



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

PROGRAMA DE POSGRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN LIMNOLOGÍA Y ACUICULTURA

LIMNOLOGÍA DE LA PRESA MELCHOR OCAMPO,
MUNICIPIO DE ANGAMACUTIRO, MICHOACÁN

TESIS DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA

MVZ. JULIO CÉSAR MEDINA ÁVILA

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR DE TESIS: DR. ARTURO CHACÓN TORRES

MORELIA, MICHOACÁN

JULIO DE 2008

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	5
2.1. Los embalses	5
2.2. Los embalses mexicanos	8
2.3. Los embalses michoacanos	11
III. OBJETIVOS	13
3.1. Objetivo general	13
3.2. Objetivos particulares	13
IV. JUSTIFICACIÓN	14
V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA	15
5.1. Localización geográfica	15
5.2. Fisiografía	17
5.3. Geología	18
5.4. Suelos	18
5.5. Clima	19
5.6. Hidrología	19
5.6.1. Agua superficial y subterránea	21
5.6.2. Permeabilidad	22
5.7. Vegetación	22
5.8. Asentamientos Humanos	22
5.9. Actividades productivas	23

VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
6.1. Morfometría.....	24
6.1.1. Mapa de campo.....	24
6.1.2. Batimetría.....	24
6.2. Influencia climática.....	25
6.3. Niveles de la presa.....	26
6.4. Viento.....	27
6.5. Corrientes de agua.....	27
6.6. Seiches y estimación de altura de oleaje.....	28
6.7. Calidad del agua.....	29
6.7.1. Estaciones de muestreo.....	29
6.7.2. Muestreo de agua	29
6.7.3. Análisis de campo.....	29
6.7.4. Temperatura.....	30
6.7.5. Optica.....	31
6.7.6. Medidas de flujo.....	33
6.7.7. Análisis de laboratorio.....	33
6.8. Productividad primaria.....	36
6.9. Sedimentos.....	36
a) Análisis granulométrico.....	36
b) Contenido de humedad.....	37
c) Desidad aparente.....	37
d) Materia Organica.....	37
6.10. Tratamiento de resultados.....	38
 VII. RESULTADOS	
7.1. Batimetría y morfometria	39
7.2. Clima de la presa Melchor Ocampo	44
7.3. Balance hidrológico.....	51
7.4. Hidrodinámica.....	54
7.5. Óptica.....	64
7.6. Temperatura.....	67

7.7.	Oxígeno disuelto.....	69
7.8.	Calidad del agua.....	74
7.9.	Productividad primaria.....	85
7.10.	Sedimentos.....	86
VIII. DISCUSIÓN.....		89
IX. CONCLUSIONES.....		96
X. LITERATURA CITADA.....		98

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la presa Melchor Ocampo.....	15
Tabla 2. Parámetros morfométricos de la Presa Melchor Ocampo (2007).....	42
Tabla 3. Registro de temperatura máxima.....	45
Tabla 4. Registro de temperatura mínima.....	45
Tabla 5. Registro de temperatura media.....	46
Tabla 6. Registro de precipitación total.....	46
Tabla 7. Registro de días con precipitación apreciable.....	46
Tabla 8. Registro de días con tormenta eléctrica.....	47
Tabla 9. Registro de días con granizo.....	47
Tabla 10. Registro de días con niebla.....	47
Tabla 11. Registro de temperatura máxima.....	48
Tabla 12. Registro de temperatura mínima.....	48
Tabla 13. Registro de temperatura media.....	48
Tabla 14. Registro de precipitación total.....	49
Tabla 15. Registro de días con precipitación apreciable.....	49
Tabla 16. Registro de evaporación total.....	49
Tabla 17. Registro de días con tormenta eléctrica.....	49
Tabla 18. Registro de días con granizo.....	50
Tabla 19. Registro de días con niebla.....	50
Tabla 20. Resumen de la hidrodinámica básica de la presa Melchor Ocampo.....	64
Tabla 21. Resumen de los atributos ópticos estimados en la Presa Melchor Ocampo, Municipio de Angamacutiro, Michoacán.....	66

Tabla 22. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo. (Muestreo del día 21 de octubre de 2006)	77
Tabla 23. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo. (Muestreo del día 12 de noviembre de 2006)	78
Tabla 24. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo. (Muestreo del día 10 de enero de 2007)	79
Tabla 25. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo. (Muestreo del día 23 de febrero de 2007)	80
Tabla 26. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo. (Muestreo del día 03 de mayo de 2007)	81
Tabla 27. Productividad primaria de la presa Melchor Ocampo.....	85
Tabla 28. Determinación de los valores físicos en la composición del sedimento.....	87
Tabla 29. Determinación de los valores químicos en la composición del sedimento.....	88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la Presa Melchor Ocampo en Angamacutiro, Mich.....	16
Figura 2. Localización de la Presa Melchor Ocampo en Angamacutiro, Mich.....	17
Figura 3. Carta climática del estado de Michoacán de Ocampo.....	20
Figura 4. Batimetría de la Presa Melchor Ocampo, Municipio de Angamacutiro	40
Figura 5. Curva hipsográfica de la presa Melchor Ocampo.....	41
Figura 6. Climograma de la presa Melchor Ocampo, Municipio de Angamacutiro, Michoacán. Estación El Rosario (Periodo de registro: 1971-2000).....	52
Figura 7. Registro de variaciones de nivel en la Presa Melchor Ocampo durante el periodo de trabajo de campo.....	55
Figura 8. Balance hidrológico de la presa Melchor Ocampo.....	53
Figura 9. Balance hidrológico de la presa Melchor Ocampo (INEGI 2000).....	54
Figura 10. Dirección del viento sostenido en 90 días durante el mes de enero de 2007 en la Presa Melchor Ocampo Municipio de Angamacutiro, Michoacán.....	56
Figura 11. Dirección del viento sostenido en 7 días durante el mes de febrero de 2007 en la Presa Melchor Ocampo, Municipio de Angamacutiro, Michoacán.....	58
Figura 12. Dirección del viento sostenido en 24 horas durante el mes de enero de 2007 en la Presa Melchor Ocampo, Municipio de Angamacutiro, Michoacán.....	58

