



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS
NATURALES



INIRENA – UMSNH

COORDINACIÓN DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS

“LIMNOLOGÍA FÍSICA DEL LAGO CRÁTER LOS
ESPINOS, MUNICIPIO DE JIMÉNEZ MICHOACÁN”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS
EN LIMNOLOGÍA Y ACUICULTURA

PRESENTA

MARGARITA JAQUELINE RENDÓN LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. ARTURO CHACÓN TORRES

MORELIA, MICHOACÁN
MÉXICO

JUNIO 2008

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	4
II. JUSTIFICACIÓN	8
III. OBJETIVOS	10
3.1. Objetivo general	10
3.2. Objetivos particulares.....	10
IV. ANTECEDENTES.....	11
4.1. Limnología física	11
4.2. Los lagos cráter.....	14
4.3. Los lagos cráter mexicanos	17
4.3.1 Los axalapascos de Puebla	18
4.3.2. Los lagos cráter en el estado de México.....	20
4.3.3. Los lagos cráter de Veracruz	21
4.3.4. Las hoyas de Guanajuato	22
4.3.5. El lago cráter del Chichón.....	23
4.3.6. La Isla Isabela.....	24
4.4. Los lagos michoacanos.....	24
4.5. El lago cráter Los Espinos	26
V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA.....	29
5.1. Localización.....	29
5.2. Geología	31
5.3. Suelo.....	33
5.4. Clima.....	36

5.5. Hidrografía	36
5.6. Vegetación	38
5.7. Fauna.....	39
5.8. Aspectos climáticos.....	42
5.8.1. Clima.....	42
5.8.2. Temperatura	42
5.8.3 Precipitación	1
5.8.4 Intemperismos severos.....	1
5.9. Población	1
5.10. Actividad económica.....	1
5.11 Servicios e infraestructura	2
5.12. Usos del suelo dentro del ANP	3
VI. MATERIAL Y MÉTODO	4
6.1 Delimitación del área de estudio.....	4
6.2 Topografía del cráter y del cono volcánico.....	4
6.2.1. Plano topográfico	4
6.3. Morfometría.....	5
6.3.1. Mapa de campo	5
6.3.2. Trabajo de campo.....	5
6.3.3. Mapa batimétrico	5
6.4. Hidrodinámica	6
6.4.1. Registros de viento	6
6.4.2. Corrientes de agua	6
6.5. Óptica	7
6.5.1. Estaciones de muestreo	7
6.5.2. Registro de luz.....	7
6.6. Muestreo de agua.....	10

6.7. Registros de campo	11
6.8. Análisis de laboratorio.....	11
6.8.1. Características fisicoquímicas del agua.....	11
6.8.2 Sedimentos	22
6.8.2.1 Análisis de textura.....	22
6.8.2.2 Contenido de materia orgánica en el sedimento.....	25
6.8.2.3. Tratamiento estadístico.....	27
VII. RESULTADOS	28
7.1 Topografía del cráter y del cono volcánico.....	28
7.2. Batimetría.....	31
7.3 Morfometría.....	34
7.4. Valor informativo del mapa batimétrico	46
7.5.5 Dirección y frecuencia de los vientos	49
7.6. Hidrodinámica	52
7.7. Características ópticas	60
7.8 Características fisicoquímicas del lago cráter Los Espinos	69
VIII. DISCUSIÓN	84
IX. CONCLUSIONES.....	91
X. LITERATURA CITADA.....	94

I. INTRODUCCIÓN

Los lagos son unidades del paisaje que dependen de las características de las cuencas en las que se originan y que con frecuencia poseen una flora y fauna de alto valor ecológico y económico; así las cuencas hidrográficas mexicanas se identifican por sus características esencialmente tectónicas, volcánicas y tecto-volcánicas con la presencia de numerosos volcanes activos o inactivos, los cuales se han formado por procesos geológicos como son la deformación o movimiento de la corteza terrestre (fallas tectónicas). Derivados de estos procesos se forman lagos que poseen características particulares dependiendo de las condiciones climáticas locales, su ubicación geográfica, profundidad y los procesos geológicos.

En el caso de los lagos volcánicos se reconocen a aquellos de tipo caldera, “maars” y cráter (Welch, 1952; Hutchinson, 1957; Wetzel, 1975, y Reid y Wood, 1976; Hutchinson 1975); que generalmente son profundos, transparentes y poco productivos, es decir, oligotróficos.

Una caldera es una extensa depresión volcánica en forma circular formada por el colapso de un volcán debido al rápido vaciado del magma que se encuentra debajo de la montaña. La caldera tiene por lo general un diámetro mayor que el cráter original, ya que al no soportar el peso de la estructura volcánica situada en la parte superior se derrumba. Algunas calderas, son ocupadas por lagos profundos, como el Lago Cráter en el estado de Oregón, Estados Unidos. Este sistema posee 8.0 por 9.6 km de longitud, con una profundidad promedio de 350.0 m y máxima de 597.0 m siendo el lago más profundo de los Estados Unidos, sus aguas son de color azul intenso y posee una alta claridad registrando una visibilidad del disco de Secchi de hasta 30 m en sus aguas, característica que se atribuye a la ausencia de afluentes. (Crawford *et. al.* 1992)

Los lagos alojados en las depresiones formadas por la expulsión violenta del magma formando cráteres de origen explosivo, se denominan “maars”, estos son pequeñas depresiones. Los “maars” tienen normalmente una forma casi circular y pueden ser muy profundos con relación a su pequeña área superficial, como el lago Atitlán en Guatemala, rodeado por tres volcanes inactivos: San Pedro, Tolimán y Atitlán, la cuenca del lago tiene una extensión de 541 km² y una elevación promedio de 2,520

msnm, el espejo de agua ocupa 125 km² con una profundidad máxima de 320 m y la promedio de 190 m. (Ríos, 2003)

En los volcanes activos y/o inactivos se han formado espacios donde se originan sistemas lacustres que según su profundidad pueden ser someros, es decir, lagos de poca profundidad que pierden su nivel por evaporación o pierden agua por infiltración; o alternativamente pueden ser lagos profundos por la impermeabilización de su fondo y la acumulación de agua por la lluvia o la infiltración, como es el lago en el interior del cráter del volcán de Santa Ana ubicada dentro del complejo volcánico de Izalco-Santa Ana-Coatepec al occidente de la cordillera volcánica salvadoreña, este lago cráter es de forma circular con un diámetro de 1.5 kilómetros, que oscila entre los 13 y 27 metros de profundidad según el periodo del año, el agua es ácida. También en el interior del cráter existe un campo de fumarolas que emite gases azufrosos calientes. Otro ejemplo es el lago Tahoe, formado en la Sierra Nevada de California, con una profundidad promedio de 313 m y una superficie de 500 km², de baja productividad y una alta visibilidad. (Richerson, 2000).

El estudio de los lagos cráter es de fundamental importancia ya que constituyen unidades geográficas que se originan de acuerdo a condiciones físicas y geográficas específicas y que contienen una diversidad biológica nativa e incluso endémica. Los lagos volcánicos formados ya sea en cráteres o en valles cerrados por la acción volcánica regional, representan uno de los paisajes escénicos más apreciados en el mundo.

En México existen lagos cráter de máxima elevación como en el interior del cráter del Nevado de Toluca de aguas frías considerados entre los de mayor altitud en el mundo y son relativamente pequeños, llamados “El Sol” y “La Luna”, con una elevación alrededor de 4,200 msnm, separados por un domo dacítico central conocido como “El Ombligo”, el agua de estos lagos tiene una composición alcalina y de baja mineralización. El lago “El Sol” está situado a una altura de 4,220 msnm; de forma circular, con un área de 24.0 ha y una profundidad media de seis metros, es un sistema polimíctico, registrando una visibilidad del disco de Secchi de hasta 14.0 m, carece de afluentes y se trata de una cuenca endorréica. El lago de La Luna se encuentra a 4,216 msnm sus aguas son altamente ácidas, tiene una profundidad promedio de ocho metros. Estos dos cuerpos lacustres fueron objetos de culto

prehispánico, como lo evidencian las ofrendas de copal y cánulas de rayo, pruebas de rituales efectuados en honor a los dioses del agua.(Sarma 1996)

Frente a las costas del Estado de Nayarit, se ubica la Isla Isabel a 30 km de la costa, de origen volcánico formada por restos de 9 edificios volcánicos, en uno de los cuales existe un cráter extinto ubicado al SE de la isla que se conserva intacto y en su interior hay un lago que contiene agua hipersalina, con un diámetro de 270 m y una profundidad máxima de 17.5 m. El borde del cráter se localiza entre 19 y 25 m por arriba del espejo de agua, el cual se localiza 7.0 m por encima del nivel del mar. Este cuerpo de agua es 18 veces más salado que el agua de mar, lo que hace suponer que carece de drenaje. Presenta visibilidad al disco de Secchi de 0.80 m, un potencial de Hidrógeno (pH) de 10, y una concentración de oxígeno disuelto de 2.0 mg/L.(Alcocer,2004)

Varios cráteres de explosión (maares) conforman el campo volcánico de Valle de Santiago que se localiza en la parte central de la Faja Volcánica Transmexicana, dentro del campo volcánico Michoacán-Guanajuato, con 22 maares de una franja de 7.0 km x 50.0 km, con algunos aparatos volcánicos alineados en dirección NNW-SSE, y que incluye siete lagos-cráter que han sido declarados como Área Natural Protegida. Cada uno de estos volcanes posee características propias: La Alberca, con un borde de cráter de 750m de diámetro situado dentro de la zona urbana de la ciudad, de agua salitrosa y fría; la Hoya del Rincón de Parangueo posee un túnel muy estrecho de 400 m de longitud, en donde la corriente de aire es intensa. En el interior del cráter se encuentra un lago blanco y salino; el clima es caliente. Para estos lagos se reporta potencial de Hidrógeno (pH) elevado de entre 9.5 y 9.8; conductividad (K25) de 5-6 mS.cm⁻¹ y de 70 a 80 mS/cm respectivamente.

La Hoya de Flores está formada por seis manantiales que brotan de los acantilados y se encuentra a 3.0 km de Yuriria.

La Hoya de Cíntora es un maar construido por erupciones freatomagmáticas de varias intensidades, reflejando la estrecha relación existente de un antiguo acuífero con material magmático. El aporte de agua se debe al sistema magma-agua, logrando una mezcla óptima hacia el final de la etapa formadora de maar,

reflejándose en erupciones más explosivas, lo que también expresa mayor aporte de material juvenil.

Las aguas del lago cráter de la Hoya de San Nicolás tienen la peculiaridad de cambiar de color conforme a las estaciones del año. Las Hoyas de Solís y de Álvarez se encuentran secas pues han tenido extracción intensiva, así como un abatimiento del manto freático que es de 0.5 a 2.5 m por año. Estos sistemas son utilizados con fines agrícolas.

Estos lagos han sido denominados en conjunto como “Las siete luminarias” y han 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 estos lagos. Estos sistemas lacustres se identifican como lagos sódicos por su composición iónica, predominando los carbonatos y bicarbonatos de sodio. 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. (Vázquez, 2004)

En Michoacán existen tres lagos cráter, entre ellos se identifica el lago cráter Los Espinos, en el municipio de Jiménez, que por su importancia hidrológica y su belleza escénica fue declarado como Área Natural Protegida (ANP), para la conservación y protección de los recursos naturales.

Sin embargo, no se conocen las relaciones estructurales y funcionales de cada unidad que conforma ésta área. Considerando que el estudio técnico justificativo que se realizó para este fin, no presenta información sobre el lago cráter, este estudio fue orientado hacia el reconocimiento limnológico del lago cráter “Los Espinos” con una evaluación física que incluyó la descripción térmica del vaso lacustre, la evaluación de los atributos ópticos del medio acuático, los patrones de circulación de la masa de agua así como la influencia de estos factores en la productividad primaria del sistema lacustre, evaluando así características morfométricas, óptica, y características físicas del lago, para aportar conocimientos y ofrecer bases para estrategias de conservación, manejo y restauración de éste ecosistema.

II. Justificación

Los esfuerzos orientados hacia el estudio limnológico de los lagos mexicanos, han sido realizados en los principales cuerpos de agua naturales como Chapala, en el estado de Jalisco, lago de Pátzcuaro en Michoacán, Catemaco en Veracruz, entre otros. Sin embargo, es de fundamental importancia ampliar los estudios básicos y aplicados en embalses, ríos y lagos relictos, como es el caso del lago cráter La Alberca de los Espinos.

El estado se caracteriza geológicamente como zona tecto volcánica; la zona norte de Michoacán se encuentra dominada por depresiones tectónicas que interactúan con los volcanes del Cinturón Volcánico Mexicano. En este ambiente fisiográfico los cuerpos de agua del Estado existentes se dividen en lagos tectónicos, lagos tecto volcánicos, lagos cráter, ríos y embalses artificiales.

En Michoacán existen tres lagos cráter incluyendo La Alberca Los Espinos en el municipio de Jiménez, La Alberca de Tacámbaro y La Alberca de Teremendo, en el municipio de Morelia. Estos valiosos ecosistemas acuáticos presentan una apremiante necesidad de generación de conocimientos en lo que se refiere a su estructura y relaciones funcionales.

El volcán del lago cráter “Los espinos” se localiza al norte de la ciudad de Zacapu, a un costado de la carretera estatal No. 15 Zacapu-Villa Jiménez (a 30 km de la autopista México-Guadalajara), es considerado como un pequeño volcán apagado en cuyo cráter surgió hace miles de años un lago cristalino, la altura de este volcán no excede a los 300 m y su riqueza natural se encuentra en la diversidad botánica que se encuentra donde se distinguen encinos y gran cantidad de sauces cercanos a la orilla asociados con matorrales de distintos tipos, dentro de esta se cuenta por lo menos dos tipos de vegetación natural con especies enlistadas en la CITES (2004); no presenta endemismos.

Debido a sus características naturales únicas y el interés de la población del municipio de Jiménez de conservar este recurso hídrico, ya que es considerada como una zona captadora de lluvias que permite la infiltración y recarga de los

manantiales aledaños al lugar, la cuenca del lago cráter los Espinos en el municipio de Jiménez fue declarada como Área Natural Protegida por la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado de Michoacán el 14 de marzo del 2003, por medio de estudio técnico Justificativo que tuvo el propósito de dotar de un instrumento legal para conservar y preservar en buen estado este ecosistema.

Sin embargo, se desconocen sus relaciones estructurales y funcionales, por lo tanto el presente estudio se realizó con el propósito de determinar las principales características morfológicas, térmicas y ópticas del lago cráter Alberca Los Espinos. Lo anterior, permitirá respaldar propuestas y lineamientos para el uso sustentable y conservación de este sistema, además de ofrecer información que permita determinar indicadores ecológicos para su conservación, manejo y restauración ecológica de estos importantes ecosistemas lacustres.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar los principales atributos morfométricos, térmicos, ópticos e hidrodinámicos del lago cráter Los Espinos, Municipio de Villa Jiménez.

3.2. Objetivos particulares

- 3.2.1.** Describir la topografía del cráter y del cono volcánico
- 3.2.2.** Determinar los principales parámetros morfométricos que describan la geomorfología del lago cráter
- 3.2.4.** Evaluar los atributos ópticos del agua
- 3.2.5.** Evaluar los principales movimientos de agua en el sistema
- 3.2.6.** Determinar la producción primaria
- 3.2.7.** Caracterizar la composición de los sedimentos lacustres.

IV. ANTECEDENTES

4.1. *Limnología física*

La limnología física genera la información básica que permite fortalecer el estudio biológico en los sistemas dulceacuícolas. Los trabajos realizados sobre la física lacustre incluyen estudios de procesos y atributos como la geomorfología, óptica, térmica, hidrodinámica y sedimentos.

La morfometría lacustre interactúa con otras variables ambientales generando diversos índices que permiten entender la estructura de los lagos. Así, Förel (1892) estableció una clasificación de los lagos con base en la temperatura de fondo, incluyendo lagos de tipo polar, templados y tropicales. Posteriormente, este sistema de clasificación fue modificado por Whipple (1898) al integrar la temperatura de superficie como criterio de diferenciación, definiendo lagos de tipo polar, templado y tropical pero de primero, segundo y tercer orden. Delebecque (1898) discutió la relación entre las variables morfométricas de un lago y su origen. Además, propuso una medida de la profundidad relativa sin llegar a normalizarla con respecto a la circunferencia.

Naumann (1919 en Kalff, J. 2002) estableció la relación directa entre el fósforo, nitrógeno, calcio y la cantidad distribuida de fitoplancton en los lagos, elaborando una clasificación con base en la clasificación trófica original en la producción cuantitativa del fitoplancton. Incluyendo los términos de los lagos conforme a sus condiciones de estado ambiental, siendo así los lagos oligotróficos aquellos que presentan una producción primaria baja, lagos eutróficos los que presentan una producción muy alta, más tarde incluyó el tipo mesotrófico que es de producción intermedia.

Thienemann (1925 en Kalff J. 2002) realizó una evaluación en lagos que son atípicos por sus particularidades, modificando la clasificación de Naumann y elaborando a su vez una clasificación de lagos y ríos basada en la presencia o la ausencia en los sedimentos de larvas del género *Chironomus* (Díptera: Insecta), que sirvieron como indicadores de condiciones ambientales y así caracterizar los

sistemas acuáticos en lóticos y lénticos, influyendo los nutrientes dentro de la estructura del lago, con un visión multidimensional, en donde el espacio depende del clima, geología, suelo, sistema de alimentación, drenaje del lago con relación a su morfometría, estableciendo así a los lagos como sistemas o unidades. Thienemann (1927 en Kalff J. 2002) propuso con base a un conjunto de lagos de Alemania que una profundidad media equivalente a 18.0 metros permitía separar los lagos oligotróficos de los eutróficos; términos que propuso para designar a los dos extremos de productividad acuática.

Mórtimer (1956 en Kalff J. 2002) desarrolló criterios y técnicas diferenciando a los lagos por su tamaño y morfometría, así como los flujos internos de los sistemas, extrapolando sus características físicas y químicas, distinguiendo los lagos autotróficos y alotróficos y diferenciando los lagos por su captación hídrica ya sea a través de la atmósfera o por vía subterránea.

Hutchinson y Löffler (1956) y Hutchinson (1957), establecieron un sistema de clasificación de lagos de acuerdo a la temperatura y períodos de circulación del agua. En este sistema definieron a los lagos fríos, templados o cálidos de carácter amíctico, monomíctico, dicmíctico y polimíctico dependiendo de la frecuencia de circulación de la masa de agua, en esta clasificación se incluyó por vez primera el índice de profundidad relativa (Zr).

Por su parte Jerlov (1968), propuso diferentes técnicas para efectuar mediciones de luz y discutió los diversos factores que afectan las propiedades ópticas del agua en el medio marino.

Tyler (1968), analizó la relación del disco de Secchi y sus aplicaciones; propuso que las lecturas del disco de Secchi pueden emplearse para estimar la suma del coeficiente de atenuación total y parcial, además señaló que para obtener los valores de cada uno de los coeficientes de atenuación (vertical y horizontal) es necesario realizar otro tipo de mediciones ópticas.

Hutchinson (1975) documentó y describió el sistema de clasificación de lagos oligotróficos, mesotróficos y eutróficos, argumentando que ésta se encuentra determinada por diversos factores físicos que afectan la distribución espacial y

concentración de nutrientes en el ecosistema acuático. Hutchinson enfatizó la importancia de la contribución de los grupos de flora litoral en la superficie del agua que afectan el ciclo de nutrientes en los lagos, las características morfológicas que se encuentran relacionadas con la distribución espacial de las plantas y su asociación con la profundidad, irradianza, presión hidrostática, hidrodinámica y los factores principales del sustrato que regulan la distribución y zonificación de los lagos. Esta clasificación es actualmente la base para numerosos estudios de descripción limnológica.

Lorenzen (1979) propuso que la concentración de clorofila es un indicador de la profundidad de la zona eufótica, directamente asociado a la productividad primaria acuática, para lo cual utilizó análisis estadísticos que le permitieron fundamentar e interpretar la información obtenida en campo.

Häkanson (1981) describió técnicas y análisis para la evaluación integral de la morfometría en los lagos de agua dulce, normalizando los conceptos y términos de descripción y cuantificación, estableciendo a su vez índices para predecir la importancia relativa de procesos como la erosión y sedimentación sobre variables como la profundidad del vaso lacustre. También propuso 37 parámetros morfométricos que son aplicables en la interpretación geomorfométrica de los lagos, asociados a su génesis su ubicación geográfica y su pasado geológico, así como su importancia limnológica para el manejo de ecosistema.

Kirk J. T. O (1983) discutió el empleo del irradiómetro y transmisómetro de luz para describir los atributos ópticos del agua, así como su relación con la productividad primaria acuática. De la misma manera, analizó los factores que influyen en la atenuación y dispersión de la energía solar, tanto en la atmósfera como en el medio acuático.

Lind (1986) en un evaluación de cuatro embalses que mostraron diferentes estados tróficos y con diferentes perfiles ópticos, determinó la relación del disco de Secchi con la biomasa del fitoplancton mediante la estimación de la concentración de clorofila-a.

Wetzel (2001) fundamentó los conceptos y criterios que definen la estructura y función de los ecosistemas acuáticos del planeta, analizando los efectos de la morfometría, hidrodinámica, óptica y química sobre la abundancia y distribución de las comunidades biológicas.

Kalff (2002) realizó una comparación en lagos, ríos y pantanos analizando los efectos del ciclo hidrológico, sobre la permanencia y calidad de las aguas interiores y sus comunidades biológicas, así como la interacción del impacto del hombre con el incremento de contaminantes en los ecosistemas acuáticos.

Häkanson (2004) discutió la importancia de la morfometría en el funcionamiento de los ecosistemas lacustres, tanto en su estructura como en sus relaciones funcionales asociados al flujo de sustancias en lagos, la integración de los sistemas de información geográfica (GIS) y la aplicación de modelos de predicción.

4.2. Los lagos cráter

Los lagos cráter por sus características específicas, su importancia ecológica así como su relación con la actividad volcánica que les origina han sido objeto de diversos estudios, incluyendo aquellos ubicados en América Central (Juday, 1915; Deevey, 1957 y Armitage, 1958); los lagos cráter de la isla Miyaki (Yoshimura, 1938); el lago Bishoftu en África (Baxter y Wood, 1965); Bunyonyi en Uganda (Denny, 1972a); lago Lanao en Filipinas (William 1972); Debunidsha en el oeste de Camerún (Green *et al.*, 1974); Tikitapu en Nueva Zelanda (Hutchinson, 1975a); los lagos pirineos (Castillo, 1992), así como los lagos cráter en el oeste del lago Victoria (Timms, 1975); Butte en California y el lago Cráter en el estado de Oregon (Hutchinson, 1975a),

El conocimiento de las comunidades acuáticas de estos ecosistemas incluyendo sus procesos físicos, químicos y biológicos, así como el análisis de su pasado climático permite la interpretación de la dinámica de las comunidades biológicas existentes. Williams (1942) analizó los procesos geoquímicos con relación a la composición del agua en el lago Esmeralda, Nevada, Armitage (1959) evaluó los efectos de la temperatura y la alcalinidad del agua de géiser sobre los insectos.

Baxter y Wood (1965) en el lago Bishofthu en África realizaron una evaluación química y batimétrica, asociando algunas variables morfométricas con la distribución vertical de la concentración de oxígeno disuelto para determinar la estratificación térmica en el lago.

Goldman (1988) analizó la relación entre la productividad primaria, sustancias nutritivas y la visibilidad durante el periodo de inicio de la eutroficación en Lago Tahoe, California-Nevada determinando la existencia de la relación inversa entre la productividad primaria estimada mediante radioisótopos de C^{14} y la visibilidad durante las etapas más tempranas de eutroficación.

Mefcalfe (1993) realizó un estudio paleolimnológico en el lago cráter de Pretoria Saltpan en África del Sur con base a registros de diatomeas presentes en los diferentes niveles del sistema Pretoria Saltpan. Analizó las diferentes especies de diatomeas presentes en diferentes intervalos de profundidad para conocer el origen y evolución del sistema Pretoria Saltpan a través de la concentración gradual de evaporación y análisis del incremento en salinidad y alcalinidad indicados por la presencia de los diferentes taxos de diatomeas.

Chapman (1998) cuantificó la estratificación termal y la oxigenación del lago cráter Nkuruba en Uganda, describiendo las variaciones en la concentración de oxígeno disuelto a diferentes niveles de profundidad. Estos niveles fueron correlacionados con la temperatura del agua sugiriendo que estas variaciones posiblemente fueron inducidas por cambios en la precipitación. Las variaciones en las diferentes épocas del año favorecieron el cambio de temperatura anual que fue limitada al agua de superficie, los niveles del agua bajaron notablemente en el lago durante un período de cinco meses, concluyendo que este pequeño lago responde rápidamente a los cambios meteorológicos

Jassby *et al* (1999) realizó en el lago Tahoe, California–Nevada un análisis de la visibilidad del lago Tahoe, California–Nevada, obteniendo un modelo de medición de visibilidad y profundidad con el disco de Secchi y comparando los registros obtenidos desde el año de 1967. En este sistema se obtuvo una variación de escala conforme a la variación temporal, observando dos mínimos importantes en junio y diciembre. En el mes de junio por el deshielo de la capa de nieve aportando

sedimentos suspendidos al lago, mientras que en el mes de diciembre por el mezclado en la termoclina presentando una capa de fitoplancton lo cual favoreció la atenuación de la luz, en verano se observó el máximo mezclado en sus estratos, así como estratificación igualmente presenta dos periodos uno en otoño- invierno periodo una mayor escala en primavera- verano, obteniendo el primer modelo con las variables de profundidad y mezclado y el segundo con los cambios presentados en abril, tanto de sólidos suspendidos y totales acumulados en la columna de agua, relacionada con la capa de fitoplancton ambos correlacionados con los parámetros limnológicos del lago.

LaBounty (1996) argumentó que uno de los sistemas más profundos del mundo es el lago cráter de Oregón en los Estados Unidos de Norteamérica. Este sistema se originó hace 6,850 años a partir de una violenta erupción seguida de un colapso en la cima del volcán Monte Mazama, formando de esta manera la caldera del lago. El lago cráter ocupa una superficie de 53.2 km² y una profundidad máxima de 589.0 m. Este sistema posee un drenaje de agua con cuarenta pequeñas corrientes permanentes que llegan al vaso lacustre. El lago es profundo, transparente y con baja concentración de nitrógeno y fosfato, ligeramente alcalino, presenta una estratificación termal y es poco productivo.

Durante la década de los años setenta, algunos estudios limnológicos indicaron que la visibilidad del lago disminuyó y que la comunidad de fitoplancton cambió en la columna del agua tanto en su composición como en su distribución y abundancia. Debido a esta reducción de visibilidad y calidad de agua se desarrolló un programa de protección y monitoreo.

Belis *et al* (1999) realizó un estudio paleolimnológico en el lago Albano en Italia, en donde obtuvo cuatro trépanos de sedimentos. Mediante el análisis e identificación del contenido de ostrácodos, algas, contenido de materia orgánica y la concentración de pigmento bacteriano de especies del género *Potamocypris* y de la especie *Ilyocypris bradyi*, fueron reconstruidos los ambientes pasados, estableciendo la existencia de periodos de fluctuación de nivel de agua, así como su abundancia de especies, las variaciones en la productividad, así como la disponibilidad de oxígeno y perfil de temperatura del agua prevaleciente.

Schabetsberger *et al* (2004) realizó estudio limnológico de los lagos cráter Biao y Loreto en la Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial). El Lago Biao fue caracterizado como un lago de tipo caldera, a una altitud de 1750.0 m y una profundidad de 18.5 m, presenta baja conductividad eléctrica (11.6-13.3 $\mu\text{S cm}^{-1}$), potencial de Hidrógeno ácido (5.9-6.2), saturación de oxígeno entre los 6.0 y 10.0 m de profundidad de 90-27% respectivamente y visibilidad del disco de Secchi de 5.5 m. Se determinó además que la abundancia de algas verdes dominó sobre la comunidad del fitoplancton. El Lago Loreto se caracterizó como un sistema de origen tipo “maar” a una altitud de 1,050 m, con agua turbia y de color amarillento, con una lectura de visibilidad del disco de Secchi de 0.60 m, saturación de oxígeno a 10.00 m de profundidad, presentó una disminución en el potencial de Hidrógeno a 2.5 m de profundidad incrementándose a los 15.0 m. dominando especialmente las algas verdes.

Herrera (2006) realizó estudios en El lago Chungará y los lagos de Cotacotani en el Altiplano del norte de Chile, determinando que éstos se encuentran conectados a acuíferos situados en los flancos de los edificios volcánicos próximos, así como en los depósitos de brechas de avalancha del volcán Paríacota, presentando un perfil de salinidad de baja a moderada con conductividad entre 48.7 y 3,090 $\mu\text{S/cm}$. El lago Chungará presenta una composición química e isotópica homogénea tanto horizontal como vertical, indicando un mezclado de las aguas en el lago, en tanto que los lagos de Cotacotani proceden de aguas del lago Chungará. La aplicación de modelos de parámetro agregado para la interpretación del tiempo de residencia del agua en el acuífero indicaron que el modelo de flujo de pistón es el que mejor se ajusta a las características isotópicas de estas aguas subterráneas. El volumen promedio del lago fue de 400 hm³ y la evaporación media potencial anual en el lago fue de 1,230 mm, con un tiempo de residencia de 15 años. Por otro lado, se consideraron las descargas subterráneas de las aguas del lago, las cuales fluyen por un depósito de brechas, originadas por colapso del volcán Paríacota y que se identificaron mediante la aplicación de indicadores isotópicos.

4.3. Los lagos cráter mexicanos

En México existen pocos estudios sobre la estructura y el funcionamiento de los lagos cráter que se ubican en el territorio nacional. Sin embargo, la comparación de

los distintos estudios en lagos asociados a la actividad tecto- volcánica ha permitido avanzar en la generación de información básica sobre aspectos particulares de descripción y de evaluación de algunos procesos biológicos.

4.3.1 Los axalapascos de Puebla

Ordóñez (1906) argumentó que existen pocos estudios para los lagos cráter de Puebla, por lo que realizó un estudio geológico describiendo el origen y evolución de cada uno de estos lagos.

Taylor (1943) en un reconocimiento de las comunidades biológicas de los lagos cráter de Puebla describió una especie nueva de salamandra. En estos mismos lagos De Buen (1945), describió una nueva especie de la familia Atherinidae mientras que Álvarez (1950), realizó un inventario sobre la ictiofauna de los seis lagos.

Garza de la Torre (1971) describió la actividad volcánica en el estado de Puebla determinando que el vulcanismo originó la formación de los lagos cráter, así como los llanos y la sierra ubicada entre Puebla y el Pico de Orizaba.

Fuentes (1972). Describió las diferentes regiones del estado de Puebla, en esta zona se localiza un grupo de lagos cráter denominados regionalmente como axalapascos, algunos de ellos se encuentran al pie de los grandes macizos volcánicos, otros en los extremos de las Sierras cerca de conos recientes o bien alejados de toda eminencia.

Borrego (1979) Estudio batimétrico de los lagos cráter de Puebla, estableciendo el Pleistoceno como etapa de rígen, provenientes de un gran lago, el cual desapareció dejando aislados varios cuerpos de agua.

Los cráteres de explosión, volcanes embrionarios o maares tienen lugar cuando la actividad volcánica ha sido débil y localizada, formando solo oquedades o aperturas a través de las rocas del terreno, siendo algunas de ellas en Alchichica Puebla. Gasca (1982) discutió el génesis de este tipo de lagos mientras que Arredondo *et al.* (1983), describieron la batimetría y morfometría de los seis lagos cráter del estado de Puebla.

Arredondo (1984) realizó trabajos sobre el fitoplancton del lago Alchichica, Puebla y en el mismo año Ramírez-García y Novelo (1984) realizaron un reconocimiento sobre la vegetación acuática de los seis lagos cráter del Estado de Puebla.

Ramírez-García *et al* (1988) realizó un estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla donde se analizaron las variables físico-químicas del agua y del sedimento, así como las relaciones que tienen estas variables con la composición florística de la vegetación acuática y con la producción de biomasa de las especies más abundantes. Los análisis estadísticos sugirieron la formación de tres grupos de dos lagos cada uno: 1) Alchichica y Atexca, 2) La Preciosa y Quechulac y 3) Aljojuca y Tecuitlapa

Alcocer *et al* (1998) realizaron estudios de comunidades de macro invertebrados bentónicos litorales en dos lagos cráteres salinos Alchichica y Atexcac, localizados en la Cuenca Oriental, Puebla-Tlaxcala-Veracruz; reportando que Alchilchica registró una alta concentración de salinidad (7.4 g L^{-1}) y presentó una diversidad biológica mayor del 30 por ciento que en los lagos de aguas dulces y el doble del número de especies presentes en Atexcac.

Oliva *et al* (2001) realizaron estudio en el lago cráter Alchichica donde analiza el perfil térmico y la concentración de nutrientes en diferentes periodos. El lago de Alchichica es monomítico con un periodo de tres meses de circulación; terminando este periodo entonces se inicia el proceso de estratificación de este lago. Los autores discutieron que es sistema presenta patrones muy similares a los lagos del Norte América; la dinámica del fitoplancton es muy semejante a la de lagos muy profundos e hiposalinos.

Caballero *et al* (2001) en el lago cráter de Alchichica describieron las variaciones de interanuales del clima y la afectaciones en el comportamiento de mezcla-estratificación de los lagos, reflejándose en los sedimentos acumulados en sus fondos, correlacionado a las tendencias de cambio climático de mayor duración, realizaron una evaluación del potencial del los sedimentos del lago estableciendo cambios climáticos de períodos medio y corto, esto con el análisis de diatomeas, calcinación y pigmentos totales en un núcleo de 168 cm, fechándolos con C^{14} para

proporcionar un marco cronológico aproximado, las aguas del lago de Alchichica presento alta alcalinidad y potencial de Hidrógeno de este lago, favoreciendo la disolución del sílice de las diatomeas, limitando el potencial de este lago para estudios paleolimnológicos. Determinaron que es un sistema alcalino-subsalino durante el pasado reciente (últimos ca. 300 años), con una disminución del nivel lacustre.

Arredondo (2002) realizó estudio de variables limnológicas de los seis lagos tipo “maars” en la cuenca Oriental, Puebla; discutiendo su origen y su poca productividad.

4.3.2. Los lagos cráter en el estado de México

Juday (1915) en la zona volcánica del Estado de México estudió la distribución y diversidad de copépodos.

González, *et. al.* (1984) realizaron un estudio estadístico de 24 variables limnológicas presentes en un período de un año (mayo 1982 - abril 1983) en el Lago de alta montaña “El Sol”, localizado en el cráter del Nevado de Toluca, encontrando una correlación significativa entre los electrolitos dominantes entre la conductividad y dureza; temperatura del agua con el contenido de gases y potencial de Hidrógeno, enfatizando la importancia de los nutrientes y la reacciones redox en el metabolismo lacustre.

Banderas *et. al.* (1990) realizó un reconocimiento del lago cráter de alta montaña “El Sol”, situado en la caldera de Nevado de Toluca, México. Estableciendo las condiciones climáticas en la lago de “El Sol”, su drenaje en el área, la alta saturación de oxígeno y de la visibilidad del agua, presenta temperaturas hasta de 2.5 °C a pesar de la alta exposición a la radiación solar, la lluvia es el principal factor de ingreso de sólidos al lago favoreciendo la erosión de las paredes del cráter. Se describió la comunidad de algas incluyendo la presencia de los géneros *Closterium*, *Desmidium*, *Pleurotaenium* y *Euastrum*, así como la presencia de dinoflagelados como *Peridinium*, se reportó también la presencia de diatomeas y un gran número de algas clorofitas bénticas de los géneros *Nitella*, *Oedogonium* y *Zygnema*. Se identificó dentro del lago, una zona eufótica existente en el lago entre los 14-15 m.

La relación de los parámetros limnológicos con los organismos dentro del sistema limitan la productividad primaria identificándose como un lago polimíctico y oligotrófico, sus aguas son susceptibles de acidificación. Los autores establecieron la importancia de su conservación y protección.

Sarma *et. al.* (1996) en los lagos “El Sol” y “La Luna” en el cráter del Nevado de Toluca analizaron la fauna de rotíferos.

Cervantes (2000) en el lago cráter en el Nevado de Toluca describió una nueva especie de cladóceros, localizado a 4,120 metros sobre el nivel del mar perteneciente al género *Ilyocryptus*. Este organismo constituyó el primer registro de un iliocriptido en un lago cráter de gran altitud e incrementó a tres el número de especies conocidas para México.

4.3.3. Los lagos cráter de Veracruz

Pérez (1992) realizó un reconocimiento de la geomorfología y batimetría del lago de Catemaco, Veracruz, México, situado en el macizo volcánico de Los Tuxtlas, analizando este lago de actividad tecto volcánica, así como sus estructuras volcánicas. Describió por primera vez la batimetría del Lago de Catemaco y su interpretación morfométrica, con las variables y criterios sugeridos por Lind (1974) y Wetzel y Likens (1979). En cuanto a la geomorfología determinó un área de 322.2 km² asociando su origen a la intensa actividad ígnea ocurrida durante el Terciario y el Cuaternario. En el interior del lago se formaron las islas. La distribución de los sedimentos varió en función de la profundidad ubicando la profundidad máxima de 22.0 m en una fosa pequeña al centro del lago, una profundidad promedio de 11.0 m, de forma circular litoral ($DL = 1.64$), el Lago de Catemaco se apreció como un lago relativamente somero, de profundidad relativa ($Zr = 0.229\%$), sugiriendo una alta inestabilidad y/o muy escasa resistencia a la mezcla.

