxcala y Veracruz conocidos con el nombre de axapalascos (Fig. 1). Es en ésta donde se localizan seis lagos-cráter. La mayoría relativamente profundos (más de 40 m de profundidad), son alimentados principalmente por aguas del manto freático derivado de las sierras de Perote, Pico de Orizaba, y por la precipitación pluvial directa en menor medida (Álvarez, 1950). Cuatro de ellos: Alchichica, Atexcac, Quechulac (Fig. 2) y La Preciosa se localizan en una meseta lacustre al norte de la planicie poblana conocida como los Llanos de San Juan. Mientras que Aljojuca y Tecuitlapa, localizan al pie de los contrafuertes occidentales del Pico de Orizaba se encuentran, en los llamados Llanos de San Andrés (Alcocer *et al.*, 1993).

Batimetría y morfometría de los lagos cráter de la Cuenca de Oriental del estado de Puebla.

Durante la década de los 70's se realizaron los primeros estudios batimétricos y morfométricos para determinar la profundidad y contorno de estos lagos (Arredondo *et al.*, 1983) (Fig. 3). Con ello se aclaró la profundidad de estos sistemas, ya que los pobladores afirmaban que estos lagos no tenían fondo o bien estaban conectados al mar, dado que algunos presentan agua de considerable concentración salina (com. pers.). La morfometría y batimetrías de los lagos, fue documentado por Ordoñez (1906).

A continuación se presenta una breve descripción de las características generales de los lagos cráter que acompañan al lago Quechulac en la región de los Llanos de San Andrés y los Llanos de San Juan.

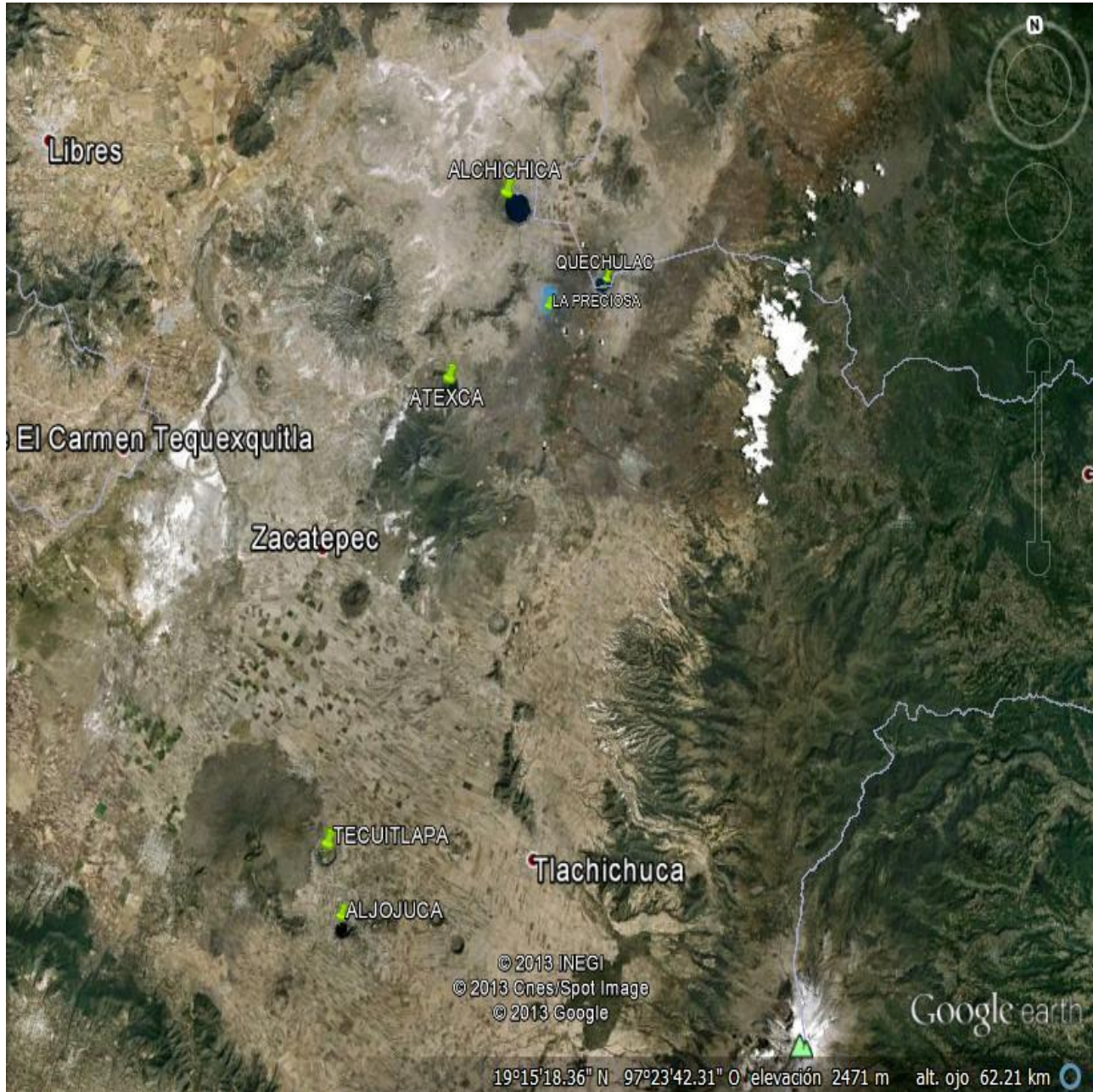


Fig.1. Ubicación geográfica de los lagos cráter de la región oriental del estado de Puebla.

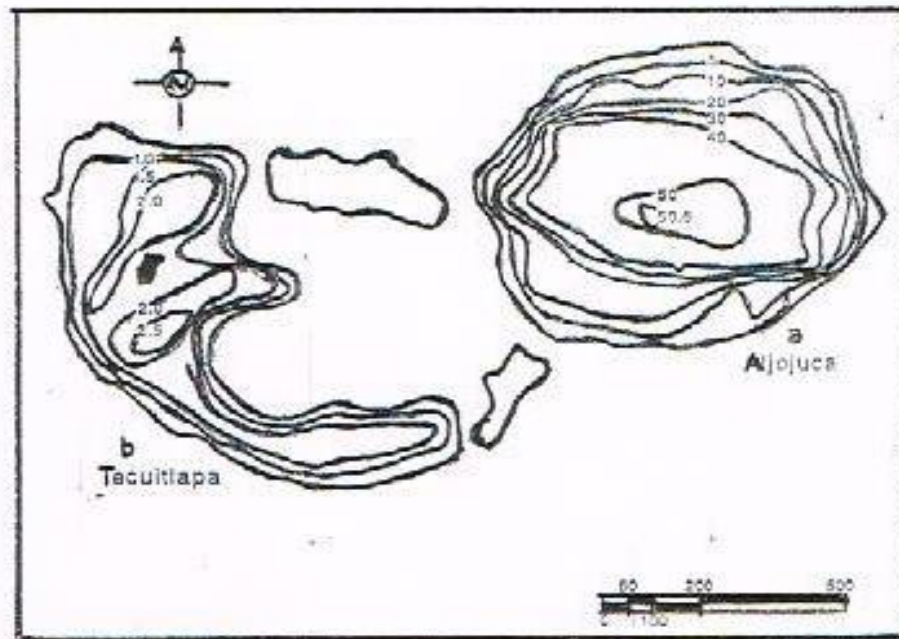
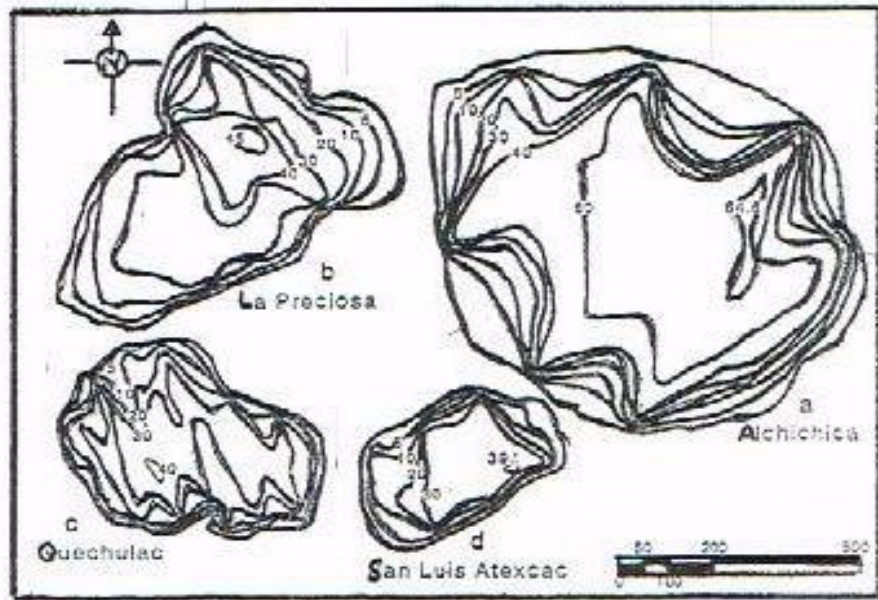


Fig.2. Batimetría de los axapalascos de la cuenca oriental según (Arredondo, 1983)

Lago cráter Alchichica.- Es el lago más grande en área superficial y volumen, presente en los llanos de San Andrés, se encuentra alojado en el cráter del volcán con una forma subcircular, una longitud máxima de 1700 metros con orientación sureste noroeste, y una gran cresta al oeste, de 100 metros de altura sobre el nivel del agua. Las paredes de la cubeta lacustre tienen una acentuada pendiente, por lo que la profundidad se incrementa bruscamente conforme se aleja de la orilla. Esta marcada inclinación finaliza en una plataforma a los 60 metros desplazada ligeramente hacia el NE y cortada por la parte más profunda, que alcanza aproximadamente los 64 metros. En la zona litoral, a lo largo de toda la orilla, se presentan bajos o salientes de roca volcánica que configuran una pequeña plataforma sobre todo hacia el noreste, norte y oeste. Por su parte la batimetría refleja seis paredes opuestas simétricamente en sentido noreste-suroeste, que llegan hasta la plataforma central.

Lago cráter La Preciosa (Las Minas).- Su eje mayor es irregular, se asemeja a un cono truncado, con una longitud máxima de 1300 metros con orientación noreste-suroeste y una cresta encorvada que se eleva de la superficie del agua hasta los 50 metros. Este lago ocupa el segundo lugar en cuanto al área superficial y al volumen. En la porción central del piso lacustre se definen dos subcuencas, una al noroeste y otra al suroeste, la primera presenta dos bordes anchos con pendientes suaves que alcanzan los 45 metros, correspondiendo a la mayor profundidad del lago y al igual que Alchichica, se encuentra orientada ligeramente hacia al noreste. La segunda subcuenca presenta pendientes menos inclinadas y alcanza 40 metros de profundidad. Las isóbatas siguen el contorno de la forma externa y en la parte estrecha del lago se observan dos paredes con una fuerte inclinación, orientada hacia la zona más profunda.

Lago cráter San Luis Atexca (Atexcaqui).-Situado al norte del de los cerros conocidos como Las Derrumbadas y en el extremo suroeste de la Sierra de Techachalco. Al suroeste del mismo, existe una pequeña playa que permite el acceso a la orilla del lago. Ocupa la quinta posición en área superficial y volumen. Su forma es irregular pero se aproxima a una

elipse, cuya longitud máxima es de 780 metros con orientación suroeste–noreste. La pared tiene una fuerte inclinación que llega a la plataforma de 30 metros en la parte central de la cuenca, la que se interrumpe por la zona más profunda que se encuentra ligeramente desplazada hacia el este, donde alcanza aproximadamente 39 metros. Las pendientes se presentan en el suroeste y noreste, en las que se encuentran pequeñas playas.

Lago cráter Aljojuca (Alxoxuca).- Mantiene la forma original del cráter y su pared más alta alcanza los 190 metros de altura sobre el nivel del agua. Se sitúa en el cuarto lugar respecto a su área superficial y el tercero en cuanto a su volumen. Tiene forma circular con pocas irregularidades en el fondo; su longitud máxima es de 871 metros con orientación noreste–suroeste. Las isóbatas siguen al curso de la línea de costa y en el centro existe una plataforma que va de 40 a 50 metros, la cual termina en la máxima profundidad, que es aproximadamente de 50 metros.

Lago cráter San Miguel Tecuitlapla.- De forma de elipsoidal, una de sus paredes alcanza los 95 metros de altura y es el único cráter que muestra una eminencia de naturaleza lávica en su interior. Se compone de dos partes principales: un cerrito cónico, un domo cuya altura no llega a sobrepasar los bordes más bajos del axalapasco, y una cadena de tres pequeños cráteres, tan próximos entre sí que los divide un mismo borde. Los bordes son más pequeños que el domo, y el más alto es el más cercano, dos de ellos tienen sus depresiones poco profundas, pero completamente cerradas; mientras que el más pequeño es el más occidental y está abierto en forma de herradura, formando una bahía por donde penetran las aguas del lago. Este lago presenta niveles más bajos de área superficial y volumen. Su forma es la más irregular y de acuerdo con Ordoñez (1906) se encuentra en un proceso degenerativo. Su longitud máxima es de 750 metros con orientación noroeste-sureste. En el noroeste existe una isla pequeña y al sureste de ésta se localiza la mayor profundidad que es de 2.5 metros, la cual resulta ser menor comparada con los demás. El desarrollo de la isóbata de dos metros determina dos subcuencas pequeñas, una orientada hacia el noroeste de la isla y otra hacia el sureste. Al este del lago, se presentan dos pequeños charcos aislados que son remanentes del antiguo lago (Arredondo, 1987).

Estado trófico, el término Eutrofia se originó a partir del adjetivo alemán eutrophe, el cual se refería a la riqueza de nutrientes en una cierta región; Naumann (1919), introdujo el concepto general de oligotrofia y eutrofia, tomando como referencia la poca o gran existencia de algas planctónicas en el lugar de estudio

Oligotróficos.- Con una pobre concentración de nutrientes y elementos, presentan un bajo suministro de nutrientes en relación con el volumen de agua que contienen. Por regla general son lagos con profundidades medias que sobrepasan los 15 m y máximas superiores a los 25 m. Las aguas son claras y el crecimiento vegetal tiene lugar más bien a distintas profundidades de la columna de agua. Los lagos oligotróficos tienen altas concentraciones de oxígeno disuelto en el hipolimnion.

Mesotróficos.- con mediana concentración de nutrientes y elementos. Ocupan una posición intermedia entre los ambos extremos. Son intermedios con respecto al suministro de nutrientes, a la profundidad, a la productividad biológica, a la claridad de las aguas y el agotamiento del oxígeno en el hipolimnion. La mesotrofia es solo una categoría conveniente para los lagos que lindan entre la oligotrofia y la eutrofia. La perca amarilla es una de las diversas especies de peces que comúnmente alcanza su máxima abundancia en los lagos mesotróficos.

Eutróficos.- con altas concentraciones de nutrientes y elementos.

A esta clasificación se le puede añadir una cuarta, la denominada hipereutrófico, es decir, lagos con una elevada concentración de nutriente y elementos, por lo que se presentan densos crecimientos de algas planctónicas verdes y cianofíceas en las aguas superficiales. En casos extremos tienen la apariencia y la consistencia de una espesa sopa de guisantes. Los lagos eutróficos tienden a ser poco profundos, con profundidades medias que no llegan a los 10 m y profundidades máxima inferiores a los 15 m (Vallentyne, 1978).

Si observamos detenidamente cada subtipo, se aprecian diferencias evidentes en cuanto a productividad y profundidad. Así pues, se aprecia que cuanto más oligotrófico es un lago,

más constante es en su nivel de producción, en relación con el aumento de profundidad. En cambio, un sistema eutrófico tendrá una alta productividad a una cierta profundidad a partir de la cual esta decrece. Esto es debido a la extinción de luz, es decir, se produce una disminución de la capa fótica por efecto de la concentración de algas provocando el oscurecimiento de las zonas inferiores. Si atendemos al lago de tipo hipereutrófico, su producción se localiza muy superficialmente debido a la enorme concentración de nutrientes y por tanto de algas en superficie, lo cual reduce drásticamente la capa fótica. Este último tipo es un ejemplo de sistema afectado por algún tipo de vertido (<http://www.icmyl.unam.mx/limnologia.html>).

Modelos de clasificación térmica de los lagos según Hutchinson (1956) (*in*: Torres Orozco *et al.*, 1995).-

Partiendo de la clasificación histórica de los lagos y centrando la atención a partir de la década de los 50's del siglo pasado, Hutchinson *et al.*, (1956), postularon que la acción conjunta de la latitud y la altitud gobernaban los procesos de estratificación y mezcla de la columna de agua de los lagos holomícticos y desarrollaron un modelo de clasificación cuyo criterio en el régimen de circulación reconociéndose seis clasificaciones de lagos.

Amícticos.- localizados entre los 80° y 90° de latitud, principalmente en el Antártico, se caracterizan por estar cubiertos permanentemente por una capa de hielo.

Monomícticos fríos.- cubiertos de hielo gran parte del año, circulan en verano a una temperatura que no supera los 4° C. Se encuentran principalmente en el Ártico, entre los 60° y 80° de latitud y en zonas de alta montaña.

Dimícticos.- con una capa de hielo durante el invierno que determina una estratificación inversa, en donde al agua adyacente al hielo presenta una temperatura inferior a la del resto de la columna. La otra capa de estratificación ocurre durante el verano y las dos de circulación se presentan en primavera y otoño. Son los más comunes en las latitudes

templadas (entre los 40° y 60°), aunque también se les encuentra a gran altura en latitudes subtropicales.

Monomícticos cálidos.- nunca se congelan, permanecen estratificados durante gran parte del año y circulan en el invierno a temperaturas cercanas a los 4° C. Se localizan entre los 20° y 40° de latitud y son frecuentes en las regiones cálidas de la zona templada.