Figura 13. Movimientos de agua en la presa Melchor Ocampo. Las veletas fueron colocadas de manera simultánea en la superficie, a 5.0 y 10.0.....	59
Figura 14. Movimientos de agua en la presa “Melchor Ocampo”. Las veletas fueron colocadas en la superficie y a 5.0 de profundidad con fecha del 25 de julio del 2007.....	60
Figura 15. Movimientos de agua en la presa “Melchor Ocampo”. Las veletas fueron colocadas en la superficie y a 5.0 de profundidad con fecha del 26 de julio del 2007.....	61
Figura 16. Movimientos de agua en la presa “Melchor Ocampo”. Las veletas fueron colocadas en la superficie y a 5.0 de profundidad con fecha del 27 de julio del 2007.....	62
Figura 17. Movimientos de agua en la presa “Melchor Ocampo”. Las veletas fueron colocadas en la superficie y a 5.0 de profundidad con fecha del 1 de agosto del 2007.....	63
Figura 18. Perfil vertical de penetración de la luz solar en la presa Melchor Ocampo m. de profundidad.....	65
Figura 19. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa Melchor Ocampo. (12 de noviembre de 2006).....	69
Figura 20. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa Melchor Ocampo. (10 de enero de 2007).....	70
Figura 21. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa Melchor Ocampo. (23 de febrero de 2007).....	71

Figura 22. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa Melchor Ocampo. (21 de marzo de 2007)	72
Figura 23. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa Melchor Ocampo. (02 de mayo de 2007)	73
Figura 24. Ciclo dial de la presa Melchor Ocampo en lapsos de 4 horas entre recoleccion de datos.....	74

1. INTRODUCCIÓN

La limnología es la disciplina del conocimiento científico orientada al estudio de la estructura y función las aguas epicontinentales del planeta (Wetzel, 1983; Hutchinson, 1967 y Ruttner, 1963). Lo anterior incluye tanto a los sistemas naturales como los lagos, lagunas, manantiales, ríos, arroyos y humedales, como a los sistemas artificiales contruidos por el hombre incluyendo a las presas, estanques y canales.

La limnología en México ha manifestado una tendencia creciente hacia el desarrollo de la investigación y generación de conocimientos sobre la estructura y función de los ecosistemas acuáticos nacionales, sin embargo, esta disciplina científica requiere una mayor cobertura espacial para incluir como objeto de estudio la totalidad de los sistemas epicontinentales del país además de alcanzar una integración multidisciplinaria.

Durante siglos los lagos y embalses de México han representado zonas estratégicas para el desarrollo de las diferentes civilizaciones tanto aquellas prehispánicas como la sociedad actual, no solamente porque el agua dulce ha sido una importante fuente de alimento sino porque es un recurso básico para el sustento de diversas actividades económicas que forman parte del desarrollo nacional. A lo anterior se asocia la belleza natural de estos sistemas acuáticos y su impacto en la actividad turística y recreativa, así como la función ambiental que desempeñan en el ciclo hidrológico, el mantenimiento del clima y el equilibrio ecológico.

Los cuerpos de agua tanto naturales como aquellos contruidos por el hombre presentan en la actualidad diversas modificaciones ambientales y que asociado a la sobreexplotación de los recursos biológicos que habitan en ellos, han disminuido su potencial productivo así como su calidad para el desarrollo regional.

Las presas se han considerado como un sistema similar de comportamiento a los lagos naturales y fueron clasificados por Hutchinson (1967) como lagos del tipo 73, es decir, como sistemas artificiales. De la misma manera, los estudios limnológicos realizados en las presas incluyen procedimientos similares a aquellos

que se realizan para los lagos. Sin embargo la información obtenida de estos ambientes artificiales son interpretadas bajo el contexto particular de la limnología; ya que existen diferencias específicas entre los sistemas acuáticos naturales y aquellos artificiales. Los lagos por ejemplo, se han originado por lo general en un tiempo geológico de miles de años y a pesar de ser sistemas transitorios en el planeta su duración es por lo general de siglos o más, mientras que las presas o embalses han sido construidas por el hombre y generalmente son de corta duración en el orden de décadas. De acuerdo con los patrones de origen geológico, además de la tendencia climática e hidrológica las presas o embalses manifiestan diferencias específicas en su comportamiento limnológico.