Torres, *et. al.* (2002) describió las variables limnológicas del Lago Catemaco en Veracruz relacionadas con el deterioro ambiental, determinando también una alta productividad.

Vázquez (2004) realizó estudio limnológico en cinco lagos cráter en los Tuxtlas, Mexico, identificó las variables morfométricas, físicas y químicas incluyendo temperatura, visibilidad, nutrientes, potencial de Hidrógeno, conductividad y concentración de clorofila la cual presentó variaciones en las diferentes estaciones del año. El reconocimiento estableció el estado trófico de estos lagos y que fue determinante con los índices de visibilidad y concentración de clorofila. Los lagos que presentaron características de tipo “maar” fueron Majahual, Chalchoapan y Manantiales, ya que presentaron una forma elíptica en la cubeta del lago, clasificados como sistemas monomícticos, estos lagos presentaron anoxia en el hipolimnio, en tanto que los manantiales presentaron una máxima saturación de oxígeno. Los lagos Verde y Mogo son de cubeta cónica relacionados con lagos cráter de forma circular clasificados como polimícticos. En estos cinco lagos se presentó una dominancia de los iones de bicarbonato, una alta visibilidad, la concentración de nutrientes tuvo una estrecha relación con la concentración de clorofila, estableciendo un estado trófico indirectamente relacionado con la deforestación y el uso de fertilizantes en la agricultura.

4.3.4. Las hoyas de Guanajuato

En la región de Valle de Santiago los cráteres de explosión que contienen agua son La Alberca, la Hoya de la Cíntora y el cráter Rincón de Parangueo. Otro de los lagos cráteres presentes en el Estado de Guanajuato es la Piscina de Yuriria, en donde se han efectuado diversos estudios paleolimnológicos, entre los que destaca aquél efectuado por Metcalfe y Hales (1992) realizaron un estudio de grupos modernos de diatomeas y de la química del agua de la Piscina de Yuriria, a fin de proporcionar elementos análogos para la interpretación del material fósil.

Alcocer *et. al.* (2000) sugirieron la necesidad de establecer programas de uso de agua sostenibles en el Valle de Santiago. En los lagos cráter de la zona se identificó la tendencia a la disminución en el nivel del agua. La degradación de la vegetación, sobrepastoreo, disminución de aguas y la salinización han sido resultado de una erosión severa y desertificación total.

Galván *et. al.* (2001) en los lagos temporales de San Nicolás de Parangueo y Cintora, determinaron que los cuerpos acuáticos temporales son comunes en las zonas áridas y semi-áridas de México, y son el resultado de un desbalance hídrico a favor de la evapotranspiración y estos sistemas son de breve existencia y con elevada mineralización en sus agua, estos ecosistemas son someros (15 cm), de aguas cálidas (19-22°C), oxigenadas (70-104% SAT) y potencial de Hidrógeno elevado (9.1-9.8). El lago de Cintora es salino (5.65 g/l), mientras que el San Nicolás de Parangueo es de agua dulce (1 g/l). La comunidad zooplanctónica es muy sencilla, compuesta por pocas especies de microcrustáceos, entre los que destacan los cladóceros *Daphnia cf. barbata* y *Moina weirzejskii*, y el copépodo *Mastigodiatomus cf. albuquerquensis*.

Alcocer *et. al.* (2002) realizaron un análisis del impacto ambiental por el desarrollo urbano en los lagos cráter del Valle de Santiago determinando que éstos se encuentran seriamente amenazados. Dos de los cuatro lagos de cráter, ya se han secado y los alcances de la progresiva disminución de las aguas freáticas han alcanzado hasta los 2.5 m por año. A pesar de estos hechos, no se ha establecido ningún programa de empleo de agua sostenible. El escenario futuro de estos ecosistemas es alarmante al igual que numerosos lagos del centro y norte de México.

4.3.5. El lago cráter del Chichón

Rouwet *et. al.* (2004) estimó el balance de masa en el lago cráter del volcán Chichón, Chiapas México, sugiriendo que es controlado por la precipitación y la evaporación, así como por la infiltración en el fondo del lago. La fuente principal no meteórica de agua y de cloruros de este lago es un manantial en ebullición que descarga aguas salobres y neutras dentro del cráter con una taza de flujo que varía entre los 0.0 y 30.0 kg/s. Las variaciones temporales en el volumen del lago fueron determinadas mediante fotografía digitalizada del lago y una relación empírica entre la profundidad del lago y su superficie, que se obtuvo con cuatro levantamientos batimétricos, la profundidad y el tipo de aguas salinas son indicadores de los sedimentos encontrados en el lago.

4.3.6. La Isla Isabela

Alcocer (2004) registró que en el lago el lago cráter Isabela en Nayarit, el color es verde, el sistema es hipersalino y determinó la presencia de tres estratos bien definidos, el agua superficial (0.5-1.0 m) con una temperatura de 32.0°C, bajando gradualmente a 26.7°C a una de (17.5 m). El oxígeno disuelto se encuentra saturado en la superficie, con un valor de 145.0% en 0.5 m, pero completamente ausente a una profundidad de 2.5 m. En cuanto al potencial de Hidrógeno se registró un valor de 9.3 en la superficie y un valor ligeramente ácido (6.4) en la parte profunda.

La concentración de nitratos fue más abundante que el amonio, tanto en estratos aeróbicos como en anaeróbicos. La concentración de fósforo total y de sílice fue relativamente alta. La comunidad planctónica microbiana fue descrita en cuatro grupos incluyendo las bacterias fotosintéticas de azufre y otras bacterias heterotróficas, fitoflagelados principalmente *cryptomonadas*, nanoflagelados heterotróficos (*Spumella spp.*, *Bodo spp.*) así como de los ciliados *Hypotricha* y *Oligotricha*. Las bacterias ocurrieron en toda la columna de agua.

4.4. Los lagos michoacanos

Como se ha mencionado anteriormente, se han realizado en la región estudios de diferentes lagos en el territorio nacional, sin embargo, los estudios en lagos cráter permanecen aún aislados e incompletos. Esto se refleja en los pocos registros de estudios realizados y de la poca información disponible, que permita entender los diferentes procesos ambientales que sustentan la productividad acuática de los lagos volcánicos mexicanos.

De Buen (1943) describió por primera vez la batimetría, variaciones de temperatura, oxígeno disuelto y potencial hidrógeno a diversas profundidades; además de un listado de las especies de fitoplancton, zooplancton y peces del lago de Zirahuén, un lago volcánico de bloqueo de lava.

Bernal-Brooks (1988), realizó estudios de óptica, térmica, química y sedimentos en el lago de Zirahuén, reportando la existencia de una estratificación térmica y clasificó al lago como cálido monomítico.

Chacón *et. al.* (1989) describieron la geomorfología del lago de Pátzcuaro a través de 25 parámetros morfométricos, derivados de un mapa batimétrico actualizado; se resaltó la importancia de obtener datos morfométricos actualizados y confiables para el adecuado uso de éstos en modelos o estudios de procesos.

Chacón y Múzquiz (1991) reportaron concentraciones promedio de sólidos suspendidos de 0.8mg/L y concentraciones mayores durante la temporada de lluvias de hasta 2.5mg/L, como producto del acarreo de sedimentos de la cuenca al lago, además registraron períodos de anoxia a partir de los 20.0 m y verificaron la existencia de un proceso de estratificación térmica en el lago de Zirahuén.

Chacón *et. al.* (1993) realizaron registros de óptica para el lago de Pátzcuaro, destacando los efectos de la turbiedad como el principal factor que afecta a la penetración de la luz para este cuerpo de agua, considerando al lago de Pátzcuaro como muy turbio, debido a la presencia de partículas de origen volcánico, el azolve y la presencia de materia orgánica en suspensión.

Metcalf (1994) mediante un estudio de diatomeas, reconstruyó un plano de las variaciones de nivel del agua en la Lago de Zacapu y su composición química, proporcionando una imagen de los cambios ambientales que se registraron durante los últimos 8,000 años.

Ayala (1997) realizó una evaluación de los atributos ópticos de la Lago de Zacapu, reportando que los niveles de turbiedad que se presentan en los primeros centímetros de la columna de agua son inducidos por el material suspendido que se acumula en esta capa. En el resto de la columna, que es donde se encuentra la biomasa fitoplanctónica, la atenuación de la luz es afectada por la alta concentración de pigmentos fotosintéticos y la cantidad de biomasa presente, ya que prácticamente la zona eufótica del sistema es muy pequeña.

Campos *et. al.* (1997) realizaron un reconocimiento de limnología física del lago de Zirahuén, destacando la disminución de sus propiedades ópticas debido al continuo aporte de terrígenos provenientes de la cuenca, debido a que dichas partículas permanecen en suspensión por largos períodos de tiempo y concluyeron que el sistema presenta un período de estratificación en verano y uno de circulación durante el invierno, que corresponde a un sistema cálido monomítico, además de que el contenido de calor es alto debido a que la mayor parte de su volumen se encuentra concentrado en un relieve profundo.

Díaz (1997) realizó una caracterización limnológica de la Lago de Zacapu, incluyendo su batimetría y determinación de aspectos fisicoquímicos y biológicos que le permitieron describir el estado trófico de la Lago.

Bernal-Brooks *et. al.* (2000-a) integró la información acerca de la carga de los sedimentos al lago, destacando que los cambios bruscos en la morfometría son derivados a la cada vez mayor entrada de los sedimentos, determinó que la mayor cantidad de sedimentos al Lago de Zirahuén viene de áreas agrícolas localizadas cerca de la descarga del río de La Palma, concluyendo que la influencia del impacto nocivo en la morfometría del lago parece actuar sinérgicamente para acelerar los procesos naturales de envejecimiento del lago y reduciendo el periodo de vida del ecosistema acuático y limitando el desarrollo y la calidad de vida humana en la región.

Pérez (2005) presentó estudio hidrodinámico y caracterización del lago de Zirahuén, utilizando un modelo matemático en tres dimensiones incluye el análisis del comportamiento de fenómenos naturales, evaluando el impacto de ingreso de contaminantes al cuerpo de agua, relacionando entrada de aguas contaminadas con la calidad de agua del cuerpo receptor, simulando diversos escenarios con serie de recomendaciones dirigidas a la preservación del medio, tomando en cuenta la calidad de agua en el tiempo.

4.5. El lago cráter Los Espinos

Siendo la unidad fisiográfica conocida como “La Hoya de La Alberca” un volcán que ha sido motivo de extracción de materiales para la construcción (grava y arena) y

existiendo un lago cráter en su interior, además de resaltar la belleza natural, así como la importancia de su protección y conservación, se ha considerado la necesidad de implementar actividades eco turísticas, planeadas y orientadas a la conservación y aprovechamiento sustentable de este volcán. Por lo anterior se han realizado algunos estudios incluyendo una manifestación de impacto ambiental elaborada por Castillo (1998) en donde se afirmó que el cerro presenta un impacto visual muy fuerte, debido a que las extracciones afectaron entre 20 y 30 % de las faldas, pero no hubo ningún impacto ecológico en el lago que hay en su interior.

El Grupo Eréndira de Proyectos Industriales S.A. de C.V. (2000) elaboró una manifestación de impacto ambiental en su modalidad general, para la regulación del banco materiales "La Alberca" en la localidad los Espinos y la Estación, orientada a la aprobación de la extracción de materiales mitigando con campañas de reforestación y obras de drenaje el arrastre de suelo y erosión. En este documento se determinó que con la explotación de estos materiales no existía alteración del cauce o la calidad de alguna corriente o cuerpo de agua en la zona, ni tampoco se afectarían las aguas subterráneas.

La Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) (1992-2002) realizó un estudio técnico justificativo para proponer la declaratoria de área natural protegida en la modalidad de zona sujeta a preservación ecológica "La Alberca de Los Espinos" del municipio de Jiménez, Michoacán. En este trabajo se resaltó la importancia ecológica de la zona para su conservación como recurso natural y asegurar su protección.

Castillo (2003) elaboró un estudio ambiental de mecánica de suelos del banco de materiales "La Villa" en el municipio de Jiménez y lo caracterizó como un cono cinerítico formado de rocas ígneas extrusivas con las siguientes características: que bajo las rocas extrusivas existe un suelo formado por arcillas de alta plasticidad y en consecuencia estos suelos son de baja permeabilidad. A mayor profundidad se encuentra el estrato de roca. De la misma manera, se identificó un área de amortiguamiento en la parte exterior. Se recomendó actividades de restauración, especialmente del sitio en donde se realizaron actividades de explotación para no afectar el cuerpo de agua existente.

Con la finalidad de proporcionar un instrumento legal para la protección y conservación del área conocida como “La Alberca de los Espinos”, donde se ubica un volcán con un lago en su interior, se aprobó un decreto en el año de 2003, en donde se describieron las características generales del área, así como las propuestas de preservar el ecosistema existente, estableciendo la superficie de protección hasta de 142-12-31.25 ha, descritas en poligonal de 33 vértices, quedando a cargo de la SUMA la organización, conservación, desarrollo y vigilancia. ALED Consultora (2004) elaboró un Plan de restauración y manejo ambiental de bancos de materiales pétreos de “La Alberca” en los Espinos, para la protección del lago en el interior del volcán.

Zubieta (2004) colaborando con la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado presentó un plan de manejo, donde se evaluó el área con inventarios de flora y fauna para obtener un inventario biológico en el área, se presentaron aspectos generales del área, enunciando que se realizaron dos muestreos el 21 de enero del 2004 en el centro y a la orilla norte del lago cráter a 0.50, 3 y 11 metros de profundidad, para evaluar las condiciones químicas físicas y biológicas a través de los siguientes parámetros: temperatura del agua, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales, salinidad, visibilidad y potencial de Hidrógeno, así como muestreos de plancton y observaciones sobre la ictiofauna. Se describió la problemática social existente en la zona y dentro del plan se establecieron estrategias de manejo y conservación.

V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

5.1. Localización

El municipio de Jiménez se localiza al norte del estado, en la zona UTM 14 con coordenadas $x= 212245$, $y= 2205060$ a una altura de 2,020 metros sobre nivel del mar. La superficie de este municipio es de 3,025.20 km², representando el 0.50% de la superficie total del estado y el 0.000015% de la superficie del país; este limita al norte con el municipio de Panindícuaro y Puruándiro, al este con Morelos y Huaniqueo, al sur con Coeneo y Zacapu. Se encuentra a una distancia de 97.0 km de la capital del estado y se divide en 19 localidades, siendo algunas de ellas Villa Jiménez, Cerrito Largo, Copándaro, Chapitiro, Tumbio y Zimpimeo.

Dentro del Municipio de Jiménez se ubica el Área Natural Protegida "Alberca Los Espinos" que cuenta con 142-12-31.25 hectáreas entre las coordenadas de la zona UTM 14 con coordenadas min $x=209625$, máximas $x=211059$, y mínimas en $y=2204592$, máximas en $y= 2204592$, dentro de la región hidrológica Núm. 12 (Lerma – Santiago), en la Cuenca Hidrológica del Río Lerma –Santiago y la Subcuenca del Río Angulo. Como parte de esta área se localiza el volcán denominado "La Alberca de los Espinos" en el margen oeste de la carretera Zacapu-Villa Jiménez a la altura del km 11 y en el punto denominado como "La Estación". Dentro de este volcán inactivo se encuentra el lago cráter Los Espinos o también conocido como "La Alberca de Los Espinos" o "Santa Teresa". Se trata de un cráter natural que tiene agua en su interior y que se encuentra en las inmediaciones de las haciendas de los Espinos y Zipimeo, al norte y suroeste de ellas respectivamente. El área de estudio se localiza en la zona UTM 14 con coordenadas mínima $x=209414$, máxima $x=211694$; y mínima en $y=2202560$, máxima en $y= 2205032$, a una altitud de 1982 msnm (**Figura 1**). Limita al norte con el ejido de Zipimeo, al sur con la carretera a Cuario de Guadalupe y con terrenos del Ejido Zipimeo, al oriente con los bancos de materiales pétreos denominados como, "La Alberca" y "La Villa". Finalmente al oeste colinda con parte de la carretera con dirección a Cuario de Guadalupe y con terrenos del Ejido Zipimeo

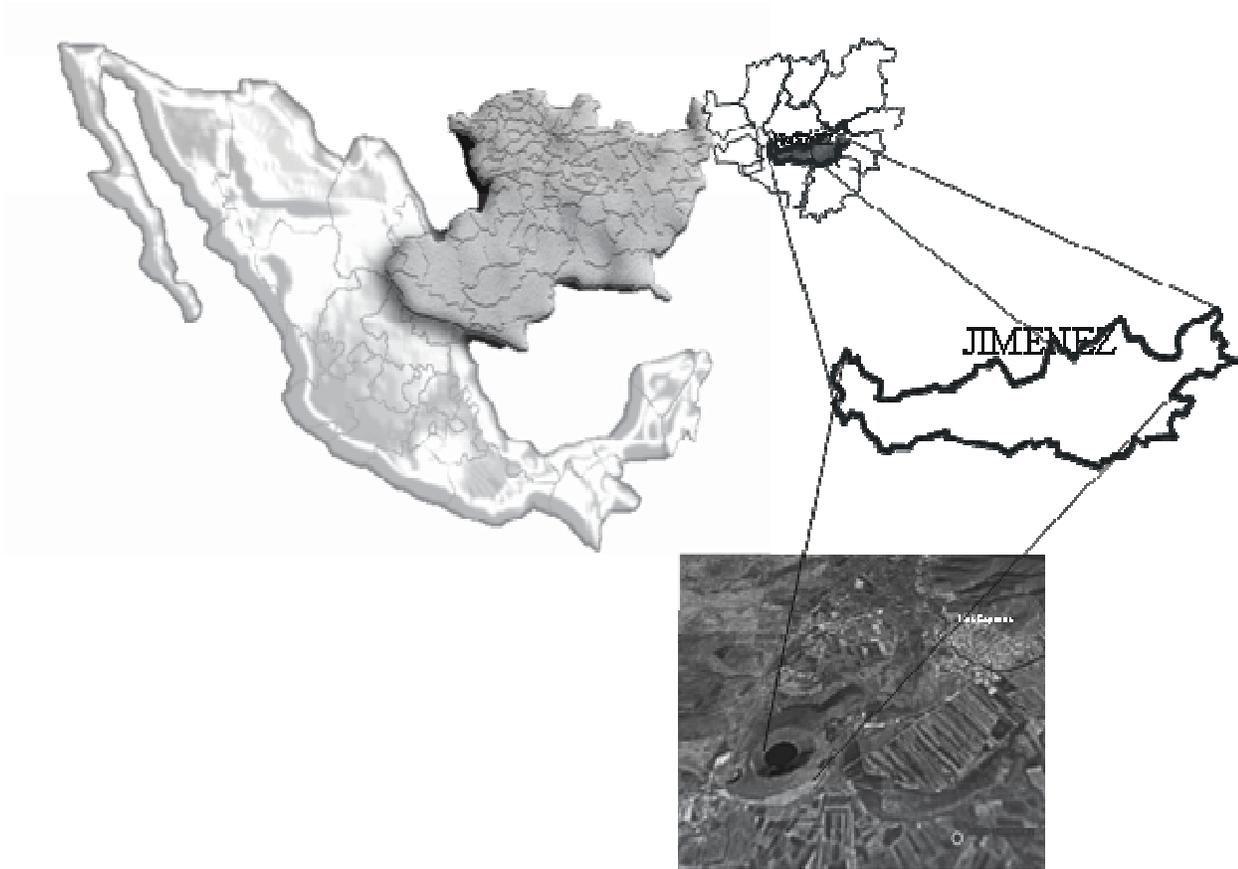


Figura 1. Localización del lago cráter Los Espinos

5.2. Geología

El relieve topográfico en el municipio de Villa Jiménez pertenece a la unidad fisiográfica del Cinturón Volcánico Transmexicano que cruza el centro del territorio nacional a su vez se ubica dentro de la subprovincia “Neovolcánica Tarasca” que se caracteriza por ser una faja volcánica; el municipio se ubica en la zona sísmica C (sismicidad media) de la república por lo que posee susceptibilidad para la posible ocurrencia de actividad volcánica; la región reporta fallas y fracturas moderadas teniendo el área de estudio la falla más cercana al sureste a 1.5 km.

La morfología del municipio es derivada de los derrames volcánicos originando relieves accidentados de pendientes abruptas y amplias mesetas de valles intermontanos, se caracteriza por presentar grandes aparatos volcánicos con elevaciones promedio de 2200 a 2400 msnm, entre las que destaca la peña del Brinco del Diablo al noroeste con una altitud 2540 msnm. Existen derrames de lava hacia los valles que provienen de grandes aparatos volcánicos con elevaciones desde 2300 hasta los 3100 msnm como el cerro Capaxtiro y el Tecolote al suroeste del área. Otros aparatos volcánicos cercanos son la mesa El Pinal a 9.5 km al noroeste, El Fresno a 6.0 km al noroeste, El Copalillo a 4.75 km al oeste.

El área de estudio se encuentra formando parte de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico Transversal y pertenece a la subprovincia Sierra y Bajíos Michoacanos; formada por una unidad geológica del Cenozoico Terciario y compuesta por roca ígnea extrusiva (INEGI 1993); ésta se caracteriza por ser una brecha volcánica basáltica (**Figura 2**).

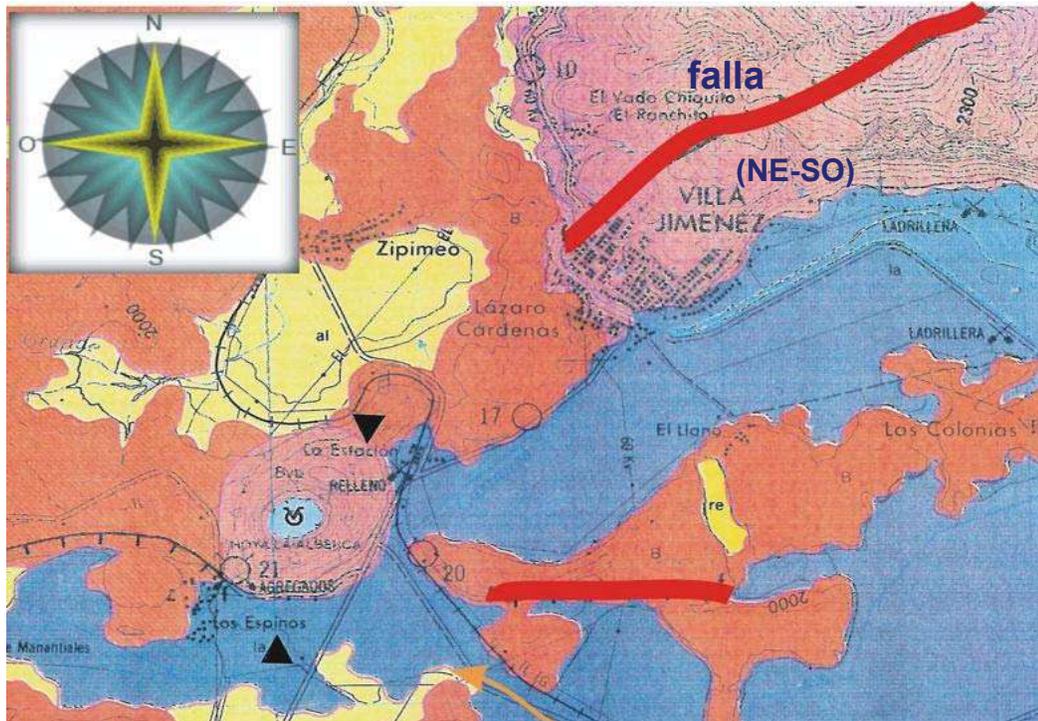


Figura 2. Carta Geológica INEGI, 1993 Cartas E14A11, Zacapu

En el interior del cráter se observa desde su base la presencia de bloques de roca de composición andesítica con características impermeables, que originan derrames en bloques muy fracturados y columnares. La base de los derrames presenta zonas con aglomerados, brechoides y lamamiento horizontal los cuales se aprecian en todo su perímetro inferior. Lo anterior sugiere que son las rocas que impiden que el agua del interior del cráter se infiltre y tenga comunicación con los acuíferos superficiales (Ballina *et. al.* 1977). Las rocas se ubican en una unidad geológica del Cuaternario; la composición litológica es de 65% basaltos, andesitas combinadas con brechas volcánicas 20%, rocas ígneas extrusivas ácidas 10% y aluviones 5%. Geológicamente en el área se encuentran rocas más antiguas que el Plioceno y afloran tanto al noroeste como en el centro; se han determinado como una secuencia de formaciones de rocas de composición de andesita originadas por la actividad volcánica del Terciario Superior y que se originaron a su vez de derrames en bloques fracturados y columnares. Las riolitas y andesitas generalmente cubiertas por basalto forma la base de las montañas (Castillo, 2004).

El área natural protegida La Alberca de los Espinos se forma de derrames alargados y amplias masas de pendientes suaves, aflorando en toda el área y que se encuentran afectadas por fallas normales de direcciones noreste - suroeste con desplazamiento horizontal en su base (Israde-Alcántara, 1999).

5.3. Suelo

Los suelos del municipio se originaron durante los periodos Cenozoico y Paleoceno siendo predominante los tipos Chernozem y Podzólico. Su uso primario es agrícola y ganadero. Al este y sur del municipio los suelos datan del Terciario Superior debido a la gran actividad volcánica de la región.

Dentro de la zona de estudio se tiene como suelo principal el Cambisol eútrico (**Be**) que es un suelo poco desarrollado, aún con características semejantes al material que le ha dado origen, de color claro, presentan cambios de estructura o consistencia debido a la intemperización y como suelo secundario se identifica al tipo Andosol vítrico (**Tv**) que son suelos formados de cenizas volcánicas con superficies oscuras. Se localizan principalmente en el Eje Neovolcánico Transversal. En la zona de estudio éstos son suelos secundarios y con textura media.

Colindantes en el área se ubican también los suelos de tipo Feozem háplico (Hh), presentan una superficie de color oscuro, asociado con suelos secundarios de los tipos Luvisol crómico (predominante), Luvisol vítrico con textura fina. Son suelos de contenido mediano a alto de bases con horizontes arcillosos.

Alrededor de estos suelos se presentan otros tipos de suelo incluyendo el Vertisol pélico (Vp) como suelo primario y que son suelos de textura arcillosa y pesada, se agrietan notablemente cuando se secan, son aptos para pastos y para el cultivo de temporal. Como suelos secundarios se presentan aquellos de tipo Feozem háplico (Hh) y litosol de textura fina, suelos muy jóvenes derivados de cenizas volcánicas, en los que la materia orgánica de formación rápida se sobrepone al material mineral, sin formar un verdadero complejo órgano mineral. Están limitados en su profundidad y constituyen la primera fase de la degradación de las rocas volcánicas; al sur y suroeste el tipo Vertisol pélico (Vp) de textura fina (INEGI, 1993 Cartas E14A11, Zacapu, Edafológica y Geológica) (**Figura, 3**).

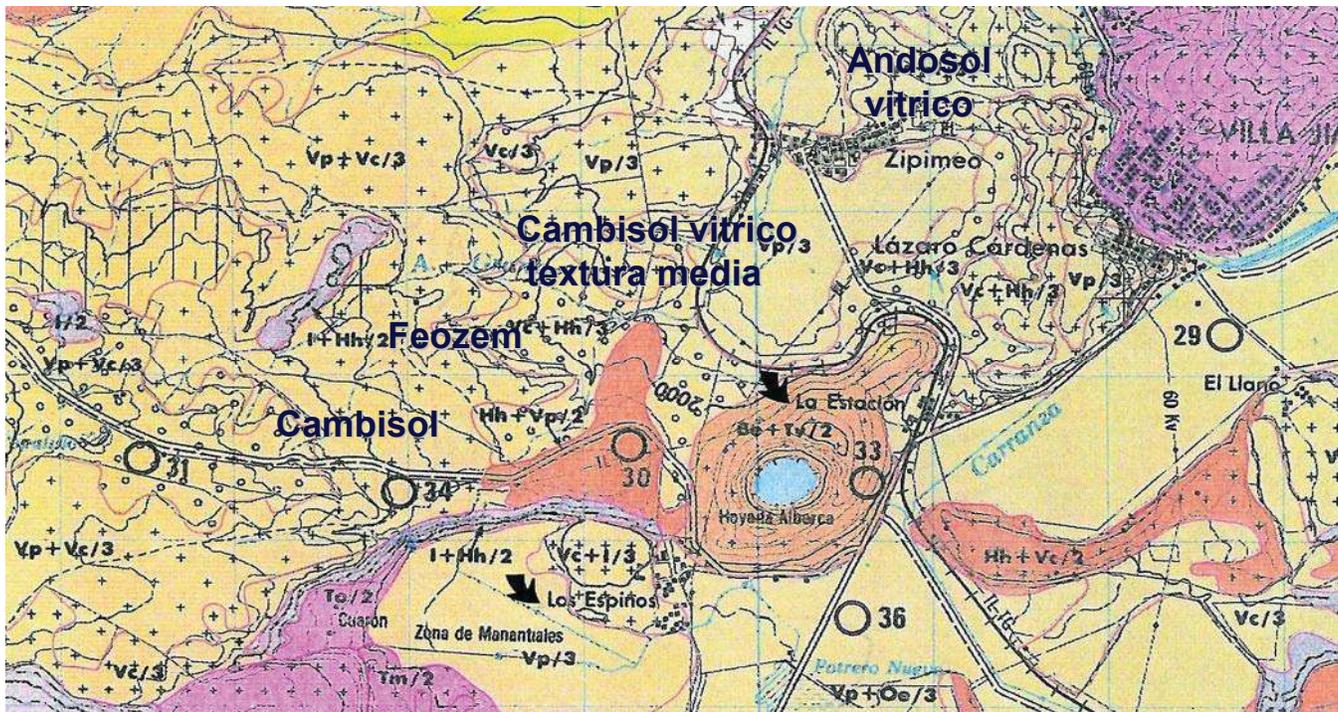


Figura 3. Suelos predominantes en la zona (INEGI, 1993 Cartas E14A11, Zacapu, Edafológica y Geológica)

El cono cinerítico está formado de rocas ígneas extrusivas, bajo éstas se presenta suelo formado por arcillas de alta plasticidad. A mayor profundidad se encuentra el estrato de roca; los suelos son de baja permeabilidad.

5.4 Clima

El clima en el municipio es templado sub-húmedo dentro de éste existen variantes, el más húmedo al sureste, el intermedio al noroeste y centro; el más seco de los sub-húmedos al noroeste. Se presentan lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal menor de 5 mm., intermedio en cuanto a humedad, se registran algunas heladas generalmente en invierno. En la región existe un rango de uno a nueve días con heladas para los meses de noviembre, febrero y marzo (CNA 2002). La temperatura media anual es de 16.8 °C y una precipitación pluvial promedio de 1,055.3 mm.

5.5. Hidrografía

El lago cráter Los Espinos corresponde a la Región Hidrológica No. 12, Lerma – Santiago particularmente en la cuenca del río Lerma – Chapala y en la subcuenca del río Angulo. El río Angulo se origina a 18.5 km al sur - suroeste de esta área, en este sistema se vierten las aguas residuales de las poblaciones de Zacapu, Naranja, Tiríndaro, Parejero y Bellas Fuentes.

En la hidrografía del municipio de Jiménez destacan los cuerpos de agua “Presa Gonzalo”, “Presa Aristeo Mercado”, “lago Ururuta” que se encuentran cercanos al área de estudio (a menos de 10.0 km), la lago de Zacapu, lago Copándaro, diversos manantiales, así como el lago cráter “Los Espinos”. También se identifica al río Pantera que se sitúa al noreste del área y fluye en dirección noroeste con una longitud de 16.0 km, convirtiéndose posteriormente en un afluente del río Angulo (**Figura 4**).



Figura 4. Carta Hidrológica aguas superficiales (INEGI, 1993 Cartas E14A11, Zacapu

El área vecina al cráter se caracteriza por la presencia de un complejo sistema de canales o drenes, entre los que se encuentran los denominados como Carranza, Carón, Naranja, Agua Blanca, El Chorro, Primavera, Hierbabuena, Pescadero, Ratas, Triángulo, Cuate, Las Colonias y Tepalcate. Las aguas de estos sistemas son conducidas a los ríos Angulo y Pantera. En el centro del área natural protegida se localiza el lago cráter Los Espinos. En la zona de estudio se cuenta con un coeficiente de escurrimiento del 10 al 20%.

En esta cuenca el patrón de drenaje no se encuentra integrado, los escurrimientos son canalizados o bien se infiltran en el terreno; no obstante se puede considerar con un drenaje radial centrípeto por lo que la mayoría de las corrientes convergen hacia depresiones lagores, algunas ocasiones se presenta un drenaje dendrítico indefinido y poco denso; el área de estudio se encuentra formando una unidad de material consolidado con permeabilidad baja, no obstante la carta geológica reporta para esta zona una alta permeabilidad.

5.6. Vegetación

En el municipio se observa una vegetación contrastante de galería, pradera y cultivos agrícolas, bosque mixto, además de cultivos de maíz, frijol, centeno, lenteja, garbanzo, sorgo y alfalfa, siendo de temporal y de riego.

En el interior del cráter se presenta al norte del interior del cráter así como en la orilla del cuerpo de agua la asociación de sauce (*Salix bonplandiana*), fresno (*Fraxinus udhei*), carrizalillo (*Lasiacis nigra*) y ahuehuete (*Taxodium mucronatum*). En el sur y suroeste existe el matorral subtropical en donde predominan los cedrillos (*Cedrela dugesii*), tepehuajes (*Lysiloma acapulcencis*), sauce (*Salix bonplandiana*), fresnos (*Fraxinus udhei*), leguminosas (*Acacia angustissima*) y algunos pastos (*Muhlenbergia sp.*).

Las especies de interés son el bosque de encinos que presenta una estructura de varios estratos particularmente al oriente del interior del cráter, que le confiere una riqueza de formas de vida equiparable con un bosque mesófilo (*Pistacia mexicana*, *Eupatorium mairetianum*); destacando la familia *Orquidaceae* con cuatro especies y las *Pteridofitas* también con cuatro especies.

La vegetación al interior del cráter se mantiene bien conservada, con excepción de las áreas que han sido modificadas para la construcción de senderos y paradores turísticos.

En cuanto a la vegetación acuática que existe en el sistema se identifican algas verde-azules, euglena y diatomeas incluyendo ***Fragilaria capuchina***, ***Synedra ulna***, ***Botryococcus braunii***, ***Cryptomonas ovata***, ***Navicula cryptocephala***, ***Roicosphenia curvata***, ***Nitzschia linearis***, ***N. palea*** y ***Occoneis placentula var. Lineata***.

La parte exterior del cono la vegetación ha sido alterada presentando en su mayoría vegetación secundaria siendo los más representativos los casahuates (***Ipomoea murucoides***), leguminosas (***Acacia spp***), nopales (***Opuntia*** sp.) y arbustos (***Tecoma stans***); de los pastizales se identifica el ***Rhynchechelytrum repens*** y ***Tajetes anisata*** sp., en algunos sitios se localizan agrupaciones de vegetación natural con manchones de encino (***Quercus***).

Alrededor del cráter se observan zona agrícolas y en otros sitios se aprecian bosques de galería con asociaciones sauces (***Salix bonplandiana***), ahuehuetes (***Taxodium mecronatum***) y fresnos (***Fraxinus uhdei***). En otros sitios existen plantaciones de eucalipto (***Eucalyptus resinifera***) y casuarina (***Casuarina*** sp). En la parte superior del cráter, hacia el sur y poniente existen pastos que son utilizados por ganado local.

El 95% de la vegetación original de la región ha sido destruida o transformada (Rzedowski, 1973).

Las especies de orquídeas dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001 (especies protegidas) se distribuyen en la parte interna del cráter y las cactáceas en la parte externa, sobretodo hacia el poniente y sur-poniente.

5.7. Fauna

La fauna del municipio está representada por coyote (***Canis latrans***), mapache (***Procyon lotor***), tejón (***meles meles***), zorrillo (***Mephitis, Mephitis***) y gallina de

monte (*Tinamus major*). Debido al alto grado de disturbio que existe en la zona de estudio, se observan pequeños roedores asociados a los cultivos incluyendo las tuzas de la familia (*Geomyidae*), tlacuaches (*Didelphys marsupialis*), jabalíes (*Pecarii tajacu*) y venados (*Odocoileus virginianus*) (UMSNH-SEDUE, 2000; SEDUE, 2001), estos últimos existieron en años anteriores y en la actualidad no se han registrado nuevas observaciones. Las aves en la zona incluyen huilotas (*Zenaida macroura*), correcaminos (*Geococcyx velox*) y gallaretas (*Fulica americana*). En los cantiles existen nidos de águila real (*Aquila chrisaetos*). Las aves acuáticas citadas para la región son el pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*) y café (*Pelecanus occidentalis*) varias especies de patos, cercetas café (*Anas cyanoptera*) y otras (UMSNH-SEDUE, 2000).