Oligomícticos.- se encuentran libres de hielo durante todo el año, pueden permanecer estratificados durante lapsos mayores a un año y circulan en periodos irregulares a temperaturas muy superiores a los 4°C. Se presentan en las latitudes tropicales (0°-20°); y

Polimícticos.- sin hielo, presentan más de dos periodos de circulación durante al año .Se localizan entre los 0° y 20° de latitud en zonas de montaña.

Sin embargo. Según Lewis *et al.*, citado por Torres Orozco *et al* (1995) al revisar la clasificación de Hutchinson y Louffler encontró varias limitaciones. Entre las más importantes destacó los ambientes someros y de la meromixis, el tratamiento demasiado complejo de los ambientes tropicales y las dificultades en la clasificación de los lagos fríos al límite fijo de 4 °C para la monomixis fría, elaborando una propuesta alternativa.

El modelo de Lewis sigue considerando latitud y altitud, pero las incorpora en un solo factor denominado latitud ajustada como determinante de los patrones de circulación, e incluye dos nuevas variables la profundidad y el eje mayor de contacto viento-agua (fetch). Sin embargo, mantiene las categorías amíctica, dimíctica, monomíctica fría y monomíctica cálida, y con el mismo sentido de la clasificación original, incorpora varios tipos nuevos. Quedando la nueva clasificación como a continuación se cita:

Amícticos.- siempre cubiertos de hielo.

Monomícticos fríos.- cubiertos de hielo la mayor parte del año; sin hielo durante la estación cálida, pero sin calentarse más allá de los 4°C.

Polimícticos fríos continuos.- cubiertos de hielo durante parte del año, libres de éste y por encima de los 4 °C durante la estación cálida, y estratificados durante periodos no mayores a un día.

Polimícticos fríos discontinuos.- cubiertos de hielo durante parte del año, libres de éste por encima de los 4° C durante la estación cálida, y estratificados por varios días o semanas, pero con interrupciones irregulares de mezcla.

Dimícticos.- cubiertos de hielo durante parte del año y establemente estratificados durante otra; con periodos de mezcla en las transiciones entre los dos estados.

Monomícticos cálidos.- sin cubierta de hielo, con estratificación estable durante parte del año y un periodo de mezcla anual.

Polimícticos cálidos discontinuos.- sin cubierta de hielo estacional, se estratifican por días o semanas, pero se mezclan más de una vez al año.

Polimícticos cálidos continuos.- sin cubierta de hielo estacional y periodos de estratificación que no suelen durar más de unas cuantas horas. Según Lewis., citado por Torres Orozco (1995).

La clasificación de Lewis incorpora los ambientes meromícticos no considerados por Hutchinson y Löffler y los asigna a alguna de sus categorías en atención al comportamiento térmico del mixolimnio, es decir, a la parte de la columna de agua que es afectada por los procesos de mezcla (Torres Orozco *et al.*, 1995).

Lagos cráter de la República mexicana.-

Los lagos cráter de la región del Valle de Santiago que conjuntan a un total de siete: Hoya Rincón de Paranguéo, Hoya San Nicolás, Hoya Estrada, Hoya Blanca, Hoya La Alberca, Hoya Álvarez y la Presa Solís. Los cráteres de explosión que contienen agua son: La Alberca, la Hoya de la Cintura y el cráter Rincón de Paranguéo otros de los cráteres

presentes en el estado es la Piscina de Yuriria. Los lagos cráter citados representan siete hoyas o lagos maars de menos de 1km de diámetro y menos de 10 m de profundidad, con forma circular a elíptica, en la cuenca del río Lerma Santiago. Debido a la extracción intensiva, el abatimiento del manto freático es de 0.5 a 2.5 m por año. En la actualidad las hoyas de San Nicolás y la Cintura se encuentran secas. Para Alberca y Rincón de Paranguéo al parecer se ha presentado un incremento en la salinidad a lo largo del tiempo, lo cual indica que, además de la desecación por sobreexplotación del agua ha existido un proceso de evaporación importante en los lagos. Se catalogan como lagos sódicos por su composición iónica, predominando los carbonatos y bicarbonatos de sodio. Su reducido volumen los hace muy susceptibles a presentar fluctuaciones amplias de temperatura y oxígeno disuelto. De acuerdo con su régimen de mezcla pueden ser estratificados por diferencias de salinidad como Rincón de Paranguéo, o bien mezclados como la Alberca, los cuales son lagos turbios color verde, con reducida penetración de luz y elevada producción primaria. El sedimento del fondo es fino y rico en materia orgánica. En el caso de los lagos del “El Sol” y “La Luna”, correspondientes al Nevado de Toluca, el agua derivada de los periglaciares que inundaron durante el deshielo el cráter del volcán, el cual hizo las veces de una enorme cubeta que finalmente formó un lago. ([biblioweb.tic.unam.mx/ciencias del mar/instituto](http://biblioweb.tic.unam.mx/ciencias%20del%20mar/instituto)).

JUSTIFICACIÓN

Hasta hace algunas décadas los lagos de origen volcánico de nuestra república se encontraban poco documentados. En este sentido, el presente estudio está enfocado a la descripción de algunos de los parámetros limnológicos de la columna de agua del lago cráter Quechulac. Se parte de la consideración hipotética de que al menos en las tres últimas décadas ha estado presente un estado hídrico estable, tanto en lo referente a la dinámica física como química del lago. Sin embargo, es notable el súbito cambio en el nivel del agua que se presenta desde casi dos décadas, habiendo una disminución en la superficie de aproximadamente de cinco metros (obs. pers.) Este fenómeno se atribuye a la práctica no moderada de extracción de agua subterránea por medio de pozos en la región, que es utilizada en el riego agrícola, uso doméstico y para el servicio a granjas porcinas. Éstas últimas han proliferado durante los últimos quince años y se encuentran cercanas a los lagos cráter de la región, por lo que consideramos que los cuerpos de aguas naturales y artificiales sufren desajustes ambientales como consecuencia de la extracción inmoderada del agua, convirtiéndose la mayoría de las veces en basureros de desechos humanos e industriales. Por ello, la importancia de documentar en el tiempo un estudio que deje constancia en tiempo y espacio acerca de la dinámica hidrológica de éste sistema lacustre.

ANTECEDENTES

Como referencia a la hipótesis planteada se encuentra documentado que el lago cráter Alchichica, ha sido considerado como del tipo monomítico cálido, y con base en el análisis biomásico fitopláctico de diatomeas, de la comunidad de ciliados y crustáceos bentónicos como oligotrófico (Ardiles *et al.*, 2011.; Alcocer *et al.*, 2008.; Hernández *et al.*, 2010).

Las primeras investigaciones hidrobiológicas en la República mexicana fueron realizadas hace más de medio siglo, abriéndose un amplio y fértil campo de investigación, fundamentalmente de lagos pertenecientes a los estados de Michoacán y Jalisco. Desafortunadamente, parte de la tradición limnológica iniciada en aquella época, por investigadores como Cuesta-Terrón, De Buen, Osorio-Tafall, Rioja y Álvarez del Villar, se perdieron y con ello la continuidad. Sin embargo, sobresalen sólo algunos esfuerzos aislados (Arredondo *et al.*, 1983). Por lo que los estudios limnológicos realizados en nuestro país son escasos, y entre los menos estudiados se encuentran los de origen volcánico, a pesar de mostrar características muy particulares como es el hecho de representar zonas de marcado endemismo.

No obstante de ser importantes hidrológicamente, los seis lagos de la Cuenca de Oriental no han tenido un estudio continuo en cuanto a los parámetros limnológicos de sus aguas. Algunos análisis abarcan desde el trabajo de Ordoñez (1906), el cual describió la geología y el posible origen de los lagos volcánicos de la cuenca de Oriente de Puebla. A este trabajo le siguieron algunos otros estudios biológicos que describen una especie de ajolote (*Ambystoma subsalsum*) registrada en el lago salino de Alchichica (Taylor, 1943). Posteriormente De Buen (1945) determinó, para el mismo lago, una nueva especie de charal (*Poblana alchichica*) que actualmente pertenece a la familia Atherinopsidae.

Álvarez (1950), realizó también estudios sobre la fauna ictiológica registrando una especie y dos subespecies nuevas del género *Poblana*, haciendo hincapié en algunas consideraciones acerca de su posible origen. Mientras que Gasca (1981), estudió a la región desde los puntos de vista morfológico y estratigráfico, a fin de establecer su génesis. Arredondo *et al.* (1983), realizaron un estudio acerca de la batimetría y morfometría de dichos lagos; por otra parte, Ramírez *et al.* (1984), elaboraron el listado taxonómico de la vegetación vascular. En el lago “Las Minas” Quijano-Pérez *et al.* (1998), contribuyeron con un estudio de la dinámica hidrológica del lago cráter “Las Minas” (“La Preciosa”). Alcocer, *et al.*, (2008), documenta la existencia de un acoplamiento pelágico-bentónico en el lago oligotrófico Alchichica, evaluando la respuesta de la zona bentónica profunda a la sedimentación del florecimiento invernal de diatomeas. Macek, *et al.* (2008), realizó una investigación enfocada a la dinámica temporal y espacial de la comunidad de ciliados en el gradiente de profundidades del lago monomíctico-cálido Alchichica. Posteriormente, Hernández, *et al.* (2010), realizó un estudio sobre la composición, estructura y distribución espacial del ensamble de crustáceos bentónicos de Alchichica. Can-Chulim (2010), llevó a cabo uno de los estudios más actuales realizado en el lago cráter Alchichica, enfocado al estudio de la calidad del agua subterránea en la cuenca oriental de México. Ardiles *et al.* (2011), en el lago cráter Alchichica, desarrolla un estudio acerca del grupo de las diatomeas.

DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

La cuenca Oriental abarca los estados de Veracruz, Puebla y Tlaxcala, comprende una superficie de 5,250 Km², y en ella, al oriente del estado de Puebla se ubica la planicie conocida como la región de Los Llanos. En esta planicie se localizan seis lagos-cráter o axalapascos, la mayoría relativamente profundos alimentados principalmente por aguas del manto freático, y en menor medida, por la precipitación pluvial directa (Álvarez, 1950). Cuatro de ellos: Alchichica, Atexcac, Quechulac y La Preciosa se encuentran en la meseta lacustre localizada al norte de la planicie poblana, en los denominados Llanos de San Juan. Mientras al pie de los contrafuertes occidentales del Pico de Orizaba, en los denominados Llanos de San Andrés se encuentran los lagos de Aljojuca y Tecuitlapa (Alcocer *et al.*, 1993).

El lago cráter “Quechulac”, perteneciente al municipio Guadalupe Victoria, Puebla. Se localiza entre la Sierra de Techachalco y la gran Sierra del Citlaltepétl. El lago de forma elipsoidal, presenta bordes con elevación casi nula y le rodea un anillo de tobas que forman parte de las paredes interiores, que constituyen capas sin estratificación bien definida, poco consistente y con taludes poco escalonados debido a su fácil disgregación. La mayor altura de las paredes interiores no excede de 50 m y la menor es de sólo 25m., la pendiente externa varía entre 12⁰ y 15⁰ y está formada por capas de depósito piroclástico. No existen playas extensas entre el límite del agua (Ordóñez, 1906). Las vertientes menos inclinadas y de aguas poco profundas han sido invadidas por vegetación emergente, en casi todo el margen del lago. Sus aguas son transparentes y su salinidad relativamente baja (Arredondo *et al.*, 1987).

Fisiografía. Se localiza a ésta cuenca en el centro oriental de la provincia fisiográfica de la Meseta Central. La cota promedio de la planicie es de 2,300 msnm. En general, la configuración de la provincia es el resultado de la alteración tectónica y eventos volcánicos posteriores a la orogenia Hidalguense que provocó el cierre de antiguos cauces de ríos y la implantación de cuencas lacustres, así como el cambio constante de la morfología, provocado por procesos exógenos y endógenos (Gasca, 1981).

La planicie de la Cuenca Oriental alcanzó su elevación debido al plegamiento de rocas de origen marino del Mesozoico (entre 65 a 225 millones de años), a la acumulación de rocas, derrames volcánicos y por la enorme cantidad de sedimentos piroclásticos (Arredondo *et al.*, 1983). El carácter permeable de los sedimentos no permite el desarrollo de una red hidrográfica extensa, sino que ésta únicamente se encuentra bien marcada en las cercanías de las prominencias más altas, en las que a causa de la energía y la carga se configuran sistemas hidrológicos juveniles (Fig. 3), por lo que el sistema hidrológico subterráneo de la cuenca está mejor desarrollado que el superficial. Como se mencionó anteriormente, la mayor parte de los escurrimientos pluviales se infiltran hacia el subsuelo, formándose un manto acuífero extenso, el cual constituye un recurso de abastecimiento hídrico muy valioso en la región oriental.

La relevancia de la Cuenca Oriental como un área almacenadora de agua subterránea estriba en el hecho de que 40% de ésta, presenta materiales consolidados de alta permeabilidad con posibilidades altas de presencia de recurso hídrico subterráneo. Dichos materiales se encuentran en toda el área baja de la cuenca. Debido al carácter fértil de los sedimentos piroclásticos, las condiciones climáticas prevalecientes permiten su aprovechamiento existiendo extensas zonas de cultivo (Alcocer, 2007). La mayor parte del sistema hidrográfico es de tipo torrencial, sobresalen los grandes abanicos aluviales que se forman en las laderas de los volcanes que limitan la cuenca. La alimentación de los lagos-cráter está en función directa de los mantos acuíferos de la misma (Gasca, 1981). Debido a la diversidad de condiciones que presenta ésta provincia, se aprecian fenómenos geológicos muy diversos y contrastados, entre que se puede enumerar: las montañas

glaciadas, sierras volcánicas, estructuras plegadas en las rocas sedimentarias, conos volcánicos, derrames lávicos y zonas transicionales como abanicos aluviales, llanuras, lagos de profundidad somera y las diatremas (Arredondo *et al.*, 1987).

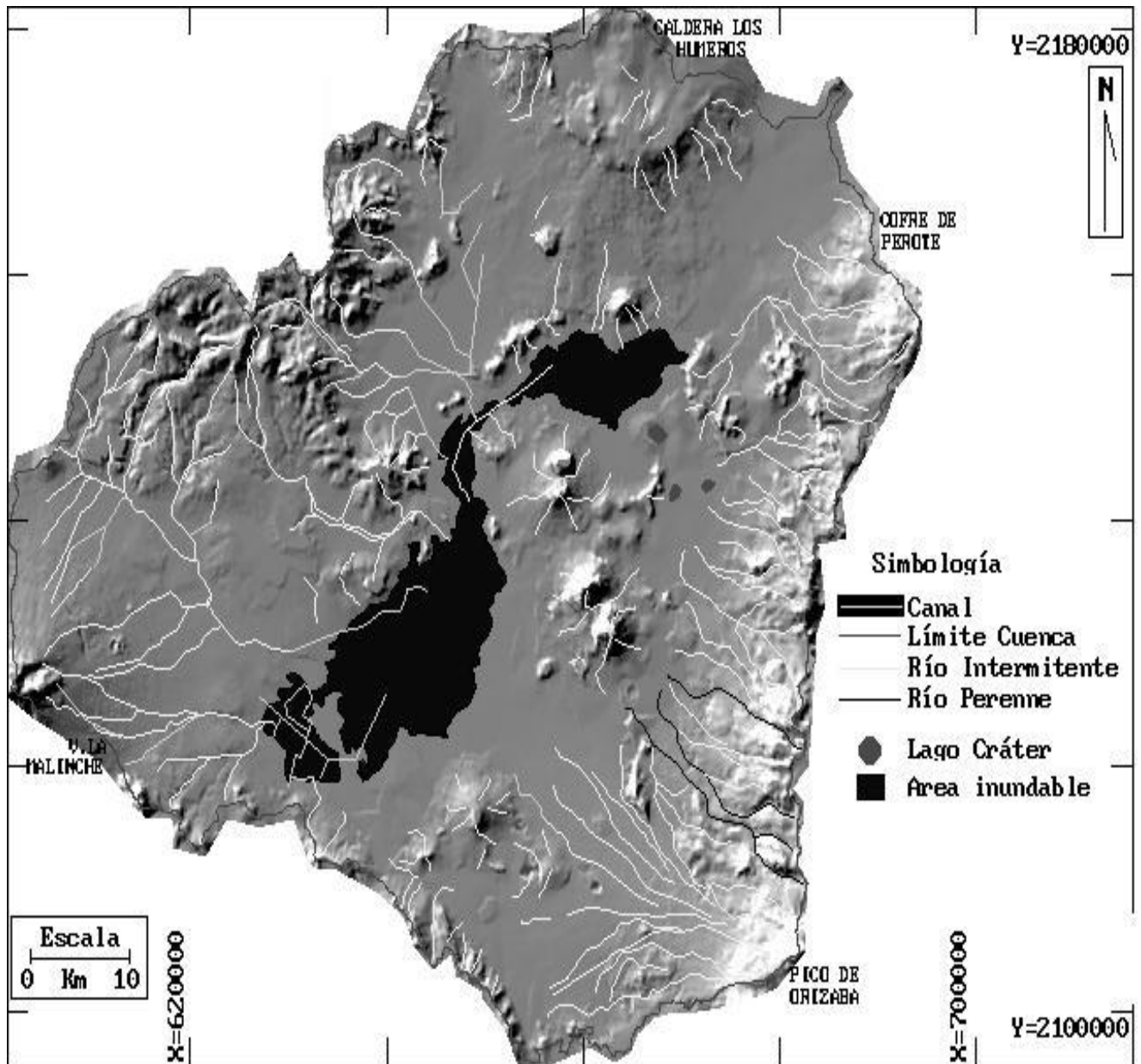


Fig. 3. Hidrología superficial de la Cuenca Oriental (Tomado de Alcocer, 2007).