Un embalse es una estructura de ingeniería, construido para un uso múltiple o específico incluyendo la generación de energía a través de un sistema hidroeléctrico, para la irrigación con diferencias de pendiente topográfica, para la recreación en zonas de potencial turístico, para la producción intensiva de biomasa animal a través de la acuicultura, para el control de inundaciones en zonas sujetas a marcadas variaciones en el flujo hidrológico y para abastecimiento de agua potable en centros urbanos (Tufford y McKella, 1999).

El manejo hidráulico de un embalse artificial representa un factor de importancia en el comportamiento ecológico del sistema, ya que el cambio del volumen de agua en la presa por la descarga de un río tributario así como su salida por el sistema de esclusa, tiene como resultado profundos efectos en la producción acuática del ecosistema. La concentración de nutrientes depende principalmente de la intensidad de la descarga del río tributario, que a su vez depende del uso del suelo en la cuenca. El tiempo de retención o residencia hidráulica resulta también en efectos tanto en la calidad de agua como en la productividad del embalse artificial.

Si la calidad y cantidad de agua en los sistemas acuáticos artificiales son susceptibles de predecir y por lo tanto de modelar, entonces es posible el desarrollo de acciones preventivas y de manejo sustentable de estos sistemas, de tal manera que sea posible aplicar programas para prevenir la contaminación acuática, impulsar la productividad natural del embalse y mejorar el estado de

salud del ecosistema acuático previniendo la eutroficación. Es necesario entonces desarrollar estudios que generen información confiable y actualizada para respaldar a las instituciones de gobierno en la elaboración de programas eficientes de manejo hidráulico con una compatibilidad hacia el comportamiento limnológico del ecosistema.

Actualmente el crecimiento progresivo de los asentamientos humanos, así como el de la actividad industrial y agropecuaria han llevado a un nivel crítico la situación actual tanto de la cantidad como de la calidad del agua de los diferentes sistemas acuáticos nacionales. Por ello, se ha generado un creciente interés en estudios básicos que permitan generar información científica suficiente para generar estrategias para la conservación, restauración y el manejo sustentable de estos valiosos recursos acuáticos.

Por lo tanto, es necesario impulsar los estudios de los numerosos sistemas acuáticos que existen en la nación con la finalidad de realizar su caracterización, evaluar su diversidad biológica, determinando la estructura y relaciones funcionales de estos valiosos recursos naturales, además de desarrollar un programa de control de la contaminación en aquellos sistemas que se encuentren amenazados, desarrollar y optimizar técnicas de acuacultura de especies nativa para la producción de alternativas de conservación y manejo sustentable.

La presa “Melchor Ocampo” situada en el municipio de Angamacutiro, al noroeste del estado de Michoacán representa un embalse artificial de importancia para la irrigación y regulación hidráulica del Sistema Hidrológico Lerma-Chapala. Desde su construcción el embalse ha sido objeto del aprovechamiento pesquero tanto de la tilapia como de la carpa común que son especies introducidas en diversas regiones del territorio nacional.

Sin embargo, hasta el momento son escasos y fragmentados los estudios realizados en este embalse, lo que en consecuencia limita la elaboración de un plan de manejo que se oriente hacia la conservación del embalse, el mejoramiento de su calidad del agua así como del impulso en la productividad pesquera que permita mantener los beneficios ecológicos y sociales que la región demanda.

Por lo anterior, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal el realizar un reconocimiento limnológico de la presa “Melchor Ocampo” ubicada en el municipio de Angamacutiro, como parte del programa de formación profesional de posgrado de la Maestría en Ciencias en Limnología y Acuicultura, que tiene establecido el Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (INIRENA-UMSNH).

II. ANTECEDENTES

2.1. Los embalses

Una de las principales preocupaciones en el planeta es la disponibilidad de agua para sustentar las diversas actividades humanas. Por ello se han desarrollado en todo el mundo programas de financiamiento para la construcción, manejo y operación de embalses artificiales.

Weyman (1982) y Elison (1992) mencionaron que la cuenca de drenaje recibe una contribución directa de escurrimientos superficiales de la cuenca adyacente y del cauce del río. Esto contribuye a una variación tanto en el flujo de agua como en la concentración de nutrientes. Lo anterior afecta la relación de variable-tiempo conocida como *dinámica de la cuenca*, que es un término introducido en el año de 1965. El término *dinámica de cuenca* ilustra el área de flujo por tierra que se extiende con la lluvia creciente durante el transcurso de una tormenta.

Walker (1987) expresó para un sistema múltiple de presas en el estado de Missouri, el denominado *índice del estado trófico* el cual disminuye en un gradiente desde el inicio o área de ribera hacia la compuerta o zona de descarga. En este estudio se incluyeron variables de análisis como la concentración de fósforo total, lectura del disco de Secchi y concentración de la clorofila *a*.

Thornton *et. al.* (1990) refirieron el trabajo de Varis (1989) de la presa ubicada al occidente de Finlandia, en donde se reportó que el tiempo de retención hidráulica es relativamente corto y que éste previene el florecimiento algal excesivo. Al comparar con el Lago Tanneycomo, embalse artificial ubicado en el estado de Missouri, se encontró una similitud en cuanto a su patrón de tiempo la residencia, el cual fue de días y que en consecuencia no se registró la acumulación del fitoplancton. Lo anterior, establece la importancia del tiempo de retención o residencia hidráulica como un parámetro que determina el crecimiento de fitoplancton en un sistema artificial.