Durante las visitas de campo se observaron en el sitio o se tuvo conocimiento de las siguientes especies faunísticas tlacuache (*Didelphys virginiana*), ardilla (*Spermophilus variegatus*), zorrillo (*Conepatus mesoleucus*), tuza (*Pappogeomys sp*), colibrí (*Cinanthus latirostris*), centzontle (*Minus sp*), golondrinas (*Hirundo sp*), águila real (*Aquila chrisaetos*), cardenal (*Richmondia cardinalis*), halcón (*Falco sp*), lagartija (*Sceloporus sp*), tortuga de agua dulce (*Kinosternon hirtipes*), alicante (), rana (*rana sp*), insectos como abejas, hormigas, mariposas.

La fauna acuática incluye las especies introducidas *Cyprinus carpio* (carpa) y *Micropterus salmoides* (lobina negra). Dentro del lago cráter se reporta también a la fauna de invertebrados acuáticos incluyendo los géneros de *Litonotus*, *Paramecium*, *Euplotes*, *Trichocerca*, *Daphnia* y *Alonella*. Además de las especies de *Vorticella microstoma*, *Trichodina pediculus*, *Keratella cochlearis*, *Diaptomus alburquerqueensis*, *Brachionus angularis*, *Testudinella patina*, *Hexarthra mira* y *Hylella azteca*. Otros grupos de invertebrados acuáticos incluyen a los conocidos como “chapos” del género *Procambarus*, ostrácodos, la esponja de agua dulce de la familia *Spongillidae*, así como la presencia de anfípodos, odonatos del género *Enallagma*, hemípteros del género *Belostoma*, tricópteros del género *Cyphon* y dípteros de los géneros *Nanocladius* y *Parachironomus*, así como arácnidos del género *Hydracarina* (Tabla 1).

Orden	Género
Pleurostomotida	<i>Litonotus</i>
Peniculida	<i>Paramecium</i>
Euplotida	<i>Euplotes</i>
Sessilida	<i>Vorticella microstoma</i>
Mobilida	<i>Trichodina pediculus</i>
Ploima	<i>Keratella cochlearis</i>
Ploima	<i>Brachionus angularis</i>
Ploima	<i>Trichocerca</i>
Flosculariaceae	<i>Testudinella patina</i>
Flosculariaceae	<i>Hexathra mira</i>
Cladocera	<i>Daphnia</i>
Calanoida	<i>Diaptomus alburquerqueensis</i>
Cladocera	<i>Alonella dentrifira</i>
Haplosclerida	<i>Spongillidae</i>
Podocopida	<i>Cypraea sp</i>
Decapoda	<i>Procambarus</i>
Amphipoda	<i>Hyaella azteca</i>
Odonata	<i>Enallagma</i>
Heteroptera	<i>Belostoma</i>
Coleoptera	<i>Cyphon</i>
Díptera	<i>Nanocladius</i>
Díptera	<i>Parachironomus</i>
Trombidiformes	<i>Hydracarina</i>

Tabla 1.- Fauna de invertebrados acuáticos del lago cráter Alberca Los Espinos

5.8. Aspectos climáticos

5.8.1. Clima

Con la información obtenida de la estación (16057) ubicada al suroeste de la población de Villa Jiménez se determinó el tipo de clima regional el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1973) para las condiciones de la república mexicana, obteniendo para la zona de estudio un clima que se describe con la fórmula

$$(A)Ca(w_0)(w)ig$$

Lo anterior indica que es de tipo semicálido sub húmedo, con lluvias de verano y un invierno seco, un cociente de precipitación y temperatura (P/T) de 42.4, el porcentaje de precipitación invernal es menor de 5% (3.93%) con respecto al total de la precipitación anual, la temperatura media anual es mayor a los 18.0°C, con la presencia de un verano caliente y con poca oscilación térmica, es decir, entre 5 y 7°C, presenta una marcha anual de la temperatura tipo Ganges con el mes más cálido que es mayo antes del solsticio de verano.

En la carta climatológica de INEGI (2000) se identifica para la región un clima del tipo subhúmedo C(w₁) (w) con lluvias en verano.

5.8.2. Temperatura

Los registros meteorológicos disponibles en la estación (16057) ubicada al suroeste de la población de Villa Jiménez entre las coordenadas geográficas latitud 19°56' y longitud 101°45, reportan para un periodo de 20 años (1981-2002) una temperatura promedio de 18.4°C, registrando como la temperatura más fría 16.9°C y la más calurosa de 19.4°C Tabla 9.

Así mismo en la revisión de la carta de efectos climáticos para la región (Tabla 11), se tiene que en el periodo de mayo a octubre se presenta una temperatura media mensual promedio de 15.9 °C, mientras que para el periodo de noviembre a abril se reporta 16.3 °C.

TABLA 9. Registro mensual de temperatura media (°C).

PERÍODO	TEMPERATURA PROMEDIO	TEMPERATURA DEL AÑO MAS FRÍO	TEMPERATURA DEL AÑO MÁS CALUROSO
1981-2002	18.4	16.9	19.4

FUENTE: CNA (2002 inédito).

TABLA 10. Registro mensual de temperatura media (°C) estación de la población de Villa Jiménez

	PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PROMEDIO 20 AÑOS	1981-2002	14.8	16.1	18.1	20.1	21.4	21.1	19.2	19.5	18.9	18.2	17.2	16.2
AÑO MÁS FRÍO	1981	12.3	14.8	17.3	20.2	20.5	19.6	16.5	18.3	17.0	17.0	15.4	13.8
AÑO MÁS CALUROSO	1994	16.9	17.6	19.2	19.6	21.7	20.1	20.6	19.6	19.4	20.1	19.6	18.9

FUENTE: CNA (2002 inédito).

TABLA 11. Registro de temperatura media mensual en °C.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
AÑOS OBSERVADOS 55 AÑOS	21.0	20.1	18.7	18.7	18.4	17.4	15.8	14.3	14.2	15.7	17.9	20.0
MAYO-OCTUBRE	15.9											
NOVIEMBRE- ABRIL							16.3					

FUENTE: Carta de climas (INEGI, 1988).

5.8.3 Precipitación

En la región se presenta una precipitación promedio de 816.3mm en un periodo de observación de 29 años. El año más seco registró una precipitación de 487.5 mm en tanto que el más lluvioso fue de 1,055,3 mm (Tabla 12).

La estación meteorológica reporta los valores de precipitación mensual y anual promedio en milímetros para el área de estudio que se presentan en la Tabla 6, en tanto la carta de efectos climáticos para el periodo mayo-octubre reporta un rango de precipitación entre 625 y 800 mm, teniendo un número de días con lluvia de 90 a 119. Mientras que para el periodo de noviembre-abril se registró un rango de 50 a 75 mm.

5.8.4 Intemperismos severos

En la región existe un rango de 1 a 9 días con heladas en los meses de noviembre, febrero, marzo. En los meses de diciembre y enero se reportan más de 9 días con heladas (CNA, 2002).

5.9. Población

El área de influencia directa es la comunidad de Los Espinos con 518 habitantes ubicada al sureste del volcán “La Alberca de los Espinos”, así como la comunidad de Villa Jiménez con 4,400 habitantes y el ejido de Zipimeo con 862 habitantes, por lo que se estima que la población total del área de influencia es de 5, 780 habitantes (INEGI, 2000).

De la población total del área de influencia directa 2,683 son hombres y 3,097 son mujeres, la población a partir de los 15 años que saben leer y escribir es de 3,562, mientras que la población analfabeta es de 376 (INEGI, 2000)

5.10. Actividad económica

Dentro de las actividades económicas del municipio se encuentra la agricultura donde los productos principales de siembra son maíz, alfalfa, frijol, trigo, lenteja y

sorgo; la ganadería cuenta con la cría del ganado bovino, caprino, porcino, caballar y aves mediante pequeñas granjas rurales y corrales domésticos. También se cuenta con actividades como la industria con un molino de trigo, una fábrica de materiales de construcción de tabique y adoquín.

El turismo que se desarrolla en el municipio se orienta hacia los balnearios de aguas termales y frías incluyendo aquellos de Zimbanguaro y Huandacuca; además de los paisajes como La Alberca que es un cráter de agua fría; una zona arqueológica y además existe una cascada en el río Angulo y la presa Aristeo Mercado.

El comercio es otra de las actividades dentro del municipio y se cuenta con tiendas, farmacias, ferreterías, papelerías, tiendas de ropa, de muebles, calzado, alimentos, panaderías y materiales para construcción, entre otros servicios para los habitantes del municipio. Además se encuentran establecidos servicios de agencia de viajes, transporte urbano, foráneo, taxis, servicio de alimentación en fondas y restaurantes.

Otra de las actividades que se desarrollan con la caza y pesca que se efectúa en las comunidades en muy baja escala; la pesca se lleva a cabo en las presas y río Angulo, también en baja escala, por último el aprovechamiento forestal a nivel doméstico y la actividad minera también a nivel doméstico que se realizaba en un banco de materiales y que quedó suspendida por ser zona de reserva arqueológica.

5.11 Servicios e infraestructura

El municipio cuenta con los servicios de electricidad, agua potable, drenaje y teléfono. La carretera Zacapu- Panindícuaro cruza por el lado oriente del área protegida y la comunica con el poblado de Villa Jiménez y la autopista México-Guadalajara con dirección oeste. Al sur del área se localiza el camino asfaltado que comunica con Caurio de Guadalupe.

5.12. Usos del suelo dentro del ANP

Se tienen como propietarios de esta ANP a diez propietarios de régimen de pequeña propiedad y 82 ejidatarios. Correspondiendo un 71% de la extensión territorial a pequeña propiedad y 29% a propiedad ejidal.

El uso del suelo en los terrenos que comprende el ANP, al nivel general, está relacionado con ganadería extensiva y agricultura.

En el interior del cráter realizan actividades recreativas como son la caminata, colecta de plantas (leña, plantas medicinales, plantas comestibles y tierra). Se práctica la caza y pesca con caña o anzuelo y redes.

El exterior del cráter se utiliza para el pastoreo de ganado bovino y como vía de acceso a pie y con vehículos de doble tracción; también se realiza la recolección de subsistencia. Al poniente y norte del cráter existen parcelas agrícolas de temporal.

La ladera poniente y la ladera oriente han sido alteradas por la explotación de materiales pétreos desde el año de 1963, actividad que actualmente ha sido suspendida.

VI. MATERIAL Y MÉTODO

6.1 Delimitación del área de estudio

Para la delimitación geográfica del área de estudio se utilizó la carta topográfica de Zacapu (E14A11), donde se considera la superficie decretada y publicada en el Periódico Oficial con fecha 14 de marzo de 2003, como área natural protegida con carácter de zona sujeta a preservación ecológica. El decreto incluye una superficie de 142-12-31.25 ha, teniendo como base el plano elaborado por la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) del Gobierno del Estado de Michoacán.

Se realizó una salida para el reconocimiento del área, así como la verificación de campo de aquellos puntos de referencia para la ubicación geográfica de la cuenca del lago cráter Los Espinos. Una vez identificada la micro cuenca se realizó un reconocimiento de las principales características morfológicas de la cuenca e identificación de la presencia de manantiales cercanos.

Posteriormente, se realizaron seis salidas de campo donde se realizaron registros de elementos geográficos, variables físicas y química del agua del lago cráter la Alberca Los Espinos.

6.2 Topografía del cráter y del cono volcánico

6.2.1. Plano topográfico

Se elaboró un plano topográfico integrando curvas de nivel a cada 20.0 m de elevación tanto en el exterior del cono como en el interior del mismo. Para ello, se consideró como información de base las referencias de la carta topográfica de Zacapu (E14A11) y el plano elaborado por la entonces SEDUE para el área decretada como Área Natural Protegida. El levantamiento topográfico se realizó utilizando una estación total marca "Leica" modelo TC 705. Se realizaron levantamientos geodésicos tanto horizontales como verticales obtenidos en campo mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

6.3. Morfometría

6.3.1. Mapa de campo

Se elaboró un mapa actualizado del vaso lacustre en una escala 1:2,000 a partir de diferentes fuentes cartográficas. El mapa general se trazó a partir del mapa del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, E14A11) en escala 1:50,000 y fue corregido utilizando una ortofoto digital (E14A11C), fotografías aéreas escala 1:75,000 de fecha del mes de marzo de 1995 con una proyección cartográfica del sistema Universal Transversa de Mercator (ZONA UTM 14), (DATUM: ITRF92 , ELIPSOIDE: GRS 80, Columnas: 5999, Renglones: 7100, dimensiones del pixel X, Y: 2 metros verificadas en campo.

6.3.2. Trabajo de campo

Se realizó un reconocimiento con el objeto de identificar puntos de referencia y obstáculos potenciales para la navegación. A partir de este reconocimiento de campo se diseñó un programa de ecosondeo que consistió en el recorrido de ocho transectos, los cuales se tomaron en líneas paralelas a la longitud máxima y otros en la intersección en ángulo recto. De la misma manera, se realizaron recorridos en espiral para obtener una mayor cobertura del lago.

Para el estudio batimétrico se utilizó una ecosonda graficadora marca “Furuno” modelo FE-808 equipada con un transductor de 200 kHz. Así como una ecosonda digital equipada con un geoposicionador satelital marca “Garmin” modelo Map 235. Los transectos fueron trazados previamente en mapas de campo y ubicados físicamente empleando para ello un geoposicionador marca “Garmin” V Plus. Los puntos de inicio y término de los transectos se localizaron por medio de lecturas de geoposicionamiento.

6.3.3. Mapa batimétrico

La construcción del mapa batimétrico y la determinación de los parámetros morfométricos fueron evaluados siguiendo los criterios propuestos por Håkanson (1981).

La información registrada de campo se evaluó con un sistema de información geográfica (SIG). De la misma manera, se integró la información geodésica que genera el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y que fue empleada también como elemento necesario para la interpretación geográfica.

Así, con el equipo de computo que incluyó una computadora, impresoras y digitalizadora; además de los programas de procesamiento específicos incluyendo "Arc View Gis" versión 3.3, "Carta Linx the spatial data builder" versión 1.2, "Idrisi32 Release two" versión 132.21 y "AutoCad 2006" versión 2.54.10 fueron utilizados para capturar, organizar, visualizar, actualizar y analizar los diferentes datos que comparten el espacio geográfico, transformándolos en información integrada y aplicando modelos para su interpretación.

Con esta información fue posible determinar la forma y dimensiones del espacio físico, unificando al mismo tiempo los levantamientos geodésicos tanto horizontales como verticales realizados en campo mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con el objeto de no degradar la calidad de los levantamientos realizados.

6.4. Hidrodinámica

6.4.1. Registros de viento

Para identificar la incidencia de los vientos dominantes a lo largo del año se realizó una revisión de los registros meteorológicos disponibles en la estación (16057) ubicada al suroeste de la población de Villa Jiménez entre las coordenadas geográficas latitud 19°56' y longitud 101°45'; con una elevación 1250.0 msnm. Con la información obtenida se determinó el tipo de clima regional y la frecuencia mensual incluyendo dirección y velocidad del viento.

6.4.2. Corrientes de agua

Se utilizaron veletas de corriente con dimensiones de 40 x 40 centímetros elaboradas de metal y equipadas con un flotador de ubicación al nivel de la

superficie. Estas veletas fueron rastreadas a distancia por medio de una embarcación de remo. Después de un tiempo no menor a una hora las veletas fueron ubicadas mediante el empleo de un sistema GPS.

La dirección en grados y velocidad del viento se registró con un anemómetro de campo. Los tiempos inicial y final para cada se registraron con un cronómetro.

Los transectos de las veletas se trazaron en un mapa de escala (1:2,000), posteriormente se estimaron las distancias cubiertas por las veletas de corriente para cada transecto seleccionado, incluyendo la dirección y velocidad de corriente.

Las corrientes fueron estimadas al nivel de superficie, a 0.60 m, 10.0 m y a 20.0 m de profundidad, previa estimación de la profundidad promedio y análisis de la batimetría del lago cráter Alberca Los Espinos.

6.5. Óptica

6.5.1. Estaciones de muestreo

Se establecieron tres estaciones de muestreo en el lago cráter Alberca Los Espinos. Éstas se ubicaron mediante el empleo del geoposicionador, la primera en la zona más profunda, la segunda al centro y la tercera al oriente a una distancia equidistante de éstas.

6.5.2. Registro de luz

Se realizó una serie de registros de luz obtenidos con lecturas a diferentes profundidades en cada una de las estaciones de muestreo. Para disminuir la interferencia de condiciones atmosféricas incidentales, no se realizaron registros bajo condiciones de viento fuerte, oleaje o nubosidad (Chacón, 1993).

Los valores de irradianza se obtuvieron empleando un irradiámetro (kahlisco Underwater Irradiometer No. 268WD305. Dichos valores se obtuvieron inmediatamente debajo de la superficie del agua ya a intervalos hasta 1 metro antes de llegar al fondo.

El coeficiente de atenuación de luz vertical (K_d), se obtuvo usando la relación por Beer-Lambert y propuesta por Kirk (1993)

$$\ln E_d(z) = -K_d z + \ln E_d(0)$$

Donde :

$E_d(z)$, $E_d(0)$ = valores de irradianza a una profundidad z (m) y aquella medida inmediatamente debajo de la superficie del agua respectivamente mW/cm^2

K_d = Coeficiente de atenuación vertical obtenida por regresión lineal de $\ln E_d(z)$ con respecto a la profundidad (m).

Las lecturas de transmitancia se registraron inmediatamente debajo de la superficie del agua, a 0.2, 0.5 m y a cada metro de profundidad hasta alcanzar una profundidad en donde el porcentaje de transmitancia fue menor al 1.0%. La transmitancia de luz se registró empleando un transmisor digital marca "Kahlsico" modelo Digital in-situ transmittance meter No. 269WD170, calibrado a 0.40 m de distancia máxima entre la lámpara emisora de luz y la fotocelda de recepción. El sistema fue suspendido en agua clara antes de utilizarlo en el lago cráter y los controles fueron ajustados hasta que la transmitancia fuera del 100% (Chacón, 1993).

El coeficiente de atenuación horizontal de luz (c) se estimó de acuerdo a Jerlov (1976), utilizando la ecuación:

$$c = \frac{[-\ln(1-C)]}{r}$$

Donde:

c = coeficiente de atenuación horizontal de luz (m)

C = atenuancia, $1-c=T$ (transmitancia de luz la cual es proporcionada por el transmisor).

r = distancia entre la lámpara y la fotocelda (m) calibrada a 0.4m

Para determinar la visibilidad del agua se tomaron lecturas del disco de Secchi (Z_{sd}); que es un disco blanco de 20 cm de diámetro para el caso de lagos, con sectores de color negro cuyo diámetro es el suficiente para que no se vea bajo un ángulo demasiado pequeño antes de desaparecer, la visibilidad del agua se expresa

como la profundidad de visión del disco de Secchi , este se deja descender en el agua pendiente de una cuerda registrando la profundidad a la que dejó de verse, lo cual es indicativo de la desaparición entre el contraste entre la luz difusa que envía el agua y la misma sumada a un rayo de luz paralela, atenuada a través de un espesor de agua entre una y dos veces la profundidad a la que se encuentra el disco, según sea la cantidad de luz difusa que interviene en el retorno.

Para minimizar los errores de muestreo, las observaciones de luz se efectuaron del lado soleado de la embarcación y las lecturas se realizaron en un rango de tiempo de dos horas antes y después del medio día (10:00 – 14:00 h) (Chacón, 1993).

El disco de Secchi se ha utilizado como medida directa de la visibilidad del lago Carlson (1977) mencionó que la visibilidad del disco de Secchi es inversamente proporcional a la absorción de la luz por el agua y sus sustancias disueltas y la concentración de partículas. Por lo tanto, existe una relación entre la profundidad a la que el disco desaparece y el coeficiente de atenuación vertical de luz (***K_d***) (Carlson 1977 y Lorenzen 1980), dicha relación se expresa como:

$$Z_{sd} = \frac{R}{K_d}$$

En donde:

Z_{sd} = profundidad del disco de Secchi

R = constante de un intervalo de 1.44 a 1.70 (Holmes, 1970 y Walter, 1982)

Con esta relación se determinó la zona eufótica encontrando el punto de compensación, que equivale a la profundidad que penetra el 1% de luz, obtenida por regresión lineal a partir de la profundidad y el logaritmo natural de la cantidad de luz a diferentes profundidades por medio de la ecuación

$$E_u = \frac{\ln(100)}{k_d}$$

En donde:

K_d = coeficiente de atenuación vertical de luz

Preisendorfer (1986) y Tyler (1968) determinan la relación existente entre la profundidad del disco de Secchi y los parámetros ópticos del agua esta dada por:

$$SD = \frac{A}{(c + kd)}$$

En donde:

A = Absorbancia corregida

Kd = coeficiente de atenuación vertical de luz

c = coeficiente de atenuación horizontal de luz (m)

La suma de los coeficientes de atenuación vertical y horizontal ha sido empleada como valor de la claridad del agua con la profundidad del disco de Secchi, la atenuación horizontal esta estrechamente relacionado con la atenuación horizontal, la cual es muy sensible a la dispersión de los rayos por las partículas presentes en al agua (Preisendorfer, 1986), la zona eufotica ha sido considerada como una función de la atenuación vertical de la luz, la cual depende también de la absorción y de la dispersión, esta con menor efecto en la atenuación vertical que en la horizontal (Tilzer, 1968).

6.6. Muestreo de agua

Se colectaron muestras de agua a tres profundidades en tres estaciones de muestreo, la primera en la superficie, la segunda a media profundidad y la tercera a 10.0 cm antes del fondo del vaso lacustre. El muestreo se realizó mediante el empleo de una botella tipo Van-Dorn con capacidad de 2.0 litros. Así mismo, se colectaron muestras de sedimento con una draga tipo Ekman en tres estaciones del cuerpo de agua y se transportaron al laboratorio para su análisis.

Las muestras se colocaron en contenedores de plástico previamente tratados con una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 5% y enjuagados con agua destilada, estos fueron etiquetados y se transportaron en frío , así mismo los sedimentos en bolsas de plástico selladas y etiquetadas al laboratorio de Limnología del Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA-UMSNH) para su análisis.

6.7. Registros de campo

De manera simultánea, en el campo se realizaron lecturas de temperatura con un termómetro de mercurio y un termistor marca “Conductronic” modelo PC18, oxígeno disuelto con un medidor marca “Yellow Springs Inc” modelo 51-B equipado con termistor. El registro se realizó en intervalos de cada metro de profundidad. De la misma manera, se obtuvieron lecturas de potencial de Hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica empleando un medidor marca “Conductronic” modelo PC18 equipado con una celda de conductividad, un electrodo de pH y un termistor integrado. La conductividad eléctrica de una solución depende de la concentración total de la sustancia ionizada, de su naturaleza y de la temperatura. Por lo tanto, la conductancia específica fue expresada en microsiemens/cm.

6.8. Análisis de laboratorio

6.8.1. Características fisicoquímicas del agua

Para la evaluación de las características físicas y químicas del agua, se efectuaron determinaciones de la concentración de alcalinidad, dureza total, de calcio y magnesio, sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos sedimentables. Estas determinaciones se realizaron para todas las estaciones de muestreo.

La alcalinidad (ALK) se determinó mediante la técnica titrimétrica usando 100 mL de muestra con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.02 N como solución titulante y como indicadores fenoftaleína y verde de bromocresol (APHA, 1995);

Cálculo:

$$\frac{mgCaCO_3}{L} = AX10$$

A=Titulación de fenolftaleína

La dureza es una característica química del agua que se encuentra determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio.

Para la estimación de dureza total se tomaron muestras de 25 mL diluidas con 50 mL con agua destilada, se agregó una solución amortiguadora elevando el potencial de Hidrógeno a 10.0 ó 10.1, se agregó 0.1 g del indicador Ericromo negro T, empleando la técnica titrimétrica, usando solución sal Disódica de Etilen Diamino Tetra Acético (EDTA). La estimación de la concentración se realizó aplicando la fórmula:

Dureza total (mg CaCO₃L⁻¹)=

$$mgCaCO_3L^{-1} = Ax40 \quad \text{ó} \quad mgCaCO_3L^{-1} = \frac{(AXBX1000)}{mL \text{ de muestra}}$$

Donde:

A= mL de EDTA

B= mg CaCO₃ equivalente a 1 mL EDTA (0.4008)

La interpretación de la conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA72-1981 se establece en la tabla 2.

Para el análisis de la dureza por calcio se utilizaron muestras de 50.0 mL, se agregaron 1.2 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 1N, hasta ajustar el potencial de Hidrógeno (pH) en un intervalo de 13-14. Posteriormente se agregaron 0.02g del indicador murexida, con la técnica titrimétrica y su posterior titulación con solución valorada de la sal Disódica de Etilen Diamino Tetra Acético (EDTA), (APHA, 1995). Para determinar la concentración se aplicó la fórmula:

Concentración de dureza cálcica (mg Ca/L)=

$$mgCa / L = \frac{AXBX400.8}{mL \text{ de muestra}}$$

Donde:

A= mL de titulación

B= mg CaCO₃=1 mL EDTA

Dureza total (CaCO ₃)	
mg/L	Interpretación
0-75	agua suave
75-150	agua poco dura
150-300	agua dura
>300	agua muy dura

Tabla 2. Interpretación de la dureza de calcio (CaCO₃)

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-AA72-1981

Para la estimación de la dureza de magnesio se utilizó la técnica de cálculo indirecto, estimando previamente la concentración de dureza total y aquella debida al Calcio (Ca). Posteriormente se estimó la concentración de magnesio expresada en miliequivalentes de dureza por litro es calculado desde mg de dureza l^{-1} , así los mili Equivalentes de Ca^{+2} son sustraídos de estos y multiplicados por equivalente del peso de magnesio (Rainwater y Thatcher, 1960), aplicando la fórmula:

$$mEq \text{ dureza } L^{-1} = mg \text{ dureza } L^{-1} \times 0.01998$$

$$mEq \text{ } Ca^{+2} L^{-1} = mg \text{ } Ca^{+2} L^{-1} \times 0.0499$$

$$mg \text{ } Mg^{+2} l^{-1} = 12.16 \times (mEq \text{ dureza } L^{-1} - mEq \text{ } Ca^{+2} L^{-1})$$

La concentración de sólidos suspendidos totales (**SS**) se estimó por la técnica gravimétrica. Para su determinación las muestras de agua se filtraron por vacío a través de una membrana de fibra de vidrio de peso constante con un diámetro de poro de 0.45 μm . Se secaron a 105°C y se registró su peso en una balanza analítica hasta alcanzar una lectura de 0.01 mg de precisión (Strickland y Parsons, 1972).

La concentración de sólidos totales disueltos se estimó mediante sustracción de sólidos suspendidos (**SS**) a partir de la determinación de sólidos totales (**TS**) (Chacón, 1993).

La concentración de sólidos sedimentables (**SED**), se realizó mediante la técnica volumétrica de acuerdo con la propiedad de densidad que tienen los sólidos de sedimentarse utilizando para ello el cono de sedimentación tipo Imhoff (APHA, 1995).

Se realizaron análisis colorimétricos empleando un espectrofotómetro marca “Perkin Elmer” modelo Lambda 10UV/Vis para determinar la concentración de fósforo total, ortofosfatos, nitritos, nitratos, amonio y clorofila-a.

Para la determinar la concentración de nitritos se tomaron las lecturas de muestras a 543 nm de longitud de onda utilizando una curva de calibración del amplitud de 0.01 a 1.0 mg/L (Error Residual: 0.017786 y Coeficiente de Correlación: 0.999857)

expresando la concentración en unidades de mg NO₂-N/L (APHA, 1995) utilizando la técnica colorimétrica de la Sulfanilamida. (Figura 6),

Se estimó la concentración de nitrato a una longitud de onda de 425 nm mediante una curva de calibración de amplitud de 0.02 – 10 mg NO₃-N /L (Error Residual: 0.021488 y Coeficiente de Correlación: 0.992882), utilizando la técnica colorimétrica de la brucina (Figura 7).

La concentración de fósforo total se estimó a una longitud de onda de 880 nm mediante la técnica del fosfomolibdato (Murphy y Riley, 1962), agregando inicialmente a la muestra de agua un digestor de persulfato de potasio (K₂S₂O₈). Posteriormente se colocó la muestra en una autoclave a 15 psi (1 kg/cm²) de presión. La curva de calibración empleada fue de 10 – 500 µg/L (Error Residual: 0.001336, Coeficiente de Correlación: 0.999941) (APHA, 1995) (Figura 8).

La concentración de fosfato reactivo soluble u ortofosfato se estimó mediante la técnica del ácido ascórbico con una lectura a 880 nm empleando una curva de calibración de 10 – 1000 µg/L (Error Residual: 0.006709, Coeficiente de Correlación: 0.999397) (APHA, 1995) (Figura 9).

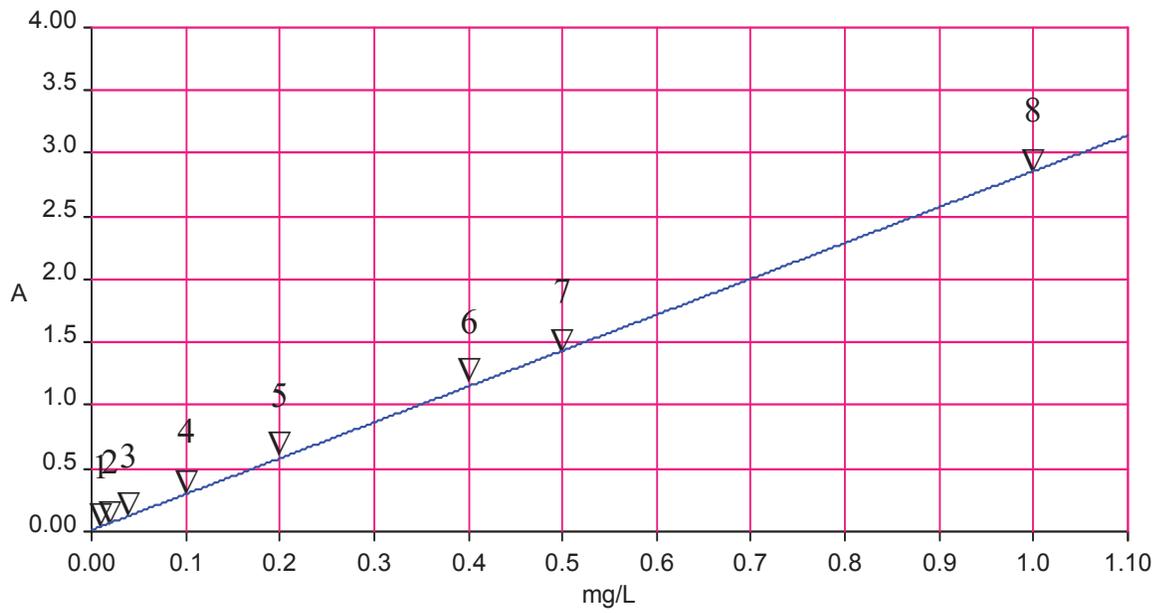


Figura 6. Curva de calibración para estimar la concentración de nitritos

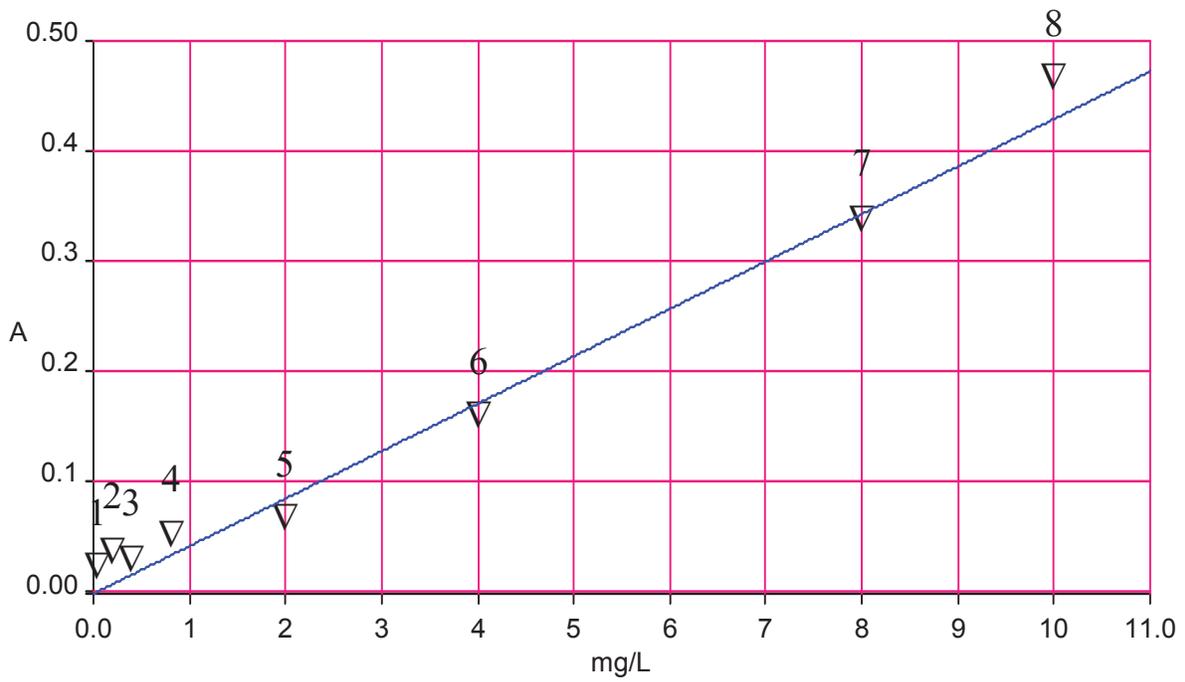


Figura 7. Curva de calibración para estimar la concentración de nitratos

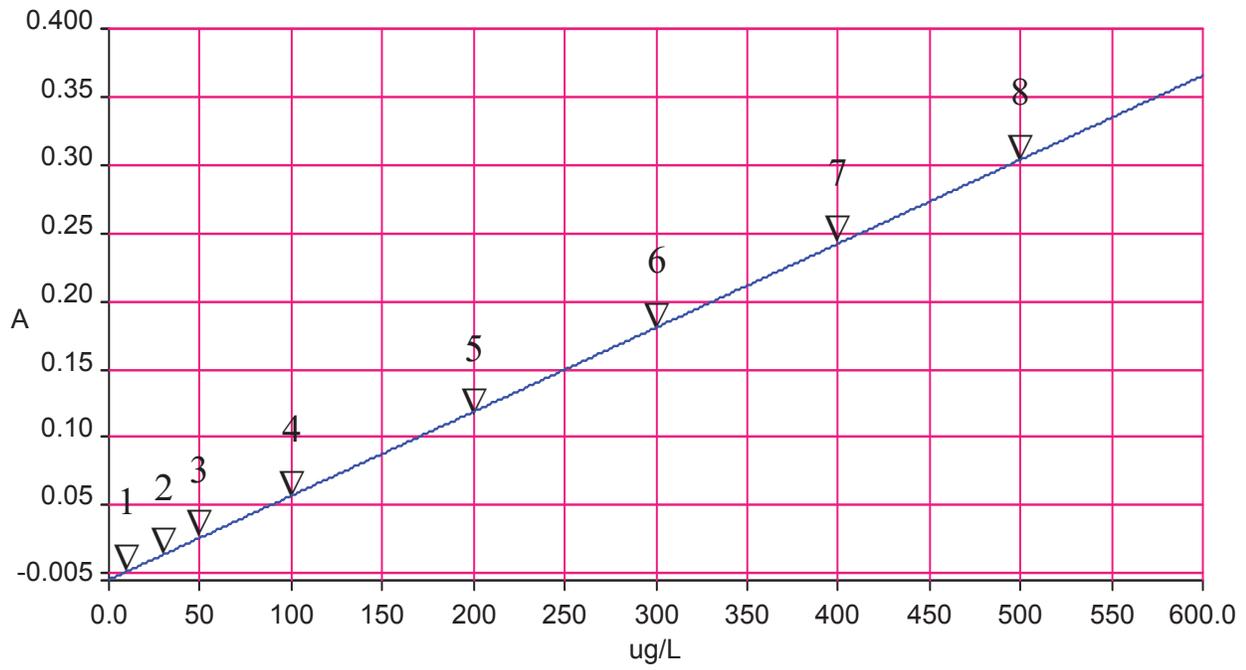


Figura 8. Curva de calibración para estimar la concentración de fósforo total

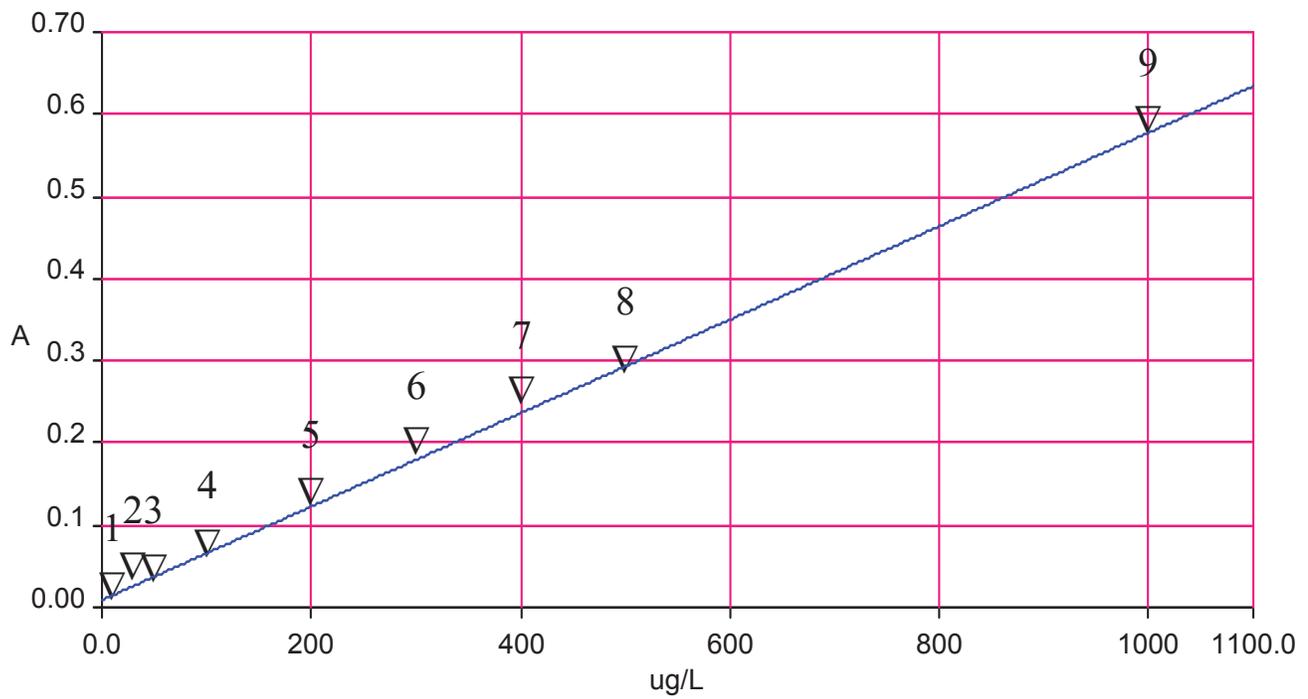


Figura 9. Curva de calibración para estimar la concentración de fósforo reactivo soluble u ortofosfato.