La actividad volcánica se manifiesta en las intrusiones entre las rocas mesozoicas, como el caso de la Sierra de Techachalco, que es semejante en condiciones a las encontradas en la Sierra Madre Oriental. El borde oriental de ésta provincia es abrupto, pues su transición hacia la planicie costera está marcado por desfiladeros y barrancas. El desnivel, aunado con el ascenso de los vientos húmedos que provienen del Golfo de México, provocan lluvias de convección que resultan en procesos de activa erosión (Gasca, 1981). Sin embargo, por la posición geográfica del lago Quechulac (Fig. 5), el área es relativamente seca la mayor parte del año, presentándose tan solo lluvias aisladas a lo largo del año. Indicador de ello es su vegetación dada por una gran cantidad de cactáceas. La planicie en cuyo medio se encuentran los cráteres, es conocida en el país con el nombre característico de Los Llanos. Las eminencias en el interior de Los Llanos, se encuentran agrupadas un poco excéntricamente, pues se aproximan más de la Sierra del Citlaltepétl que del borde también volcánico del occidente. Los cerros más prominentes, son “Las Derrumbadas”, dos montañas gemelas de forma aproximadamente cónica y de fuertes pendientes; su nombre les viene de los derrumbes que constantemente tienen lugar. Ambas de altura similar se elevan aproximadamente a 800 m sobre los Llanos. Al hablar de las numerosas cuencas cuyo conjunto forman los Llanos de Puebla, es importante hacer notar que en un principio formaban un solo vasto recipiente que se ha subdividido por los cambios de nivel que ha traído consigo la aparición de los cráteres en recientes épocas, y la acumulación de material cinerítico, así como también las corrientes de lava basáltica que son un poco anteriores a los cráteres (Gasca, 1981).



Fig. 4 Vista SW-NE del el lago cráter Quechulac, al centro se observa la prominencia de un islote, que en el año de 1991 se encontraba a 3 m por debajo de la superficie del agua.

Vegetación. Se presentan diferencias en la vegetación, condicionadas por aspectos climáticos, altitudinales y pedológicos. En las partes altas de los volcanes, a partir de la cota de los 4,000 msnm, se encuentran zacatonés; por debajo de éste nivel aparece el bosque de pinos y más abajo, de encinos. En las elevaciones que se localizan en la parte central de la cuenca, formadas por rocas calizas e ígneas, los elementos más conspicuos son monocotiledóneas arborescentes (*Yuca filifera* y *Yuca elephantipes*), y en las partes bajas persisten individuos aislados de *Juniperus dippeana* (táscate). Al borde de los estanques permanentes se presentan halófitas, así como en los estanques temporales y en los antiguos vasos de presas (Gasca, 1981). “Quechulac”, no obstante su pendiente pronunciada y paredes altas, presenta una cantidad considerable de macrófitas acuáticas a lo largo de la zona litoral, debido a que posee en casi todas sus orillas, angostas y

pequeñas playas que permiten su adecuada fijación (Arredondo *et al.*, 1983). Se encuentran cinco especies de hidrófitas, de las que *Corpus californicus* y *Potamogeton pectinatus* fueron los más representativos en el borde del lago (Ramírez *et al.*, 1984). (Fig. 5).



Fig. 5. Vegetación presente (*Yuca elephantipes*) en Quechulac, Puebla.

Clima. La Cuenca Oriental se localiza entre las coordenadas 18°57' - 19°44' N y O. Por lo que pertenece a la parte sur del Trópico de Cáncer, es decir, en la zona tropical del país. Así mismo, la Cuenca Oriental presenta altitudes que van desde los 2 300 msnm en la mayor parte de la superficie de la cuenca, hasta los 4 461 msnm en La Malinche, 4 250 msnm en el Cofre de Perote y 5 610 msnm en el Pico de Orizaba. De acuerdo con la latitud, el clima de la cuenca sería tropical, pero está modificado por la orografía (p.e., los volcanes la Malinche, el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba) y por la configuración de la

cuenca, así como por la posición perpendicular de ésta con respecto a la trayectoria del flujo aéreo (Gasca, 1981).

La interacción de la latitud y la altitud de la Cuenca Oriental resulta en la presencia de los siguientes cinco tipos de clima de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen modificado por García *et al.*, (1988) para las condiciones de México: BS1 (seco estepario semiárido), C(W1) (templado subhúmedo con lluvias en verano), C(W2) (templado subhúmedo con lluvias en verano), ETH (frío) y EFH (muy frío).

El clima semiárido se distribuye en la parte central de la cuenca, la cual tiene una altitud entre 2 300 y 2 400 msnm, dichas características encontradas en el lago Quechulac por lo cual el lago tiene un clima BS1 (seco estepario semiárido). El clima (templado subhúmedo con lluvias en verano) rodea por completo al BS1 en forma concéntrica. Ambos climas son los predominantes en la cuenca, no obstante, el C(W1) se ubica entre 2 400 y 3 000 msnm en la parte norte y entre 2 300 y 2 500 msnm en las zonas este, oeste y sur. En el caso de la Cuenca Oriental, el clima C(W1) se presenta como una transición entre los climas BS1 y C(W2). El clima C(W2) se presenta en zonas más elevadas que los dos climas anteriores, a una altitud entre los 2 500 y los 3 700 msnm. El clima frío (ETH) se localiza en las cumbres de La Malinche y el Cofre de Perote, así como en el volcán Pico de Orizaba, a alturas de entre 3 700 y 4 400 msnm. Finalmente, el clima muy frío (EFH) se ubica sólo en la cumbre del Pico de Orizaba entre 4 400 y 5 600 msnm (Alcocer, 2007).

Marco geológico.

Las principales formaciones estratigráficas de la cuenca son las siguientes: **Mesozoico.**- Corresponden las rocas sedimentarias plegadas que existen en el área, las cuales se depositaron en un ambiente marino, en condiciones de trasgresión, por lo que la mayoría de las rocas son de composición calcárea en los niveles inferiores, pasando progresivamente a depósitos terrígenos.

También se localizan rocas pertenecientes al cretácico y de sucesiones volcánicas del Terciario y Cuaternario, al igual que diferentes formaciones (Gasca, 1981).

Riolitas. Las riolitas corresponden a las rocas volcánicas lávidas postorogénicas más antiguas, que sobre yacen a las calizas del cretácico; al presentarse manifestaciones volcánicas piro clásticas más jóvenes de la misma composición, se considera que es un área local en la que se ha manifestado a través del tiempo varias fases eruptivas. Los tres principales afloramientos rio líticos son: Las Derrumbadas, el Cerro Pizarro y la Sierra Blanca, por su cercanía con los conos de explosión. “Las Derrumbadas”, son el afloramiento más notable por su altitud, de 3,200 msnm, que lo coloca como la prominencia más alta de las que se encuentran en el interior de la Cuenca de Oriental (Gasca, 1981).

Andesitas.- Se encuentran ampliamente distribuidas, formando algunas de las Sierras y de los picos más altos que configuran el límite de la cuenca de Oriental, por lo que constituyen el mayor porcentaje volumétrico de las rocas volcánicas que se encuentran en la cuenca. La composición geológica de “Quechulac”, incluye tezontle, pómez, material andesítico, depósitos cineríticos y piroclásticos, así como basalto (Gasca, 1981). “Quechulac” presenta batimetría muy abrupta y prácticamente no existe una zona litoral desarrollada. Presenta sedimento terrígeno grueso, compuesto por grava arenosa, con muy baja cantidad de carbonatos. Existe una zona protegida por una barrera de *Scirpus californicus*. El sustrato está escasamente cubierto por algas bentónicas y algunos individuos de *Potamogeton pectinatus*. El pH del sedimento es casi neutro, de 6.9 (Ubeda *et al.*, 1994).

Ubicación geográfica.

En el extremo oriente de la Mesa Central Mexicana se extiende la cuenca del Oriental, Puebla, entre los 18⁰ 48' y 19⁰ 43' norte y los 97⁰ 09' y 98⁰ 03' oeste. Región también conocida con el nombre de “Los Llanos del Salado” o “Llanos de San Juan”, peculiar por la presencia de formaciones lacustres de naturaleza volcánica. Mismas que actualmente existen como lagos independientes de dimensión relativamente pequeña, sin comunicación directa entre ellos y con características morfológicas y químicas diferentes entre sí (Guerra-Magaña, 1986).

Para el Lago cráter de “Quechulac”, se determinaron coordenadas geográficas de $97^{\circ} 21' 33.09''$ y $97^{\circ} 20' 55.24''$ de longitud oeste , $19^{\circ} 22' 40.11''$ y $19^{\circ} 22' 13.77''$ de latitud norte (INEGI, 2011) con una altura media de 2350 msnm, ubicándolo por ello Arredondo *et al.* (1983), en el tercer sitio con respecto al área superficial y en el cuarto en cuanto a su volumen, con respecto a los lagos de la cuenca de Oriental. (Fig. 6)



Fig.6. Ubicación geográfica del lago Quechulac.

El lago Quechulac tiene forma elipsoidal con una longitud máxima de 1,080 m orientada hacia el sureste-noroeste. La parte más angosta, situada hacia el este con una longitud mínima de 750 m. (Fig. 7), se caracteriza por un borde pequeño colocado en la zona litoral suroriental. Su perímetro aproximado es de 3,290 m. Las paredes son abruptas y las isóbatas mantienen la forma de la línea de costa, aunque se observan marcadas irregularidades especialmente en la isóbata de 30 m (Arredondo, *et al.* 1987).



Fig.7. Lago Quechulac, se observa el contorno del lago y poblados aledaños.

Hacia el centro de la cuenca a 30m de profundidad, se presenta una planicie de forma irregular. Al SO de esta plataforma se localiza el área más profunda de 40 m, definida por una isóbata de escaso desarrollo. También, reporta un área de 0.50 km² y una profundidad promedio de 40 m (Arredondo *et al.*, 1983). La forma de éste lago varía de lo circular a elipsoidal. Wetzel (1975) señala que los lagos que tienden a un desarrollo de línea de costa cercano a la unidad tienen forma circular. Ordóñez (1906), en lo que se refiere a “Quechulac”, señala que es una cavidad del suelo casi sin elevación, por lo que su forma se aleja del círculo. Cole (1983), cita que el desarrollo del volumen determina la configuración de la cuenca de tal manera que los valores mayores a la unidad indican una forma de parábola elíptica, como es el caso de éstos lagos, cuyos datos varían de 1.56 a 1.63. A medida que evoluciona la cuenca de un lago, se tiene un valor de desarrollo del volumen superior a la unidad, presentando más acumulación de sedimentos tanto en la zona litoral como en el fondo y en consecuencia una mayor área de contacto entre el

sedimento y el agua. Con respecto a la relación profundidad media-profundidad máxima, Neumann (1959) menciona que dicha relación es de 0.5 cuando la cuenca tiene forma de parábola elíptica y de 0.33 si se aproxima a un cono elíptico. Koshinsky (1970) coincide en que si la relación es mayor de 0.33, la cuenca presenta un aumento progresivo hacia la forma de "U".

Según Arredondo *et al.* (1983), la morfología de la cuenca también se refleja en la pendiente, que se interpreta como el promedio de variación en la profundidad por unidad horizontal de distancia. De tal forma que una pendiente poco pronunciada muestra que la cuenca ha estado sometida a procesos de acarreo por acción del viento y por la sedimentación.

HIPÓTESIS

De acuerdo con los criterios de Loffler y Hutchinson (1956) y Lewis (1983), en cuanto a morfometría, profundidad, altitud, latitud ajustada, el lago “Quechulac” estará ubicado como monomíctico cálido.

OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL

Evaluación de la dinámica física y química de la columna de agua del lago Quechulac.

OBJETIVOS PARTICULARES

Determinar el comportamiento térmico de la columna de agua a lo largo del año, para clasificarlo según las clasificaciones emitidas por Hutchinson y Loffler (1956) y Lewis (1983).

Determinar la variación vertical y temporal de la columna de agua, de los parámetros físicos y químicos (temperatura, oxígeno, pH, dureza total, dureza Ca, alcalinidad, fósforo total, fosforo reactivo, nitritos, nitratos y amonio), como indicadores de la dinámica del sistema Quechulac.

MATERIALES Y METODOS

Fase de campo

Para la realización del estudio de la columna de agua del lago "Quechulac". Se realizaron once recolectas mensuales a partir de enero de 2006. Considerando la zona limnética central de la laguna como representativa de la columna de agua, donde la profundidad media es de 32 m aproximadamente. La selección de un solo punto de muestreo responde a la considerable profundidad del lago, la forma de cono invertido y radio aproximadamente 500 m. Debido a su condición morfológica, este tipo de lago cráter tiene la característica de representar una mayor dinámica vertical que horizontal en la columna de agua (Margalef, 1983).

La visibilidad se determinó utilizando un disco de Secchi, que se sumergió lentamente con un cable marcado en centímetros, hasta que desapareció su contorno observamos la parte del color blanco que refleja la luz, registramos la primera lectura, posteriormente sumergimos el disco a 50cm más allá de la primera lectura y lentamente lo recuperamos hasta la aparición del color blanco; anotamos una segunda lectura que se promedia con la primera, para obtener la visibilidad o transparencia al disco de Secchi. La importancia de esta determinación es que nos indica el grosor de la zona de incidencia lumínica o zona eufótica, en la cual se efectúa los procesos fotosintéticos de la primera capa (APHA, 1992. Félix, 1992 y Cervantes, 1984).

Las muestras se colectaron en una botella Van Dorn, a profundidades que van desde 30cm en superficie hasta el fondo con 32m a intervalos de 2m, colocando las muestras en botellas de plástico previamente etiquetadas con localidad, hora, fecha y profundidad, *in situ* también se midió la cantidad de oxígeno disuelto y temperatura del agua con ayuda de un oxímetro (YSI Incorporated, Modelo. 57). Para medir el pH de la muestra de agua, se utilizó un potenciómetro de campo (Corning pH meter 30), calibrándolo con buffer pH 7 y

pH 10.

Posteriormente se determinó la alcalinidad parcial y total de cada muestra de agua colectada, con el método de indicadores. Alcalinidad a la fenolftaleína, se tomaron de la muestra 100 ml. Se decoloró la muestra con una gota de sulfito de sodio 0.1 N (para remover cloruro libre residual). Se adicionaron dos gotas de solución indicadora de fenolftaleína, la muestra se volvió rojiza por la presencia de carbonatos y se procedió a valorar con una solución 0.02 N de ácido sulfúrico, hasta que el vire de color rojizo a incoloro. Se tomó la lectura del volumen del ácido sulfúrico gastado. Se conservó la muestra para determinar la alcalinidad total, por el método de indicadores al anaranjado de metilo. Se agregaron de 3 a 5 gotas de solución indicadora de anaranjado de metilo a la muestra de 100 ml y se valoró con ácido sulfúrico 0.02 N hasta que la solución cambio de un color naranja a color coral o mamey.

Después las muestras se transportaron al laboratorio, en condiciones de baja temperatura (aprox. a 4 °C), con ayuda de hielo, para evitar el menor cambio en las características de los compuestos químicos disueltos o particulados en la muestra de agua.

Fase de laboratorio

La dureza total se determinó cuantitativamente por la titulación con EDTA (etilendiamino tetracético). A 50ml de la muestra se agregaron 3 gotas de inhibidor NaCN, adicionamos 1ml de solución buffer de amonio (pH10), se añaden de 4 a 5 gotas del indicador eriocromo negro T, obteniéndose una coloración rojo vino, se titula con EDTA 0.01 M, hasta que vire al color rojo a azul intenso, anotando el volumen de EDTA gastado.

Los cálculos para obtener la dureza total se expresan en mg de CaCO₃/l

$$\text{mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{(\text{ml EDTA}) (\text{M EDTA}) (100.1) (1000)}{\text{ml de la muestra}}$$

La dureza de calcio se determinó utilizando una muestra de 50ml, a la que se le adicionó 2ml de NaOH 1 N, se agrega 10ml de murexida. Se titula con EDTA 0.01 M hasta que la solución viro de color rojizo a purpura o morado. Los cálculos para obtener la concentración de Ca expresada en mg CaCO₃/l son:

$$\text{mg Ca}^{++}/\text{l} = \frac{(\text{ml EDTA}) (\text{M EDTA}) (100.1) (1000)}{\text{ml de la muestra}}$$

(APHA, 1992; Félix, 1992; Cervantes, 1984).

El fósforo como ortofosfatos, por el método del fosfomolibdato. Se elaboró una gráfica de absorbancia contra concentraciones conocidas de P-PO₄, obtenidas de las diluciones correspondientes de una solución patrón, obteniendo la recta de mejor ajuste por el procedimiento. Para leer la concentración de P-PO₄ las muestras obtenidas de campo, se utiliza el gráfico obtenido, interpolando la absorbancia de la muestra en el gráfico para leer la concentración correspondiente. En un matraz Erlenmeyer de 100 ml una muestra de 50 ml, a la cual se le agregaron 2 ml de la solución de molibdato de amonio y 5 gotas de cloruro estanoso y mezclamos. Después de 10 minutos, pero antes de los 12 minutos se midió el color en el espectrofotometro a 690 nm.

Fósforo total, fue determinado por el método de fosfomolibdatose. Se realizó, una digestión de 100 ml de la muestra, agregándosele una gota de fenolftaleína, si aparece un color rosado en la muestra, para su eliminación se agregan poco a poco gotas de H₂SO₄ hasta que desaparezca éste. Posteriormente se agregó 1 ml de H₂SO₄ y 15ml de la solución de K₂S₂O₈. Se cubre con papel aluminio la boca del matraz y se somete al proceso de digestión en la autoclave durante 30 minutos a una presión de 15 a 20 lb/m². Al digerido se le agregó unas gotas de fenolftaleína. Se adicionó con una bureta solución de NaOH, hasta la aparición de un color rosado. Finalmente se midió el volumen de la solución (muestra

más NaOH). Con 50ml de la muestra anterior se procede a cuantificar los fosfatos por el método del fosfomolibdato.