Varis (1989) y Wain (1994) coincidieron en que el balance de la masa de agua de los embalses es una consecuencia de la descarga de lluvias, es decir, durante las

tormentas de primavera y verano. Por esta razón enfatizaron en la importancia de medir la intensidad y duración de la precipitación.

Thornton *et. al.* (1990) mencionó que en Estados Unidos de Norteamérica la mayoría de los lagos artificiales se distribuyen en la zona de glaciares y al sureste de la Florida. En cambio las presas o embalses artificiales se localizan en la zona sureste, central, suroeste y oeste de los Estados Unidos de Norteamérica. Esta distribución refleja la escasa disponibilidad de agua natural en las regiones en donde existe infraestructura hidráulica construida por el hombre.

Thornton *et. al.* (1990) describieron que la localización de las presas generalmente es en la parte baja o en la base de la cuenca de drenaje. Estos sistemas acuáticos reciben el escurrimiento directo de la cuenca adyacente, así como de la concentración de nutrientes y sedimentos que ingresan de uno o más tributarios.

Wagner *et. al.* (1994) mencionaron que el flujo y el balance de la masa de agua a través de un lago o presa era implícito la existencia de un proceso dinámico con variables principales como el escurrimiento de la superficie, precipitación, evaporación, descarga de ríos y el incremento de volumen en el embalse.

Faures *et. al.* (1995) discutieron que la precipitación es un factor esencial para el escurrimiento. Encontraron que en cuencas pequeñas la distribución espacial y temporal de la precipitación ejerce una influencia significativa en las descargas y el escurrimiento total. El impacto de la variabilidad de lluvia espacial en la predicción del escurrimiento se relaciona con el tamaño de la cuenca y las propiedades físicas de la tormenta.

La construcción de grandes embalses ha sido un tema controvertido durante los últimos años. Las ventajas de su construcción son los beneficios como la amplia disponibilidad del agua para uso doméstico y la agricultura, control de inundaciones, generación de energía y navegación. Mientras que las desventajas que se han mencionado, se encuentran aquellas que refieren a que su edificación ha ocasionado grandes pérdidas económicas para la sociedad además de un fuerte impacto ambiental, que la construcción de éstas ha generado una inequidad económica y social entre los pobladores con beneficios exclusivamente para

inversionistas, mientras que la mayoría de los habitantes de la región enfrentan situaciones de marginación social, pobreza e inequidad.

Este conflicto social se ha documentado en el caso de Singh (1996), quien en su trabajo concluyó en que pesar del avance en la tecnología de ingeniería, los embalses aún se encuentran con un grado de deficiencia en su construcción. Esto se manifiesta en su frecuencia de fallas desde su estructura hasta la aparición de fugas en el sistema. Durante el periodo de 1946 a 1955 se reportaron 12 fallas consideradas como de importancia mientras que en ese mismo periodo se construyeron 2000 embalses nuevos. En el periodo de 1956 a 1967 se incrementaron los reportes de fallas a 24 y se construyeron 2500 embalses nuevos. Esto es un indicador de que los embalses son todavía vulnerables particularmente en su diseño particularmente aquellas presas que son más antiguas en su construcción.

Por otro lado, es de fundamental importancia considerar las circunstancias sociales en la construcción y operación de un embalse artificial. Galparsoro (1997) realizó un estudio relacionado con la confrontación social que se registró en los habitantes de Hungría ante la construcción del sistema de presas Gabčíkovo-Nagymaros en la frontera entre Hungría y Eslovaquia. Estas permitieron considerar la utilización de las aguas del río Danubio para la producción de energía eléctrica. Sin embargo, al considerar la construcción única y exclusivamente bajo esta perspectiva, sin considerar la opinión social, ésta fue necesario cerrarla en el año de 1977. Lo anterior sugirió que la tecnología no experimenta un desarrollo autónomo regido por leyes propias. La relación tecnología-ciencia no se conduce en una única dirección. La tecnología no genera una repercusión en la sociedad sin que ésta disponga de la capacidad de influir en aquella. Así, un desarrollo tecnológico como fue el sistemas de presas del Danubio no fue un proyecto lo suficientemente justificado frente a las circunstancias políticas, sociales, económicas e históricas.

Un factor de importancia en la construcción de embalses es la relación del tiempo y cantidad de agua que se recibe y permanece en el sistema acuático. Los puntos máximos de precipitación en los embalses generan problemas de capacidad de

almacenamiento, se incrementa la turbidez de origen inorgánico y la sedimentación es relativamente menor.

2.1 Los embalses mexicanos

Bueno y Santiago (1976) realizaron un estudio en la presa Malpaso, (Chiapas), donde se proporciona información preliminar de la calidad del agua conforme a observaciones y lecturas de diversas variables físicas tales como la temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, fosfatos, pH y carbonatos. De acuerdo a este trabajo, los cambios físicos fueron el resultado del aumento en el volumen del agua, turbidez y disminución en la concentración de oxígeno disuelto, condiciones que amenazan la sobrevivencia de las comunidades acuáticas. Estos cambios también fueron un factor en la adaptación a cambios ambientales de comunidades acuáticas como los peces ya que éstos fueron afectados directamente por los cambios drásticos en la calidad del agua.