La concentración de pigmentos fotosintéticos (**Chl-a**) se determinó mediante la filtración de un volumen conocido de muestra de agua (0.25 a 1.0 L) a través de un filtro de fibra de vidrio de 0.45 μm de apertura de malla. Los pigmentos se extrajeron en una solución de acetona-alcalinizada al 90%. Posteriormente se registró su lectura de absorbancia en un espectrofotómetro “Perkin-Elmer” a 750, 665, 645 y 630 nm (Lind, 1985). La absorbancia de 750 nm fue sustraída de aquella lectura tomada a 650 nm para corregir las interferencias ocasionadas por turbidez inorgánica. Para la estimar la concentración se aplicaron las fórmulas:

$$\text{Clorofila a en la muestra} = 11.6 (\text{abs. 665}) - 1.31 (\text{abs.645}) - 0.14(\text{abs.630})$$

$$\text{Clorofila b en la muestra} = 20.7 (\text{abs. 645}) - 4.33 (\text{abs.665}) - 4.42(\text{abs.630})$$

$$\text{Clorofila c en la muestra} = 55.0 (\text{abs. 630}) - 4.64 (\text{abs.665}) - 16.3(\text{abs.645})$$

$$\text{Pigmentos } \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = \frac{\sum \text{Clorofila}}{\text{litros filtrados}}$$

Se realizaron determinaciones de productividad primaria, mediante la variación en la concentración de oxígeno disuelto por unidad de volumen, utilizando la técnica de la botella clara y oscura (Figura 10) (Vollenweider, 1969). Las incubaciones se efectuaron con dos réplicas por sitio, a la profundidad donde se estimó la zona eufótica, por un periodo de ocho horas. Las determinaciones de oxígeno disuelto fueron *in situ* mediante la técnica de Winkler modificada al azida de sodio.

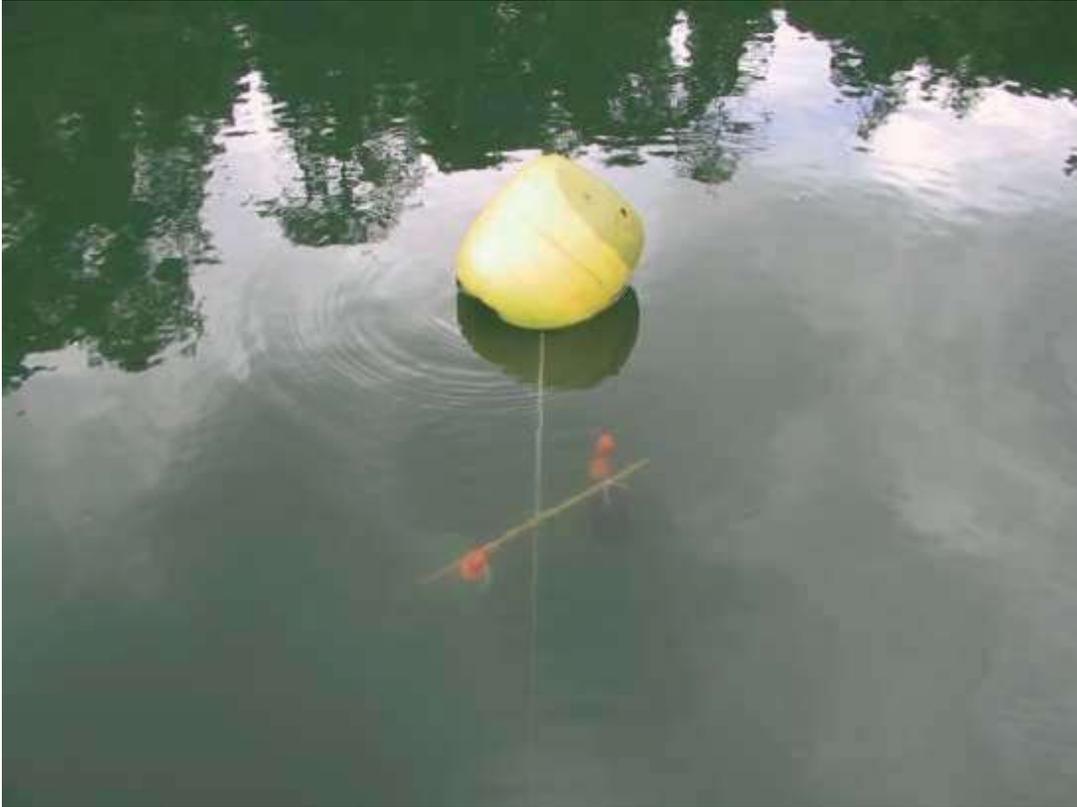


Figura 10. Productividad primaria técnica botella clara oscura.

Para estimar la productividad primaria se aplicaron las fórmulas:

$$\text{Respiración del fitoplancton (mgO}_2\text{ / hora)} = \left(\frac{I - D}{24} \right)$$

$$\text{Fotosíntesis (mgO}_2\text{ / hora)} = \left(\frac{L - I}{24} \right)$$

$$\text{Productividad primaria (mgO}_2\text{ / hora)} = \text{Fotosíntesis} + \text{Respiración}$$

Donde :

I= Botella inicial

D= Botella oscura

L= Botella Clara

Los resultados se expresaron primeramente en mgC/m², posteriormente se convirtieron en unidades de mgO₂/m³ multiplicando por 1000. Finalmente se realizó la integración de todas las profundidades y el resultado de la sumatoria se multiplicó por 0.53 para obtener la productividad primaria final (Lind, 1985).

6.8.2 Sedimentos

En cada estación se tomaron muestras de sedimento mediante el uso de una draga de muestreo tipo Eckman de 2.0 kg de capacidad. Las muestras colectadas se almacenaron en bolsas de plástico, fueron transportadas en frío al laboratorio y se procedió al análisis de textura y materia orgánica.

6.8.2.1 Análisis de textura

El análisis de textura se realizó con el método del hidrómetro de Bouyucos siguiendo lo propuesto por Black C.A. *et al* (1965). Una muestra de 50.0 g se colocó en un matraz de 500 mL, se agregaron 25 mL de solución de hexametáfosfato de sodio y agua a 300 mL. Posteriormente se sometió a un proceso de agitación en una batidora (Oster modelo 420) durante un periodo de 10 minutos. El contenido del mezclado fue vaciado a una probeta de un litro y se agregó agua hasta aforar a un litro. El mezclado fue agitado por espacio de un minuto. Finalmente, se tomaron lecturas a los 60 segundos y a las dos horas con un hidrómetro de Bouyucos. Las fracciones se determinaron con las siguientes formulas:

$$\% \text{ Limo y arcillas} = \frac{\text{lectura a los 60 segundos}}{\text{gramos de muestra en seco}} \times 100$$

$$\% \text{ de arcillas} = \frac{\text{lectura a las 2 horas}}{\text{gramos de muestra en seco}} \times 100$$

$$\% \text{ de arena} = 100 - (\% \text{ Limo y arcilla})$$

Para la realización de la clasificación textural se expresan por los nombres de las clases que se encuentran en el Triángulo de texturas. Los nombres de las clases de suelos básicamente consisten en los términos: *arena*, *limo*, *arcilla* y *migajón o franco*, usados ya sea como nombres o adjetivos o ambos. Los términos texturales se definen de una manera gráfica en un diagrama triangular que representa los valores de las tres fracciones. (Figura 10).

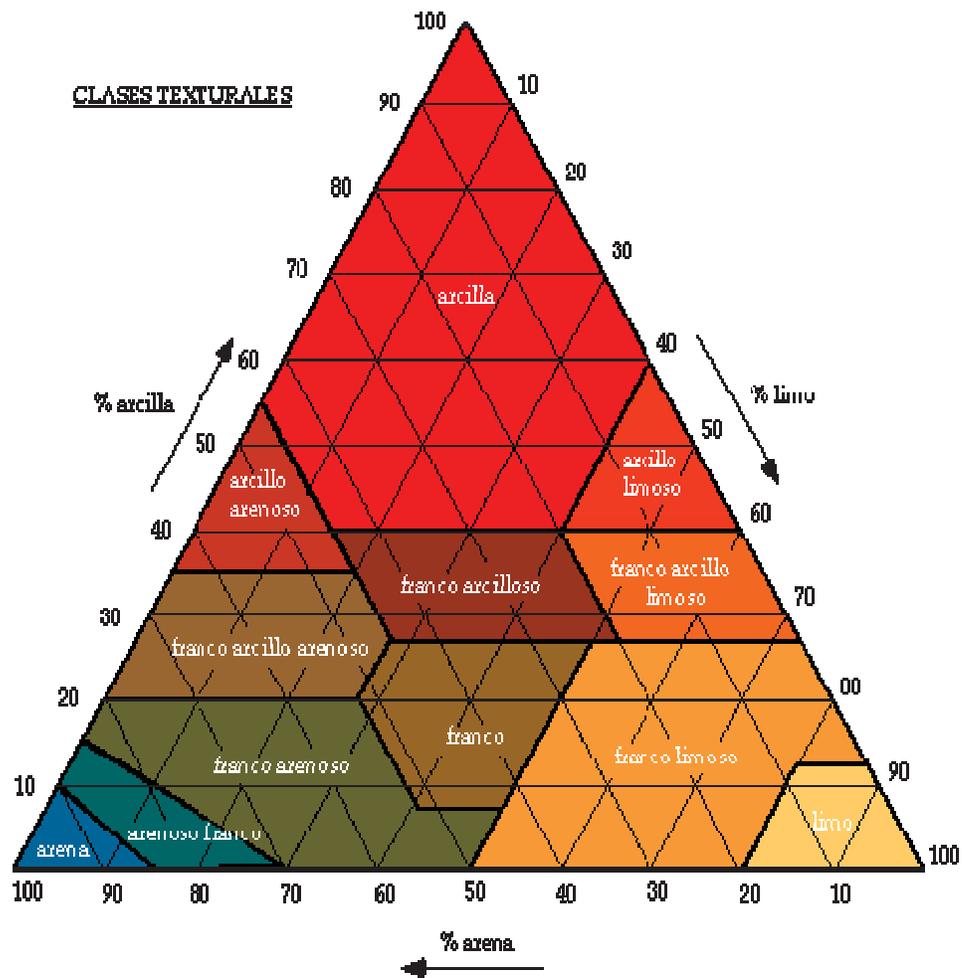


Figura 10. Triángulo de texturas para la determinación de clases texturales

6.8.2.2 Contenido de materia orgánica en el sedimento

La concentración de materia orgánica fue determinada por método de vía húmeda de Walkey y Black (1934), en un matraz de 250 ó 500 mL, se coloca 0.2 ó 0.5 g de muestra a la vez se estableció un matraz blanco sin muestra, se agregó 5ml de dicromato de potasio 1N ($K_2Cr_2O_7$), posteriormente se adicionó 10 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, se agitó por un minuto y reposo por 30 minutos. Después introducir 100 mL de agua destilada y de 5 a 10 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4), con 5 gotas de indicador de difenilamina 0.025 m, titulando con sulfato ferroso ($FeSO_4$), al 0.5 N. hasta virar a verde esmeralda, determinando el porcentaje del carbono orgánico mediante la fórmula:

$$\% \text{ de carbono orgánico} = \frac{(5 \text{ ml de } FeSO_4 \times N_{\text{real}}) \times 0.687 \times F_c}{\text{gramos de muestra}}$$

Donde:

N_{real} = 10x 0.5/ mL de sulfato ferroso ($FeSO_4$), utilizados en blanco

F_c (Factor de corrección) = mL teóricos / mL reales de sulfato ferroso ($FeSO_4$) gastados en el blanco.

La cantidad de materia orgánica conforme a la NOM-021-RECT-2000 en suelos de origen volcánico y de origen distinto, se establece en la Tabla 3.

Tabla 2. Cantidad de materia orgánica

Clase	Materia Orgánica (%)	
	suelos volcánicos	suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 – 6.0	0.6 – 1.5
Medio	6.1 – 10.9	1.6 – 3.5
Alto	11.0 – 16.0	3.6 – 6.0
Muy Alto	> 16.1	> 6.0

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECT-2000

6.8.2.3. Tratamiento estadístico

La información obtenida en campo y laboratorio se expresó inicialmente en formato tabular. Posteriormente, se aplicaron técnicas de análisis estadístico descriptivo, incluyendo la obtención de promedios, desviación estándar y coeficiente de variación. En aquellas variables con afinidad se aplicaron análisis de correlación y regresión estadística para evaluar su grado de asociación y predicción. Finalmente, se aplicaron técnicas de análisis multivariado en donde fue necesario identificar aquellas variables que generaron la mayor variabilidad.

VII. RESULTADOS

7.1 Topografía del cráter y del cono volcánico

Las características más importantes del cráter Los Espinos se presentan en la Tabla 4, incluyendo la superficie que corresponde al Área Natural Protegida, así como algunos valores de altitud y pendiente. El Área Natural Protegida presenta una superficie de 142.12 ha, en la cual se ubica un cráter extinto de una superficie de 35.12 ha que representa un 25 % del área total. El sistema lacustre que se encuentra en su interior tiene una superficie de 8.08 ha.

En la Figura 11 se ilustra la topografía del cráter Los Espinos con curvas de nivel trazadas a cada 20.0 m. Para el área del lago cráter Los Espinos en el municipio de Jiménez, Michoacán se utilizó la ortofotografía E14A11C, fotografía aérea escala 1:75,000 del mes de marzo de 1995 con una proyección cartográfica del sistema Universal Transversa de Mercator (ZONA UTM 14), (DATUM: ITRF92, ELIPSOIDE: GRS 80, Columnas: 5999, Renglones: 7100, dimensiones del pixel X, Y: 2). Con este elemento y la aplicación de sistemas de información geográfica se obtuvo la georeferencia del volcán en la zona UTM14 con coordenadas Mínima X 0209984.98, Máxima X 0210356.45, Mínima Y 2203394.5 y Máxima Y 2203704.75 (Tabla 4).

Para el lago cráter también ubicado en la zona UTM 14 se obtuvieron las siguientes coordenadas en proyección UTM, Mínima X 0209824.00, Máxima X 0210536.00, Mínima Y 2203244.00 y Máxima Y 2203918.00; siendo éstos los valores extremos para la ubicación geográfica del área de estudio (Tabla 4).

De la Tabla 4 se observa que el volcán representa un 25% de la superficie total destinada al área natural protegida mientras que el lago representa un 6.19%. Las pendientes son abruptas con un intervalo de valores de 50 a 60% (Tabla 4). Esto contribuye al escurrimiento dinámico del agua de lluvia y su rápida incorporación a las zonas más bajas. La altitud del lago cráter Los Espinos es de 2,160 msnm (Tabla 4). La diferencia en la altitud entre el labio superior del volcán y la superficie del lago es de 178.0 m en una distancia horizontal de 158.20 metros, lo que es equivalente a una pendiente promedio de 63%. En la parte exterior del cráter la pendiente entre la parte superior y la base del cráter es de 50%.

Tabla 4. Principales características morfológicas del cráter Los Espinos.

Concepto	Valor
Área natural protegida (ANP)	142.12 ha
Coordenadas del cráter	Mín X 0209984.98, Máx X 0210356.45
	Mín Y 2203394.50, Máx Y 2203704.75
Coordenadas del lago	Mín X 0209824.00, Máx X 0210536.00
	Mín Y 2203244.00, Máx Y 2203918.00
Área del cráter	35.12 ha
Pendiente exterior del cráter	50%
Pendiente interior del cráter	63%
Altitud labio superior	2,160 msnm
Altitud lago	1,977.68 msnm

7.2. Batimetría

A partir del mapa batimétrico se determinaron directamente parámetros morfométricos como profundidad máxima, longitud máxima y amplitud máxima (Cole, 1975, Wetzel, 1981).

En la Figura 12 se presenta el mapa batimétrico derivado del análisis de los transectos de ecosondeo realizado en campo. En el mapa se indican las diferencias de profundidad que son representadas por isolíneas o contornos, que son líneas que conectan puntos de valor similar. Las líneas de igual profundidad se conocen también como isobatas (Burrough, 1993). Con base a la profundidad máxima estimada en 31.5 m la cual se ubica al sureste del vaso lacustre, se determinó un intervalo de 5.0 m entre cada isobata para el lago cráter Los Espinos, obteniendo un trazo de mapa con seis isobatas o líneas de contorno. Para ello se realizó una interpolación simple, teniendo en cuenta los registros del sondeo. A través del contorno de las isobatas se describe entonces una topografía homogénea. Se observa en el mapa que la línea de 5.0 m de profundidad inicia en distancias horizontales muy cortas, siendo que la distancia menor desde la línea de costa a los 5.0 m de profundidad es de 0.50 m como se observa en la pared noreste del vaso lacustre, mientras que el valor máximo promedio es de 15.0 m como se observa en la línea de costa situada en el sur del vaso (Figura 12).

La forma general del vaso es circular con una ligera elongación hacia la dirección noreste a suroeste. El perfil presenta pendientes abruptas en distancias horizontales cortas promedio de 30.0m, mientras que en las profundidades de 25.0 a 30.0 m esta pendiente se disipa presentando un área plana a semejanza de un plato, en una pequeña área de 179.87 m² se ubica la máxima profundidad.

La construcción del mapa de batimétrico ha permitido determinar una geometría del vaso lacustre. El eje mayor se encuentra orientado en dirección NE a SW, mientras que su amplitud máxima se encuentra orientada de NW a SE. La línea de costa evidentemente no es accidentada por lo que se puede asumir que no favorece intercambio térmico agua-tierra. El trazo de las isobatas refleja las características del volcán en donde se identifica claramente que la pendiente exterior lleva una continuidad hacia el interior del lago.

Se trazaron eco perfiles en cinco transectos del lago con diferentes trayectorias y orientación incluyendo la profundidad mayor, así como las pendientes en donde se observaron cambios sustanciales, además de la proyección de la pendiente del cono del cráter hacia el interior del cuerpo de agua. La pendiente máxima fue de 63%, la mínima fue de 23% mientras que el valor promedio de la pendiente fue de 45%. La pendiente más abrupta se localizó en la parte norte y noroeste, mientras que en la zona sur las pendientes fueron menos accidentadas (Figura 13).

En la parte terrestre del cono interno del cráter se observa un corte recto particularmente en la zona norte. Esta se refleja al interior de lago definiendo la continuidad de la pendiente del volcán.

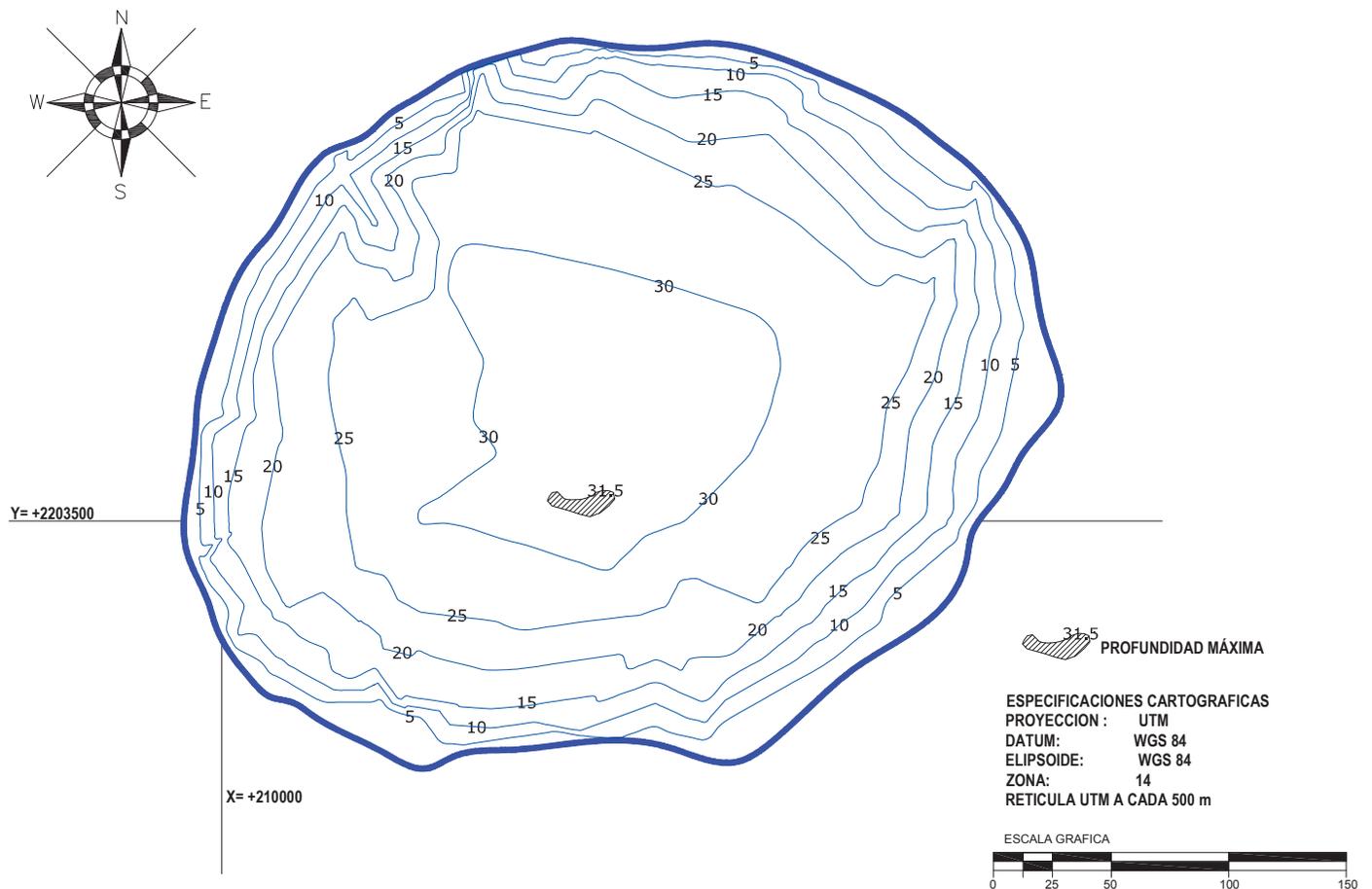


Figura 12. Mapa batimétrico del lago cráter Los Espinos, Michoacán, Municipio de Jiménez, Michoacán, México.

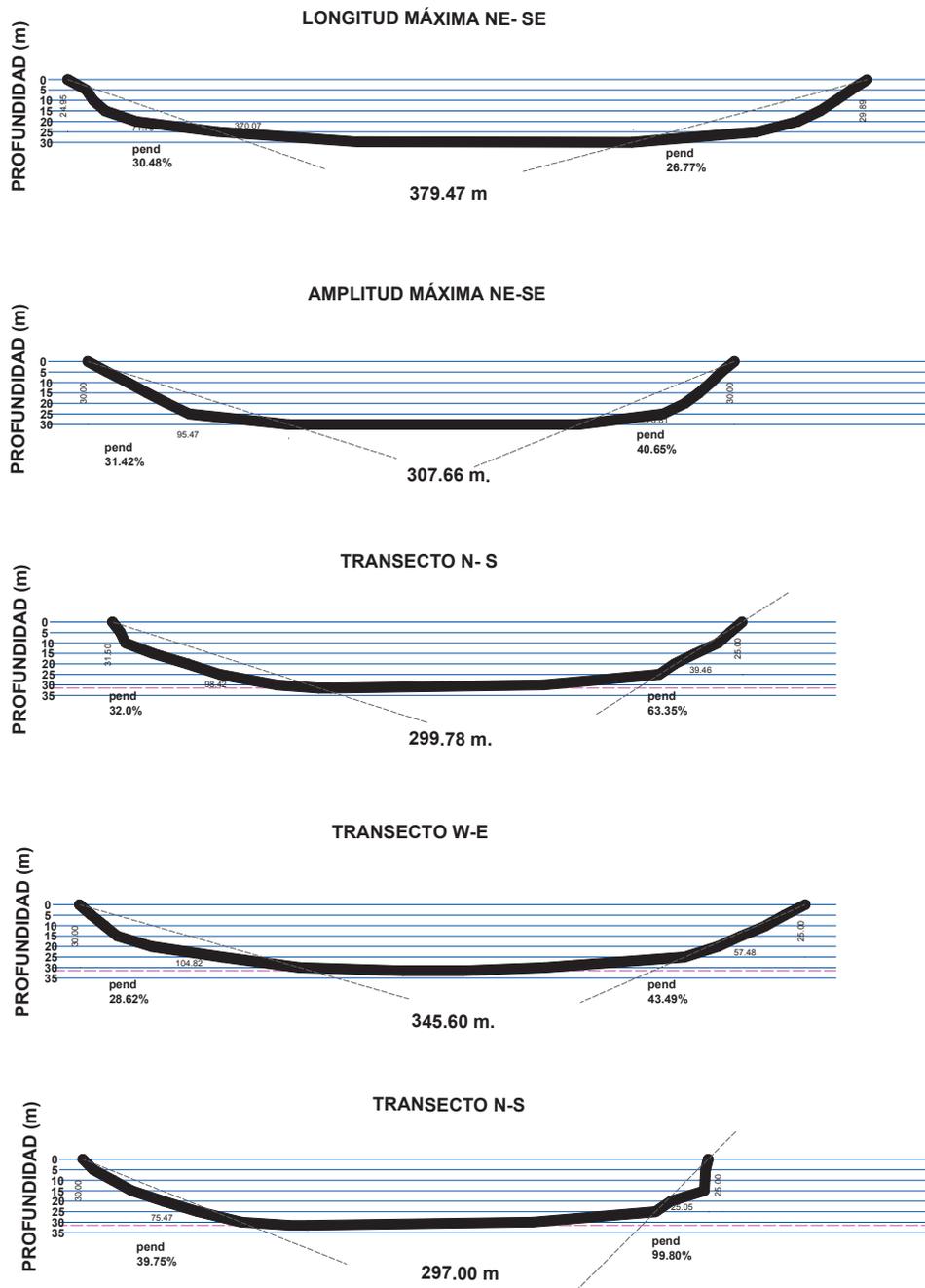


Figura 13. Eco perfiles del lago cráter Los Espinos, Michoacán, Municipio de Jiménez, Michoacán, México.

7.3 Morfometría

La forma de los cuerpos de agua ejerce efectos importantes sobre factores físicos, químicos y biológicos, además de que en la mayoría de los casos refleja su origen. Los métodos de medición y análisis de las dimensiones físicas de un cuerpo de agua se denominan morfometría (Cole, 1975).

La relación de los parámetros morfométricos como longitud y amplitud máxima, amplitud media, perímetro o longitud de línea de costa, volumen y profundidad máxima y media, influyen en la dinámica de diversos procesos como la sedimentación, mezclado de la masa de agua, exposición al viento, generación de oleaje y distribución de gases disueltos. Para el lago cráter Los Espinos se determinaron 27 parámetros morfométricos.

El lago cráter Los Espinos se encuentra dentro de una micro cuenca de 32.56 ha y posee un área total de 0.088 km² (Tabla 5). Si esta superficie es comparada con otros sistemas lacustres regionales como los lagos de Cuitzeo (452 km²), Pátzcuaro (130 km²) y Zirahuén (10.4 km²) el lago cráter Los Espinos es entonces un sistema lacustre pequeño. Sin embargo, comparado con otros lagos cráter incluyendo Alchichica, Quechulac, La Preciosa, Atexcac, Aljojuca y Tecuitlapa en el Estado de Puebla, con áreas superficiales desde los 0.000260 a los 0.001810 km², el lago cráter el sol en el nevado de Toluca (0.024 km²) siendo este uno de los más pequeños en el territorio nacional, se considera entonces que las características del lago cráter Los Espinos es relativamente grande dentro del grupo de lagos de origen volcánico que existen en el territorio nacional.

En Michoacán se identifican otros lagos cráter incluyendo La Alberca de Tacámbaro (0.0818 km²) y La Alberca de Teremendo (0.0131 km²); al comparar las dimensiones de estos sistemas se observa que el lago cráter Los Espinos posee valores muy similares. El estado de Michoacán se ubica dentro de Eje Neovolcánico Transversal que está formado por una gran masa de rocas volcánicas diversas, en la que se ubica la cadena de los grandes estratos-volcanes y que constituyen propiamente un conjunto de volcanes que han influido en el génesis y evolución de los lagos cráter del estado.

El lago cráter Los Espinos posee una longitud máxima de 379.47 m (Tabla 5), esta distancia representa la longitud máxima de la superficie del agua con la cual puede interactuar el viento.

El índice de desarrollo de costa (DLC) es una relación entre la longitud y la circunferencia equivalente en el área. Este valor sugiere que para un lago con una circunferencia perfectamente circular el índice DLC deberá ser igual a 1.0. En el caso del lago cráter Los Espinos el índice de desarrollo de costa fue de 1.03 (Tabla 5). Lo anterior indica que se considera un índice de desarrollo de costa muy cercano a una circunferencia. Considerando que por ser poco elongado se presenta un bajo potencial para el desarrollo de comunidades litorales con relación al volumen de agua del lago. Esta es una característica que se observa en los lagos cráter (Häkanson, 1981). El lago cráter Los Espinos presenta un valor de desarrollo de volumen (D_v) de 4.56 (Tabla 5). Para lagos cráter los valores en el desarrollo de volumen (D_v) son por lo general mayores de 1.5. Los lagos con áreas relativamente grandes presentan índices más altos ($D_v > 1$), éstos son en forma de platos y profundos (Cole, 1979).

El cociente entre los valores de la profundidad media y la máxima indica la forma del vaso señalando que los lagos con valores cercanos a 0.33 presentan una forma de un cono elíptico, mientras que aquellos que se aproximan a 0.5 corresponden a una forma de parábola elíptica. El lago cráter Los Espinos presenta un valor en el cociente entre la profundidad media y la máxima de 0.66 que sugiere una parábola elíptica (Figura 1).

La profundidad relativa (Z_r) expresa la profundidad máxima como un porcentaje del diámetro promedio de la superficie de un lago y la capacidad del viento para inducir la mezcla que tiende a variar en función de estos parámetros. La profundidad relativa se considera por lo tanto, un indicador de la estabilidad de la columna de agua. Wetzel (1984) señaló que la mayoría de los lagos poseen un valor de Z_r menor al 2.0%, mientras que los sistemas profundos y de superficie pequeña exhiben una mayor estabilidad y tienen generalmente valores de Z_r mayores del 4.0%. De acuerdo con lo anterior, el valor obtenido para el lago cráter Los Espinos de 9.39%, sugiere una alta estabilidad de la columna del agua, es decir que ofrece resistencia a la mezcla.

La curva hipsográfica directa que se presenta en la Figura 14 establece la relación directa entre la profundidad y el área de este lago formando una parábola, lo que indica que es homogéneo en su distribución de área con respecto a la profundidad. La gráfica hipsográfica porcentual determina las profundidades media y aquellas profundidades por cuartiles, sugiriendo los porcentajes de área en relación con la profundidad. La curva hipsográfica relativa (Figura 15) identifica al lago cráter de Los Espinos como un lago de tipo "micro" considerando que la curva presenta dos puntos de inflexión. Además se observa que el 67.3% de los valores del lago se encuentran dentro de los valores límites $f(3.0)$ y el 37.7% con un valor de $f(1.5)$. Estos valores lo clasifican como un lago de tipo cóncavo (C) con un 6.5% de probabilidad (Häkanson, 1981) (Figura 16).

Las curvas de volumen acumulado, relativo y porcentual permiten estimar los cuartiles de profundidad con respecto al volumen de la masa de agua. La profundidad media es de 23.3 m con un volumen acumulado de 1.8 Mm^3 (Figura 18).

Para ilustrar una mayor definición de la batimetría es posible aplicar los sistemas de información geográfica obteniendo modelos digitales de distribución topográfica. En el modelo presentado en la Figura 21, las tonalidades azules expresan las diferentes zonas de mayor profundidad, en tanto que las tonalidades verdes definen los intervalos de profundidad de 0 a 10.0 m, la zona de transición se ilustra en tonos rojos y amarillos.

La rugosidad de fondo explica la disposición de los sedimentos en el fondo del lago así como su transporte dentro del sistema, es decir, es una medida del grado de irregularidad del fondo del lago. Para el lago cráter Los Espinos se obtuvo un valor de 1.11. Con respecto a la forma de rugosidad se obtuvo un valor de 87.39. Lo anterior indica que el lago cráter Los Espinos posee una distribución de sedimentos homogénea, interpretando que los sedimentos acumulados en el fondo se han suavizado ligeramente con respecto a la distribución de sedimentos en la zona litoral. En cambio, se presenta con una forma de rugosidad muy alta, lo que significa que la zona litoral actúa principalmente como un área de transporte y de transferencia, presentando pendientes abruptas lo que permite el traslado hacia el fondo.