Para los cálculos se utiliza una curva patrón elaborada con concentraciones conocidas de fosfatos. Después se determinó la concentración de fósforo total aplicando la siguiente ecuación

$$\text{mg P total/l} = [\text{conc. de fósforo}] (A/B)$$

A=volumen de la solución digerida en ml (punto 4.2)

B=volumen de la muestra utilizado para la aplicación de método del fosfomolibdato

El nitrógeno se presenta en formas químicas diferentes, en aguas naturales y que tienen un interés preponderante en orden decreciente de su estado de oxidación que se presentan como: nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico, los cuales forman parte del ciclo del nitrógeno y son interconvertibles químicamente.

Para la determinación del nitrato utilizamos el método del ácido fenoldisulfónico, para ello se elaboró una gráfica de absorbancia contra concentraciones conocidas de N-NO_3 , obtenidas de las diluciones correspondientes de una solución patrón, obteniendo la recta de mejor ajuste por el procedimiento de los mínimos cuadrados. Para leer la concentración de las muestras obtenidas de campo, se utiliza el gráfico obtenido, interpolando la absorbancia de la muestra en el gráfico para leer la concentración correspondiente; 100ml de la muestra son filtrados con papel Wathman No 42 y colocamos en una cápsula de porcelana, para evaporar la muestra hasta la sequedad, enfriar a temperatura ambiente, para agregar 2ml de ácido fenoldisulfónico, mezclando perfectamente con un agitador de vidrio. Diluimos a 10ml con agua destilada, agregamos hidróxido de amonio hasta que la muestra tome un color amarillo definitivo y lo colocamos en un matraz de 100ml para aforar con agua destilada.

Tomamos una alícuota de la muestra tratada y leer la absorbancia al espectrofotómetro a una longitud de onda de 410nm.

Para obtener la concentración de nitratos, solo multiplicamos la concentración de nitrógeno como NO_3^- por 4.43.

Para de la determinación de nitritos, utilizamos el método del ácido sulfanílico, se tomaron 50ml de la muestra, previamente filtrado, se agregó 1ml de ácido sulfanílico, mezclamos para obtener un pH de 1.4, dejamos reposar de 3 a 5 minutos. Posteriormente agregamos 1ml de clorhidrato de naftiletildiamina y 1ml de la solución amortiguadora de acetato. Mezclamos por agitación, para obtener un pH de 2 a 2.5, dejamos reposar 30 minutos después cuando torno a un color purpura rojizo, leímos absorbancia a 530nm.

Para obtener los cálculos previamente elaboramos un curva patrón y leímos las concentraciones por interpolación.

Para la determinación del amonio, utilizaos el método del fenato, tomamos 25ml de la muestra, previamente filtrado, colocamos 10ml de la muestra en un vaso deprecitado de 50ml y lo agitamos utilizando un agitador magnético. Después se agregó una gota de solución de sulfato manganoso, 0.5ml de la solución oxidante y 0.6ml de la solución de fenato, por ultimo agito durante 15 minutos para obtener el desarrollo máximo del color.

Transferimos las muestras a las celdas del espectrofotómetro para medir la absorbancia a 630nm.

Para realizar los cálculos la concentración de amonio en la muestra aplicamos la formula $C_1/C_2 = A_1/A_2$

Fase de gabinete

Gráficas espaciales y temporales

Para la elaboración de las gráficas espaciales se utilizaremos la paquetería de Excel, del ambiente Windows, en el cual se capturaron los datos obtenidos de la investigación, tomando como eje de las X (variable independiente) a la profundidad, y como eje de las Y (variable dependiente) a las concentraciones de los parámetros físicos y químicos a estudiar. Este tipo de gráficos, nos permitió observar el comportamiento de dichos

parámetros a lo largo de la columna de agua durante los diferentes muestreos realizados en el año 2006.

A efectos de representar los parámetros físicos y químicos del lago Quechulac, utilizamos el programa Surfer para representar las curvas de nivel, uno de los variados métodos que se utilizó para reflejar la forma tridimensional de la superficie en un mapa bidimensional. El programa ofrece la representación de datos de forma espacial en la cartografía y el análisis se hacen por lo esencial sobre una matriz o retícula, por esto que el modulo matriz sea uno de los más importantes.

La matriz del editor permite desplegar los valores X, Y, y Z de una imagen GRD y modificar el valor Z se considerara conveniente. Carga del mapa base, este nos permite importar el mapa base.

Map-Post permite desplegar las direcciones de flujo mediante una combinación de la orientación de la vertiente (*Aspect*) y la línea de máxima pendiente (*Slope*). El dato de orientación y de pendiente deben hallarse en un archivo DAT, junto con la coordenada Este y la coordenada Norte.

El contorno del mapa ofrece varias posibilidades para el despliegue de isolíneas de la variable considerada (isoterma, curva de nivel, isoyetas, isóbaras).

RESULTADOS

TEMPERATURA

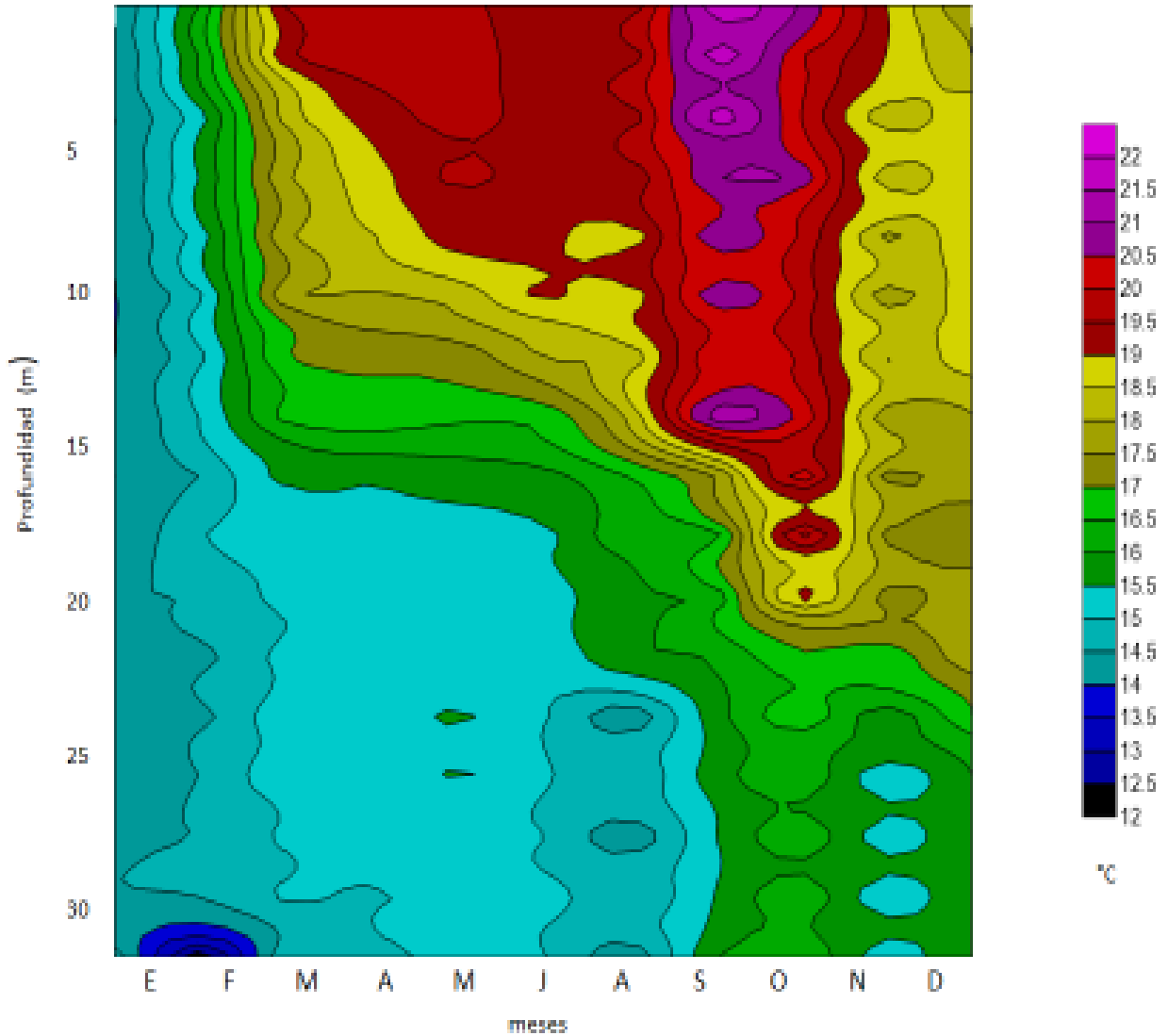


Figura A. Comportamiento de las isotermas a través de los meses de muestreo

Durante la temporada invernal la temperatura en la columna de agua varía entre los 12 y 14° C. Al parecer en ésta las isotermas muestran la formación de un monimolimnion y un comportamiento de homogenización de la temperatura en la columna de agua. Proceso de mezcla está presente en mes de enero. Presentándose estratificado la mayor parte el año, alcanzando la máxima estratificación en el mes de septiembre.

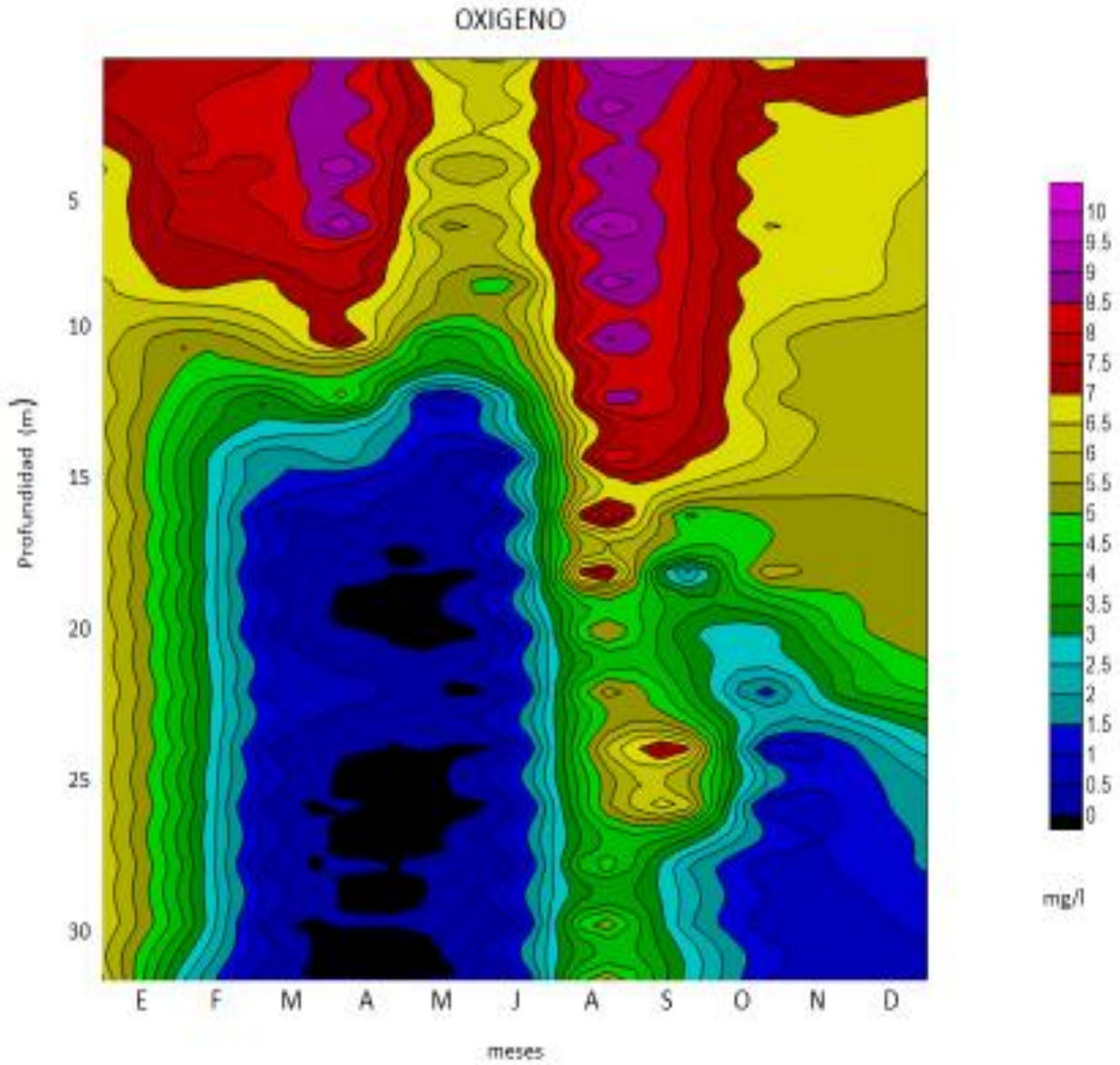


Figura B. Isolíneas anuales del oxígeno disuelto en la columna de agua.

Durante las temporadas de primavera y verano el metalimnion e hipolimnion se muestran anóxicos a partir de los doce metros. Las concentraciones mayores se encuentran en el epilimnion y más baja durante el mes de junio.

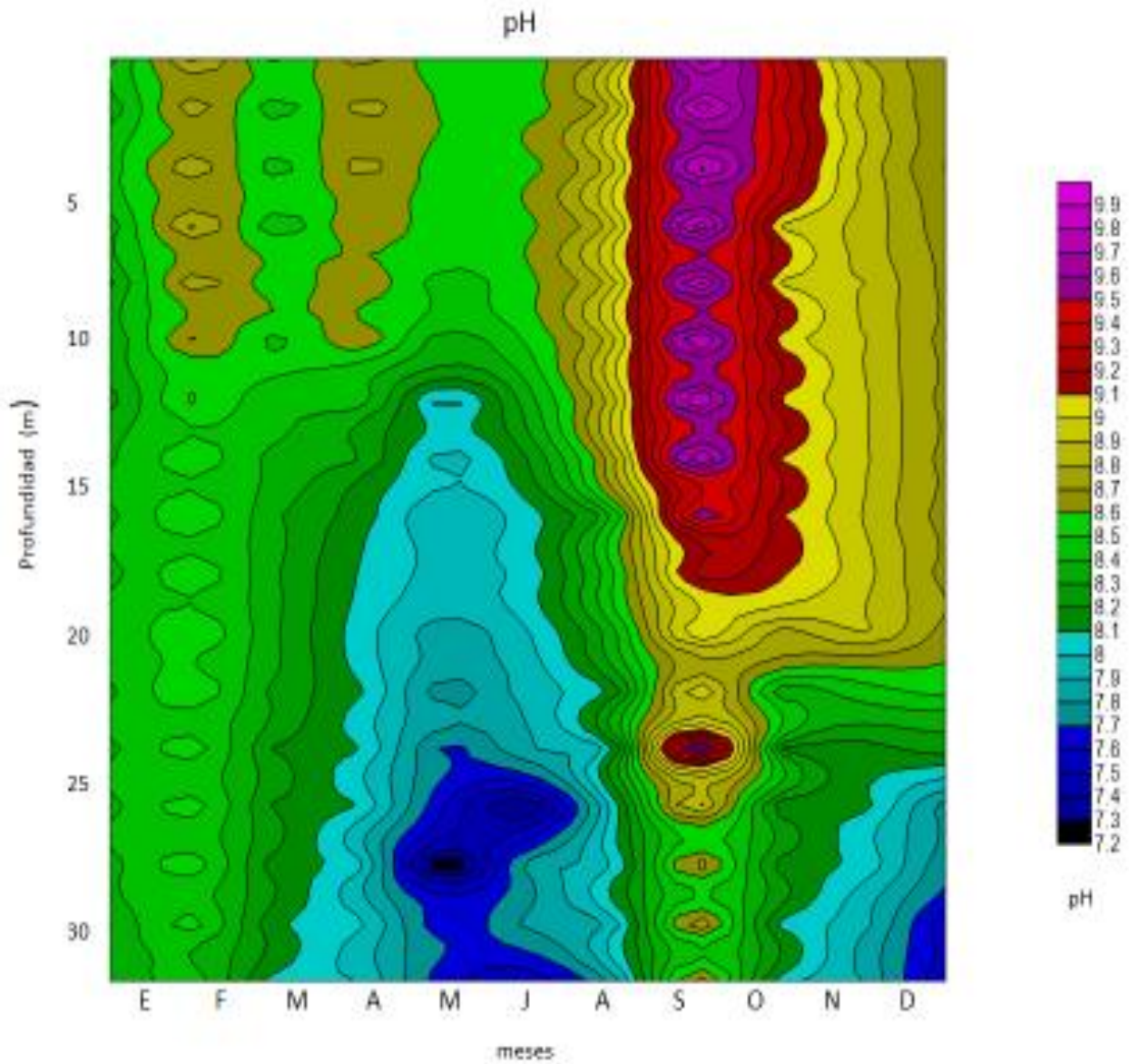


Figura C. Isolíneas anuales de pH.