Gutiérrez y Díaz (1986) realizaron un reconocimiento en la presa Requena en el estado de Hidalgo. En este estudio se detectaron condiciones de anoxia en forma esporádica de 2.8 mg/L y los resultados de sus características fueron de un tipo de agua ligeramente alcalina con valores de potencial de Hidrógeno de 7.8, una moderada dureza con un intervalo de 151.0 a 48.0 mg/L y con valores de conductividad eléctrica de 336.1 a 1,137 $\mu\text{S}/\text{cm}$, además de concentraciones moderadas de nitratos de 0.01 a 0.042 mg/L y concentraciones elevadas de fosfatos 0.94 a 1.2 $\mu\text{g}/\text{L}$. Se estima que en el año de 1982 se registró la presencia de lirio acuático en grandes proporciones, lo cual ha resultado en un impedimento para la navegación y reducción en el volumen de agua debido a la evapotranspiración.

Santiago (1992) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (1993), realizaron trabajos en la presa de Aguamilpa en el estado de Nayarit, sobre calidad de agua caracterizando a este sistema con una temperatura media anual de 27.5°C, una concentración de oxígeno disuelto de 10.2 mg/L y una conductividad eléctrica de 870.0 $\mu\text{S}/\text{L}$. Además en el año de 1996 la Comisión Nacional del Agua (CNA) cl.

asificó este embalse como un sistema de tipo 2, es decir, se clasifica para uso agrícola y acuícola.

Torres (1996) estudió la presa Vicente Guerrero, en el estado de Tamaulipas, caracterizando al embalse como un sistema de agua cálida con 29.3 ° c en promedio, con una alta concentración media de oxígeno disuelto de 11.2 mg/L en la superficie y anoxia hasta los 10 metros de profundidad, alta concentración de dureza de 130 en promedio clasificando la presa con agua de dura a muy dura, además de alcalina y baja visibilidad por el alto contenido de sólidos en suspensión de hasta 400 en una estación. Actualmente no se han elaborado estudios sobre calidad de agua, además de ser escasos los estudios sobre comunidades planctónicas y bentónicas en la presa. Sin embargo, fue posible identificar algunas especies fitoplanctónicas; las especies fitoplanctónicas en la presa se identificaron alrededor de 7 tales como la *Closterium sp.*, *Ulothrix sp.*, *Pleurosigma sp.*, *Rhopalodia sp.*, *Epitemia sp.*, *Tabellaria sp.*, y la *Navicula sp.*

Hernandez *et al.* (1998) mencionaron que la presa “Zimapán” en el estado de Hidalgo recibe dos tipos de agua: a) las aguas de precipitación captadas por la cuenca a través de diferentes escurrimientos, b) las aguas residuales procedentes de centros urbanos. La cuenca del Pánuco se ha catalogado como la más contaminada del país, con una descarga anual de 296,600 toneladas de descargas de desechos orgánicos biodegradables. Es una presa muy profunda de un volumen máximo de 850 Mm³ y que por sus condiciones físicas y químicas que según la normatividad se encuentran en concentraciones admisibles para el riego y la pesca que debido a su reciente construcción (1995) hasta en 1997 se inició el registro de captura obteniendo en promedio 298.63 toneladas en 1998; las principales especies son la tilapia y la carpa.

Carranza, *et al.* (2002) describieron la presa de “El Caracol”, en el estado de Guerrero, donde el comportamiento de la estratificación térmica y circulación del agua tiende a variar, entre la zona final del embalse, es decir, la zona de la cortina

y el resto del embalse. La zona de la cortina se comporta como un lago meromítico es decir que no se mezcla hasta el fondo; el resto del embalse se comporta como un lago, monomítico, con un solo periodo de circulación en el invierno mientras que la estratificación térmica permanece el resto del año.

Rodríguez *et. al.* (2002) describieron la presa Cerro de Oro, en el estado de Oaxaca y señalaron que el contenido de oxígeno disuelto marca diferencias significativas en la columna del agua. En la superficie las concentraciones se consideraron buenas para el crecimiento de los peces; en algunos casos la cantidad de este gas alcanzó valores superiores a los 10.0 mg/L, es decir, 100% de saturación, en tanto que en el fondo las concentraciones fueron menores de 2.0 mg/L que puede ser mortal para la ictiofauna. Las bajas concentraciones fueron el resultado de que en el fondo del sistema existe una alta tasa de oxidación de materia orgánica procedente de la zona eufótica.

Cotler y Gutiérrez (2005) realizaron un inventario y evaluación de las presas de la cuenca Lerma-Chapala, en función de las fuentes consultadas, la cuenca con una superficie de 53,591 km² presenta un total de 552 presas y bordos, es decir, una presa o bordo por cada 97.1 km². Actualmente en la cuenca se irrigan 11,019 km², es decir, que cada presa destinada para riego abarca una extensión de 39 km².

Hernandez *et. al.* En el 2005 evaluaron la contaminación por metales y arsénico en el agua de las presas la Boquilla, las Vírgenes y el Granero en Chihuahua, México y observaron que las altas concentraciones de esos contaminantes sufrieron una disminución debido a los periodos de lluvia extraordinarios que se suscitaron durante las temporadas de primavera y verano y que no representan nignu problema serio para los embalses mas sin embargo se hipotétiza que las descargas agrícolas contribuyen a modificar los niveles de los contaminantes en el medio acuático.