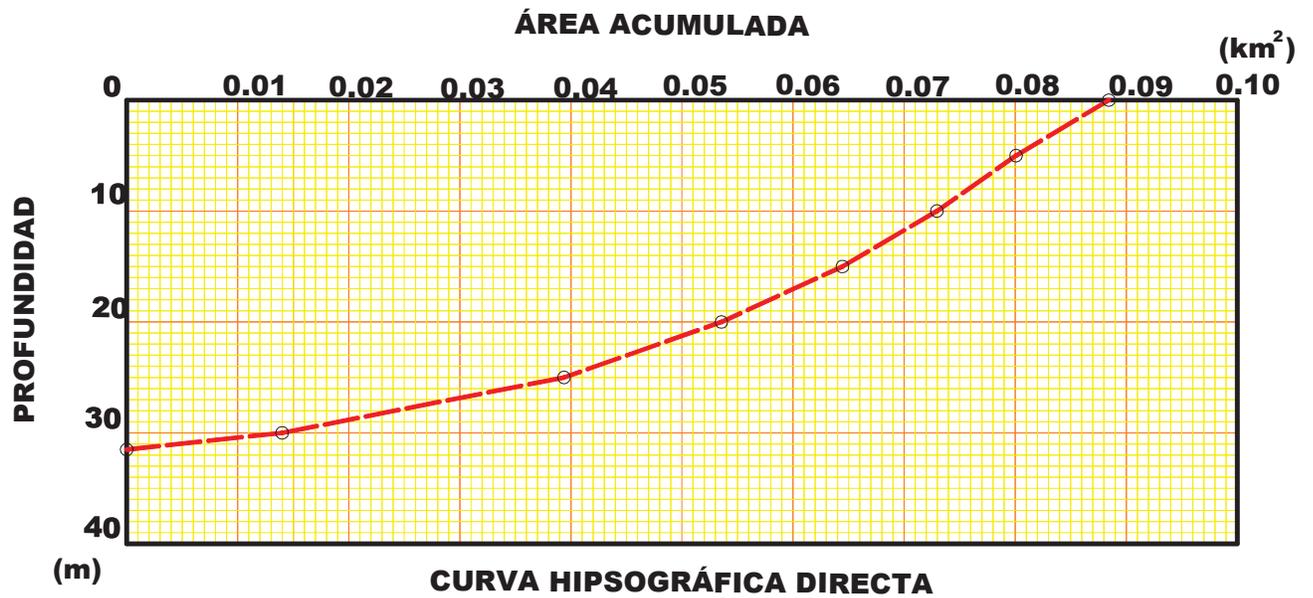


Figura 14. Curva hipsográfica directa del lago cráter Los Espinos, Michoacán, Municipio de Jiménez, Michoacán, México. (Häkanson, 1981)

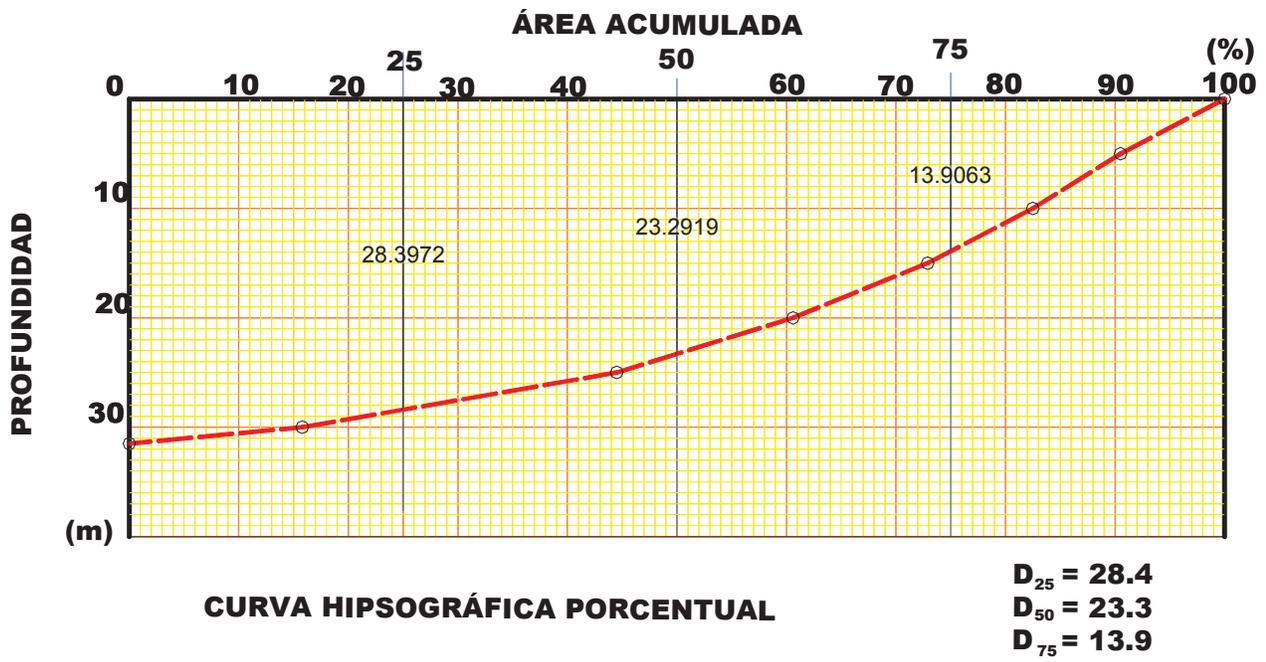


Figura 15. Curva hipsográfica porcentual del lago cráter Los Espinos, Michoacán, Municipio de Jiménez, Michoacán, México. (Häkanson, 1981)

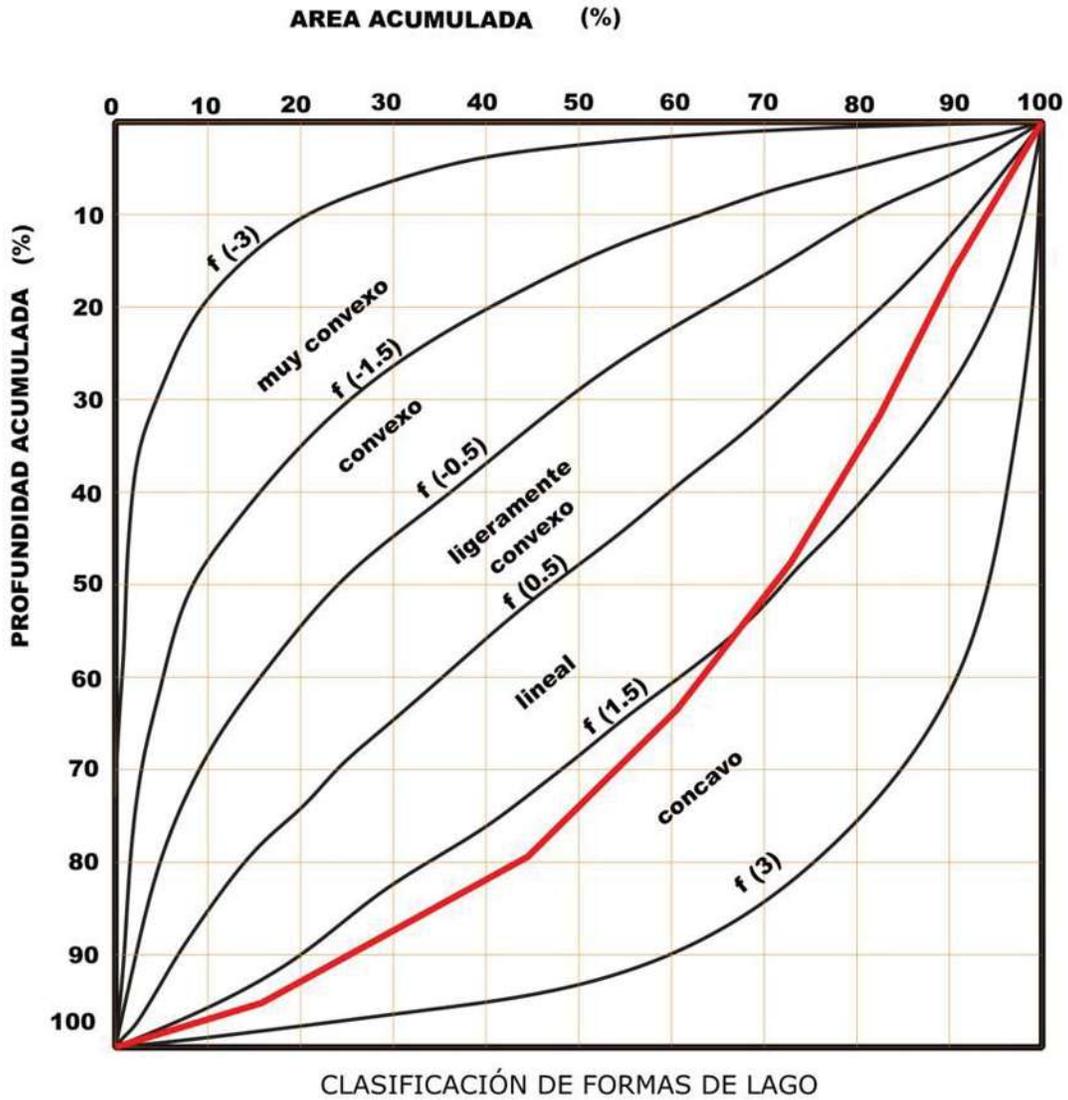


Figura 16. Curva hipsográfica relativa del lago cráter Los Espinos, Michoacán, Municipio de Jiménez, Michoacán, México. (Häkanson, 1981)

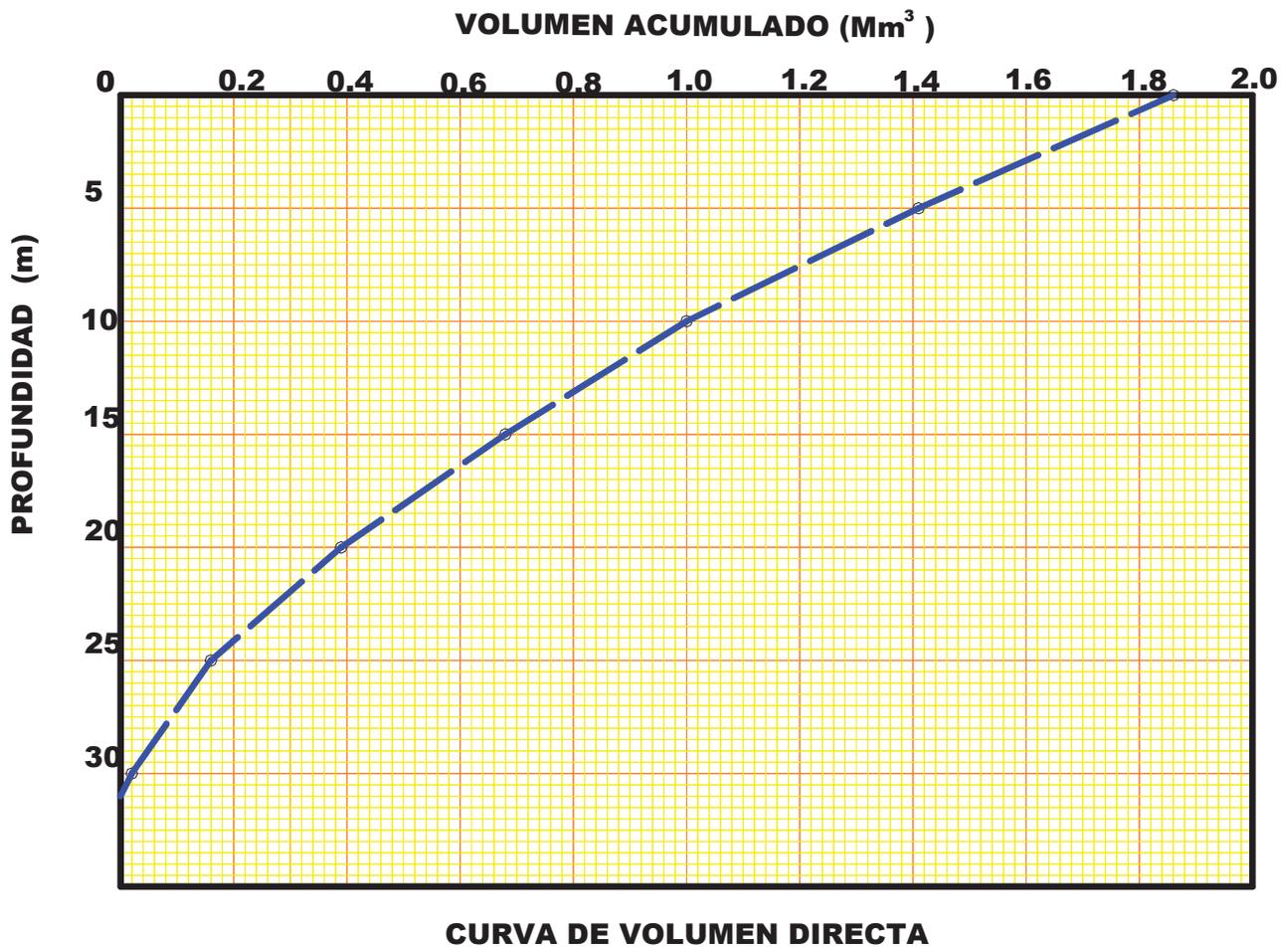


Figura 17. Curva directa de volumen del lago cráter Los Espinos, Michoacán, Municipio de Jiménez, Michoacán, México. (Häkanson, 1981,

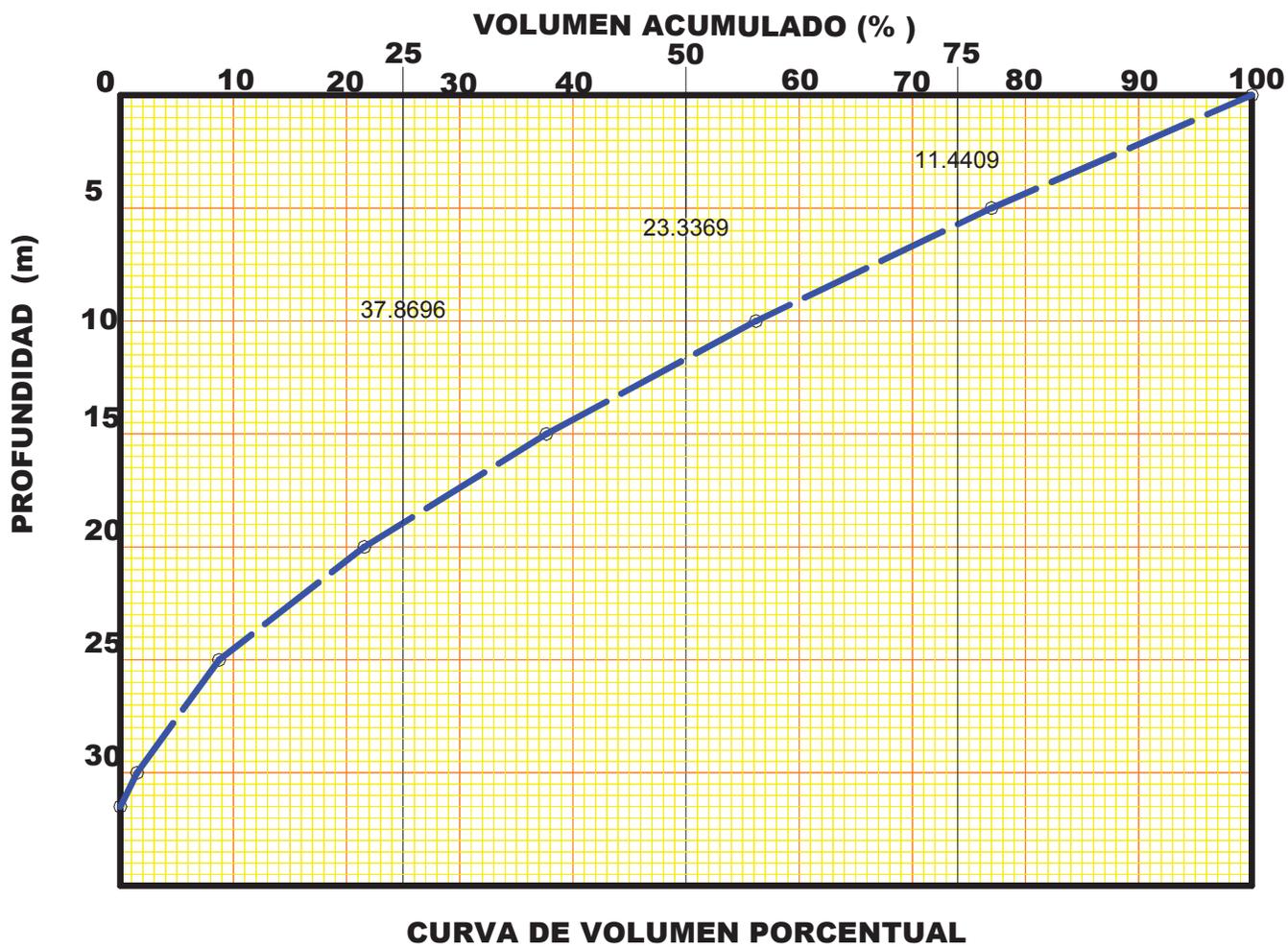


Figura 18. Curva porcentual de volumen del lago cráter Los Espinos, Michoacán, Municipio de Jiménez, Michoacán, México. (Häkanson, 1977),

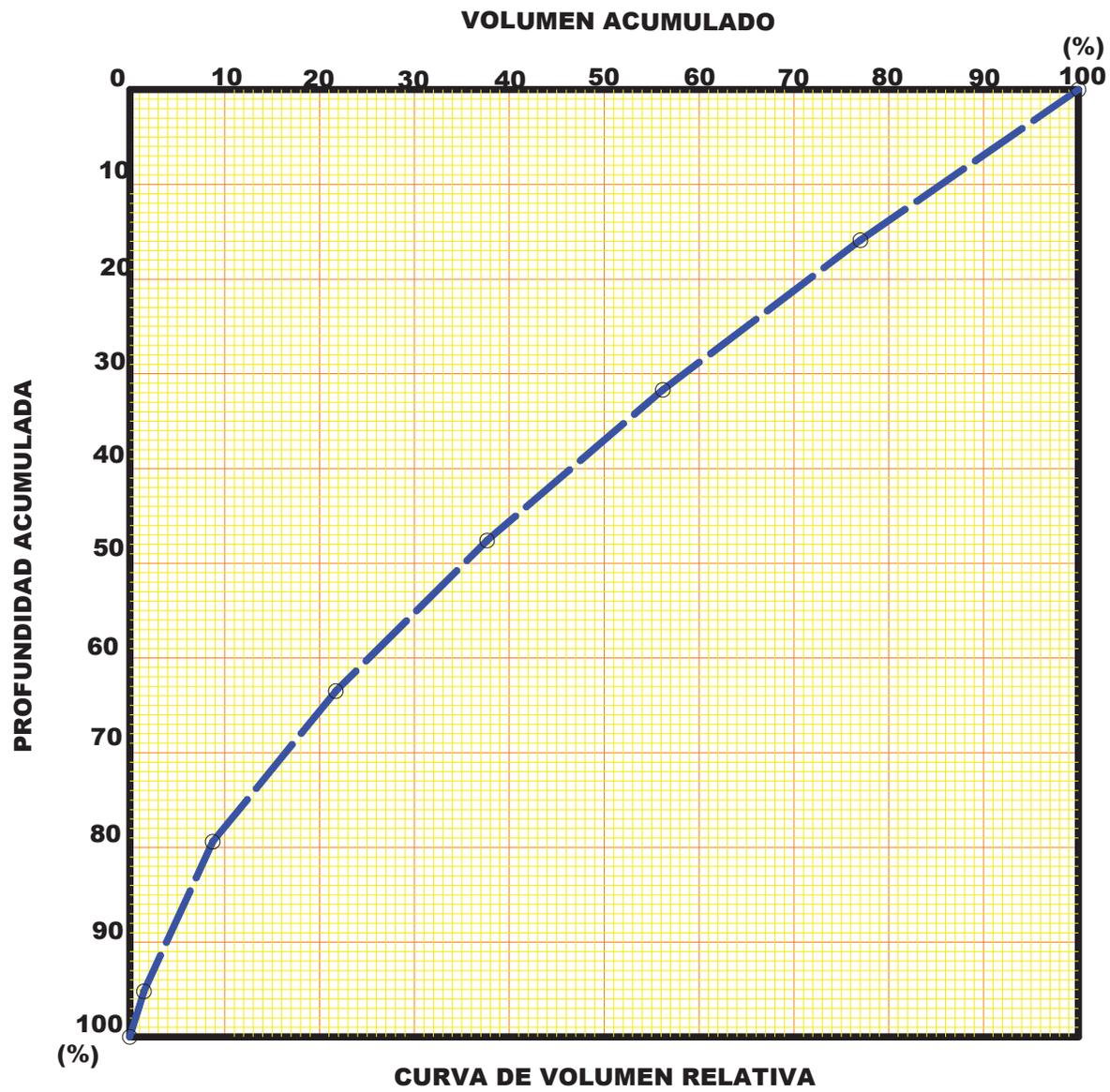


Figura 20. Curva Relativa de volumen del lago cráter Los Espinos, Michoacán, Municipio de Jiménez, Michoacán, México. (Häkanson, 1981),

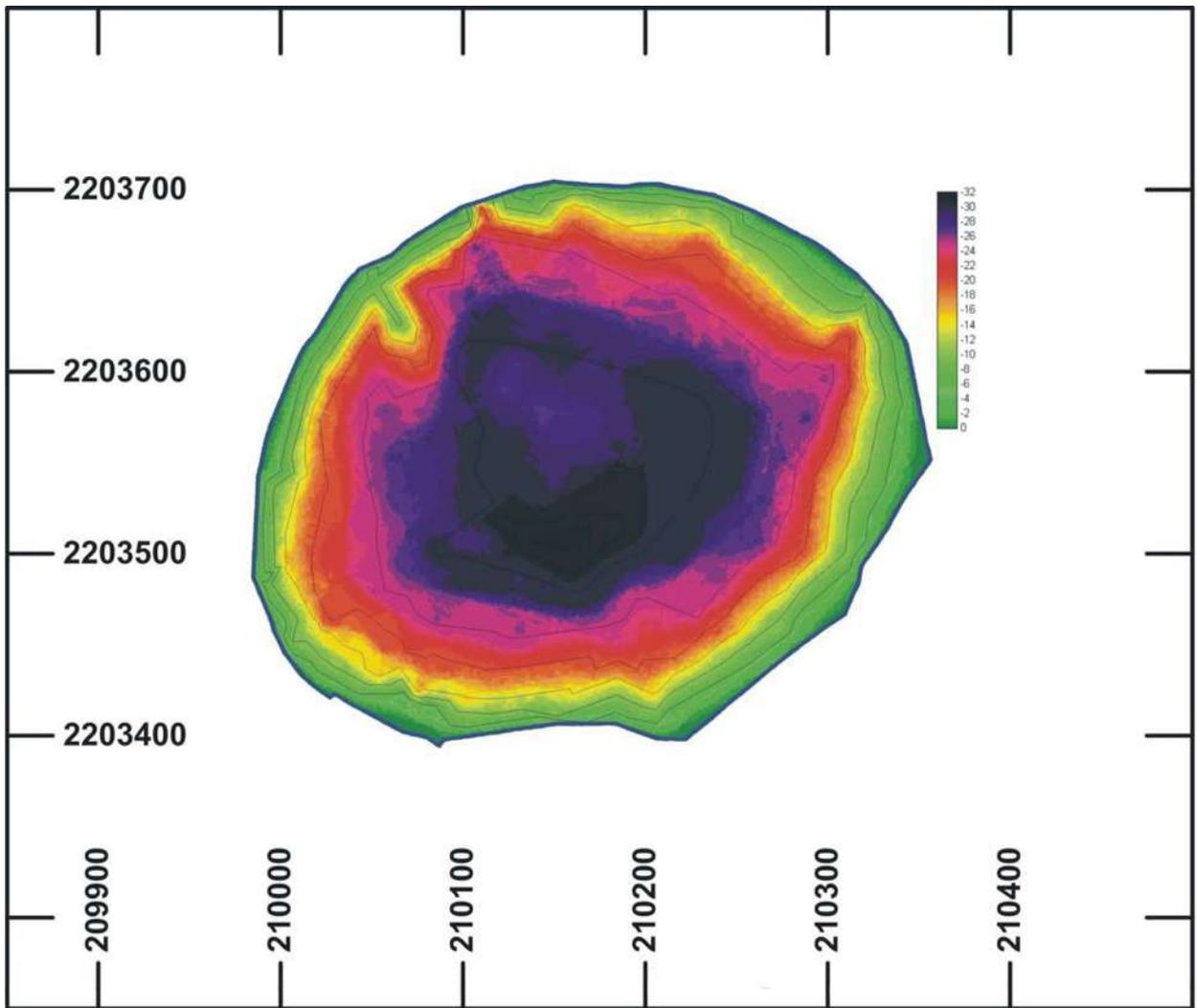


Figura 21. Lago cráter Los Espinos, Michoacán, Municipio de Jiménez, Michoacán,

Tabla 5. Principales parámetros morfométricos del lago cráter Los Espinos, Municipio de Jiménez, Michoacán, México.

PARÁMETRO MORFOMÉTRICO	VALORES
Área de la micro cuenca (ha)	32.56
Área total del lago (A) ha	8.8
Longitud máxima ($L_{m\acute{a}x}$) m	379.47
Longitud máxima efectiva (L_e) m	373.00
Amplitud máxima ($B_{m\acute{a}x}$) m	307.66
Amplitud máxima efectiva (B_e) m	327.00
Amplitud media del lago, A/L (B) m	233.04
Línea de costa o perímetro (l_o) km	1.09
Desarrollo de línea de costa (F) adimensional	1.03
Relación longitud máxima y amplitud media (L/B)	1.63
Profundidad media del lago (D) m	20.71
Profundidad máxima del lago ($D_{m\acute{a}x}$) m	31.5
Profundidad relativa (D_r) %	9.39
Profundidad mediana (D_{50}) m	23.29
Profundidad al 1er cuartil (D_{25}) m	28.40
Profundidad al 3er cuartil (D_{75}) m	13.91
Relación profundidad máxima- media	1.52
Cociente profundidad media y máxima (adimensional)	0.66
Volumen del lago (V) Mm^3	1.83
Desarrollo de volumen (Dv) adimensional	4.56
Profundidad de volumen mediana (V_{50})	23.34
Profundidad de volumen al 1er cuartil (D_{25}) m	37.86
Profundidad de volumen al 3er cuartil (D_{75}) m	11.44
Pendiente (α) %	60.0
Pendiente media ($\acute{\alpha}$) %	36.29
Pendiente mediana (α_{50}) %	25.0
Rugosidad de fondo (R) adimensional	1.11
Forma de rugosidad de fondo lacustre (R_f) adimensional	87.39
Dirección eje mayor	SW-NE
Forma del lago	Cmi

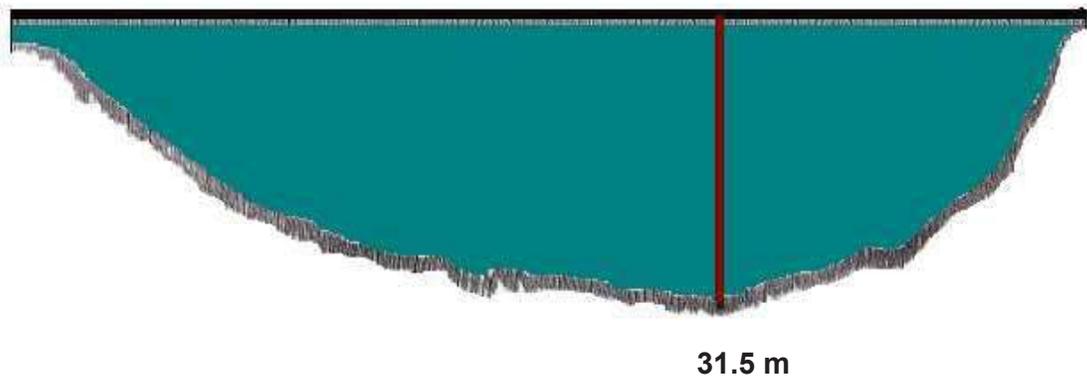


Figura 22. Ecoperfil del lago cráter Los Espinos, Municipio de Jiménez, Michoacán, México.

7.4. Valor informativo del mapa batimétrico

Para definir la precisión y la intensidad de los trabajos realizados en campo, así como su valor en la interpretación gráfica y morfométrica, es necesario evaluar el valor informativo del mapa batimétrico. Para evaluar la calidad de la información del presente estudio se aplicó el modelo de optimización propuesto por Håkanson (1981). A partir de esta evaluación es posible definir la certidumbre del mapa con respecto a la información cuantitativa y geomorfológica, para respaldar estudios posteriores en lago cráter Los Espinos.

La evaluación de este mapa batimétrico, se realizó aplicando la siguiente relación que proporciona el valor informático:

$$I = I' * I''$$

$$I' = \frac{1}{a} \left[a - 0.14 * L_r * F^2 * \sqrt{\frac{1}{n} + 2 * \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i}} \right]$$

$$I'' = \frac{e^{0.4*n} - 1}{e^{0.4*n} + 0.02}$$

Donde:

I= El valor informático del mapa batimétrico. Cuando éste es igual a la unidad, entonces la información es completa y correcta.

I'= Área identificada correctamente en el mapa batimétrico. Cuando equivale a la unidad, entonces todas las líneas de contorno se encuentran correctamente ubicadas.

I''= Número informativo que depende del número de líneas de contorno. Se aproxima a la unidad a medida que el número de contorno se incrementa.

a = Área del lago en km²

n = El número de líneas de contorno ($L_C = D_{MÁX}/n$)

e= La base de logaritmos naturales = 2.718

Para el lago cráter de Los Espinos se realizó un mapa batimétrico como se representa en la Figura 12 que es una reproducción del mapa de escala 1:2000, el

cual presenta seis isobatas con un intervalo de 5.0 m con una longitud total de isobatas 5.57 km, registrando su máxima profundidad al sureste del vaso. Se realizaron 28 transectos con una longitud total de 14.19 km, considerando la forma del lago estos transectos se realizaron tanto en forma lineal como en forma de espiral, con la finalidad de obtener una panorámica completa del lago, obteniendo un valor de informativo (I) igual a 0.90 muy cercano a la unidad por lo que se considera que la información generada es completa, en cuanto a la ubicación de las isobatas o identificación de profundidades del mapa se obtuvo un valor de (I') equivalente a 0.99. Lo anterior representa que el 99.0% del área se encuentra correctamente identificada. En tanto que el 0.1% del área se encuentra sujeta a incertidumbre aproximadamente 0.0005 km^2 . Considerando los resultados obtenidos y la intensidad del ecosondeo así como el número de isobatas consideradas conforme a la profundidad máxima ($L_c = D_{\text{máx}}/n$) se considera que este mapa es de los más precisos que se han realizado en cuerpos de agua michoacanos.

Algunos de los lagos michoacanos que se han evaluado incluyen a la presa de Lago Larga obteniendo un 97.75 % de identificación correcta, en el lago de Pátzcuaro se obtuvo un valor de 78.78%, mientras que en el lago cráter Los Espinos se obtuvo un valor de 99.0% (Tabla 7).

Tabla 6 Base de datos del lago cráter Los Espinos

n	profundidad acumulada %	área km ²	área acumulada km ²	área acumulada %	volumen Mm ³	Volumen Acumulado Mm ³	Volumen Acumulado %	√Ai
0	0.0	0.00836	0.08843	100.0	0.42095	1.8311	100.00	0.2974
5	15.9	0.00712	0.08008	90.5	0.38139	1.4101	77.01	0.2830
10	31.7	0.00850	0.07295	82.5	0.33912	1.0287	56.18	0.2701
15	47.6	0.01090	0.06445	72.9	0.29213	0.6896	37.66	0.2539
20	63.5	0.01418	0.05355	60.6	0.23755	0.3975	21.71	0.2314
25	79.4	0.02539	0.03938	44.5	0.13278	0.1599	8.73	0.1984
30	95.2	0.01399	0.013989	15.8	0.02717	0.0272	1.48	0.1183
31.5	100.0	0.00000	0	0.0	0	0	0	0

Tabla 7 Determinación de valores de información, para las diferentes líneas de contorno(n), con un intervalo de 5.0 m (L_c), para el lago cráter Los Espinos

n	l _c	Área acumulada km ²	I'	I'	I
1	5	0.080076	0.990187	0.325291	0.322099
2	10	0.072953	0.991502	0.545729	0.541091
3	15	0.064455	0.992399	0.694584	0.689304
4	20	0.053552	0.993061	0.794860	0.789344
5	25	0.039376	0.993576	0.862302	0.856763
6	30	0.013989	0.993991	0.907612	0.902158
7	31.5	0.001328	0.994334	0.938031	0.932717

Tabla 8. Valoración de lagos michoacanos con el modelo de optimización propuesto por Häkanson, (1981).

Lago	n	I''	I'	I	%	Referencia
Lago de Pátzcuaro	12	0.9916	0.7880	0.7813	78.80	Chacón (1993)
Lago Larga	7	0.9380	0.9775	0.9168	97.75	Chacón (1994)
Lago cráter Los Espinos	6	0.9073	0.9939	0.9021	99.39	Presente estudio

7.5.5 Dirección y frecuencia de los vientos

Los resultados de frecuencia de viento anual en la zona del volcán de Los Espinos reflejan que los vientos más frecuentes provienen del este con una frecuencia del 25% durante todo el año y al sureste con una frecuencia del 20% durante los meses del abril a noviembre, mientras que la menor frecuencia ocurre hacia el sur con una frecuencia del 10%, durante todo el año. Sin embargo dentro del cono del volcán en donde se localiza el lago la mayor frecuencia de viento se orienta hacia el noroeste con un 46.15% y la frecuencia menor de 23.08% hacia el sureste (Figura 27) durante todo el año.

Tabla 12. Registro de precipitación de la estación meteorológica en un periodo de 55 años observados.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
10.3	3.2	10.4	8.7	44.7	142.6	257.0	219.9	145.5	40.1	12.4	7.9	902.7

FUENTE: CNA (2002 inédito)

Tabla 13. Registro mensual de precipitación pluvial (mm).

Periodo (Años)	Precipitación promedio (mm)	Precipitación del año más seco (mm)	Precipitación del año más lluvioso (mm)
1971-2000	816.3	487.5	1,055.3

FUENTE: CNA (2002 inédito).

Tabla 14. Registro total mensual de precipitación pluvial en mm.

	PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PROMEDIO	1971-02	14.8	5.7	10.2	11.7	41.2	126.4	198.4	164.2	133.8	57.3	10.3	6.5
Año más frío	1979	0.0	29.0	0.0	0.0	9.2	3.2	184.7	94.2	127.1	0.0	1.4	38.4
Año más cálido	1976	0.0	0.7	22.1	7.0	35.0	200	270.4	147.9	165.1	171.6	35.5	4.7

FUENTE: CNA (2002 inédito)

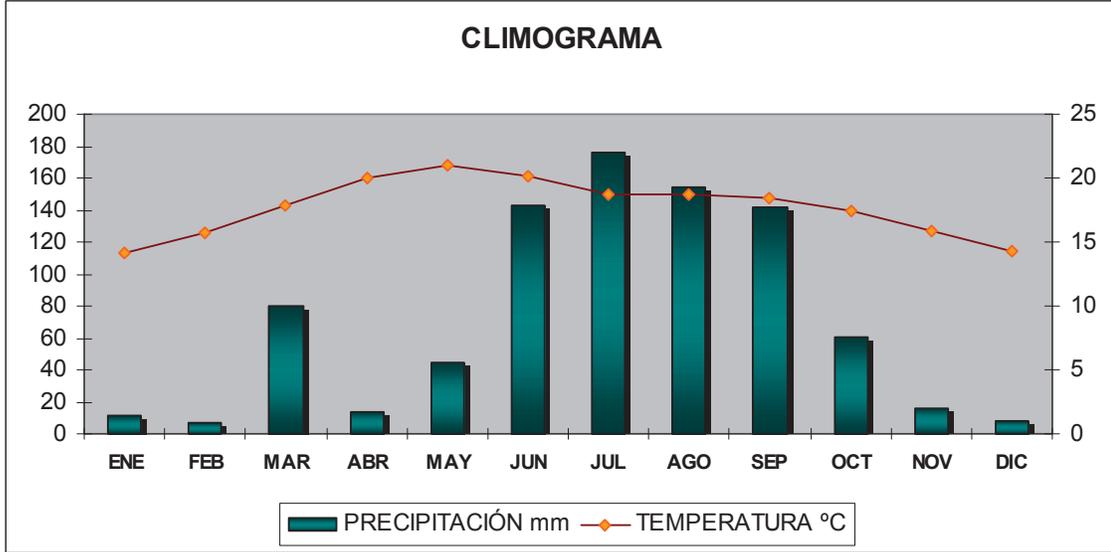


Figura 23. Climograma de Villa Jiménez en un periodo de 55 años (CNA, inédito).

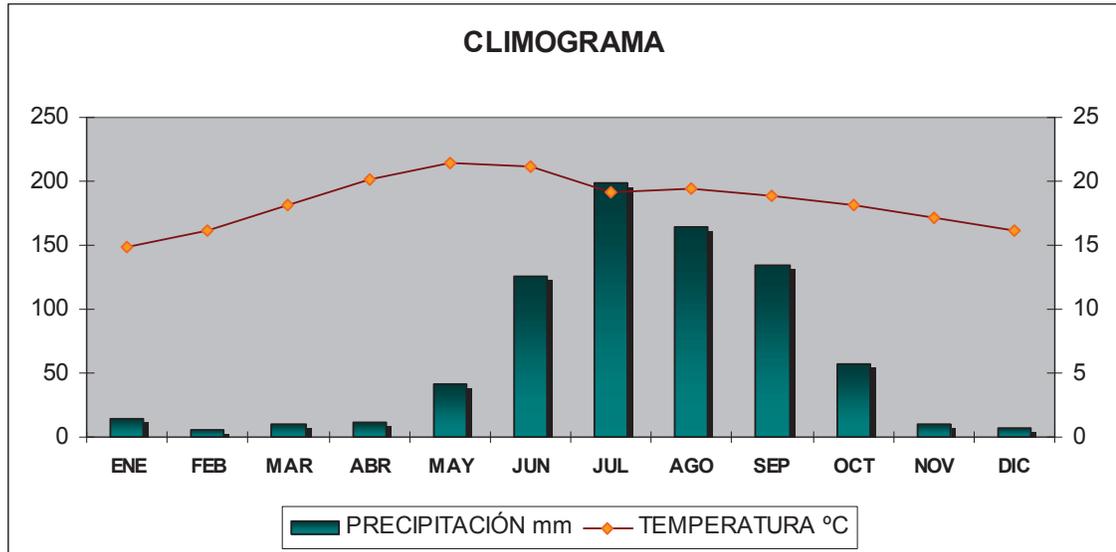


Fig 24. Climograma de Villa Jiménez en un periodo de 20 años (1981-2002) (CNA, Inédito).