Los valores de pH oscilaron entre 7.11 a 9.90. Siendo a finales de la primavera (mayo) cuando se presentan los valores mínimos en el hipolimnion. Manteniendo una homogeneidad en la columna durante la temporada invernal e inicios de la primavera

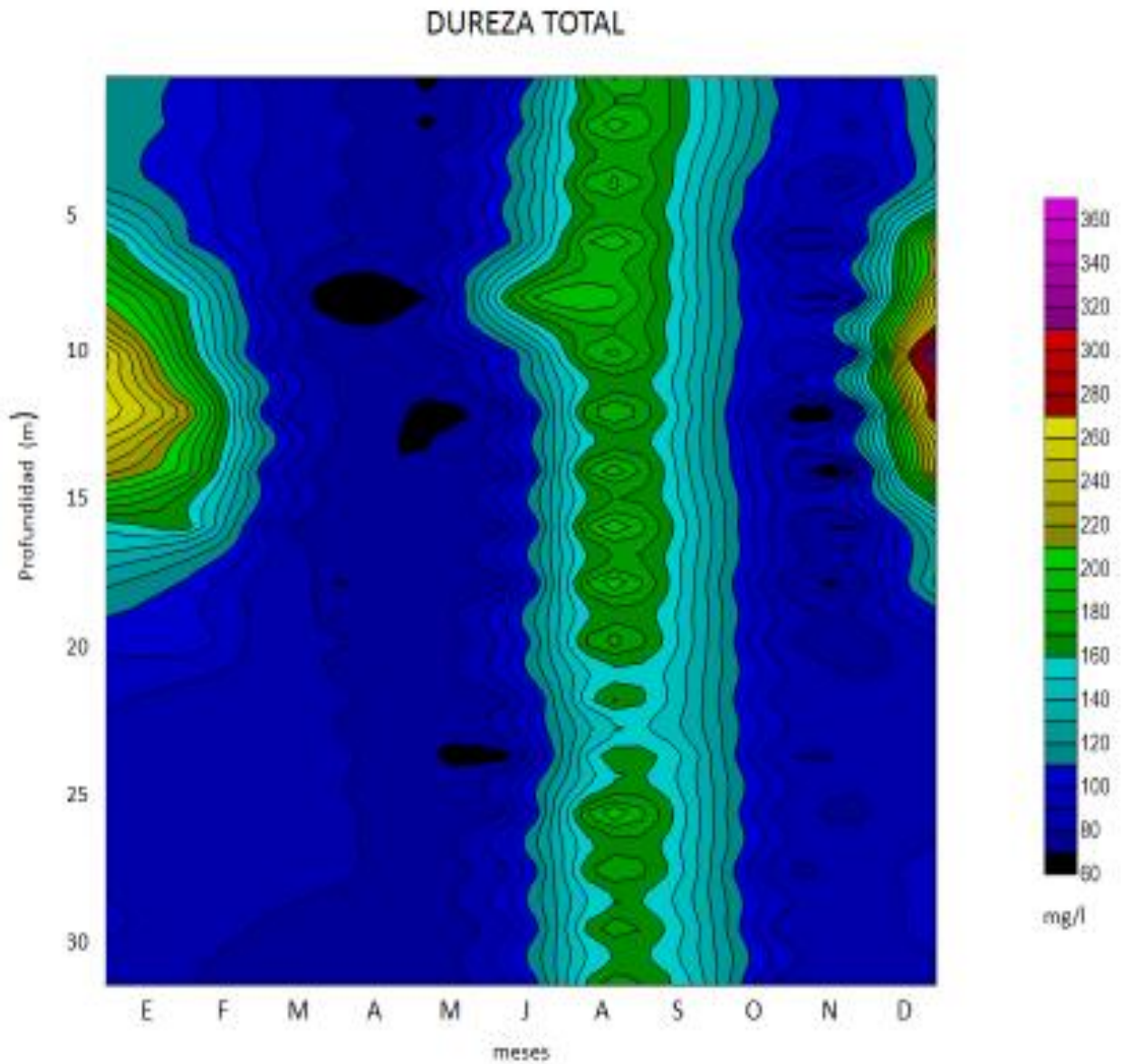


Figura D. Las isólineas anuales de dureza total.

En el mes de mayo se dan las concentraciones más bajas y en el mes de diciembre se dan las mayores. En los meses de invierno se da un gran aporte de concentraciones de los 10 a los 15 m. Mientras que en los meses de junio, agosto y septiembre, aumentan en toda la columna de agua.

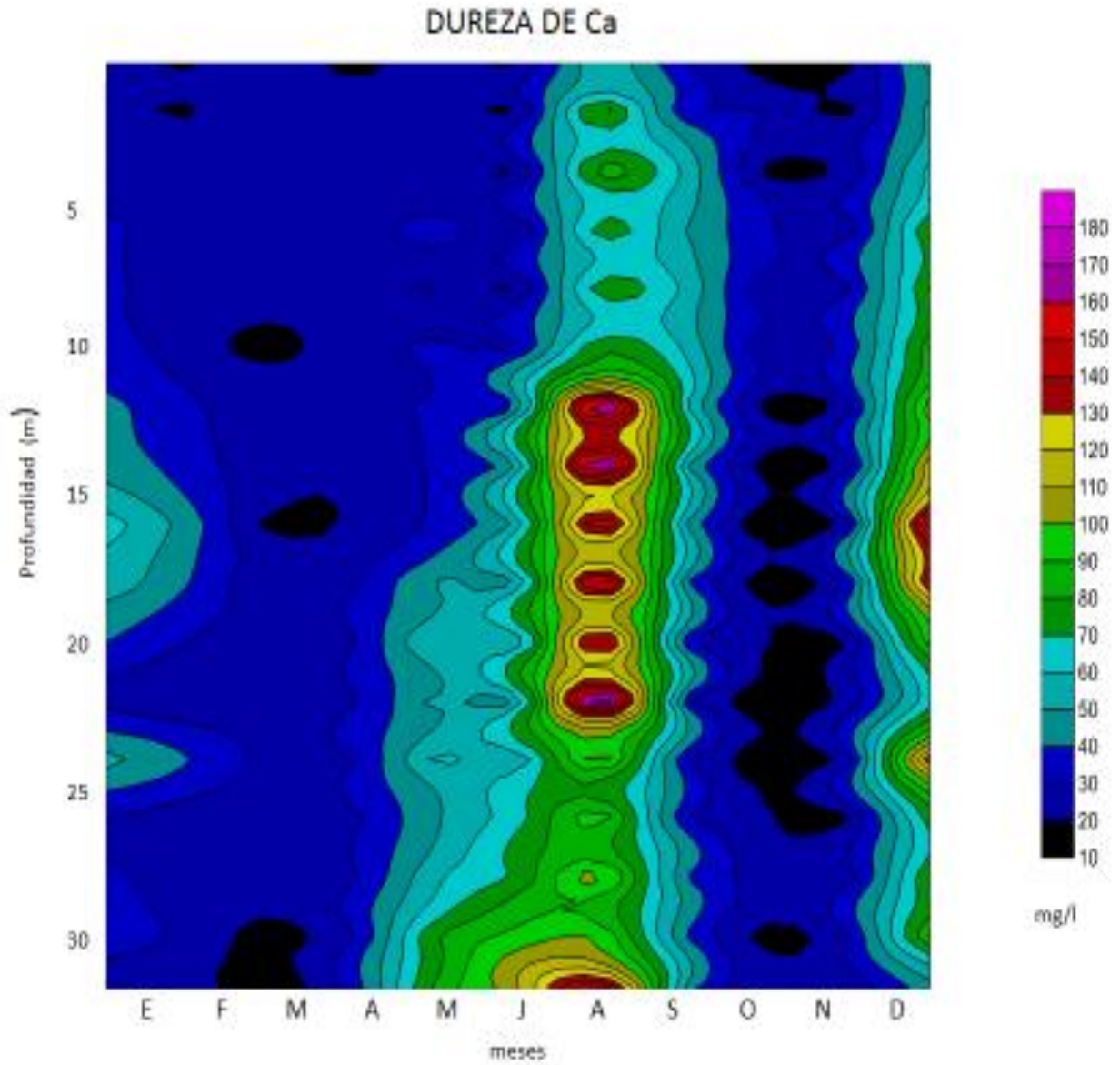


Figura E. Isolíneas anuales de dureza de calcio.

Durante los meses previos y durante la estratificación, al igual que en el periodo de mezcla, se presenta un incremento en las concentraciones de dureza de calcio.

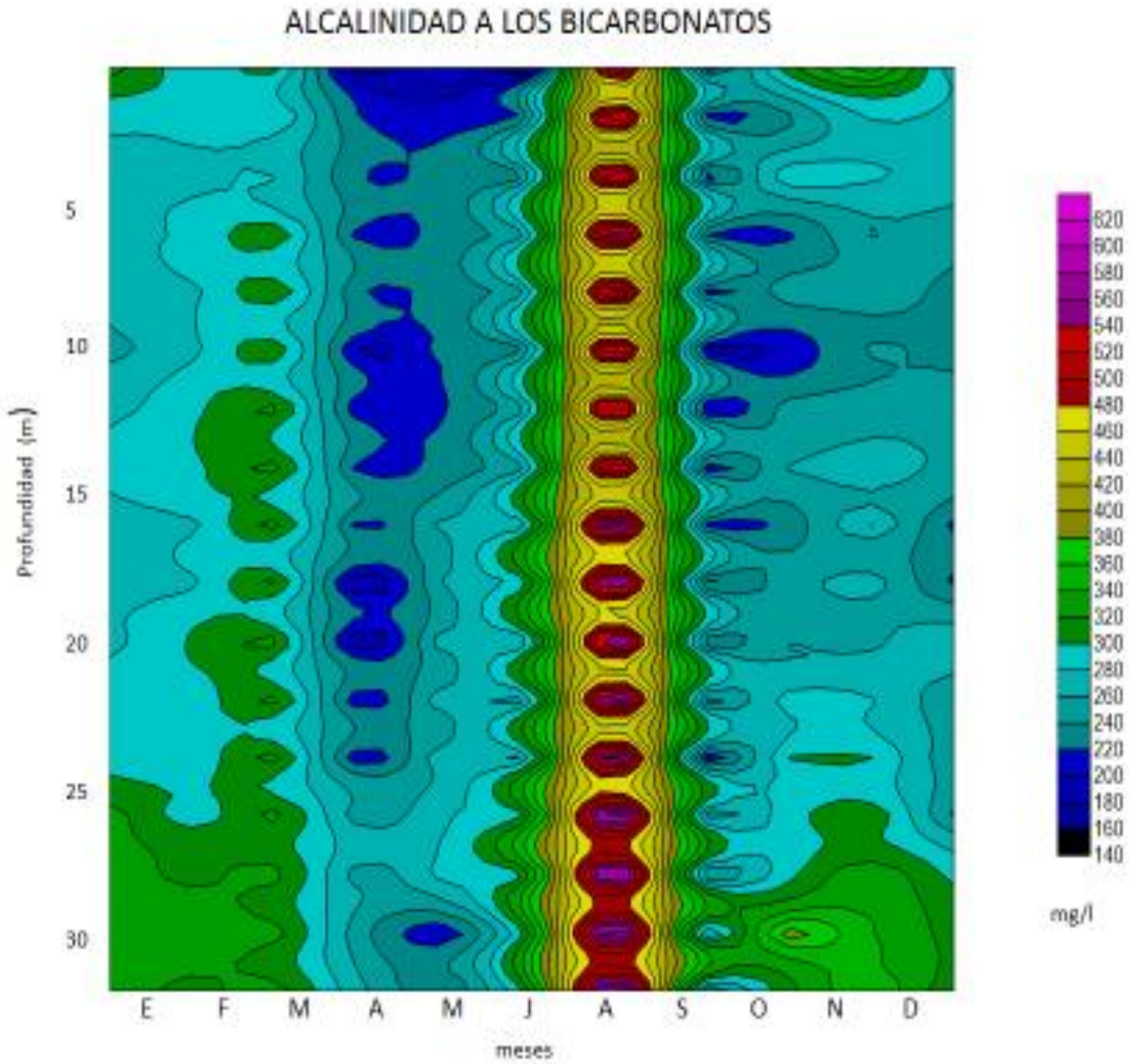


Figura F. Isolíneas anuales de alcalinidad al bicarbonato.

En los meses de otoño e invierno se manifiesta una homogeneidad en epilimnio y metaimnio, mientras en el hipolimnion se incrementan las concentraciones de alcalinidad. En la etapa previa y durante la estratificación se observa un aumento a lo largo de toda la columna de agua.

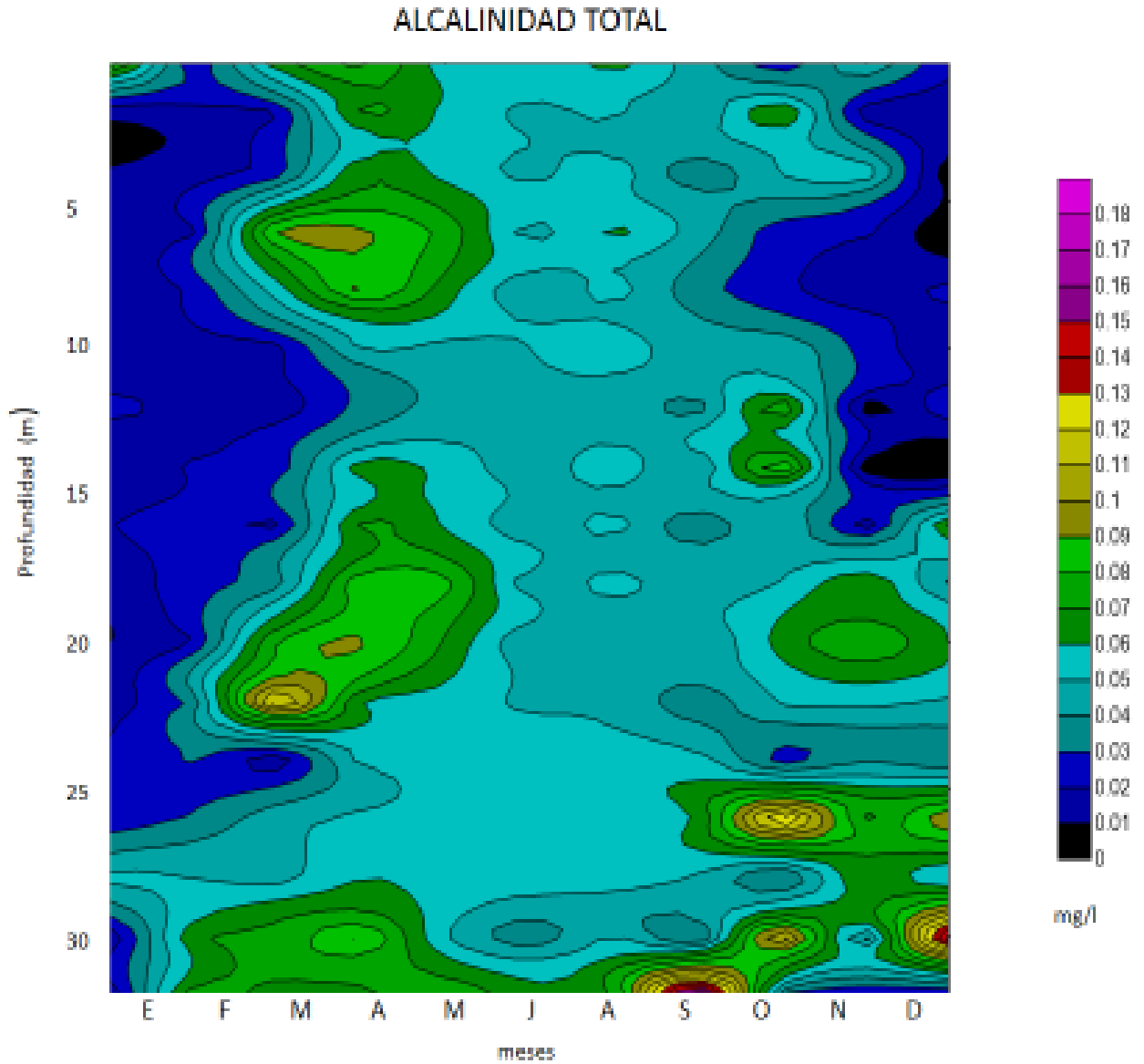


Figura G. Isolíneas anuales de alcalinidad total.

A finales del invierno e inicio de la primavera se observa un incremento en las concentraciones. Los meses de mayo, junio y agosto manifiestan una homogeneidad en la columna. Mientras que en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre las concentraciones se incrementan en el metalimnion e hipolimnion.

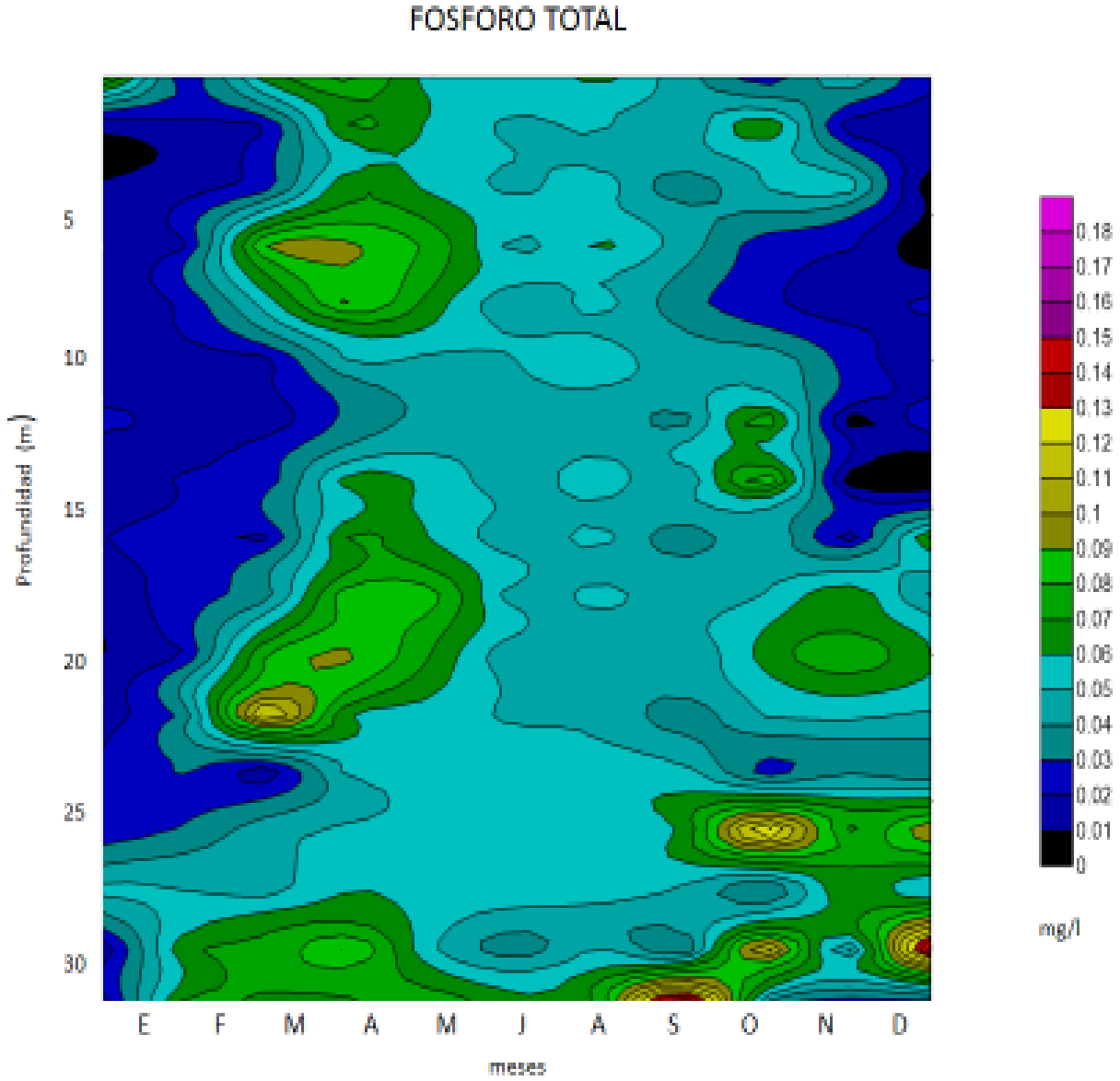


Figura H. Isolíneas anuales del fosforo total.