2.3 Los embalses michoacanos

Esparza y Trujillo (1986) estudiaron la cuenca de la Presa de Cointzio, en el municipio de Morelia. Los autores mencionaron que partir del año de 1946, la Secretaría de Agricultura y Ganadería, la Unión de Productores Forestales de Michoacán A.C. y la Comisión Forestal del Estado de Michoacán establecieron plantaciones forestales con diferentes especies.

Sin embargo, las acciones de reforestación continúan hoy en día sin un diagnóstico de los efectos de estas plantaciones en el ciclo hidrológico regional. El factor principal que favorece la erosión de los suelos de la cuenca es en la actualidad el cambio de uso del suelo; principalmente el cambio de uso forestal al uso agrícola. Los suelos con mayor problema de erosión y en consecuencia generadores de azolve, son los tipos Acrisoles y Luvisoles, que han sido sometidos a cambio de suelo y que además tienen más tiempo de ser aprovechados (Esparza y Trujillo, 1986).

Juárez-Palacios (2002) realizó estudios en la presa de “El Infiernillo”. Los análisis físicos-químicos del agua indicaron un embalse de aguas cálidas entre enero y mayo; la concentración de oxígeno disuelto es escaso en las zonas profundas, la conductividad eléctrica; dureza total y alcalinidad definen tres zonas de influencia: la primera corresponde al río Tepalcatepec, la segunda a la porción media norte del río Balsas y la última al río Balsas inferior hasta la cortina. En general el análisis de la calidad del agua mostraron intervalos óptimos para las especies que se encuentran en el embalse.

Jiménez y Nepita (2000) determinaron el espectro trófico de la tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner 1864), a través del análisis del contenido estomacal de una muestra de 153 especímenes recolectados durante el año de 1993. El estado de alimentación se evaluó por la proporción de grasa alrededor del estómago e intestino, la repleción gástrica y el coeficiente de condición.

La evaluación cuantitativa del alimento, se realizó a través de los métodos Volumétrico (V) y Frecuencia de Aparición (FA) y los Índices Medio Volumétrico

(IMV) e Importancia Relativa (IIR), los cuales se combinaron para determinar el espectro trófico de la tilapia. Se determinó que su dieta en la presa “El Infiernillo” está constituida por: detritus y plantas vasculares como alimentos preferentes; algas unicelulares como alimento secundario y peces, insectos, semillas de gramíneas, algas filamentosas, cladóceros, ostrácodos, rotíferos y copépodos como alimentos ocasionales.

Se detectaron diferencias alimentarias entre juveniles y adultos y variaciones en el consumo de elementos alimentarios en la época de secas y lluvias. Se concluyó que *Oreochromis aureus* es una especie omnívora con preferencia hacia el detritus y los restos de plantas vasculares. La alimentación está determinada por la abundancia de las presas en el medio y en los adultos se basa preferentemente en el detritus. La alimentación no es un factor que limite el desarrollo de la tilapia en la presa “El Infiernillo”.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Realizar un reconocimiento limnológico de la presa “Melchor Ocampo” para identificar la estructura y relaciones funcionales del ecosistema que permitan el desarrollo de un plan de manejo sustentable para el embalse.

3.2. Objetivos particulares

Elaborar un mapa batimétrico evaluando los parámetros morfométricos más importantes que describan la geomorfología de la presa “Melchor Ocampo”.

Identificar los principales componentes climáticos que afectan los niveles del agua del embalse y su balance hidrológico.

Describir los principales movimientos de las masas de agua que afectan la hidrodinámica del embalse.

Determinar los principales atributos ópticos del agua

Determinar características químicas que inciden en la calidad del agua y sedimentos.

Estimar su productividad primaria y evaluar los factores ambientales que la determinan.

Proponer un esquema de acciones orientadas a la restauración, conservación y manejo sustentable del embalse.

IV. JUSTIFICACIÓN

Este es un embalse regulador del agua del sistema de irrigación que se integra a la región hidrológica denominada Lerma–Chapala y que forma parte de un sistema complejo de irrigación que incluye a los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco.

El suministro de agua potable y de riego para el municipio de Angamacutiro de la Unión depende principalmente de la presa de Melchor Ocampo,

Por lo tanto, es de fundamental importancia realizar estudios básicos que permitan generar información confiable y precisa sobre el estado actual de los recursos hidrobiológicos regionales, para diseñar estrategias y planes de manejo que aseguren la existencia de agua para el municipio de Angamacutiro, así como su conservación para respaldar el desarrollo regional.

V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

5.1. Localización geográfica

El municipio de Angamacutiro se localiza en las coordenadas 20°09' de latitud norte y 101°43' de longitud oeste, a una altitud de 1,690 msnm, tiene una superficie de 230.26 km² y representa el 0.39% de la superficie total del estado de Michoacán. Este municipio se encuentra delimitado al norte por la línea limítrofe entre Guanajuato y Michoacán, al noreste por el municipio de Sixto Verduzco, al sur por el municipio de Panindícuaro y al oeste por el municipio de Penjamillo.