7.6. Hidrodinámica

La mayoría de los movimientos del agua de los sistemas acuáticos son causados por efectos combinados de la acción del viento, así como diferencias de presión sobre la superficie y diferencias en la densidad del agua. Las diferencias de densidad son principalmente inducidas por las diferencias de temperatura en la masa de agua. La salinidad está determinada por la evaporación y la dilución. La dirección que toman estos movimientos es influenciada por la morfología del sistema acuático. La rotación de la tierra puede marcar influencia en los movimientos de agua. Hutchinson (1957) consideró dos tipos de movimientos de agua:

1) Un movimiento no periódico generado por fuerzas externas como son el sistema de afluente – efluente, desigualdad térmica, ingreso de materiales de los sedimentos y variaciones ocasionadas por la presión atmosférica del viento.

b) Un movimiento periódico debido al disturbio provocado en el lago por el viento o cambios de presión atmosférica, lo que ocasiona una oscilación del lago o parte de él a medida que la fuerza de fricción degrada lentamente la energía suministrada originalmente por las fuerzas externas.

El análisis de los vientos en el municipio de Jiménez indica que los vientos provienen de los cuadrantes este (25%), sureste (25%) y suroeste (15%), los registros de viento en el interior del cráter durante el trabajo de campo fueron para los siguientes: al noreste (46.15%), suroeste (30.77%) y sureste 23.8%.

Las veletas de corriente de deriva superficial realizaron movimientos dominantes hacia el noroeste y noreste principalmente con una velocidad promedio de corriente promedio de 3.04 cm/s, con una velocidad de viento promedio dentro del lago de 2.96 m/s, el impulso de desplazamiento fue ejercido por los vientos en el interior del cráter, así mismo se observa que los movimientos hidrodinámicos de las veletas de profundidad de 10.0 m, presentaron una dirección semejante con una variación de 20° y una velocidad de 2.43 m/s. En las veletas de 20.0 m de profundidad se presenta también un comportamiento similar en el desplazamiento con una variación de 30°, y una velocidad de 2.06 m/s. Los desplazamientos de las veletas fueron inferiores al incrementar la profundidad.

Una comparación entre las corrientes superficiales y las de fondo sugiere una similitud existente entre ambas. Lo anterior indica que el lago cráter Los Espinos es homogéneo en su mezclado bajo la influencia del viento. Los movimientos hidrodinámicos son relativamente rápidos en la superficie, la dirección superficial es esencialmente determinada por la propia dirección de los vientos incidentes. Se observa un perfil vertical de rotación hacia el oeste a medida que aumenta la profundidad

En el lago cráter Los Espinos por lo tanto no se presentan fuerzas de Ekman sino un gradiente de degradación de la deriva superficial con respecto a la profundidad. Considerando que es un lago permanente y que no posee salidas superficiales de agua, la conservación en el nivel de agua es el resultado de los escurrimientos del agua de lluvia, infiltración a través de las rocas volcánicas y posiblemente la presencia de afloramientos en el interior del lago. Se observó una relación relativamente proporcional de la fuerza de arrastre del viento con la generación de la deriva superficial con valor de r^2 de 0.6987. Esto es que los resultados sugieren un 69.87% de asociación entre la fuerza del viento y la deriva superficial.

El movimiento del agua es tiene efecto en el transporte de diferentes formas de energía, en la distribución de nutrientes, gases disueltos, microalgas y de algunos componentes de zooplancton además de influir en la velocidad de sedimentación de las partículas.

El viento ejercido sobre la superficie del lago cráter de los Espinos es esencialmente una fuerza externa remanente del la fuerza del viento ejercida en la zona. Al ingresar al cráter tiende a disminuir su velocidad derivado de la protección que ofrecen las paredes interiores del volcán así como vegetación existente.

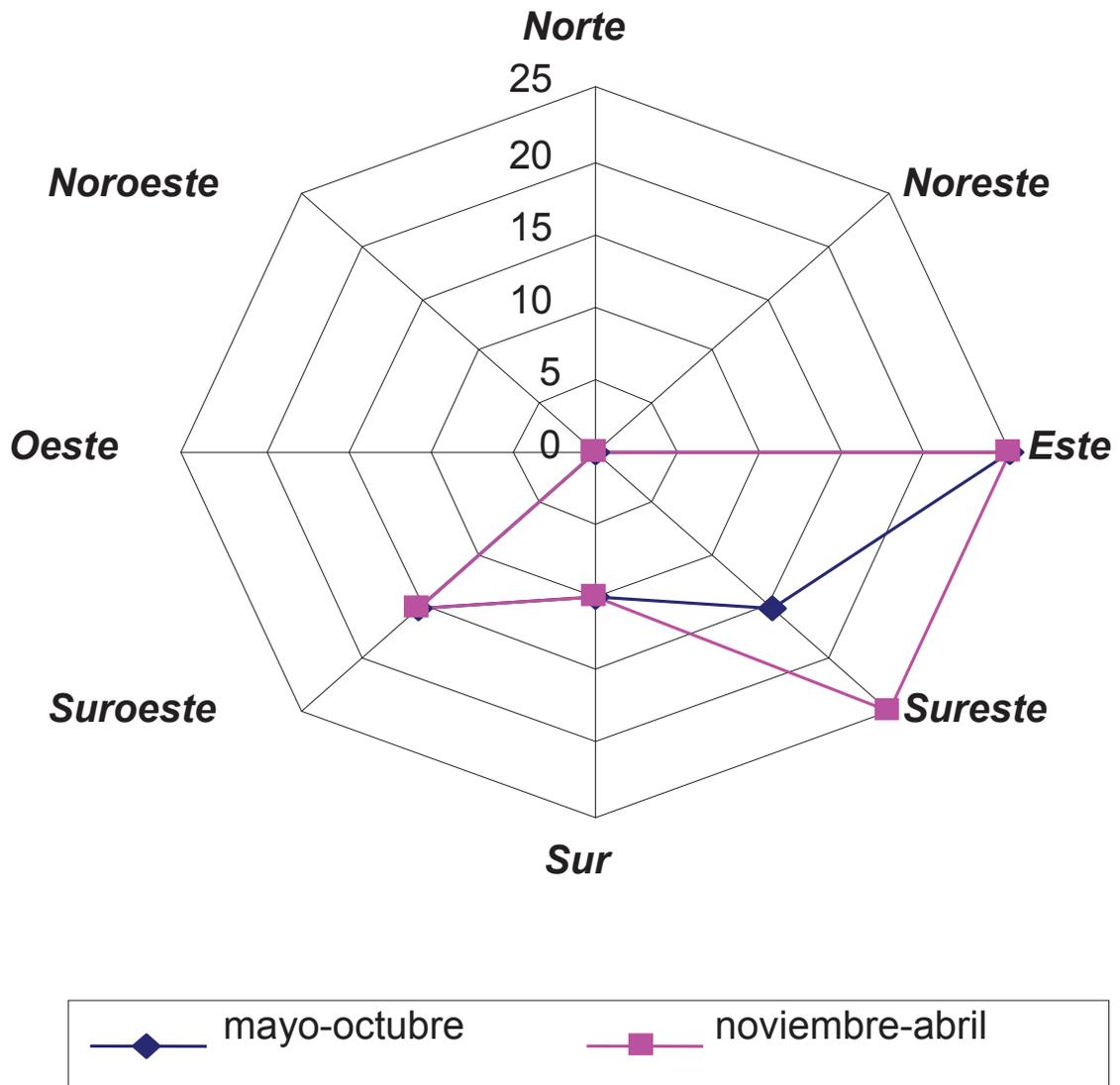


Figura 26. Rosa de vientos frecuencia y dirección de vientos en los periodos de mayo- octubre y noviembre abril, en el municipio de Jiménez.

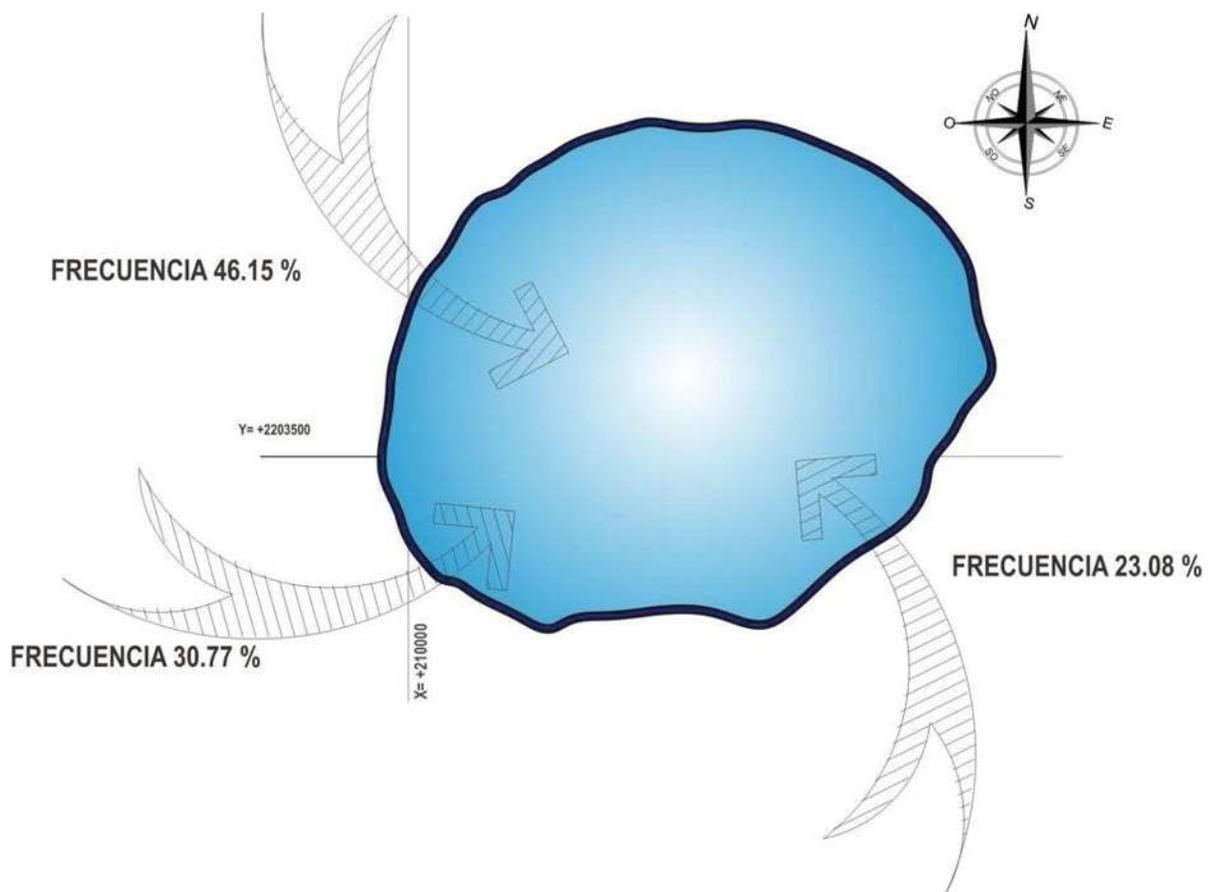


Figura 27. Frecuencia de viento del cono interior del volcán donde se aloja el lago cráter Los Espinos, Municipio de Jiménez, Michoacán, México.

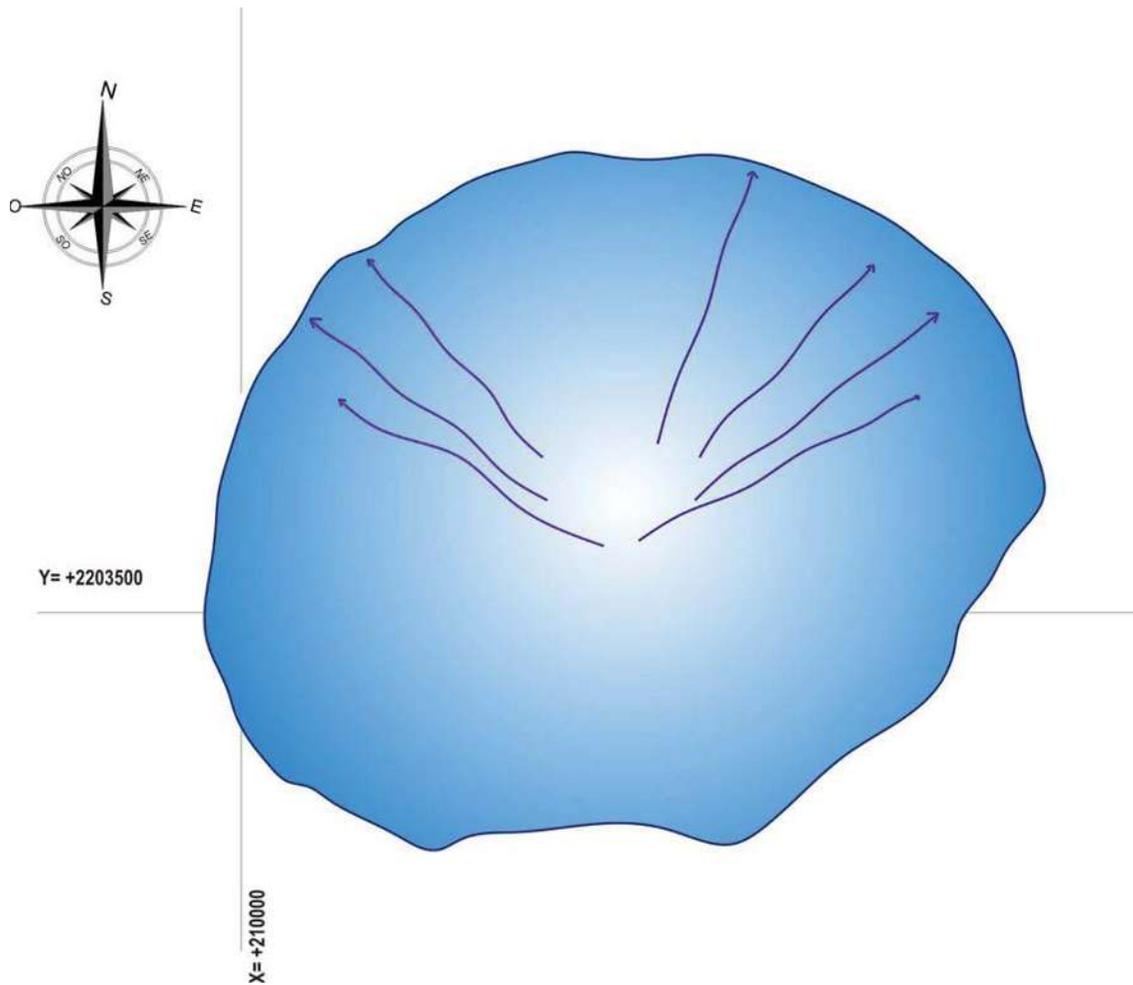


Figura 28. Transectos observados en las veletas de corriente superficial en el lago cráter Los Espinos, Municipio de Jiménez, Michoacán, México.

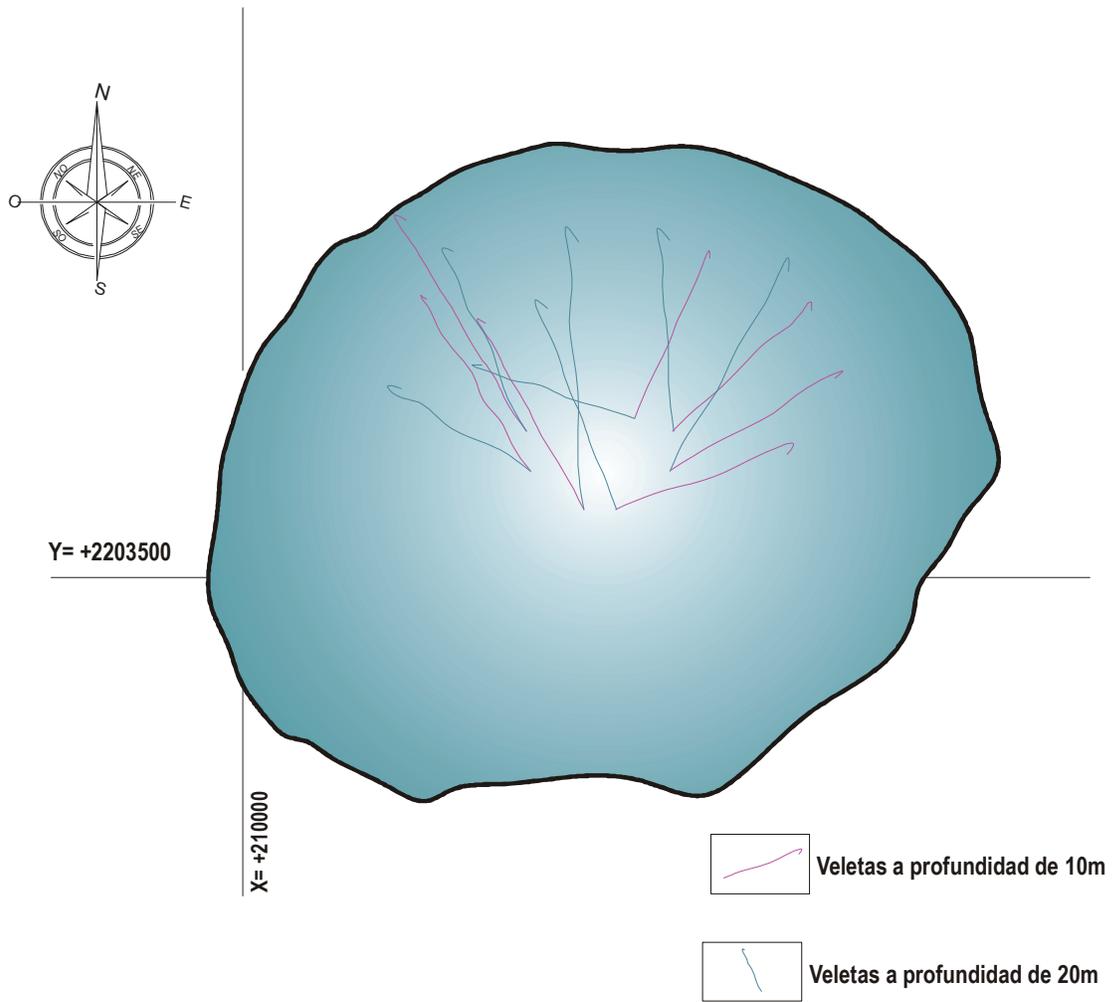


Figura 29. Transectos observados en las veletas de profundidad en el lago cráter Los Espinos, Municipio de Jiménez, Michoacán, México.

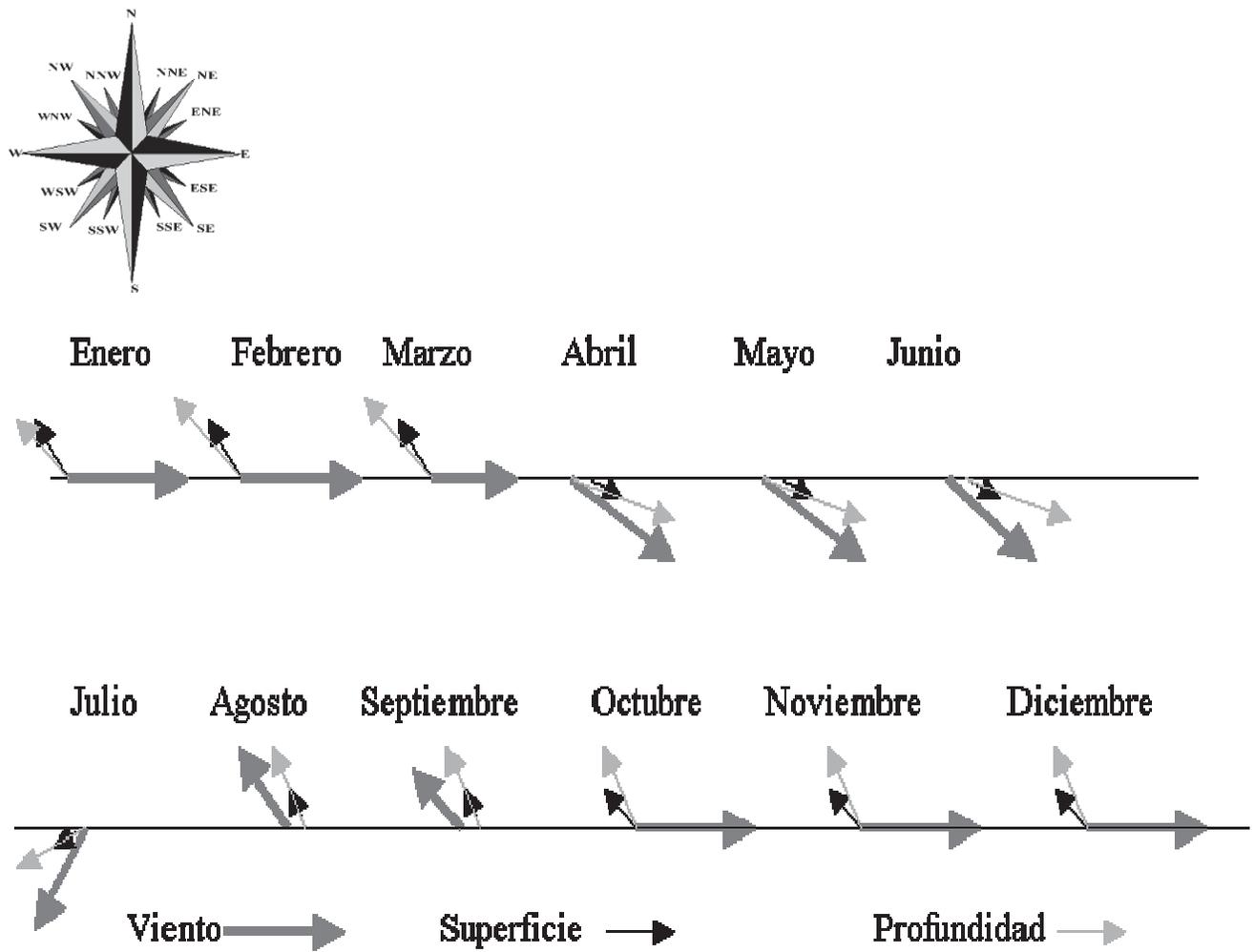


Figura 30. Análisis comparativo entre la dirección e intensidad de viento y las corrientes de deriva superficial y profundidad a 10.0 m.

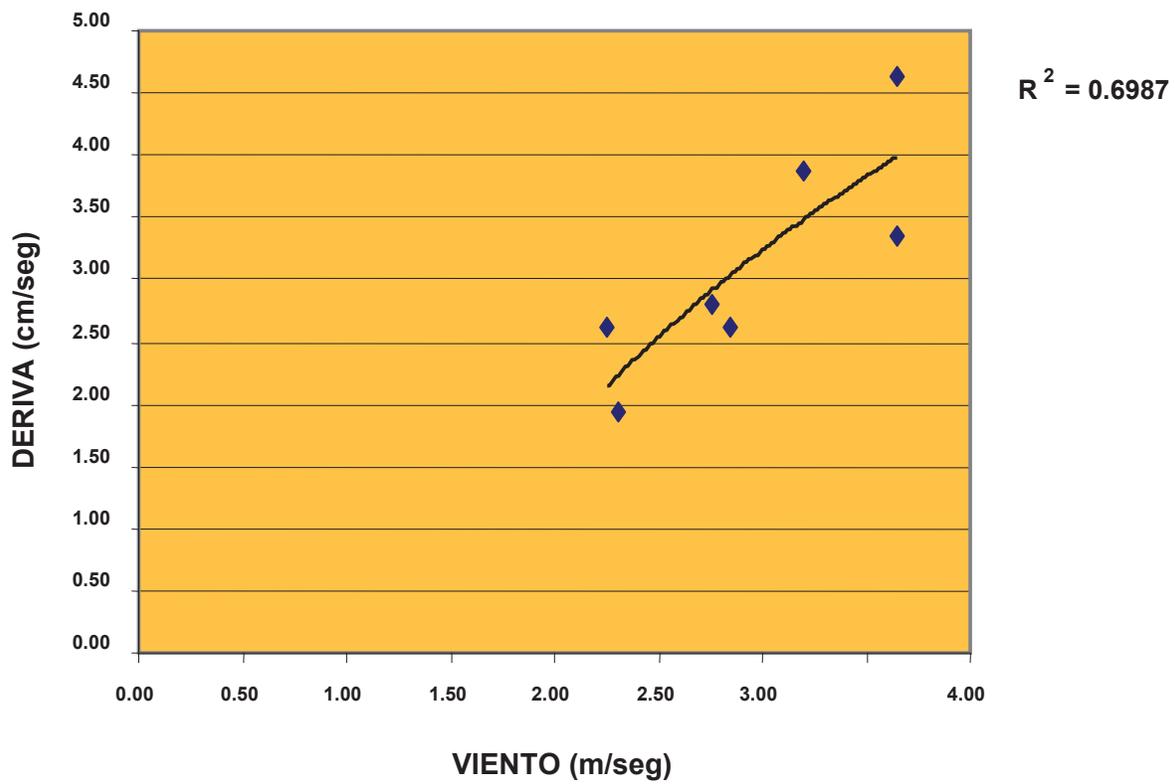


Figura 30. Correlación entre la velocidad del viento y la deriva superficial de veletas en el lago cráter Los Espinos.

7.7. Características ópticas

Los valores de irradianza espectral en sus diferentes intervalos cromáticos de luz blanca, azul, verde y roja obtenidos en el campo, fueron utilizados para estimar el coeficiente vertical de luz (K_d). La máxima profundidad a la que se detectó el mínimo de incidencia de la luz se registró a los 13.61 m. El coeficiente de extinción vertical de la luz blanca fue de 0.3384 con un coeficiente de correlación con respecto a la profundidad de 0.9886. El perfil de extinción de la luz en sus diferentes intervalos de longitud de onda fue diferente registrando una profundidad máxima de detección de 7.0 m para el color azul con un valor en el coeficiente de extinción vertical de la luz (K_d) de 0.6459, para el verde fue de 15.0m con un valor de K_d de 0.301, mientras que el color rojo registró una profundidad de detección máxima de 8.0 m con un valor K_d de 0.7313.

Con el análisis de regresión lineal realizado entre el logaritmo natural de los valores registrados de irradianza y los valores de profundidad en el lago cráter Los Espinos, se estimó valor del coeficiente de extinción vertical determinado por la pendiente de la recta con un valor de 0.3384 (Figura 35). La zona eufótica se estimó en una profundidad de 13.61 m (Figura 36).

Los valores del coeficiente de atenuación horizontal de luz indican que desde la superficie hasta los 4.0m de profundidad se encuentra un valor promedio de 67% de transmitancia. A partir de los 5.0m y hasta los 14.0m se obtuvo un valor promedio de 13% de transmitancia. Estos valores se incrementaron en el intervalo de profundidad de los 15.0 a los 19.0 m con un valor promedio de 68%. Al incrementarse la profundidad también se elevaron los valores de transmisión de la luz con un promedio de 94% en profundidades de 20.0 a 25.0 m (Figura 37).

Los valores de atributos ópticas obtenidos del lago cráter Los Espinos se compararon con aquellos valores registrados con el disco de Secchi. La lectura del disco de Secchi representa una medida relativa de la visibilidad en un ecosistema acuático. Los valores mínimo y máximo de la lectura de Secchi fueron de 3.0 a 6.3 m (Tabla 14). Estos registros fueron obtenidos en las tres estaciones establecidas para mediciones, así como en diferentes sitios del lago.

Tabla 14. Parámetros ópticos del lago cráter Los Espinos

Disco de Secchi Zsd (m)	Kd (m)	c (m)	Kd+c	A	% luz
3	0.39	2.40	2.79	8.36	0.29
3	0.39	2.40	2.79	8.36	0.29
4	0.39	2.40	2.79	11.15	0.26
4.5	0.39	2.40	2.79	12.55	0.22
5	0.39	2.40	2.79	13.94	0.14
6	0.39	2.40	2.79	16.73	0.10
6.3	0.39	2.40	2.79	17.57	0.10

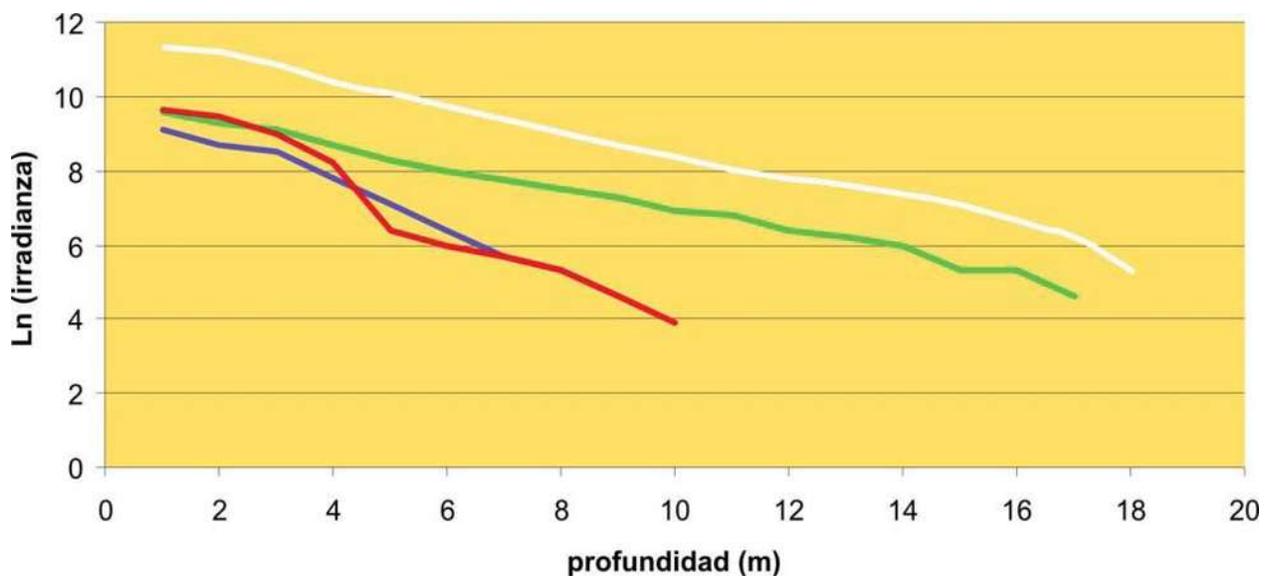


Figura 33. Perfil de atenuación vertical en porcentajes para el lago cráter Los Espinos.

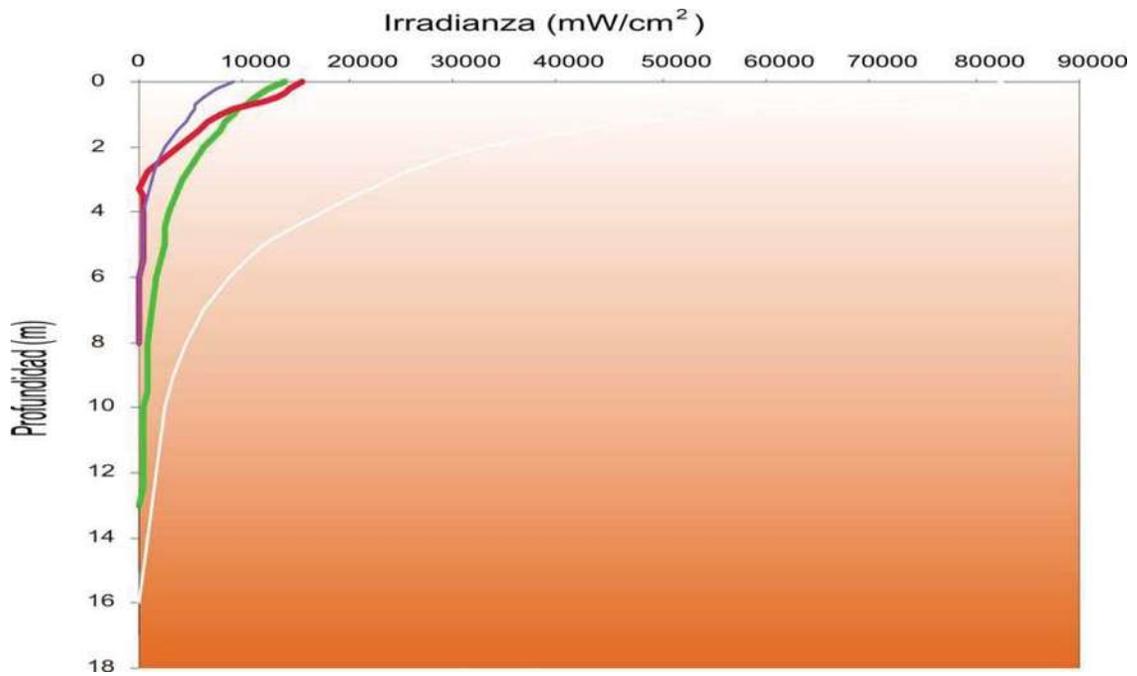


Figura 34. Perfil de atenuación vertical de luz en porcentajes para el lago cráter Los Espinos.

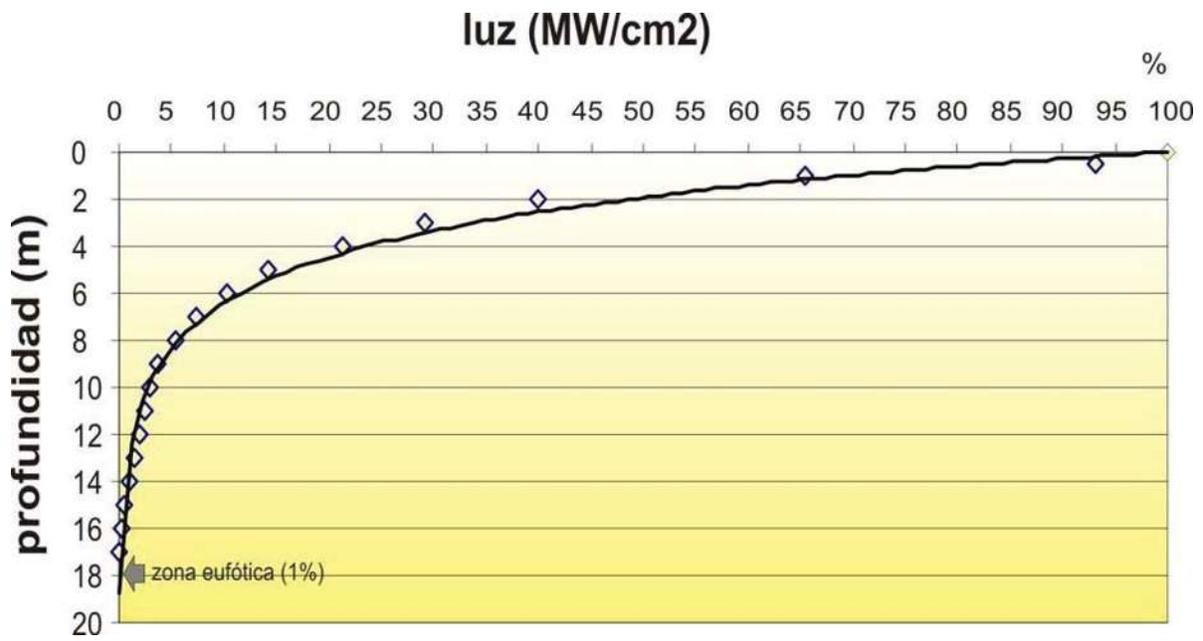


Figura 35. Perfil de atenuación vertical de luz para el lago cráter Los Espinos.

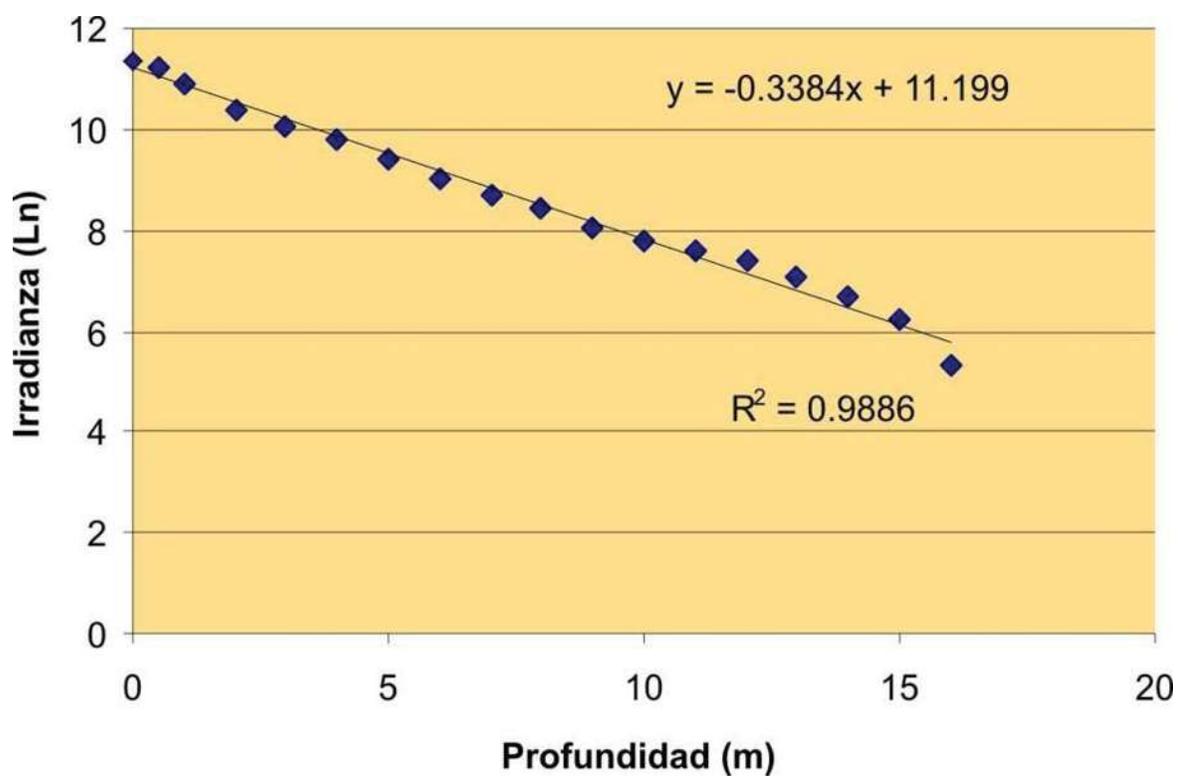


Figura 36. Gráfica de correlación entre Ln de irradianza y profundidad en el lago cráter Los Espinos.