Se observa un comportamiento homogéneo en su concentración en los meses de mayo a agosto a lo largo de la columna de agua. En los meses de septiembre a diciembre se presenta un aumento en la concentración en el hipolimnion. Mientras que en los meses posteriores, febrero, marzo y abril varía notablemente alrededor de toda la columna.

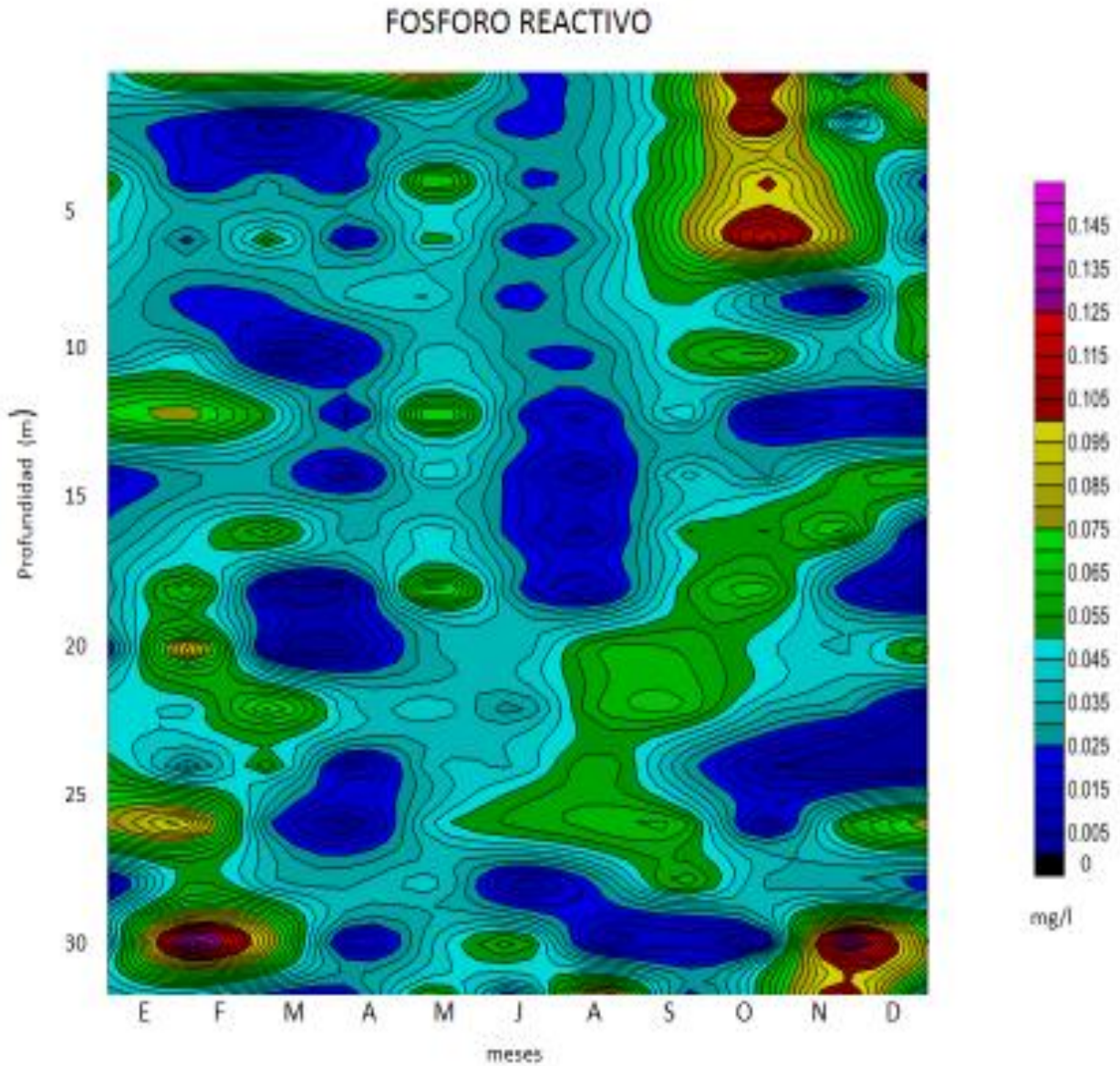


Figura I. Isolíneas anuales de fósforo reactivo ($P-PO_4^{3-}$).

Una estratificación se presenta en el mes de septiembre. Durante la última fase de estratificación se observa un incremento en concentraciones de fósforo reactivo en el hipolimnion y metalimnion, también a finales de invierno en el mes de febrero se presenta un incremento en la concentración del hipolimnion.

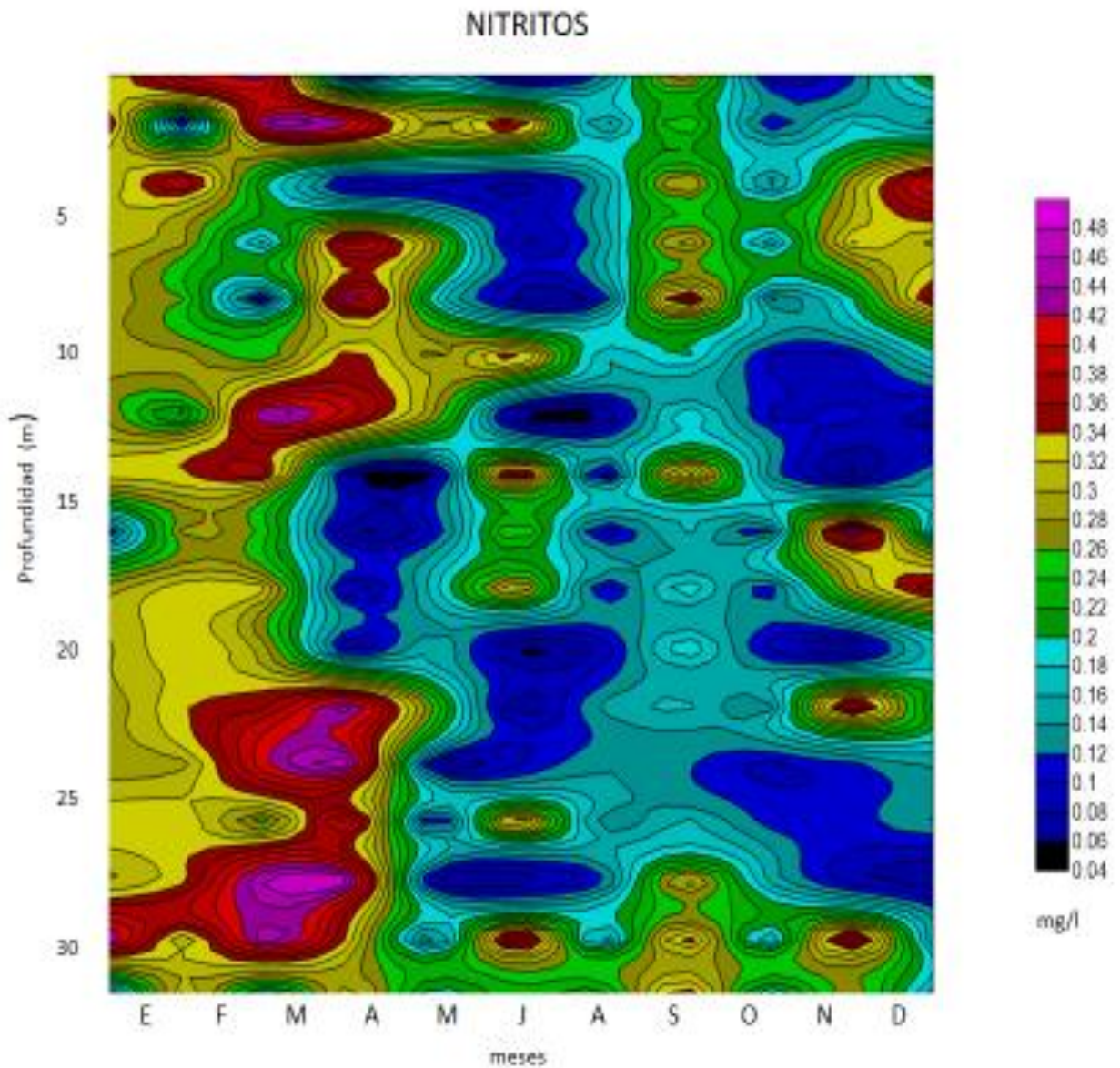


Figura J. Isolíneas anuales de nitritos (N-NO_2).

En la etapa invernal e inicio de la primavera, las concentraciones del ion nitrito varían a lo largo de la columna de agua, e incluso al inicio de la primavera se encuentran las concentraciones más elevadas de este ion. Durante los meses previos y posteriores a la máxima estratificación se encuentran concentraciones menores.

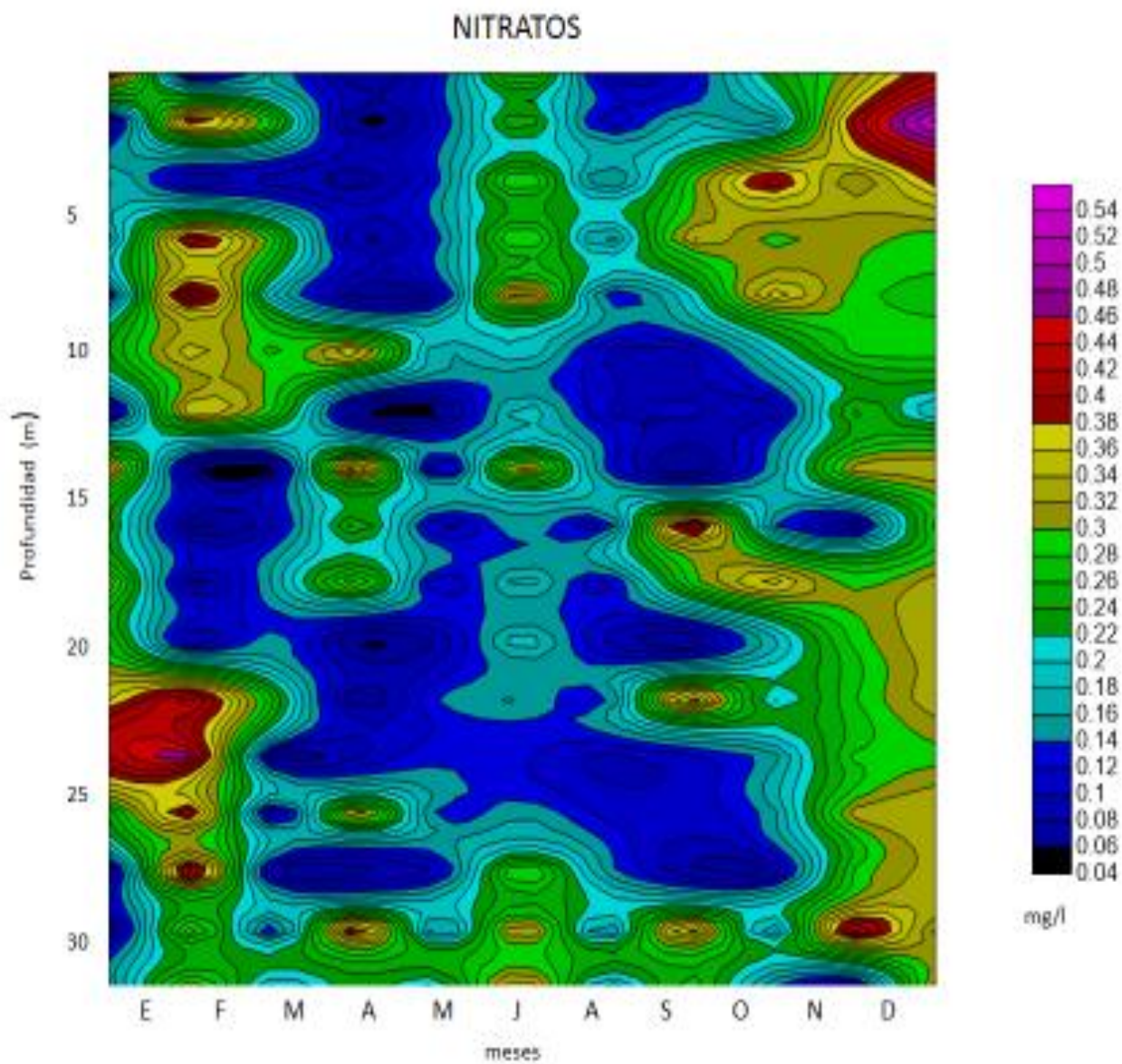


Figura K. Isolíneas anuales de nitratos (N-NO_3).

Los meses de mezcla en la columna de agua se manifiestan un incremento del ion nitrato, por lo que éste se encuentra en el fondo de la columna a lo largo del año. Concentraciones menores son detectadas en el metalimnio durante las etapas de primavera y verano.

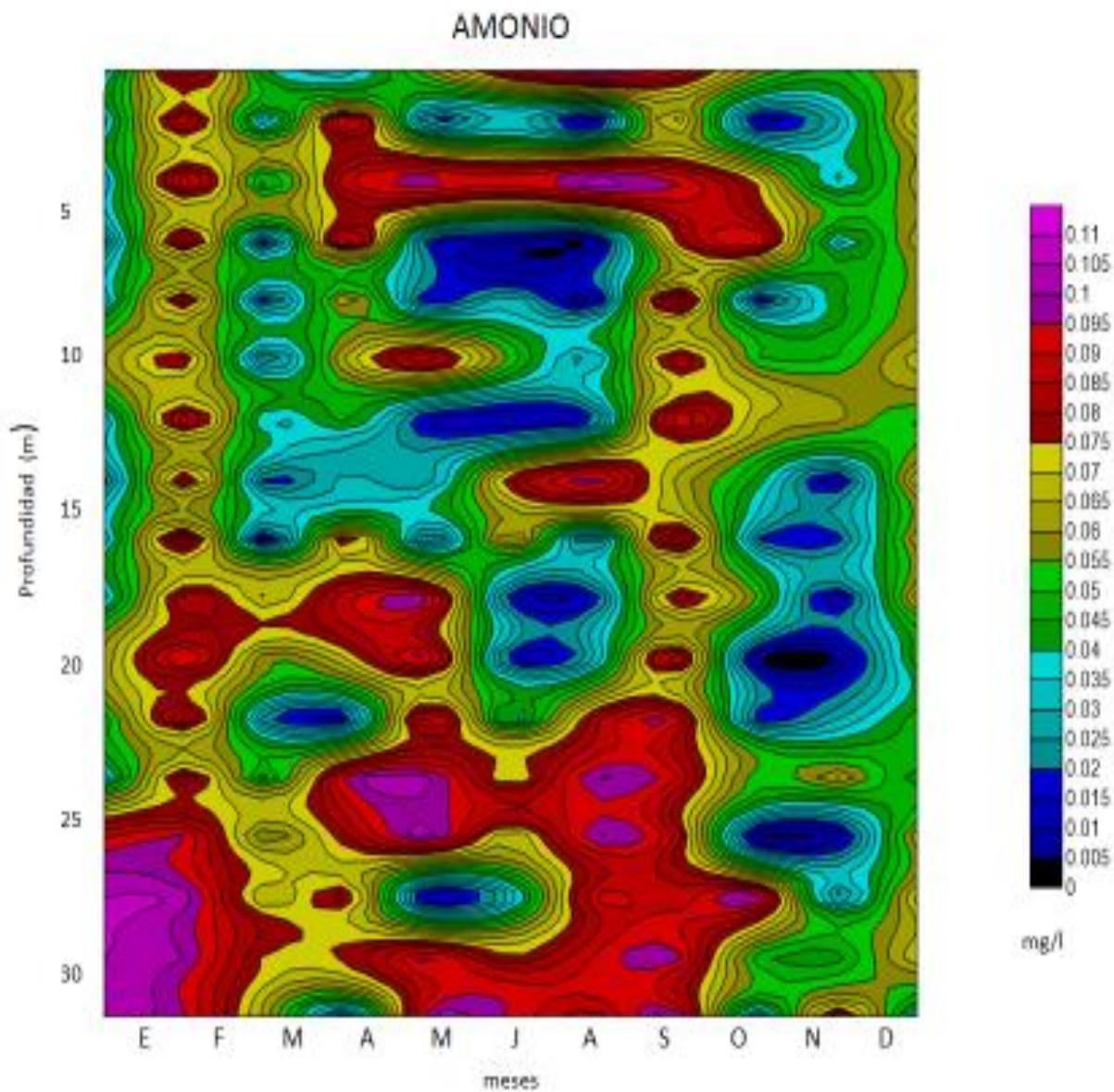


Figura L. Isolíneas anuales de amonio (N-NH_4^+).