La presa Melchor Ocampo se encuentra ubicada en el municipio de Angamacutiro, cuya cabecera municipal es la población de Angamacutiro de la Unión. Las coordenadas de la presa en el sistema de proyección cartográfica Universal Transversa de Mercator se presentan en la Tabla 1. Mientras que sus coordenadas cartográficas convencionales son: máxima 20°09'23''N y 101°46'32''W y mínima 20°05'26'' y 101°44'14''W. El embalse se encuentra a una altitud de 1,721msnm (Figura 1).

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la presa Melchor Ocampo

SITIO	UTM ESTE	UTM NORTE
Cortina	215189	2227906
Extremo oeste	209878	2231084
Río Angulo	214219	2224173
San Nicolás	209264	2226841

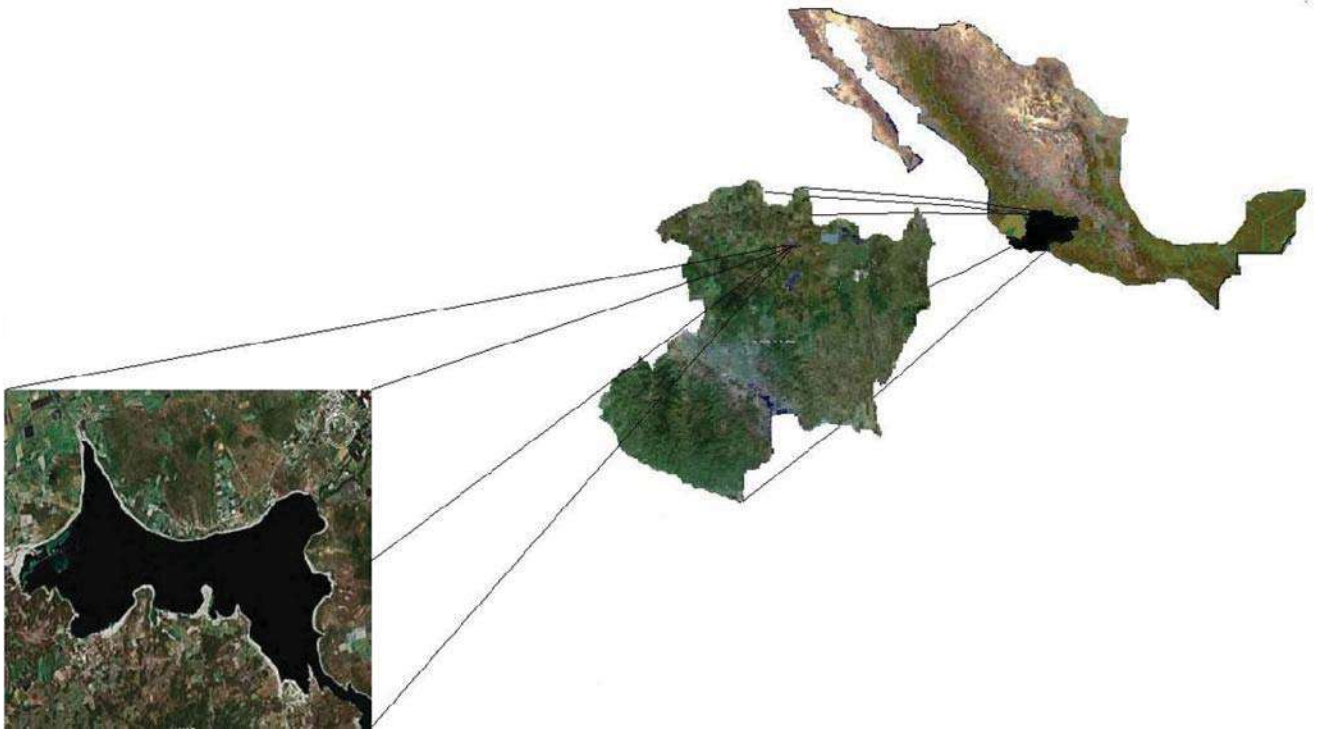


Figura 1. Localización de la Presa Melchor Ocampo en Angamacutiro, Michoacán.

5.2. Fisiografía

La provincia del Eje Neovolcánico Transversal que incluye a los estados de Jalisco, Colima, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Puebla, Veracruz y Michoacán se divide en ocho subprovincias. En el estado de Michoacán parte de esta provincia la constituyen amplias cuencas cerradas y que se encuentran ocupadas por lagos como Cuitzeo, Pátzcuaro y Ziarahuén.

Las sub-provincias del Eje Neovolcánico Transversal son:

Sub-provincia Neovolcánica Tarasca

Sub-provincia Sierra y Bajíos mexicanos

Sub-provincia Mil Cumbres

Sub-provincia Chapala

Sub-provincia Escarpa Limítrofe del Sur

Sub-provincia de los lagos y volcanes de Anáhuac

Sub-provincia de las llanuras y sierras de Hidalgo y Querétaro

Subprovincia del Bajío Guanajuatense donde pertenece el Municipio de Angamacutiro y en donde se localiza la Presa Melchor Ocampo.

La sub-provincia del Bajío Guanajuatense es una pequeña región en el norte de Michoacán, que abarca 262.0 km² que corresponde a parte de los municipios de José Sixto Verduzco, Angamacutiro y Puruándiro.