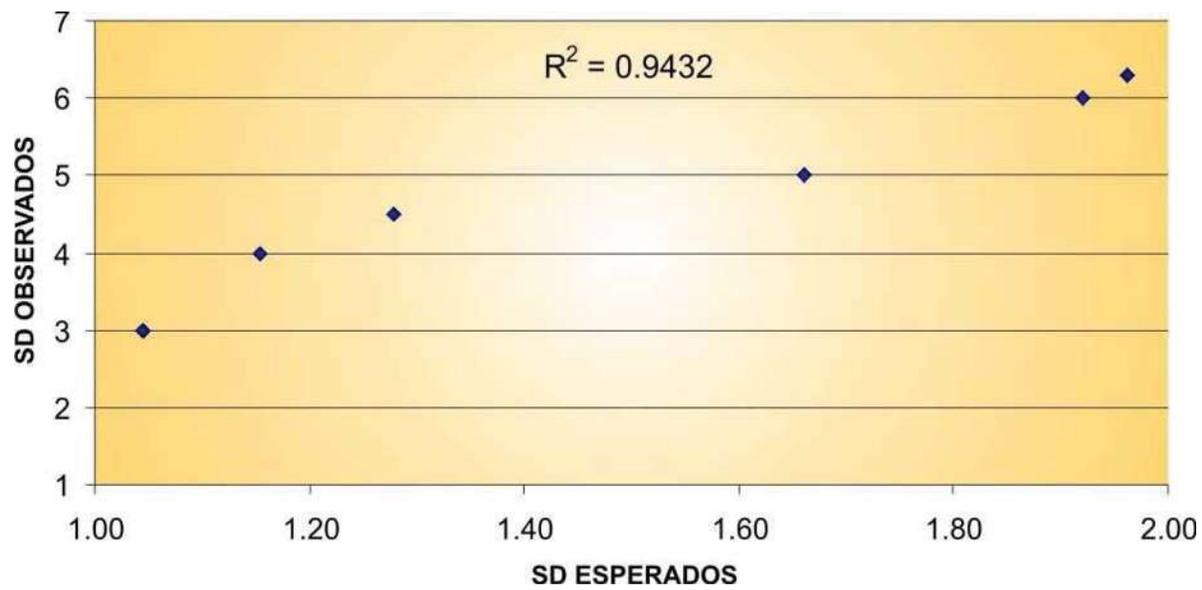


Figura 37. Relación lineal entre los valores observados y esperados del lago cráter Los Espinos.

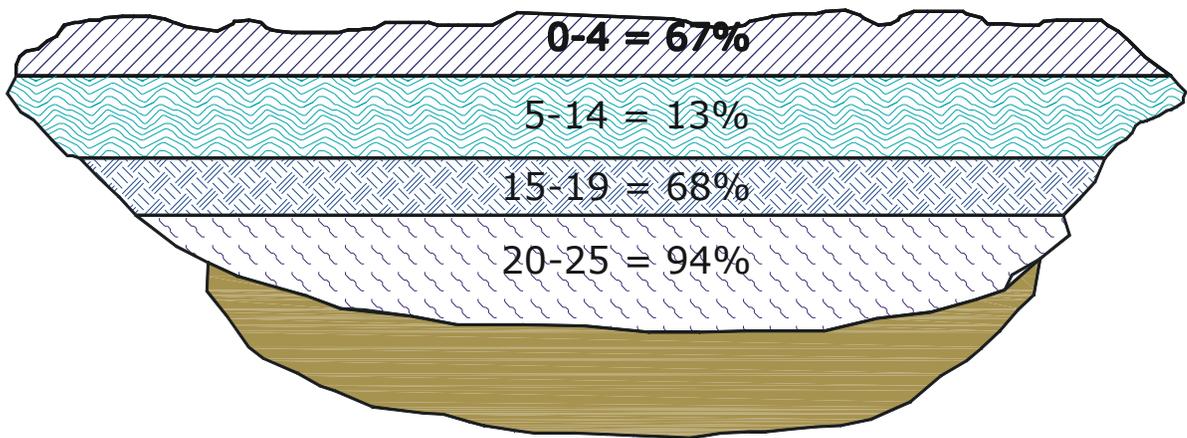


Figura 38. Perfil de atenuación horizontal de luz en porcentaje, en el lago cráter Los Espinos, de Jiménez

7.8 Características fisicoquímicas del lago cráter Los Espinos

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos del agua en el lago cráter Los Espinos al realizar un análisis de varianza (ANOVA) entre los sitios de muestreo con las 22 variables analizadas a diferentes profundidades se observa que no existen fuertes variaciones entre los diferentes sitios de muestreo.

El análisis de varianza (ANOVA) indicó una F obtenida de 0.2622 menor a un valor de F crítico con una probabilidad de 0.99 (Tabla 15). En consecuencia este resultado sugiere que las estaciones de muestreo presentan un patrón de comportamiento fisicoquímico similar, por lo que la descripción de los parámetros de calidad de agua en se realizó considerando que el lago se comporta como una unidad homogénea.

Durante el periodo de estudio el lago cráter Los Espinos registró una temperatura promedio de 20.0°C con una desviación estándar de + 2.48, un valor máximo de 24.5°C durante el mes de mayo y un valor mínimo de 17.5°C durante el mes de enero. Mientras que la concentración de oxígeno disuelto promedio en el lago fue de 2.95 mg/L, con un valor de concentración máximo de 6.60 mg/L y un mínimo de 0.40 mg/L (Tabla 16). El valor de saturación promedio de oxígeno disuelto fue de 22.8% tomando como referencia la temperatura promedio y la presión atmosférica local.

Lo anterior se debe a en la columna de agua se registraron valores de temperatura de 24.5°C a 24°C en las profundidades de superficie con una concentración de oxígeno disuelto de 6.6mg/L y a una profundidad de 7.0 m se registra una diferencia de 1°C ya que existe una disminución de temperatura registrándose 23°C y una concentración de oxígeno disuelto de 3.6 mg/L.

Estos valores se mantiene constante hasta una profundidad de 10m. A partir de esta profundidad se registraron valores de temperatura de 17.5°C manteniendo este valor hasta el fondo lo que indica una probable estratificación térmica, mientras que la concentración de oxígeno disuelto disminuye hasta valores 0.1 mg/L (Figura 39).

Tabla 15. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) en los sitios de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F	Probabilidad	Valor critico para F
Entre las estaciones	165889.75	23	7212.60	0.2622	0.9998	1.5794
Dentro de las estaciones	5941015.92	216	27504.70			
Total	6106905.67	239				

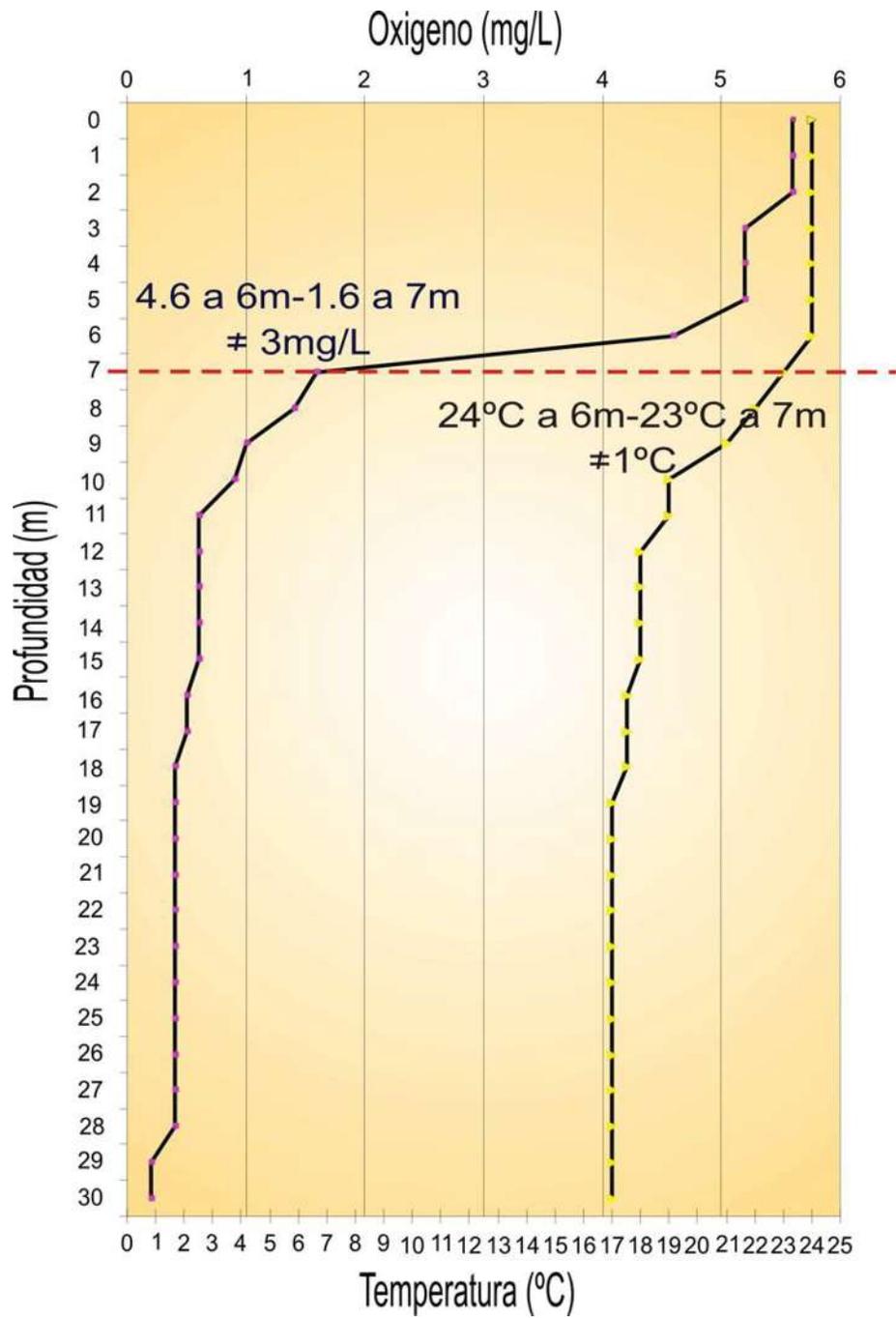


Figura 39. Perfil vertical de temperatura y de oxígeno disuelto en el lago cráter de los Espinos.

La mineralización del agua en el lago cráter Los Espinos fue relativamente baja, lo que se refleja en el registro de conductividad eléctrica, con un valor promedio de $120.0 \pm 0.5 \mu\text{S/cm}$, un máximo de $124.0 \mu\text{S/cm}$ y un mínimo de $110.0 \mu\text{S/cm}$.

El potencial de Hidrógeno (pH) registró un valor promedio de 8.3 ± 0.35 , con un valor un máximo de 8.94 y un mínimo de 7.58 (Tabla 16), de acuerdo con estos valores se considera que es un lago de condiciones ligeramente básicas o alcalinas. En consecuencia la concentración de bióxido de Carbono (CO_2) es baja con promedio de $2.0 \text{ mg/L} \pm 1.69$.

El valor promedio obtenido de alcalinidad fue de $172.5 + 23.57 \text{ mg/L}$. Se registraron valores en la concentración de bicarbonatos con un promedio de 131.0 mg/L , un máximo de 217.0 mg/L durante la temporada de sequía y un mínimo de 101.0 mg/L durante la temporada de lluvias. Mientras que la concentración de carbonatos promedio fue de 41.0 mg/L , con un máximo de 44.0 mg/L y un mínimo de 38.0 mg/L (Tabla 16).

Los valores de dureza total registraron un valor promedio de $211.4 \pm 23.57 \text{ mg/L}$, con un máximo de 260.0 mg/L y mínimo de 179.3 mg/L . Lo anterior sugiere que se trata de agua dura, la cual se caracteriza .

De acuerdo con los resultados obtenidos se considera que la dureza de calcio es dominante ya que se registró un valor promedio $47.4 \pm 13.99 \text{ mg/L}$, con un máximo de 69.74 mg/L y un mínimo de 26.32 mg/L , mientras que la dureza de magnesio reporta valores promedio de $31.2 \pm 10.87 \text{ mg/L}$, un máximo de 49.30 mg/L y mínimo de 19.83 mg/L (Tabla 16).

La concentración de sólidos suspendidos presentó un valor promedio fue de $2.66 \pm 1.36 \text{ mg/L}$, con un máximo de 7.50 mg/L a una profundidad de 22.0 m , mientras que el valor mínimo fue de 0.70 mg/L (Tabla 16) en la superficie. Al asociar los valores de extinción de luz y la concentración de sólidos

suspendidos se observó que la extinción de luz se explica en un 68.0% (Figura 39) con respecto a la presencia de sólidos suspendidos en los primeros metros de la columna del agua ($r=0.68$).

Con relación a concentración de sólidos sedimentables no existe diferencia alguna tanto en la columna del agua como en la distribución temporal. En este caso se registraron valores de 0.1 ± 0.0 ml/L de manera homogénea en todo el cuerpo de agua (Tabla 16).

En cuanto a la concentración de nutrientes el valor promedio de ortofosfato fue de $46.9+ 41.84$ $\mu\text{g/L}$ en el lago cráter Los Espinos, con valor máximo de 117.96 $\mu\text{g/L}$ en el fondo del lago y durante la época de sequía. El valor mínimo fue de 13.51 $\mu\text{g/L}$ en la superficie y durante la temporada lluvias con un coeficiente de correlación de $r= 0.71$ (Figura 41). La concentración fósforo total registró un promedio fue de $83.5+ 56.10$ $\mu\text{g/L}$, con un valor máximo de 236.96 $\mu\text{g/L}$ y un mínimo de 22.20 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 16)

En cuanto a los compuestos nitrogenados se registró un valor promedio de nitratos, nitritos y amonio de 0.025 ± 0.02 , 0.0363 ± 0.02 y 0.0062 ± 0.004 mg/L respectivamente (Tabla 16).

Los valores en la concentración sugieren una poca disponibilidad de estos compuestos nitrogenados. Sin embargo de acuerdo al perfil vertical existe un aumento en la concentración de nitratos a partir de los 7.0 m de profundidad (0.019 mg/L), registrando la mayor concentración de 0.1019 mg/L a los 15.0 m. En el caso de los nitritos existe un ligero aumento de nitrito a los 14.0 m (0.042 mg/l) registrando un valor máximo de 0.89 mg/L. En cuanto a la concentración de amonio, los valores nunca excedieron las concentraciones que se consideran tóxicas para la vida acuática (0.025 mg/L). Se registró un aumento a partir de 14.0 m (0.089 mg/L) hasta llegar al fondo, en donde se obtuvo la concentración máxima de 0.0189 mg/L (Figura 42).

Tabla 16. Características fisicoquímicas del lago cráter Los Espinos.

PARAMETROS	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	Desviación Estándar
<i>Temperatura (°C)</i>	21.39	24.50	17.50	± 2.48
<i>Oxígeno (mg/L)</i>	2.95	6.60	0.40	± 2.22
<i>Conductividad (µS/cm)</i>	120	124	110	± 0.5
<i>Potencial de Hidrógeno</i>	8.3	8.94	7.58	± 0.34
<i>Bióxido de carbono (mg/L)</i>	2.0	7.66	0.50	± 1.69
<i>Bicarbonatos (mg/L)</i>	131.2	217.00	101.00	± 24.58
<i>Carbonatos (mg/L)</i>	41.3	44.00	38.00	± 2.55
<i>Alcalinidad Total (mg/L)</i>	172.5	255.00	145.00	± 23.57
<i>Dureza Total (mg/L)</i>	211.4	260.00	179.30	± 27.27
<i>Dureza Ca (mg/L)</i>	47.4	69.74	26.32	± 13.99
<i>Dureza Mg (mg/L)</i>	31.2	49.30	19.38	± 10.87
<i>Sólidos suspendidos (mg/L)</i>	1.8	7.50	0.70	± 1.36
<i>Sólidos sedimentables (ml)</i>	0.1	0.1	0.1	± 0.00
<i>Turbidez (UTU)</i>	1.00	1.00	1.00	± 0.00
<i>Ortofosfato (µg/L)</i>	46.9	177.96	13.51	± 41.84
<i>Fosfato total (µg/L)</i>	83.5	236.96	22.20	± 56.10
<i>Nitratos (mg/L)</i>	0.0252	0.1019	0.0100	± 0.0240
<i>Nitritos (mg/L)</i>	0.0363	0.089	0.0141	± 0.0258
<i>Amonio (mg/L)</i>	0.0062	0.0189	0.0008	± 0.0047
<i>Clorofila (µg/L)</i>	4.04	7.27	0.20	± 1.94
<i>Productividad primaria (mgC/ m²/día)</i>	181.5	198	159	± 17.29

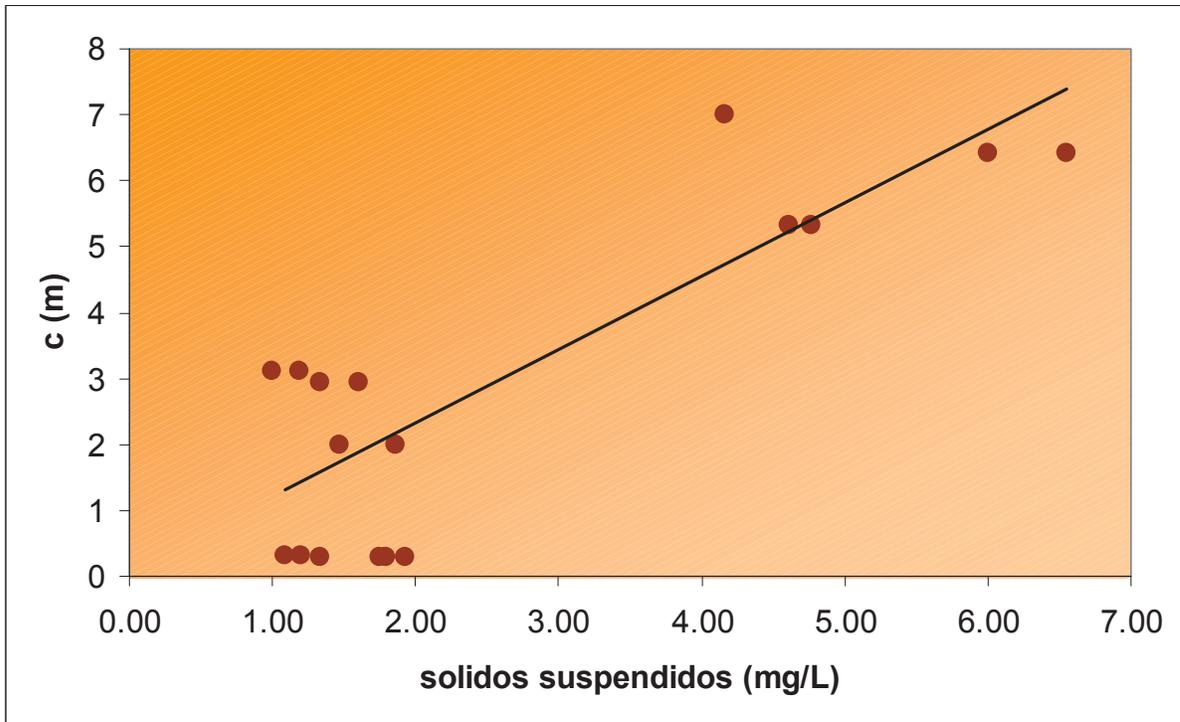


Figura 40. Relación entre extinción de luz (c) y sólidos suspendidos en el cráter los Espinos ($r=0.68$).

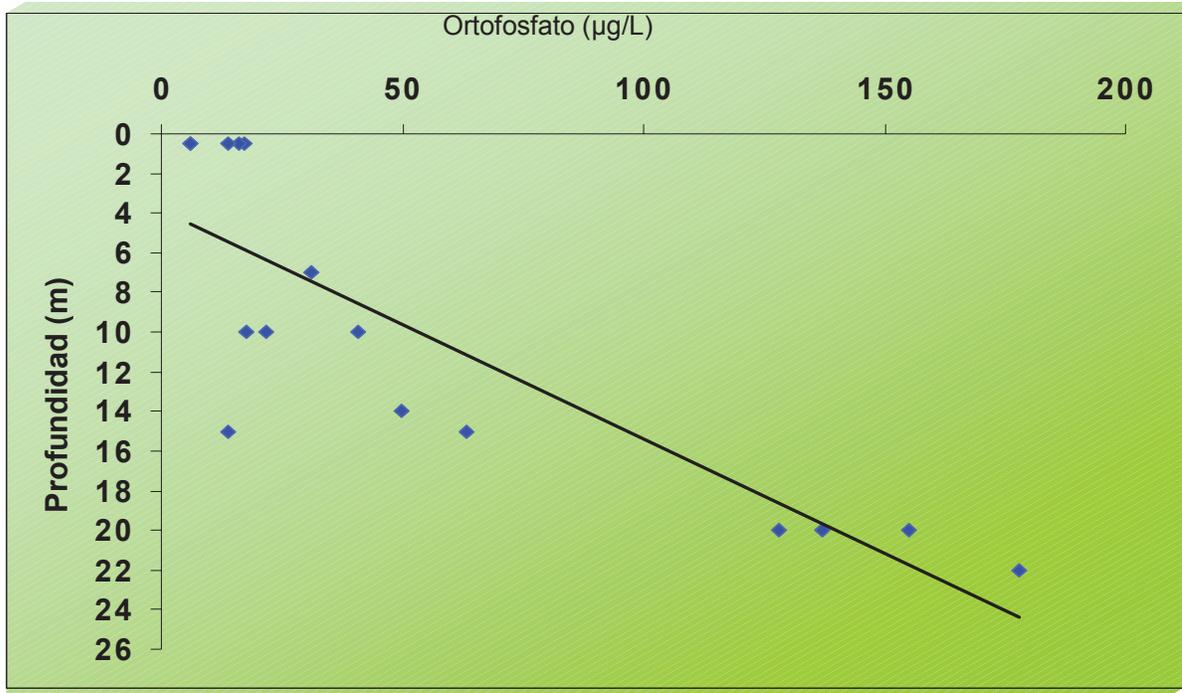


Figura 41. Patrón de distribución en la columna de agua de ortofosfato.

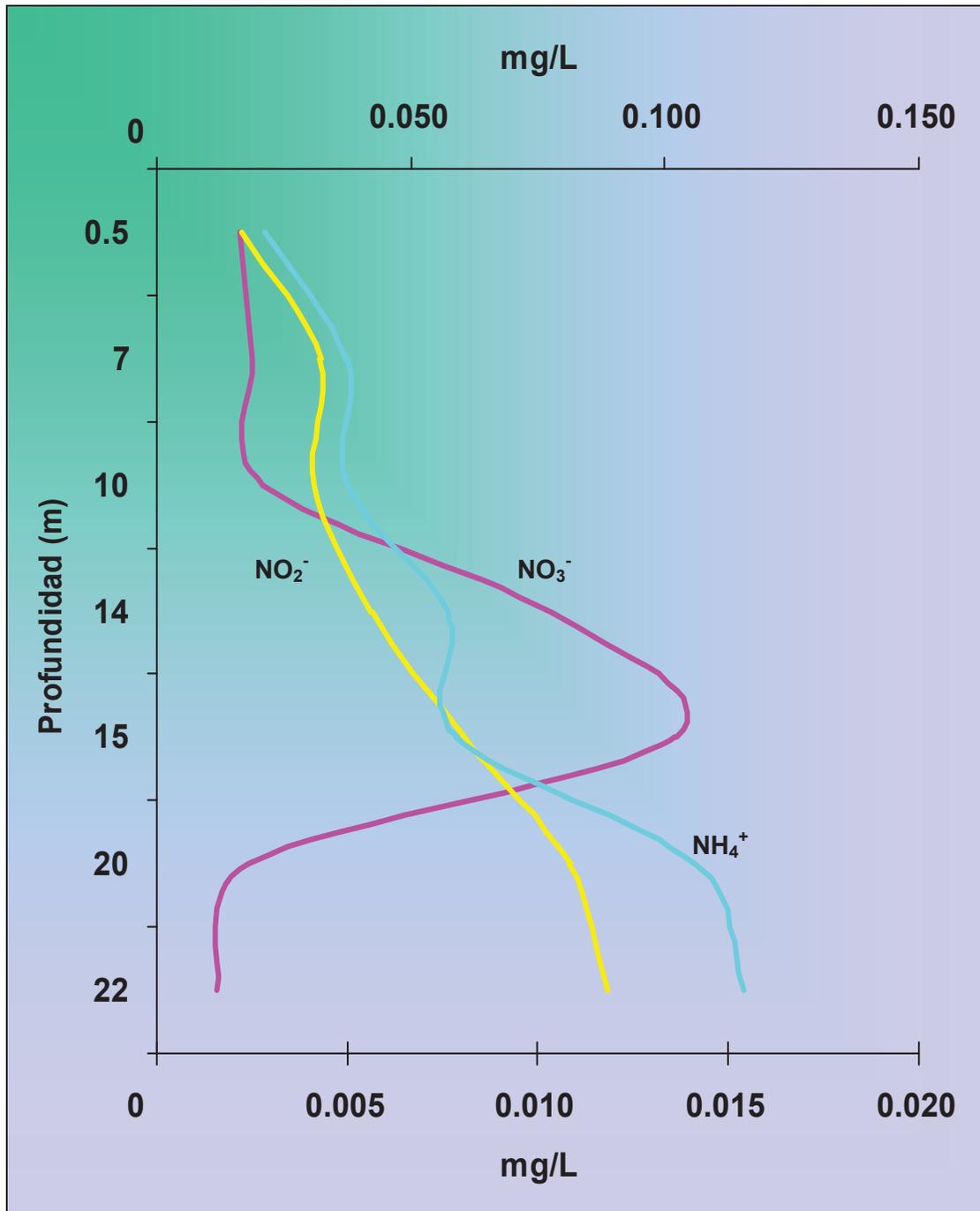


Figura 42. Perfil vertical de distribución de nitrato, nitrito y amonio del lago cráter.

El lago cráter Los Espinos registró una concentración de clorofila promedio de 4.04 ± 1.94 $\mu\text{g/L}$, con un valor máximo de 7.27 $\mu\text{g/L}$ a una profundidad de 15.0 m durante la época de sequía. El valor mínimo fue de 0.20 $\mu\text{g/L}$ a los 26.0 m durante la temporada de lluvias (Tabla 16).

La biomasa de clorofila asociada con los valores de la extinción de luz registraron un coeficiente de correlación de $r=0.85$, mientras que con la concentración de los nutrientes, la clorofila se relaciona principalmente con la concentración de ortofosfato con un coeficiente de correlación de $r=0.71$, mientras que con la concentración de nitratos este valor fue de $r=0.41$ (Figura 43).

Al realizar un análisis estacional del patrón de clorofila se observó que durante la primavera y hasta el verano se registraron las más altas concentraciones con valores hasta de 9.0 $\mu\text{g/L}$, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en la mitad del otoño con valores de 0.20 $\mu\text{g/L}$. Durante el resto del año se obtuvieron concentraciones de 2.5 y 4.0 $\mu\text{g/L}$ (Figura 44).

La productividad primaria en el lago cráter Los Espinos registró un valor promedio de 181.5 ± 17.29 $\text{mgC/m}^2/\text{día}$ con un valor máximo de 198.0 $\text{mgC/m}^2/\text{día}$ y un mínimo de 159.0 $\text{mgC/m}^2/\text{día}$.

Los sedimentos del lago cráter Los Espinos presentaron un tipo de arenomigajón, con una composición de 82.0% de arena, 2.0% de arcilla y 16.0% de limo. La concentración de materia orgánica promedio fue de 16.73% .

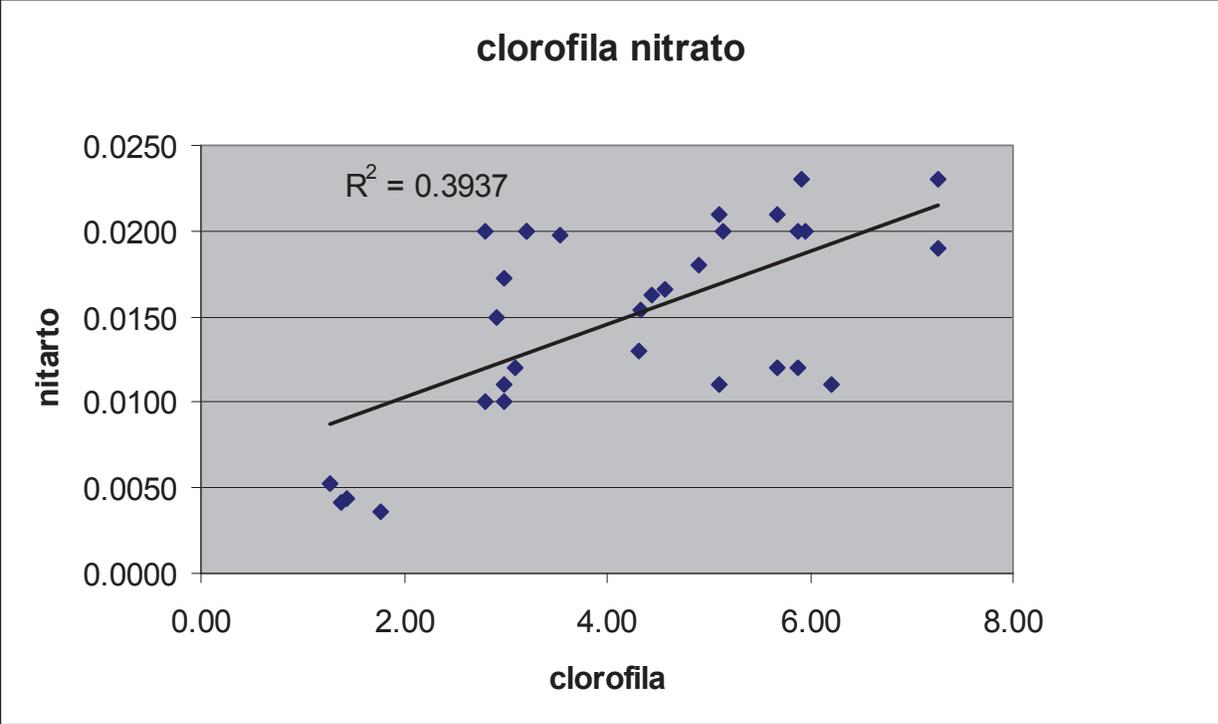


Figura 43. Regresiones de nitrato y clorofiladel lago cráter.

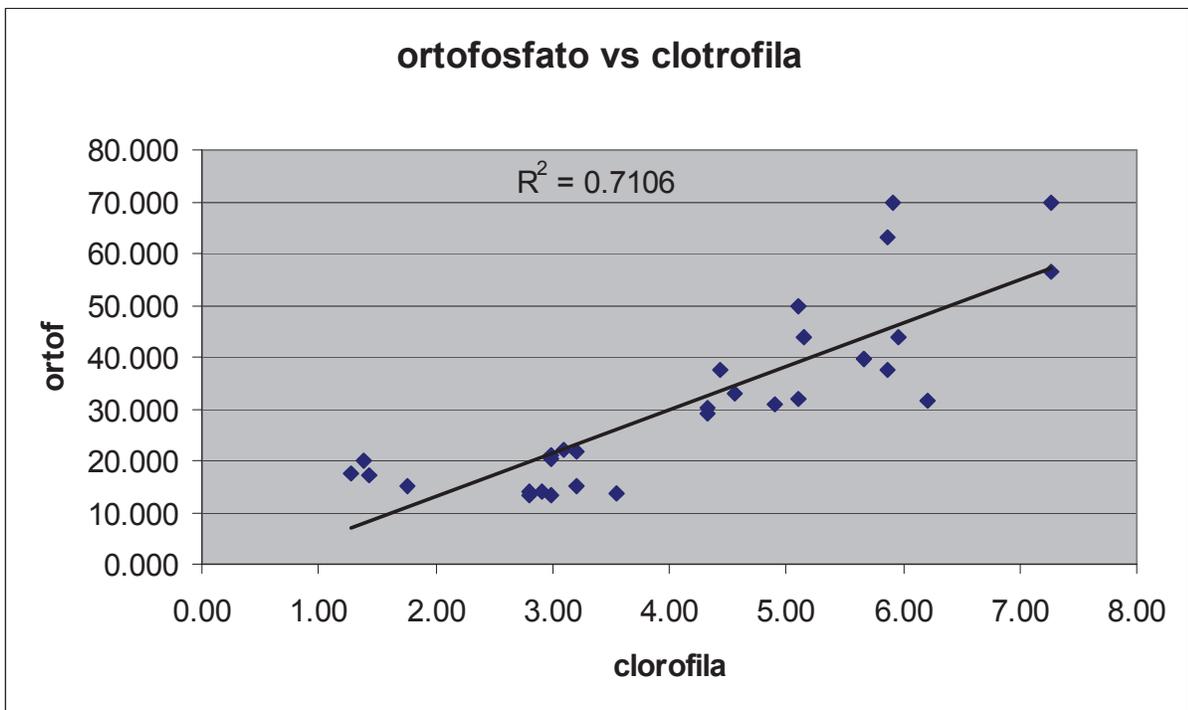


Figura 44. Regresiones de clorofila a con extinción de luz (kd) y ortofosfato.

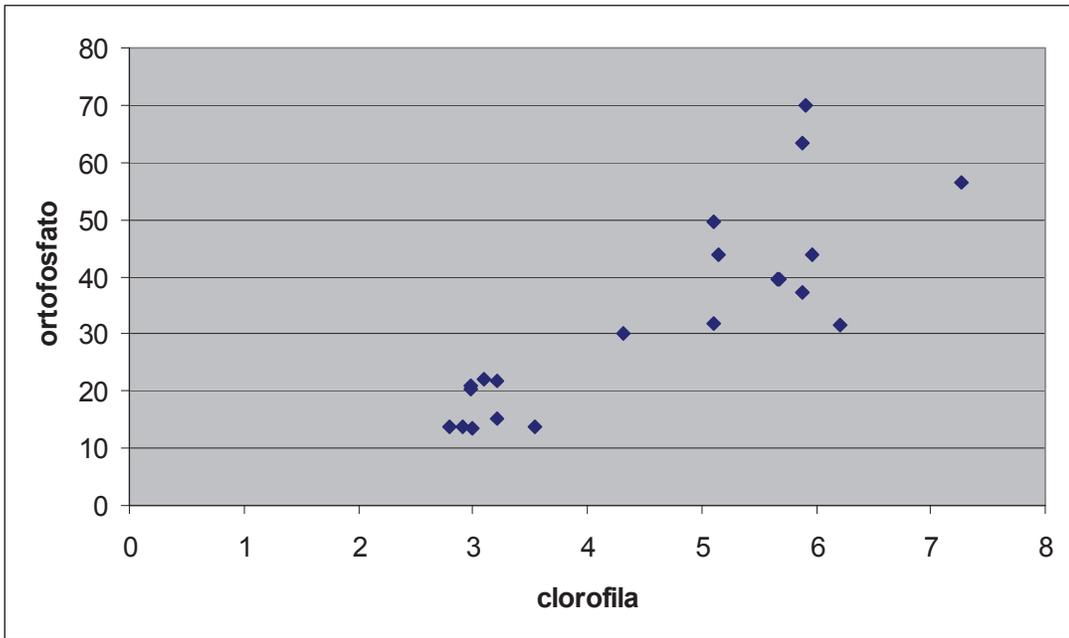


Figura 45. Regresiones de clorofila a con extinción de luz (kd) y nutrientes del lago cráter.