Concentraciones elevadas de este ion son observadas en la columna de agua a lo largo de todos los meses de muestreo, presentándose un máximo en el epilimnion de abril a octubre.

PARAMETROS	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
TEMPERATURA(C°)	16.8	22	12
OXIGENO (mg/L)	4.5	9.80	0.04
pH	8.5	10	7.1
DUREZA TOTAL (mg/L)	115	366	62
DUREZA Ca (mg/L)	46	200	11
ALCALINIDAD A LOS BICARBONATOS (mg/L)	58	185	10
ALCALINIDAD TOTAL (mg/L)	297	657	131
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	0.05	0.190	0.001
FÓFORO REACTIVO (mg/L)	0.04	0.157	0.001
NITRITOS (mg/L)	0.224	0.482	0.043
NITRATOS (mg/L)	0.215	0.532	0.040
AMONIO (mg/L)	0.059	0.108	0.00

Figura M. Tabla de promedios, máximos y mínimos de parámetros físico - químicos del lago cráter Quechulac, a lo largo del ciclo anual.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los procesos físicos de estratificación y mezcla en la columna de agua del lago Quechulac dependen de la energía solar captada por la masa de agua. Según (Torres Orozco *et al.*, 1995), entre los principales factores que definen la dinámica de ésta pueden citarse a las variaciones en la temperatura del aire, la latitud, la altitud, las estaciones del año, así como la velocidad y dirección del viento. Todas ellas inciden fundamentalmente en la variación de la temperatura del agua y su densidad. En el caso particular de la temperatura, sus variaciones afectan los procesos químicos realizados tanto en los tejidos celulares, así como en características físico y químicas del ambiente acuático (Sevilla, 1977; Martínez, 2006). Considerando las variaciones de la temperatura del agua a lo largo de la columna de agua y a lo largo del año para el lago Quechulac, en el periodo otoñal (septiembre) se encuentra un gradiente de aproximadamente 4°C, lo que determina una estratificación franca que concuerda con lo citado por Sevilla (1977), quien hace mención de los procesos de estratificación para los lagos ubicados en estas latitudes. La termoclina en este momento se localiza entre los 14 a 18 m, la temperatura oscila entre los 21.5 °C y 16.0°C. Este periodo de estratificación se acompaña del reconocimiento de un posible monimolimnio. En el periodo invernal da comienzo la homogenización de la temperatura de la columna de agua. En el mes de enero se observó la mezcla total de las masas de agua, oscilando el valor de la temperatura entre los 14 y 14.8 °C, tanto en la superficie como en fondo. En este momento los procesos de holomixis se manifiestan, es decir, la circulación de nutrientes del fondo hacia la superficie (Torres Orozco *et al.*, 1995).

En el mes de septiembre, al inicio de otoño y finales del verano, se encuentran las temperaturas máximas alcanzadas en la columna de agua hasta los 16 m, que son aproximadamente de 22 °C. Mientras que los valores menores corresponden al mes de febrero y varían entre los 12 y 14 °C.

Según las características de ciclamiento vertical de la masa de agua, de Quechulac, esta presenta dos etapas, una de mezcla y otra de estratificación térmica, lo que conduce a considerarlo bajo los criterios de Hutchinson et al., (citados por Torres Orozco *et al.*; 1995), como un cuerpo acuático holomíctico. Particularmente para este lago la diferencia en densidad del agua es atribuida a las variaciones de temperatura del agua y a los cambios de concentración salina en su fondo. Ambas consideradas como las responsables centrales de la holomixis. En consecuencia de manera general se presentan tres capas o estratos, i) durante el periodo de estratificación, en las aguas profundas se acumula una gran cantidad de sales que pueden formar la zona denominada monimolimnion; ii) mientras que las aguas superficiales susceptibles de circulación conforman el mixolimnio y finalmente, iii) la capa intermedia, caracterizada por un gradiente de rápido cambio en la concentración de sales se denomina quimioclina.

Según la clasificación emitida por Lewis (citado por Torres Orozco *et al.*, 1995), la cual representa una modificación a la propuesta por Hutchinson *et al.*, citados por Torres Orozco *et al* (1995), el lago Quechulac, muestra características de un lago Monomíctico cálido, es decir que no presenta cubierta de hielo, y presenta una estratificación estable durante parte del año y un periodo de mezcla anual. Sin embargo, siguiendo los cálculos propuesto. Según Lewis, citado por Torres Orozco et al (1995), quien estandariza la profundidad y la latitud, ha sido determinado que el lago Quechulac está ubicado en el área de los lagos Polimícticos cálidos discontinuos, con un viento cuya velocidad oscila en 25 km de fech (superficie de contacto 0.8 Km^2) lo cual no concuerda con Lewis, ya que como se concluye, éste es un lago cuyo comportamiento anual es del tipo monomíctico cálido. Tomamos en cuenta a otros lagos próximos, un ejemplo sería el lago cráter Alchichica con características similares, también catalogado como un lago monomíctico cálido por Alcocer *et al.* (1993), cuya dinámica es muy parecida al Lago Quechulac al presentar la mezcla en el mes de enero y Alchichica a finales de diciembre y principios enero durante la época fría y seca, al igual que el lago, permanece estratificado el resto del año. Ramos et al. (2008)

Los organismos aerobios requieren de una fuente de oxígeno para realizar sus funciones metabólicas. Mientras que los organismos anaerobios obtienen su energía mediante procesos de descomposición de la materia orgánica (Sevilla, 1977). Este gas en ambientes naturales, se encuentra en constante cambio, dependiendo de factores físico-químicos como la temperatura, altitud, la penetración de luz, la salinidad y de factores biológicos como es la fotosíntesis y la respiración. Ya que la fuente principal de oxígeno en el agua es la atmósfera, en la interface entre este ambiente y el agua, no se alcanza totalmente el equilibrio debido a los factores ya señalados, además del efecto de la turbulencia regida por el viento.

Martínez, (2006) cita un punto importante: las diferencias a la que están sujetos los cuerpos acuáticos como el lago Quechulac en los cuales la noche se presenta un déficit de oxígeno disuelto que permite un flujo del gas atmosférico hacia el agua contrario a lo que sucede por la mañana, debido a que la fotosíntesis mantiene un excedente de oxígeno en el agua, que se cede a la atmósfera o que se consume por respiración. Presenta variaciones espaciales y temporales, resultado de los cambios en los factores bióticos y abióticos. En estanques, lagos y presas (endorréicos), como el lago Quechulac.

Los resultados muestran a lo largo del año, que en la columna de agua, se presenta una zona superficial, de 0.30 m a 8 m, llamada zona de trofogénia, la cual es mencionada por Contreras (1994) y cuya importancia radica en llevar a cabo la producción primaria. Esta zona presenta mayor producción de oxígeno que consumo, mostrando índices de oxígeno disuelto, cuyos valores oscilaron a lo largo del año entre 5.87 a 9.80 mg/l O₂, similares a los datos reportados en el lago Quechulac, los cuales oscilan de 0.04 a 9.8 mg/l O₂, con un promedio anual de 4.5 mg/l. En comparación con el lago cráter Los Espinos, localizado al norte del estado de Michoacán con una profundidad 31.30 m, este lago presenta concentraciones que oscilan de 0.40 a 6.60 mg/l O₂ y un promedio anual de 2.95 mg/l. Mientras que en ambos intervalos de máximo y mínimo se tiene que nuestro sistema

alcanza valores por debajo del cero de concentración y como máximo hasta 9.8 mg/l O₂. Al comparar el intervalo con aquel de “Los Espinos”, éste siempre resultará mayor.

A causa del incremento de temperatura en el lago, que oscila entre 12.0 a 21.5 °C, se presenta en el lago zonas anóxicas durante los meses de marzo, abril, mayo, junio y octubre; con valores menores de 4 mg/l O₂ a partir de los 12 y hasta los 32 m de profundidad, según la temporada. Una consecuencia de la falta de oxígeno en el hipolimnion se atribuye a la demanda de este gas por el proceso de descomposición de la materia orgánica. Solo se observan cambios en el mes de enero, es decir en la etapa de mezcla total de la columna de agua en donde los parámetros físico-químicos son homogéneos.

Kemmer (1996), menciona que el concepto más fundamental para comprender la química del agua es la relación de acidez-alcalinidad. Contreras (1994) hace hincapié que la determinación de la alcalinidad y del pH, en el agua está basada en el número de miliequivalentes de carga positiva para balancear los iones negativos presentes. Wetzel (1975) hace referencia al contenido de calcio y magnesio como carbonatos y bicarbonatos (dureza temporal) y sulfatos, cloruros y otros aniones de ácidos fuertes (dureza permanente).

Morales (1991) indica variación en las primeras horas del día, el pH es mayor en aguas con una moderada o alta alcalinidad total, que en aguas con baja alcalinidad. El agua de baja alcalinidad es pobremente amortiguada contra cambios de pH y la remoción del CO₂. El pH indica si el agua es ácida o básica se ve influenciado por la concentración de dióxido de carbono, la fotosíntesis, la alcalinidad y la dureza del agua, factores importantes para el metabolismo de los seres vivos.

Por ello es importante el punto de vista de Contreras (1988), como es considerablemente variable, el suelo que aportan los ríos, la constante agitación de los sedimentos, los

procesos de descomposición en las zonas profundas y los asentamientos humanos e industriales.

Sevilla (1977) cita que el pH proporciona información sobre la concentración de hidrogeniones, lo que permite estimar la cantidad de anhídrido carbónico o de carbonatos disueltos en el agua. Mostrando que el bicarbonato predomina entre límites de 7 a 9 de pH. Índices que muestran congruencia la presencia de bicarbonato (HCO_3^-) del lago Quechulac, con valores que oscilan de los 7.1 a 10 en pH y un promedio anual de 8.5, muestra en el periodo de estratificación los pH más altos, principalmente en la parte del epilimnion. Los pH de valores elevados, generalmente se encuentran en cuencas endorreicas, con un excedente de hidróxido de sodio; como la mayoría de los lagos son del tipo bicarbonatado y calcáreo. Según Boyd (citado por Martínez, 2006). Ya que el lago Quechulac cuenta con dos tipos de entradas de agua, una de ellas es un río subterráneo endorreico y la segunda por precipitación pluvial, la primera entrada nos muestra que puede haber un excedente de hidróxido de sodio, originando las características ya mencionadas.

Según Boyd (citado por Martínez, 2006) la variación diurna puede modificar un ciclo en función de la respiración nocturna (pH ácido) y la fotosíntesis matutina (pH alcalino). Los índices que marca Can *et al.* (2010), en cuanto al valor medio del pH en aguas subterráneas, en la Cuenca oriental de México son de 8.7, y muestran una semejanza con los resultados obtenidos referentes al pH de 7 y 9, a lo largo de la columna de agua en el lago Quechulac. Lo cual hace un carácter sódico bicarbonatado de las aguas subterráneas de la cuenca.

Se observa la estratificación agua de la columna de agua en el mes de septiembre y un periodo de mezcla en el mes de enero. Ramírez *et al.* (1984) documenta que los lagos de aguas alcalinas con alta concentración de cloruros y bicarbonatos de sodio y magnesio,

origina una baja diversidad de especies presentes en estos lagos, debido a las altas concentraciones iónicas en el agua y secundariamente al pobre contenido de nutrientes en los sedimentos, en lo cual concuerda con la presencia de unas pocas especies de vertebrados, como son el charal *Poblana squamata* y la especie *Ambystoma subsalsum* en el lago.

Uno de los conceptos fundamentales en la comprensión de la dinámica química de la columna de agua es la relación acidez-alcalinidad (Kemmer, 1996). (Contreras, 1994), hace mención que la alcalinidad dependerá del punto final del pH, resultante de la titulación de una muestra. Cuando decae en la columna de agua por debajo de 4 o 5, la diversidad de especies es severamente restringida. Valores bajos de pH están presentes en lagos o cuerpos acuáticos cuyo origen es granítico, por lo que éstos son deficientes en materiales alcalinos. Sin embargo, nuestro cuerpo acuático a pesar de ser un cráter de origen volcánico, presenta una gran cantidad de materiales sedimentarios que producen pH's de 7 a 9, encontrando alcalinidades en las que fluctúan las concentraciones altas debida a la presencia de bicarbonatos y en segundo lugar a los carbonatos. El carácter sódico bicarbonatado de las aguas subterráneas de la cuenca, es definida por los materiales de origen volcánico con las que tiene contacto, son de baja concentración iónica, debido a que estos materiales son de baja solubilidad (Can *et al.*, 2010).

Este fenómeno de alcalinización de lagos de origen volcánico se presenta en toda la región de los Llanos de San Andrés (Ramírez *et al.*, 1989), al registra valores promedio de pH entre 9.0 para el lago cráter Alchichica y 8.3 para los lagos Quechulac y Atexca, lo cual concuerda con los registrados en el presente trabajo (Rojas *et al.*, 1993). Muy pocas aguas naturales tiene un pH inferior a 5.0 aproximadamente, de forma que rara vez se encuentran ácidos minerales fuertes en el agua dulce.

A lo largo de la columna de agua las concentraciones de alcalinidad está estrechamente relacionada en función con las concentraciones de pH, se observa más presencia de

bicarbonatos (HCO_3), que carbonatos (CO_3), y casi nula la presencia de bióxido de carbono (CO_2) lo cual puede ser a consecuencia, de los suelos consolidados de material calcáreo, proveniente del fondo, características basadas en la sedimentología de la cuenca, no importando que el lago Quechulac es de origen volcánico. Ha sido sugerido que el ion carbonato se encuentra estrechamente asociado con los cationes magnesio y sodio lo que permite clasificar a las aguas como alcalinas, favorecidas por el pH que se ubica entre 8.3 y 9.8 (De la Lanza *et al.*, 2002). Las aguas más productivas son aquellas que tienen una concentración aproximadamente, de 150 mg/l de alcalinidad total y 153 mg/l de dureza son aguas más productivas que las que tendrían 150 mg/l y 25 mg/l, respectivamente. Según. Por lo que la dureza está ampliamente relacionada con la alcalinidad y normalmente sus valores son similares, sin embargo en algunas aguas la alcalinidad total puede exceder a la dureza total o viceversa (Morales, 1991). Margalef (1983), menciona que agua rica en bicarbonatos de calcio como en un lago salino, ocurre una precipitación en forma de concreciones calcáreas de márgenes agudos.

La dureza es la propiedad que presenta la mayoría de las aguas epicontinentales, debido a las concentraciones de metales alcalinotérreos originados en depósitos calcáreos dando sumamente importancia a la concentración total de iones divalentes, principalmente calcio y magnesio, expresados en mg/l de carbonatos de calcio equivalentes (Morales, 1991).

Según Sawyer *et al.*, citados por Martínez (2006), clasifica las agua con base en sus contenidos de carbonatos más sulfatos de calcio y magnesio, de acuerdo a esta clasificación en la masa de agua del lago Quechulac se encuentran en el rango de duras (150-300 mg/l), reportando valores altos de dureza total que oscilan entre 62-366 mg/l con promedio anual de 115 mg/l y una dureza de Ca que oscila entre 11–200 mg/l, con un promedio anual de 46 mg/l.

Este término de dureza hace referencia al contenido de calcio y magnesio como carbonatos y bicarbonatos (dureza temporal) y sulfatos, cloruros y otros aniones de ácidos fuertes (dureza permanente). El lago presenta concentraciones de alcalinidad a las bicarbonatos que oscilan de 10 a 185 mg/l con un promedio anual de 58 mg/l y una alcalinidad total de

131 a 657 mg/l con un promedio anual de 297 mg/l, con concentraciones elevadas al igual que la dureza reportada en el lago Quechulac.

Considerado por Contreras (1988) Como un nutriente esencial, el fósforo se encuentra en la columna de agua en diferentes estados de oxidación, en las formas solubles (90%) y particulada (3 a 7.5%) de moléculas orgánicas e inorgánicas. La forma de mayor importancia corresponde al fosforo reactivo, por ser la de mayor asimilación biológica con menor gasto de energía Según Riley *et al.*, citados por Martínez (2006). En este trabajo se cuantificó las formas de fósforo reactivo y fósforo total. En cuanto a los valores de concentración de fósforo total y fósforo reactivo promedios en la columna de agua del lago Quechulac son de 0.05mg/l y 0.04 mg/l, respectivamente. Resultando relativamente bajo el primero con respecto a los valores registrados para el cuerpo de agua de Chapala, en el que sus concentraciones son alrededor de 0.54 mg/l. Mientras que para el fósforo reactivo es relativamente alto, a compararlo con el valor de 0.00310 mg/l del lago de Chapala. Siguiendo la clasificación propuesta por Wetzel (1975), el lago Quechulac, es considerado como un lago eutrófico y el lago de Chapala como hipereutrófico (Anda et al., 2001). Otro lago cráter del estado de Michoacán llamado “Los Espinos”, cuyo promedio de fósforo total de 0.083 mg/l y del fósforo reactivo de 0.046 mg/l, lo cual lo ubica, al igual que el de Quechulac, como un cuerpo acuático eutrófico (Rendón, 2008). En el caso de algunos lagos pertenecientes a la región templada de Norteamérica, como son los lagos Wisconsin, Michigan y Connecticut, manifiestan un comportamiento meso-eutrófico (Goldman, 1983). En cuanto a la comparación con lagos eutróficos como el lago Atitlán, Guatemala, éstos se caracterizan por presentar una alta calidad de suelo (Del Cid, 2004). Comparada con la roca ígnea y materiales calcáreos que conforman la cubeta lacustre del lago Quechulac.

Una importante pérdida de fosforo hacia los sedimentos en forma de apatita $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, es citada por Vallentyne (1978), quien menciona que el fósforo se encuentra regulado principalmente por tres factores: captación biológica, reacciones de precipitación con

ciertos iones cargados positivamente y flujo unidireccional desde los sedimentos acarreados por los tributarios hacia las cuencas epicontinentales y hacia el océano. Mientras que Cordero *et al.* (2005) relaciona la profundidad de la cuenca con las diferentes concentraciones de fósforo. La pérdida del fósforo se encuentra balanceada por el intemperismo de las rocas y su arrastre por los ríos subterráneos hacia los ecosistemas acuáticos. Los compuestos de fósforo, tales como el adenosíntrifosfato y coenzimas nucleótidas tienen un papel clave en la fotosíntesis y otros procesos vegetales. Satisfaciendo sus requerimientos de este elemento por la asimilación directa de los ortofosfatos. El fósforo presenta una alta tasa de renovación, lo que resulta en una disponibilidad significativa; y el resto de los desechos metabólicos son retornados al ambiente por la acción bacteriana. Por lo que la variación estacional del fósforo está íntimamente ligada a procesos biológicos y geoquímicos.

Sin embargo la introducción antrópica de polifosfatos da origen a florecimientos fitopláncnicos con la formación de materia orgánica, e implica un agotamiento del oxígeno disuelto. Conduciendo a los sistemas a la eutroficación, debida principalmente a las concentraciones del fósforo inorgánico (Contreras, 1988). Hansen (1961) establece que en los lagos oligotróficos el componente mineralogénico es alto y el inorgánico biogénico bajo.

El comportamiento químico del fósforo está gobernado por los iones geoquímicamente abundantes, principalmente los de calcio, hierro y aluminio, que reaccionan con los iones fosfato para formar precipitados (Vallentyne, 1978). La reacción que predomina en los suelos calcáreos, conduce a la formación de minerales del apatito antes mencionado.

Al igual las muestras tomadas en el centro del lago Quechulac pueden tener concentraciones más bajas de fosforo resultado que puede explicarse considerando que reciclado del fósforo hacia la parte superior de la columna de agua es menor debido a la mayor profundidad y a la mayor distancia respecto a la orilla, lo que trae como

consecuencia que el fósforo que se precipita tenga mayor dificultad de alcanzar la superficie y por ende el material exógeno es muy bajo en este sitio. Bajo el criterio de Wetzel (1975) la productividad del lago y las altas concentraciones promedio del fósforo reactivo de 0.05 mg/l y fósforo total de 0.04 mg/l a lo largo de la columna de agua, con concentraciones medias de fósforo epilimnético total que oscilan en valores de 0.001 a 0.190 mg/l resultado en un lago eutrófico. Las concentraciones de fosfatos en las aguas naturales no contaminadas se encuentran comprendidas entre amplios límites, desde menos de un $1 \mu\text{g l}^{-1}$ hasta niveles extremos en lagos salinos cerrados ($> 200 \text{ mg l}^{-1}$). Las concentraciones de fosforo total en muchas aguas superficiales no contaminadas se encuentran entre 10 y $50 \mu\text{g L}^{-1}$. No obstante existe una gran variación en concordancia con la estructura geoquímica de la región. Los niveles de fósforo son generalmente más bajos en regiones montañosas geomorfología cristalina y mayores en las aguas de tierras bajas, derivadas de depósitos de roca sedimentaria.(Wetzel 1975) .En comparación con la concentración que presenta el lago Tota, (Buyacá, Colombia) realizado en 2003, la concentración de fósforo es más alta, por lo que es catalogado según Wetzel (1975), como un lago hipertrófico la cual presenta valores alrededor 0.227 mg/l de fósforo orgánico a diez metros de profundidad y 0.2182mg/l en superficie ya que su profundidad máxima es 60m (Cordero et al., 2005).

Existen diversas formas nitrogenadas disueltas en el agua: a) orgánicas (ej. aminoácidos); b) nitrógeno molecular y c) sales inorgánicas que predominan en concentración como amonio, nitritos y nitratos, bajos ciertos pH's alcalinos (Martínez, 2006). Así tenemos que a valor de pH 7, el NH_3 es el 1%: y a pH 8, es el 10%. El intervalo "normal" de la concentración de amonio varía de 1 a $50 \mu\text{g/l N-NH}_4^+$. Siendo el amonio la forma preferida para la asimilación de nitrógeno por parte del fitoplancton; es el compuesto que aparece primero en los procesos de metabolismo y descomposición de los organismos, por lo que es considerado como un índice de la actividad biológica y algunos autores lo proponen como de contaminación (Contreras, 1988).

Se cuantificó de la columna de agua del lago Quechulac las formas de nitrógeno inorgánico soluble siguientes: N-NO₂, N-NO₃ y N-NH₄, obteniendo valores promedio anual en la columna de agua de 0.224 mg/l, 0.215 mg/l y 0.059 mg/l respectivamente con base en los valores obtenidos y siguiendo la clasificación emitida en N-NO₃ por Heron (1961) citado por Goldman (1983), se considera a lago Quechulac como mesotrófico monomíctico.

Comparando con el lago cráter “Los Espinos” en cuanto a la concentraciones N-NO₂ 0.052 mg/l, N-NO₃ 0.036 mg/l y N-NH₄ 0.0062.mg/l, siguiendo a Goldman (1983) según la clasificación cataloga como mesotrófico dimíctico.

Considerando otros lagos del Viejo Continente, tenemos a dos lagos griegos el Liki y Chimaditis con concentraciones de valores promedio N-NO₂ de 22.3 µg/l y 67.2 µg/l, N-NO₃ 18 µg/l y 16.8 µg/l en cuanto N-NH₄ 790 µg/l y 437 µg/l respectivamente (Zacharias et al., 2001), estos lagos siguiendo la clasificación de Goldman (1983) en cuanto a los parámetros de N-NO₃, se clasifica a ambos como oligotróficos monomícticos. En cuanto a N-NH₄ se clasifica a ambos en Eutrófico monomíctico. En el caso de Norteamérica tenemos al el lago Tahoe con parámetros de N-NO₃ entre valores de 4 a 25 µg/l y N-NH₄ entre valores de alrededor de 2 µg/l (Goldman, 1983), clasificándolo como oligotrófico monomíctico.

Del Cid (2004) menciona que el nitrógeno al igual que el fósforo al encontrarse en abundancia causan el fenómeno de eutroficación, donde que existe la sobre producción de organismos naturales en el mismo, debido a un aumento desmesurado de nutrientes esenciales para la vida.

CONCLUSIONES

La región presenta un clima templado húmedo, aunque también se clasifica como seco estepario. Al inicio de la temporada invernal el lago presenta una etapa de mezcla en toda su columna de agua. Mientras que el resto del año la columna tiende a presentar una sola estratificación. Aplicando la clasificación propuesta por Lewis el lago es catalogado entre Monomítico cálido y Oligomítico.

La mayor parte del año el lago se presenta anóxico a partir de los 16 m de profundidad, excepto en el mes enero.

La composición de la formación de origen nos sugiere clasificarlo en aguas alcalinas, por presentar valores de pH que oscilan entre 7.1 y 10. Según Sawyer et al., 1967, las aguas de lago cráter Quechulac caen entre los rangos de aguas duras por sus valores de dureza total promedio de 115 mg/l.

Según la clasificación emitida por Wetzel (1975) el lago puede caracterizarse por las concentraciones de los compuestos fosforados como eutrófico; mientras que el segundo, según Goldman (1983), el lago puede caracterizarse por las concentraciones de los compuestos nitrogenados inorgánicos como mesoeutrófico monomítico.

BIBLOGRAFIA

- Alcocer, J.; E, Escobar.; L. A, Oseguera. 2008 Acoplamiento pelágico-bentónico; respuesta de la zona bentónica profunda a la sedimentación del florecimiento invernal de diatomeas en el lago oligotrófico Alchichica, Puebla, México.
- Alcocer, J.; Escolero, O.;Marín L.(2007) Problemática del agua de la cuenca oriental, estados de Puebla Veracruz y Tlaxcala. Dirección General de Bibliotecas UNAM p 57-77.
- Alcocer, J.; Lugo, S.; Estrada, M.; Ubeda.; E, Escobar. (1993). La macrofauna bentónica de los Axalapazcos Mexicanos. Proyecto CYMA, UIICSE, ENEP Iztacala.
- Álvarez, J.; (1950). Contribución al conocimiento de los peces de la región de los Llanos, estado de Puebla (México). An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx. VI (1-4):p 81-107.
- Anda J., H. Shear, U. Maniak, y G. Riedel. (2001). Phosphates in lake Chapala, México. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco, A. C.Normalista 800, 44270 Guadalajara Jalisco, México.
- Ardiles, V.; G, Alcocer.; G, Villa Clara.; I, Oseguera.; y L, Velasco. (2011). Diatom fluxes in tropical, oligotrophic lake dominated by large-sized phytoplankton. Inst. Cienc. Mar y Limnol. U.N.A.M.
- Arredondo-Figueroa, J.L.; C, Aguilar Díaz. (1987). Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas, realizadas en lagos mexicanos, con especial énfasis en su ictiofauna. An. Inst. Biol., UNAM. p 91-133.
- Arredondo-Figueroa, J.L.; E, Borrego.; Castillo, R.M.; Valladolid, M.A. (1983). Batimetría y morfometría de los lagos "maars" de la Cuenca Oriental, Puebla, México. *Biótica*. 8(1): p37-47.
- Boyd, C.E.; (1990). Water quality in ponds for aquaculture. Auburn University. Alabama. p 482.
- Boyd, C.E.; F, Lichtkoppler. (1979). Water quality management in pored fish culture. Res. Develop. Sci. (22): p 4-29.
- Can, C.A.; Ortega, H.E.; García, C.N.; Reyes, O.A.; Gonzales, H.V.; Flores, R.D. (2010). Origen y calidad del agua subterránea en la Cuenca Oriental de México. Depto. Ecol. Rec. Nat. Lab. Edafología, Inst. Geol., U.N.A.M.
- Cole, G.A.; (1983). Textbook of Limnology. C.V. Mosby Company, St Louis, p 401.
- Contreras, F. (1988). Las Lagunas costeras Mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. Secretaria de Pesca. México. 2ª ed. p 17-22.
- Contreras, F. (1994).Manual de técnicas hidrobiológicas. Trillas. 1ª ed. UNAM. p 5-57.
- Cordero, D.R.; Ruiz, J.E.; Vargas,F.E. (2005). Determinación espacio-temporal de la concentración de fósforo en el lago de Total. Departamento de Química, Universidad de los Andes, Carrera 1. No. 18A-10, Bogotá, D. C., Colombia.
- De Buen, F. (1945). Investigación sobre Ictiología Mexicana I. Atherinidae de aguas Continentales de México. An. Inst. Biol. UNAM. 16(2): p 475-532.
- De la Lanza, E.G.; García, J.L. (2002). Compiladores. "Lagos y presas de México. AGT Editor, S.A. CISBN p 463,470.
- Del Cid, S.M.S. (2004). Determinación de los niveles actuales del fósforo en el lago Atitlán. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala. p 2-9.
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana. Instituto de Geografía. UNAM. México.

- García, R.P.; Gutiérrez, V.F. (1988). Contribuciones al estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla. Instituto de Biología. U.N.A.M..
- Gasca, D.A. (1981). Algunas notas de la génesis de los lagos cráter de Cuenca de Oriental, Puebla-Tlaxcala-Veracruz. Departamento de prehistoria, Instituto Nacional de Antropología. México.
- Goldman, C.R. (1983). Limnology. McGraw-Hill Book Company, New York, México. p 122- 123.
- Guerra-Magaña, C. (1986). Análisis taxonómico poblacional de peces aterínidos (*Chirostoma* y *Poblana*), de las cuencas endorreicas del extremo sur del altiplano mexicano. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Vol. 30. I.P.N. México. P 81-113.
- Hansen, K. (1961). Lake types and lake sediments. Verh. Int. Ver. Limnol., 140: p 285- 290.
- Hernández, Ma. del C.; Escobar, E.; Alcocer, J. (2010). Ensamble de crustáceos bentónicos en un lago salino tropical. Revista Mexicana de Biodiversidad. Vol 81, Octubre, pp 133-140.U.N.A.M.
- Heron, V. 1961. The Seasonal Variation of phosphate, silicate, and nitrate in the waters of the english Lake District. Limnol. Oceanography. p338-346.
- Hutchinson, G.E.; Löffler, H. (1956). The thermal classification of lakes. Proc. Nat. Acad. Sci. 42: p 84-86.
- Kemmer, F.N. (1996). Manual del agua. Su naturaleza tratamiento y aplicaciones. Tomo I. Nalco Chemical Co., México. p 1-4.
- Koshinsky, G.D. (1970). The morphometry of shield lakes in Saskatchewan. Limnol. Oceanogr. 15: p 695-701.
- Según Lewis, citado por Torres Orozco B.R.E.; García, C.J.L. (1995). Introducción al manejo de datos limnológicos U.A.M... Unidad Iztapalapa.
- Blancas, A.G.; Constanzo, C.E.; Gómez, M.J.L. 2011. Manual de análisis y su aplicación a la microescala. Facultad de estudios superiores Zaragoza. Carrera de Biología. U.N.A.M. Romero et al, 1982; APHA-AWWA-WPCF, 1992; Arredondo y Ponce, 1998; Mendoza y Machuca, 2007.
- Macek, M.; Pestová, D.; Martínez, P.; Ma. E. (2008). Dinámica temporal y espacial de la comunidad de ciliados en un lago monomítico-calido Alchichica (Puebla, México). Versión impresa issn. 0188-8897. Hidrobiológica. Vol. 18n. 1 supl. 1. Campus Iztacala. U.N.A.M. México.
- Margelef, R. (1983). Limnología. Omega 2ª ed. Barcelona, España. p. 32-702.
- Martínez, C.L. (2006). Ecología de los Sistemas Acuícolas. Bases ecológicas para el desarrollo de la acuicultura. AGT Editor, S.A. 2ª ed. México. p 2-42.
- Morales, D.A. (1991). Tilapia en México. Biología Cultivo y Pesquería. AGT Editor, S.A. México. p 26.
- Neumann, J.J. (1959). Maximum depth and average depth of lakes. Fish. Res. Bd. Canada. p 923-927. Con
- Ordóñez, E. (1906). Los Xalapazcos del Estado de Puebla. Inst. Geol. México. Paragones, I (9-10): p 204-393.
- Quijano-Pérez, R.H.; Ahumada-Ballesteros, C. (1998). Contribución al conocimiento de la dinámica hidrológica del lago-cráter "La Preciosa", Puebla, Méx. Servicio Social. F.E.S. Zaragoza, U.N.A.M.
- Ramos, H.E.; Alcocer, J.; Ortega, E.M.; Camacho, A. 2008. Nitrógeno: elemento limitante para el crecimiento Fito planctónico en un lago oligotrófico tropical. Hidrobiológica 18 (1 suplemento).p 105-113.
- Ramírez, G.P.; Gutiérrez, V.F. (1989). Contribuciones al estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del

estado de Puebla. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. U.N.A.M

Ramírez, G.P.; Novelo, A.R. (1984). La vegetación acuática vascular de seis lagos cráter del Estado de Puebla. Bol. Soc. Bot.; 46: p 75-88.

Rendón, L. M. 2008. Limnología física del lago cráter los Espinos, Municipio De Jimenez Michoacan. Tesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones Sobre recursos Naturales. INIRENA-UMSNH.

Rojas, P.A.; Torres-Orozco, R.B.; García, M.A. (1993). Los sedimentos recientes del lago de Catemaco Veracruz, México. An. Inst.Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. México. p 67-76.

Riley J.P. y R. Chester. (1989). Introducción a la Química Marina. AGT Editor, S.A. México.

Sawyer C.N. y P.L. McCarthy. (1967). Chemistry for sanitary engineers. McGraw-Hill Book Co., New York .p 497-541.

Sevilla, M.L. (1977). Introducción a la Ecología Marina. I.P.N., México. p 49.

SPP/INEGI (Secretaría de programación y presupuesto/ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2011 carta geográfica, Puebla, E13-5, esc. 1:250 000.

Taylor, E.H. (1943). A new Amblystomid salamander: Adapted to brackish water. Copeia 3: p. 151-156.

Torres-Orozco, R.B., y García, J.C. (1995). Introducción al manejo de datos limnológicos. UAM-Iztapalapa. p. 53-55.

Ubeda, M., y Estrada, S. (1994). Variación temporal de las comunidades macrobentónicas de los lagos de la región de los Llanos de Puebla, México (Composición, Abundancia, Distribución, Asociaciones). Tesis profesional. ENEP Iztacala, UNAM. México.

Vallentyne, J.R. (1978). Introducción a la Limnología. Ediciones Omega. Barcelona. p. 69.

Wetzel, R.G. (1975). Limnology. Saunders College Publishing. Philadelphia, USA. p. 743.

Zacharias, L.; Bertachas, I.; Skoulikidis, N.; Koussouris, T. (2001). Greek lakes: Limnological overview. National Center for Marine Research, Institute of Inland waters, Ag. Kosmas, Elliniko, 166 04. Athens, Greece.

[biblioweb.tic.unam.mx/ciencias del mar/instituto.](http://biblioweb.tic.unam.mx/ciencias%20del%20mar/instituto)

[http://www.icmyl.unam.mx/limnología.html.](http://www.icmyl.unam.mx/limnología.html)