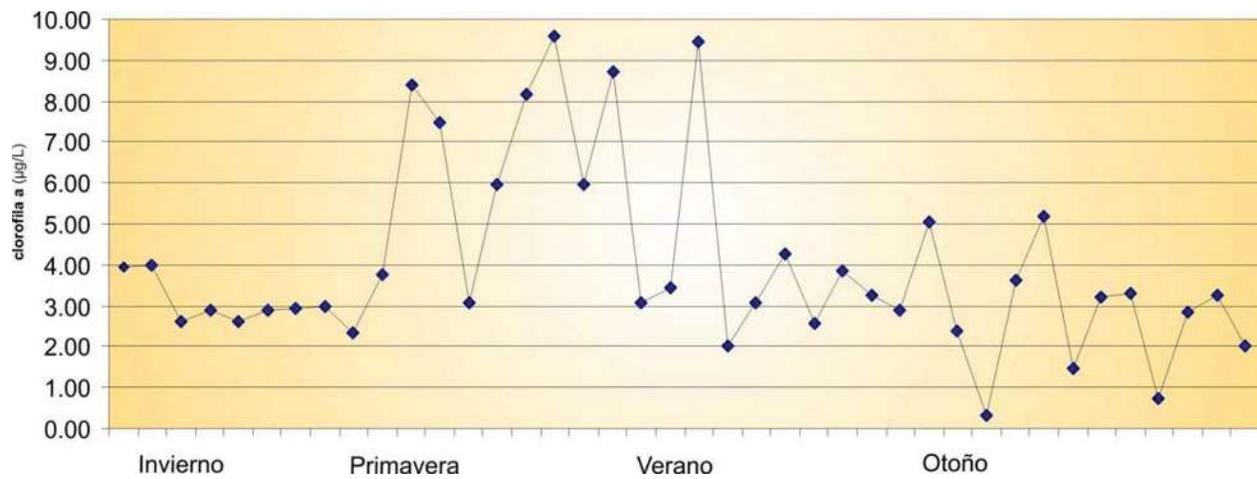


Figura 46. Patrón estacional con clorofila- a en el lago cráter Los Espinos

Tabla 17. Análisis de sedimentos del lago cráter Los Espinos.

Parámetro	Concentración	Observaciones
Materia orgánica (%)	16.73	
Hierro (mg/L)	2007.96	
Azufre (%)	0.24	
Arena (%)	82	Porcentaje de composición de sedimentos
Arcilla (%)	2.0	
Limo (%)	16.0	

VIII. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos en el reconocimiento limnológico que se realizó en el lago cráter Los Espinos, es posible considerar que del área total que se encuentra reconocida como Área Natural Protegida el 25.0% corresponde al volcán, mientras que el 6.19% corresponde al sistema lacustre. El área de escurrimiento superficial es de 35.12 ha.

La morfometría del sistema sugiere que se trata de un lago volcánico de baja profundidad si se le compara con otros lagos cráter del planeta.

Tabla 17.- lagos cráter

LAGO CRÁTER	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD
Oregón	Estados Unidos	594.0 m
Nyos	Camerún	200.0 m
Cuicocha	Quito, Ecuador	200.0 m
San Salvador	Salvador	500.0 m
Albano	Italia	170.0 m

Dentro de los sistemas lacustres regionales, el lago cráter Los Espinos es un sistema lacustre pequeño, pero si se compara la profundidad máxima con otros lagos cráter del territorio nacional, como son los seis lagos cráter del estado de Puebla, México, que se encuentran entre los 2345 y los 2510 m de altitud, su profundidad es relativamente mayor, comparando los 2.5 m que se registran en el lago Tecuitlapa hasta los 64.0 m en el lago Alchichica. Por lo tanto, el lago cráter Los Espinos con una profundidad máxima de 31.5 m se considera como un lago relativamente profundo.

El lago cráter Los Espinos es relativamente grande dentro del grupo de lagos de origen volcánico que existen en el territorio nacional.

Es un lago con una topografía homogénea que refleja las características del volcán en donde se aloja, con pendientes abruptas en distancias horizontales cortas promedio de 30.0 m, mientras que en las profundidades de 25.0 a 30.0 m esta pendiente se disipa presentando un área plana a semejanza de un plato. En una pequeña área de 179.87 m² se ubica la máxima profundidad

Se observa que el 67.3% de los valores del lago se encuentran dentro de los valores límites $f(3.0)$ y el 37.7% con un valor de $f(1.5)$. Estos valores lo clasifican como un lago de tipo cóncavo (C) con un 6.5% de probabilidad (Håkanson, 1981). El lago cráter de Los Espinos se identifica también como un lago de tipo “micro” considerando que la curva presenta dos puntos de inflexión.

Es posible que el complejo volcánico regional dominado por el destaca la peña del Brinco del Diablo al noroeste con una altitud 2540 msnm, pueda poseer una influencia hidráulica de alimentación al cráter La Alberca de Los Espinos, sin embargo, es necesario realizar estudios detallados de geomorfología con el objeto de explorar esta posibilidad.

El lago cráter Los Espinos posee una distribución de sedimentos homogénea, interpretando que los sedimentos acumulados en el fondo se han suavizado ligeramente con respecto a la distribución de sedimentos en la zona litoral. En cambio, se presenta con una forma de rugosidad muy alta, lo que significa que la zona litoral actúa principalmente como un área de transporte y de transferencia, presentando pendientes abruptas lo que permite el traslado hacia el fondo.

Por la ubicación geográfica del ecosistema, el clima que prevalece es de tipo semicálido sub húmedo, con lluvias de verano y un invierno seco, con un

cociente de precipitación y temperatura (P/T) de 42.4, el porcentaje de precipitación invernal es menor de 5.0% (3.93%) con respecto al total de la precipitación anual, la temperatura media anual es mayor a los 18.0°C, con la presencia de un verano caliente y con poca oscilación térmica, es decir, entre 5.0 y 7.0°C, presenta una marcha anual de la temperatura tipo Ganges con el mes más cálido que es mayo antes del solsticio de verano.

Los vientos dominantes en el sistema son relativamente poco constantes, derivado de la protección natural que ofrece el cono volcánico sobre el sistema, es decir, que a una altura de 178.0 m en una distancia horizontal de 158.20 m, desde el punto máximo del cráter al sistema lacustre, asociado a la vegetación natural del interior del cráter de encinos, fresnos y sauces permite que el sistema presente una estabilidad hidrodinámica frente a la acción del viento. Sin embargo, los vientos predominantes son de los cuadrantes este, sureste y suroeste. Los registros de viento sobre el sistema lacustre indican una frecuencia de viento procedente del noreste, suroeste y sureste

En consecuencia, la hidrodinámica del sistema es relativamente baja que se expresa en corrientes de deriva superficial con valores máximos de hasta 3.04 cm/s. Estas a su vez tienen una influencia que se manifiestan por una rotación de las corrientes debido al esfuerzo del viento. Este comportamiento en el lago cráter Los Espinos sugiere un transporte de estratos tipo Ekman. Es un lago permanente que no tiene salidas de agua, existiendo una compensación hidráulica por la infiltración hacia el interior de este cráter recibiendo tanto el agua de lluvia como agua infiltrada a través de las rocas volcánicas, además del escurrimiento de agua pluvial de sus paredes.

En el interior del cráter se presentaron vientos al noreste (46.15%), suroeste (30.77%) y sureste 23.8%, los movimientos hidrodinámicos de corriente de deriva superficial realizaron movimientos dominantes hacia el noroeste y noreste y el impulso de desplazamiento fue ejercido de los vientos interiores del cráter, así mismo se observó que los movimientos hidrodinámicos en la

profundidad de 10.0 m llevan una dirección semejante. A la profundidad de 20.0 m se repite el desplazamiento, estableciendo una similitud entre ambas. Los movimientos hidrodinámicos son relativamente rápidos en la superficie se encuentran determinados por la dirección de los vientos.

Los atributos ópticos del sistema se encuentran estrechamente asociados al origen volcánico del lago. La presencia de suelos del tipo Cambisol eútrico (**Be**) que es un suelo poco desarrollado, aún con características semejantes al material que le ha dado origen, de color claro, presentan cambios de estructura o consistencia debido a la intemperización. Como suelo secundario se identifica al tipo Andosol vítrico (**Tv**) que un suelo formado de cenizas volcánicas con superficies oscuras. Lo anterior presenta una posible influencia de estas propiedades en el agua del lago. El pequeño tamaño de partícula genera una sedimentación diferencial que necesariamente se expresa en valores altos en los coeficientes de extinción vertical y de transmisión horizontal de la luz.

El coeficiente de extinción vertical de la luz (K_d) registró un valor promedio de 2.4m^{-1} . Al comparar este valor con otros lagos del planeta y del territorio nacional es posible determinar que el lago cráter Los Espinos es poco transparente (Tabla 17).

Tabla 1.- comparativa de lagos cráter

LAGO	EXTINCIÓN VERTICAL DE LA LUZ (K_d) (m)
Lago de Zacapu	0.21
Lago de Zirahuén	0.41
Lago de Pátzcuaro	3.16
Lago Perry, Tasmania	0.21
lago Ladies, Tasmania	0.41
Lago Ontario, Canada	0.15
Lago Cráter Los Espinos	2.4

En el caso del coeficiente de extinción vertical de la luz (K_d) derivado de los valores de transmisión obtenidos en el campo, se observó que para los valores de irradianza espectral en sus diferentes intervalos cromáticos de luz blanca, azul, verde y roja, el mínimo de incidencia de la luz blanca se registró a los 13.61 m.

El coeficiente de extinción vertical de la luz blanca fue de 0.3384 con un coeficiente de correlación con respecto a la profundidad de 0.9886.

El perfil de extinción de la luz en sus diferentes intervalos de longitud de onda fue diferente registrando una profundidad máxima de detección de 7.0 m para el color azul con un valor en el coeficiente de extinción vertical de la luz (K_d) de 0.6459, para el verde fue de 15.0m con un valor de K_d de 0.301, mientras que el color rojo registró una profundidad de detección máxima de 8.0 m con un valor K_d de 0.7313.

El material suspendido absorbe la radiación lumínica en el color rojo y azul del espectro lumínico, por tal motivo el agua al encontrar material en suspensión permite una menor transmisión de los colores verde y azul.

El análisis de regresión lineal realizado entre el logaritmo natural de los valores registrados de irradianza y los valores de profundidad en el lago cráter Los Espinos, estimó un valor en el coeficiente de extinción vertical determinado por la pendiente de la recta con un valor de 0.3384.

Los valores del coeficiente de atenuación horizontal de luz indican que desde la superficie hasta los 4.0 m de profundidad se encuentra un valor promedio de 67% de transmitancia. A partir de los 5.0 m y hasta los 14.0 se obtuvo un valor promedio de 13% de transmitancia. Estos valores se incrementaron en el intervalo de profundidad de los 15.0 a los 19.0 m con un valor promedio de 68%. Al incrementarse la profundidad también se elevaron los valores de

transmisión de la luz con un promedio de 94% en profundidades de 20.0 a 25.0 m.

Los valores de atributos ópticos obtenidos del lago cráter Los Espinos se compararon con aquellos valores registrados con el disco de Secchi. La lectura del disco de Secchi representa una medida relativa de la visibilidad en un ecosistema acuático. Los valores mínimo y máximo de la lectura de Secchi fueron de 3.0 a 6.3 m.

La presencia de una franja de mayor visibilidad a la profundidad entre 15.0 y 19.0 m sugiere la posibilidad de un efecto de infiltración de agua desde el cono volcánico.

La zona eufótica fue estimada en una profundidad de 13.61 m, la cual se encuentra asociada a una eficiencia en la penetración de la luz blanca para inducir el proceso de la fotosíntesis.

La luz que penetra en el agua es absorbida selectivamente, es decir, determinadas longitudes de onda penetran más profundamente que otras. Una parte de la luz es desviada o sufre fenómenos de reflexión. Por lo tanto, las condiciones ópticas de las aguas son de importancia para la productividad biológica y para el mantenimiento de la vida.

La visibilidad es una de las propiedades ópticas del agua que influye en la penetración de la luz, la cual está influenciada por la presencia de la concentración de sólidos suspendidos en los primeros metros del lago cráter de Los Espinos, esto puede constituir un factor limitante para el desarrollo de los organismos vivos.

En la relación entre la extinción de luz y la concentración de sólidos suspendidos se observó que esta extinción es posiblemente afectada en un 68% por la presencia de sólidos suspendidos en los primeros metros del lago.

El lago cráter de Los Espinos posee aguas relativamente alcalinas, lo que refleja la influencia del origen volcánico de la zona, como es el caso del cráter de Ngoro Ngoro, que tiene un lago muy alcalino y salino.

La mineralización del agua en el lago cráter Los Espinos es baja y se considera que el agua es dura.

La alcalinidad en los sistemas lacustres posee una función importante ya que tiene un efecto directo sobre la capacidad amortiguadora del agua. El equilibrio entre el carbonato, bicarbonato y bióxido de carbono son los principales indicadores de esta capacidad en los lagos además de definir la fuente de carbono.

La distribución de los tipos del suelo es determinada por el material que lo forma, es decir, de las rocas o material volcánico derivado de ellos, además de los efectos del transporte por el agua de lluvia o formado directamente en roca de la madre. Las paredes interiores del cráter se observan estratificadas generalmente rocas lávicas y piro clástica así como los suelos volcánicos derivados de éstos.

La precipitación pluvial arrastra los materiales que se transportan hacia el interior del lago cráter, incorporando una cantidad de arcilla arenosa. Los sedimentos tienen en consecuencia una textura areno migajosa.

IX. CONCLUSIONES

El lago de Los Espinos se encuentra ubicado en el interior de un cráter extinto de una superficie de 35.12 ha que representa un 25 % del área total y al interior de este un sistema lacustre que se encuentra en su interior tiene una superficie de 8.08 ha.

Presenta pendientes abruptas con un intervalo de valores de 50 a 60% contribuyendo al escurrimiento dinámico del agua de lluvia y su rápida incorporación a las zonas más bajas.

El lago se sitúa 30 metros por debajo de los niveles exteriores en la falda del volcán.

La profundidad máxima del lago cráter Los Espinos es de 31.5 m la cual se ubica al sureste del vaso lacustre.

Se identifica una topografía homogénea que refleja las características del volcán en donde se observa claramente que la pendiente exterior lleva una continuidad hacia el interior del lago.

En el intervalo de profundidades de 25.0 a 30.0 m esta pendiente se disipa presentando un área plana a semejanza de un plato, en una pequeña área de 179.87 m² se ubica la máxima profundidad.

En la parte terrestre del cono interno se presenta un corte recto particularmente en la zona norte. Esta se refleja al interior de lago definiendo la continuidad de la pendiente del volcán.

La línea de costa evidentemente no es accidentada por lo que se puede asumir que no favorece intercambio térmico agua-tierra.

El índice de desarrollo de costa (DLC=1.03) del lago cráter Los Espinos sugiere un lago con una circunferencia, con una ligera elongación hacia la dirección noreste a suroeste, al presentar esta elongación se estima un bajo potencial para el desarrollo de comunidades litorales con relación al volumen de agua del lago.

La profundidad relativa ($Z_r=9.39\%$) del lago cráter Los Espinos de 9.39%, sugiere una alta estabilidad de la columna del agua, es decir que ofrece resistencia a la mezcla.

Se observa que el 67.3% de los valores del lago se encuentran dentro de los valores límites $f(3.0)$ y el 37.7% con un valor de $f(1.5)$. Estos valores lo clasifican como un lago de tipo cóncavo (C) con un 6.5% de probabilidad (Håkanson, 1981). El lago cráter de Los Espinos se identifica también como un lago de tipo "micro" considerando que la curva presenta dos puntos de inflexión.

Los Espinos posee una distribución de sedimentos homogénea, interpretando que los sedimentos acumulados en el fondo se han suavizado ligeramente con respecto a la distribución de sedimentos en la zona litoral. En cambio, se presenta con una forma de rugosidad muy alta, lo que significa que la zona litoral actúa principalmente como un área de transporte y de transferencia, presentando pendientes abruptas lo que permite el traslado hacia el fondo.

El mapa batimétrico del lago cráter de Los Espinos tiene un valor de informativo (I) igual a 0.90 muy cercano a la unidad por lo que se considera que la información generada es completa, en cuanto a la ubicación de las isobatas o identificación de profundidades del mapa se obtuvo un valor de (I') equivalente a 0.99. Lo anterior representa que el 99.0% del área se encuentra correctamente identificada se considera que este mapa es de los más precisos que se han realizado en cuerpos de agua michoacanos.

La zona eufótica en el lago cráter se encuentra a los 13.61 m; el lago cráter de Los Espinos no es transparente. Lo anterior es el resultado de la presencia de sólidos suspendidos en asociación con pigmentos fotosintéticos. La concentración de clorofila aumenta a partir de los 7.0 metros hasta los 13.0 lo que afecta la penetración de luz.

El agua presenta una baja mineralización siendo su vez ligeramente alcalino. La alcalinidad total del lago es debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos.

La concentración de amonio y nitritos es baja lo que sugiere que los procesos de nitrificación son eficientes, mientras que la baja concentración de nitrato asociado a la productividad primaria sugiere una utilización del nitrógeno orgánico también eficiente.

De la misma manera, la concentración de fósforo es relativamente baja, especialmente en lo que se refiere a la ocurrencia de ortofosfato sugiriendo una baja disponibilidad de este nutriente para la productividad primaria.

Con base a la información generada en cuanto a la caracterización limnológica del lago cráter se considera que la vocación natural de este sistema acuático es de un desarrollo turístico de tipo ecológico y de bajo impacto, de la manera en que se encuentra referido en el plan de manejo del ANP. Es de fundamental importancia que únicamente exista el equipamiento mínimo que sustente las actividades de recreación, deporte de aventura, convivencia comunitaria y con especial atención hacia la educación ambiental.

X. LITERATURA CITADA.

Alcocer J., A. Lugo, E. Escobar, M.R. Sánchez & G. Villaclara (1998). Water column stratification and its implications in the tropical warmmonomictic lake Alchichica, Puebla, Mexico. *Verh.Internat. Verein. Limnol.* 27, 3166-3169.

Alcocer J., A. Lugo, M. R. Sánchez . & E. Escobar (1998). Isabela Crater-Lake: a Mexican insular saline lake. *Hidrobiología.* 381: 1-7.

Javier Alcocer, Alfonso Lugo, María del Rosario Sánchez, Elva Escobar, Isabela Crater-Lake: a Mexican insular saline lake, *Hydrobiologia*, Volume 381, Issue 1 - 3, Jan 1998, Pages 1 – 7

Alcocer *et al* (2002). Los lagos cráter del Valle de Santiago, Guanajuato. En: G. de la Lanza y J.L. García (comps.). *Lagos y presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo. México. 2a. Edición.

Alcocer J., Lugo A. (2004) Isabela Crater-Lake: a Mexican insular saline lake, *Hydrobiologia*, Volume 381, Issue 1 - 3, Jan 1998, Pages 1 – 7

ALED Consultora (2004) Plan de restauración o rehabilitación y Mejoramiento Ambiental de los bancos de Materiales Pétreos conocidos como “La Alberca”, en el municipio d Jiménez. 88 pp

Álvarez J. (1950). Contribución al conocimiento de los peces de la Región de los Llanos, estado de Puebla (México). *An. Esc. Nac. Ci. Biol . México* 69 (2)81-107.

APHA (1995). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington DC. 17th edition.

Armitage, K.B (1959). Lagos volcánicos de El Salvador. Común.Inst. Trop. Cient. 39-517(1-2).

Armitage, K.B. And N.C. Fassett.(1971). Arch. Hydrobiol. Aquatic plantes of Salvador. (2):243-255.69.

Arredondo, F.J., L.Borrego, R., Castillo y M. Valladolid. (1983) Biótica Batimetría y morfometría de los lagos "maars" de la Cuenca de Oriental, Puebla, México. :31-47.8 (1).

Arredondo, F.J, O. Vera y O. Ortiz. (1984). Biótica Análisis de componentes principales y cúmulos, de datos limnológicos, en el lago de Alchichica, Puebla.23-39..9(1).

Arredondo (2002) .Biótica Batimetría y morfometría de los lagos "maars" de la Cuenca de Oriental, Puebla, México. 31-47.8 (1)

Ayala Ramírez G., L., (1997). Evaluación de los atributos Ópticos de la Lago de Zacapu, Michoacán, México. Tesis Profesional. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

Banderas *et. al.* (1990) A new species from a high altitude crater lake in the volcano Nevado de Toluca, Mexico. Publicado por brill academic .Vol. 73 Número 3 marzo 1990

Ballina L H. R., J. J. Herrera, L. Ruiz, J. Castillo, R. Alvarado y E. Álvarez (1997). Manifestación de impacto ambiental para los bancos de Material "la Villa " y "No. 1", Mpio. de Villa Jiménez, Mich. SEDUE. Morelia, Mich.

Baxter, R.M. And R.B. Wood.J. Appl (1965). Ecol. Studies on stratification in the Bishoftu crater lakes.416.2.

Bernal – Brooks F. W. (1988). Limnology of lake Zirahuen relative to human impacts. Tesis de Maestría en Ciencias. University of Guelph. Canadá. 32pp.

Bernal-Brooks F.W. y MacCrimmon H.R., (2000). Lake Zirahuen (Mexico): An assessment of the morphometry change based on evidence of water level fluctuations and sediments inputs. Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope. Ed. M. Munawar, S.G. Lawrence, I.F. Munawar y D.F. Mulley. pp. 61-76.

Belis et al (1999) Journal of Paleolimnology; publicación: Springer Netherlands Volume 21, Number 2 Date: February 1999,Pages: 151 - 169

Burrough, P.A., 1993. Principles of geographical Information systems for land resources assessment, Claredon Press, Oxford, 194 p.

Borrego R.M. (1979). Batimetría y morfometría de los lagos "maars" de la cuenca Oriental, Puebla, México. Biotica 8: 37–47.

Caballero M. (2001) Short-term climatic change in lake sediments from lake Alchichica, Oriental, México. Geofísica Internacional (2003), Vol. 42, Num. 3, pp. 529-537

Campos M. A., A. Gutiérrez, I. Hernández (1997). Limnología Física del lago de Zirahuén, Michoacán, México. Tesis Profesional. UMSNH. Morelia, Mich., México.

Carlson R.E. (1977), A Trophic State Index for Lakes. Limnology And Oceanography. 23:361-369.

Cervantes, M., M. R. Maldonado & A. M. Patiño, (1986). Aspectos ecológicos necesarios para el planteamiento de un programa integral de desarrollo para la reserva ecológica Isla Isabel, Nay. Bachelor Thesis. ENEP Iztacala, UNAM. México. 119 pp.

Cervantes (2000) Description Of *Ilyocryptus Nevadensis* (Branchiopoda, Anomopoda), A New Species From A High Altitude Crater Lake In The Volcano Nevado De Toluca, Mexico; Brill Academic Publishers. Vol. 73 numero 3 páginas 311-321

Chacón T. A. (1989). A limnological study of lake Pátzcuaro, México, with a consideration of application of remote sensing techniques. Ph. D. Thesis. University of Stirling. 340 pp.

Castillo M. (1992) Morfometría de lagos una aplicación a los lagos Pirineos. Universidad de Barcelona de Bienio. España 286 pp

Castillo (1998) Manifestación de Impacto Ambiental, para la Extracción y Procesamiento de Materiales pétreos en el banco de Materiales denominada "La Alberca", municipio de Jiménez. 87pp

Castillo (2003) Estudio ambiental de mecánica de suelos del banco de materiales "La Villa" en el municipio de Jiménez. 92pp

Castillo (2004). Manifestación de impacto ambiental para recuperación del área en los bancos material pétreo denominados "la Villa " y "No. 1", Municipio de Jiménez, Mich. 104. pp

Chacón T. A. (1993). Pátzcuaro un Lago Amenazado. Bosquejo Limnológico. Editorial Universitaria. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 144pp.

Chacón T. A. (1998). Principios de Morfometría Lacustre. Instituto sobre los Recursos naturales. UMSNH., Morelia, Mich., México. 35pp.

Chacón T. A. y E. Muzquiz (1991). El lago de Zirahuén, Michoacán, México. Reconocimiento ambiental de una cuenca michoacana. Biología Acuática 2. Sría. De Difusión Cultural. UMSNH. Ed. Universitaria. Morelia, Michoacán, México. 30 pp.

Chacón-Torres A. (1993). Lake Pátzcuaro, México: Effects of Turbidity in a Tropical High Altitude Lake. Tropical Freshwater Biology, (3): 251-272.

Chapman Lauren J (1998), Hydrobiologia 385: 201–211, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 201. Dissolved oxygen and thermal regimes of a Ugandan crater lake.

CITES (2004) Examen de las propuestas de enmienda a los apéndices I yII, propuestas 12. 17 transferir Amazona, oratrix del Apéndice II al apéndice I de conformidad con las disposiciones del artículo XV, párrafo 1° de la convención sobre el comercio de Especies Amenazadas.

De Buen f. An. (1945). Inst. Biol Investigaciones sobre la ictiología mexicana. I. atherinidae de aguas continentales de México.Univ. Nac. Autón. México.475-532.16 (2).

De Buen F. L. (1943). Los lagos Michoacanos I. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. México. 4(3-4): 211-233.

Deevey E.S. Trans. Comn. Acad. (1957) Limnologic studies in Middle America Arts. Sci. 213-328.39.

Delebecque, A. 1898. Les lacs français. Chamerot et Renouard. Paris. 436 pp.

Denny P. Freshwater Biol. (1972a) Lakes of South Western Uganda o lake Bunyonyi. I. Physical and chemical studies on lake Bunyonyi.143-158.2.

Díaz A. M. M. (1997). Diagnóstico del estado trófico de la lago de Zacapu, Michoacán. Tesis Profesional Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. México. 129 pp.

Fuentes (1972) A.L. Direc. de Publ. Regiones naturales de estado de Puebla.Univ. Nal. Autón. México. 143 pp.

Förel, F. A. (1892) Le Léman: monographie limnologique. Tome1, Géographie, Hydrographie, Géologie, Climatologie, Hydrologie. Lausanne, F. Rouge, 543 pp.

Garza de la Torre (1971). Los volcanes de México. Ed. Aguilar. México.

Gasca D.A. (1982) Génesis de los lagos. cráter de la Cuenca de Oriental. Colec. Cient. Inst. Nal. Antropol. Hist. 98 México. 45 pp.

Galván A., Labrada A. (2001) Zooplancton de Lagos Temporales: San Nicolás de Parangueo y Cíntora, Valle De Santiago, Guanajuato, México Laboratorio de Limnología, Proyecto CyMA, UIICSE. UNAM FES Iztacala.

Green J. S.A. Corber And E. Betney. (1974) Ecological studies on crater lakes in West Cameroon. J. Zool. Lond. 199-223.173.

Goldman Charles R. (1988) Limnol. Oceanogr, 33(6, part 1), 1321-1333, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc. Primary

productivity, nutrients, and transparency during the early onset of eutrophication in ultra-oligotrophic Lake Tahoe, California-Nevada. Division of Environmental Studies, University of California, Davis 95616

González, Villela R (1984) Estudio de la productividad primaria del 'Lago El Sol' en el Volcan Nevado de Toluca, Edo. de México. Tesis Licenciatura. Fac. de Ciencias. U.N.A.M., 53 p. il.

El Grupo Eréndira de Proyectos Industriales S.A. de C.V. (2000) Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad General para el proyecto de Regularización para la Extracción y Procesamiento de Materiales pétreos en el banco de Materiales denominada "La Alberca", municipio de Jiménez. 91pp

Häkanson L. (1981) A Manual of Lake Morphometry. Springer-Verlag, Berlín. 78p.

Häkanson L. (2004) Lakes: Form and function. Department of Earth Sciences Sppsala Sniversity Sweden. 201 pp

Hasler A.D (1938.) Fishbiology and limnology of crater lake Oregon. J Wildl.. Manage. 94-103.2.

Herrera *et al* (2006) Relación de aguas superficiales y subterráneas en el área del lago Chungará y lagos de Cotacotani, norte de Chile: un estudio isotópico, Revista Geológica Chile, Vol. 33 No.2 páginas 299-325, julio 2006

Holmes R.W. (1970). The Secchi Disk In Turbid Coastal Waters. Limnology And Oceanography. 15:688-694.

Hutchinson G. E. And H. Löffler (1956). The thermal clasification of lakes. Proceedings of the Natural Academy of Sciences. 42: 84-86

Hutchinson G. E. (1957). A treatise on limnology I. Geography, physics and chemistry. John Wiley. 1051 pp.

Hutchinson G. H. (1975). Geography physics and chemistry. A treatise on limnology. I. John Wiley & Sons Inc. N.Y. 1015 pp.

(Israde-Alcántara, 1999). Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting. The evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin system (Central western Michoacan, Mexico). *Palaeco-geography, Palaoclimatology, Palaecology* V. 15, n. 1-3, 209-227.

INEGI (1990). Carta Topográfica. Clave E14AII, Zacapu. Escala 1:50 000

INEGI (1993) Cartas E14A11, Edafológica y Geológica) Escala 1:50 000

INEGI (1993) Carta Geológica Clave INEGI, E14A111, Escala 1:50 000
Cartas, Zacapu

Jassby Alan D. (1999) *Limnol. Oceanogr.*, 44(2), , 282–294 , by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc. Origins and scale dependence of temporal variability in the transparency of Lake Tahoe, California–Nevada. Department of Environmental Science and Policy, University of California, Davis, California 95616.

Jerlov N. G. (1968). *Optical Oceanography*. N. G. Jerlov. Elsevier, New York, 1968. XVI + 194 pp.

Jerlov N. G. (1976). *Marine optics*. Elsevier.

Juday C. 1915. Limnological studies on some lakes in Central America. Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters (18): 214-250,

Kalff, J. (2002) Limnology. Inland Water Ecosystems. Prentice Hall, New Jersey, 592 pp.

Kirk J. T. O. (1983). Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University. Great Britain. 401 pp.

Kopen, E.G (1973) Modificaciones al sistema de clasificación climática, Instituto de Geografía, UNAM. México.

Lind O.T. (1974). Handbook of common methods in limnology. The C.V. Mosby Company. Saint Louis, 1974. 154 p.

Lind O. T. (1986). The effect of non-algal turbidity on the relationship of Secchi depth to chlorophyll a. Arch. Hydrobiología 140: 27 – 35.

Lind T.O (1985). Handbook of common methods in Limnology. U.S.A. Second edition, 198 pp

Lorenzen C. J. (1979). Surface chlorophyll as an index of the deep, chlorophyll content, and primary productivity of the euphotic layer. Limnology and Oceanography. 15: 479-489

Lorenzen, M.W (1980). The use of chlorophyll Secchi disk relationships. IN: Limnol. Oceanog. 25:371–372.

López-López E. y Soto-Galera E. (1993). Diagnóstico de eutroficación del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México. *Anales Instituto Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México. 20(1): 33-42.

Mórtimer (1956 en Kalff J. 2002) *Limnology. Inland Water Ecosystems*. Prentice Hall, New Jersey, 592 pp.

Medrano, M., (1979). Isla Isabel, Nay. Estudio geográfico de un espacio insular. Bachelor Thesis. Instituto de Geofísica, UNAM. 78 pp.

Murphy, J. and J. Riley. (1962). A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chemical. Acta* 27:31-36.

Metcalfe y Hales (1992) Sensibilidad de los lagos mexicanos a alteraciones en el medio ambiente; ejemplos del Eje Neovolcánico. *Ingeniería Hidráulica en México/mayo- diciembre*.

Metcalfe S. (1993). Evolution of the Preptoria Saltpan – a diatom record spanning a full glacial- interglacial cycle. *Hydrobiología* 269/270: 159 – 166.

Metcalfe S. (1994). Estudio de Diatomeas de la Cuenca de Zacapu, Michoacán: Punto 1 punto 4. En: 8000 años de la Cuenca de Zacapu, Evolución de los Paisajes y los Primeros Desmontes (ed. Por Pierre Pétrequin) pp. 9 – 28. Centre d' Etudes Mexicaines et Centramericaines. Francia.

Naumann (1919 en Kalff, J. (2002) *Limnology. Inland Water Ecosystems*. Prentice Hall, New Jersey, 592 pp.

Ordóñez E. (1906) Los Xalapascos de estado de Puebla. Paregones Inst. Geol. México. 348-405. 1(8).

Oliva Ma. Guadalupe (2001), *Hydrobiologia* 466: 299–306. Phytoplankton dynamics in a deep, tropical, hyposaline, UNAM

Pérez A.R. y Torres O.B (1992) Geomorphology and Bathymetry of Catemaco Lake, Veracruz, Mexico, Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Avenida Purísima y Michoacán s/n, Iztapalapa.

Pérez M. B. G. (2005). Estudio hidrodinámico y caracterización del flujo, en el lago de Zirahuén, Mich. por medio de un modelo matemático en tres dimensiones. Tesis. Maestría en Ciencias con Especialidad en Hidráulica. Instituto Politécnico Nacional. 185pags.

Preisendorfer (1986) . Secchi disk science: visual optics of natural waters. *Limnology and Oceanography*. 31(5) 909-926 pp

Ramírez-García, P. Y A. Novelo. (1984) La vegetación acuática vascular de seis lagos cráter del estado de Puebla, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 75- 88. 46.

Ramírez-García P. y Vázquez-Gutiérrez F., (1988). Contribuciones al estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla . *Anales del instituto de ciencias del mar y limnología*. 47pag.

Rainwater S. H.y Thatcher L.L.(1960) Methods for collection and analysis of water samples. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1454, Washington

Reid K, And D. Wood (1976). Ecology of inland waters and estuaries. 2a. ed. D. Van Nostrand. NY.,485 pp.

Rzedowski, J. (1973). "Geographical relationships of the Flora of Mexican dry regions". In: Graham, A. (Ed.) Vegetation and vegetational history of Northern Latin America. Elsevier Scientific Co. Amsterdam, pp. 61-72.

Rouwet Dmitri (2004), Geofísica Internacional, Vol. 43, Num. 3, pp. 427-434. Dynamics and mass balance of El Chichón crater lake, Mexico.

Sánchez, T., (1980). Cartografía de la Isla Isabel. Bachellor Thesis. Instituto de Geografía, UNAM. 35 pp.

Sarma S. S. S., Gutiérrez M. E. and Serranía S. C. (1996). Rotifers from high altitude Crater-Lake at Nevado de Toluca Volcano, México. Hidrobiologica Casa Abierta al tiempo. Universidad Autónoma Metropolitana. Ixtapala. 6(1-2): pp. 33-38

Schabetsberger et al (2004) Hydrobiologia , Publisher: Springer Netherlands Volume 524, Number 1 , August 2004 Paginas 79 – 90

SUMA (1992-2002) estudio técnico justificativo para la declaratoria de área natural protegida en la modalidad de zona sujeta a preservación ecológica "La Alberca de Los Espinos" del municipio de Jiménez, Michoacán pp. 00001 – 00069.

Strickland J.D.H.y Parsons T.R. (1972). A practical handbo of seawater análisis. Bulletin No. 167, 2nd edition. Ottawa. Fisheries Research Board of Canada. 310 pp.

Taylor E.H. (1943). A new amblystimid salamander adapted to brackish water. Copeia.151-156.3.

Thienemann (1925 en Kalff J. 2002) Limnology. Inland Water Ecosystems. Prentice Hall, New Jersey, 592 pp.

Thienemann (1927 en Kalff J. 2002) Limnology. Inland Water Ecosystems. Prentice Hall, New Jersey, 592 pp.

Timms B.V. (1975) Basic limnology of two crater lakes in Western Victoria. Proc. R. Soc. Victoria. 159-166. 87

Torres B. R. Pérez A, *et al* (2002) Lagos y, Presas de México. El lago de Catemaco. J. L. García-Calderón y G. De la Lanza SEDESOL.

Tyler J. E. (1968). The secchi disk. Limnology and Oceanography. Vol. III No. 1 pp. 1-6 UTTERBAK C.L. Some chemical physical and optical characteristic of crater lake. Ecol. 1942.97-103.23.

Tilzer M.M, (1968). Secchi disk-chlorophyll relationships in a lake with highly variable phytoplankton biomass. Hydrobiologia. 89, 237-245 pp.

Vazquez G, Favila M.E. (2004) Limnology of Crater Lakes in Los Tuxtlas, Mexico, Hydrobiologia, Volume 523, Issue 1 - 3, Jul 2004, Pages 59 – 70

Vollenweider, R. (1969) A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. Blackwell: 213 pp.

Walkey A y Black I A (1934), An Examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. *Soil Sci.* 34:29-38.

Walter T.A., 1982 Use of secchi disc to measure attenuation of underwater Light for photosynthesis. Journal of Applied Ecology. 19, 539-544 pp.

Welch P.S. (1952).Limnology 2a. ed. McGraw-Hill NY..538 pp

Wetzel Robert.G. (1975) Limnology. Saunders, Philadelphia..743 pp.

Wetzel Robert G. (1981). Limnología. Ediciones Omega. Barcelona. 679 pp.

Wetzel, Robert G. (2001). Limnology. Lake and River Ecosystems, Third Edition. 700pp

Whipple G. C. (1898). Classification of lakes according to temperature. American Naturalist. 32 (373): 25-33.

Williams H. Bull. (1942). Carnage. Inst. Wash. The geology of crater lake National Park Oregon.162.32 p.540

Yoshimura S (1938) Limnology observations of two crater lakes of Miyaki Island. J. Jap. Geor. 339-352.13.

Zubieta (2004) Plan de Manejo del Área Natural Protegida “La Alberca Los Espinos”. La Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente (Suma) y la Universidad Michoacana de San Nicolás De Hidalgo.