La rocas de la provincia del Eje Neovolcánico corresponden a una secuencia de rocas volcánicas andesíticas, sedimentarias calcáreo-arcillosa y arenisca que constituyen depósitos de un arco insular magmático, también se encuentran depósitos aluviales y lacustres, así como suelos residuales producto de la alteración físico-química de las rocas extrusivas del Cuaternario. El municipio de Angamacutiro se constituye con los cerros Blanco, Chongo, Los Reyes, Bola y Guayabo.

5.3. Geología

En el Eje Neovolcánico Transversal donde se localiza el municipio de Angamacutiro, los principales factores geológicos que han originado su paisaje han sido el vulcanismo y procesos tectónicos.

El relieve estructural original se encuentra constituido por rocas volcánicas jóvenes del Cenozoico Superior, además de presentar conos cineríticos, aparatos volcánicos complejos, domos riolíticos y andesíticos, coladas de lava basáltica y depósitos piroclásticos. Estas estructuras han sido afectadas en una etapa neovolcánica, asociada a fenómenos volcánicos por fallas y fracturas orientadas de este a oeste. Además esta provincia se considera como calco-alcalina, caracterizada por su abundancia de andesitas y dacitas, además de la relación que guardan sus contenidos de silicio y de óxido de sodio más óxido de potasio. En esta zona de Michoacán la composición petroquímica de las rocas donde son abundantes los derrames y productos piroplásticos, es de andesita y basalto, además de unidades dacíticas y riodacíticas.

5.4. Suelos

El suelo es de origen aluvial a partir de los aluviones formados en el Cuaternario y en parte residual a partir de basaltos y tobas. Los suelos profundos abarcan el 79.5% de éstos un 5.95% presentan pedregosidad y el 22.77% tiene problemas de modicidad y los suelos someros se encuentran limitados por rocas.

El suelo dominante es el Vertisol Crómico de clase textural fina. Los Vertisoles se caracterizan por las grietas anchas y profundas que muestran en épocas de sequía. Estos suelos son regularmente fértiles pero su dureza obstaculiza la labranza. Son blanquizcos, silicosos y delgados, presentan altas concentraciones de materia orgánica y altos contenidos de calcio y magnesio intercambiable, mientras que el contenido de sodio y potasio es bajo o moderado. El suelo lacustre es un depósito formado en ambientes húmedos, pertenecen al Cuaternario y se encuentran constituidos por limos y arcillas con bajo contenido de arenas finas.

5.5. Clima

Dentro del área del clima del Eje Neovolcánico Transversal se encuentra ubicado el clima de la presa de “Melchor Ocampo”. El clima de esta región se presenta en altitudes desde los 1,600 m en los bajíos y zonas lacustres, hasta los 3,842 m en la cumbre del Pico de Tancítaro. La temperatura media anual en los climas semi-cálidos es de 21.0°C y en los semi-fríos de 9.0°C, mientras que la precipitación total al año tiene una variación de 650.0 mm en los climas sub húmedos a 1,692 mm en los húmedos.

El clima en el municipio de Angamacutiro donde se localiza la presa “Melchor Ocampo” con base a la clasificación de Köppen modificada por García (1988) para las condiciones de la República Mexicana es del tipo ACw que corresponde a los semi-cálidos sub-húmedos con lluvias en verano. En este clima la humedad intermedia anual es de 800 a 1,200mm y en ocasiones hasta de 1,365 mm anuales.

5.6. Hidrología

En el estado de Michoacán debido a su accidentado relieve se han formado tres vertientes:

El norte donde se encuentran los lagos de Cuitzeo, Pátzcuaro y Chapala en la que escurre el río Lerma

La del centro donde se encuentran los ríos Tepalcatepec y Balsas.

La del sur o del Pacífico en donde los escurrimientos de la sierra de Coalcomán desembocan directamente al océano Pacífico.

Con base a estas vertientes Michoacán se divide en cuatro regiones hidrológicas: Lerma-Chapala-Santiago (No.12), a esta región pertenece el municipio de Angamacutiro, donde se localiza la presa “Melchor Ocampo”. Armería-Coahuayana (No.16). Costa Michoacana (No. 17) y Río Balsas (No. 18).



Figura 3. Carta climática del estado de Michoacán de Ocampo

De las regiones hidrológicas, el municipio de Angamacutiro pertenece a la región del Lerma-Chapala-Santiago (No.12) que cuenta con cinco sub cuencas:

Río Lerma -Toluca

Río Lerma – Salamanca

Río Lerma –Chapala

Lago Chapala

Lago Pátzcuaro - Cuitzeo y Laguna de Yuriria

La presa Melchor Ocampo pertenece a la cuenca de Lerma-Chapala donde se originan corrientes como la de los ríos Zitácuaro, Grande de Morelia, Queréndaro, Tuxpan, Angulo y Duero. La cuenca se constituye de cuatro subcuencas intermedias: río Angulo-Briseñas, Briseñas-Chapala, Río Duero y Río Angulo.

5.6.1. Agua superficial y subterránea

Los afluentes de la presa Melchor Ocampo son el río Angulo, arroyo de los Ranchos de Pejan y cuatro manantiales siendo los más importantes el Aranjuez, Nuevo Paraíso y San Diego.

El río Angulo es su principal afluente y nace en la laguna de Zacapu, ubicada en el municipio del mismo nombre y a través del cual esta presa recibe los desechos urbanos de las ciudades de Zacapu, Villa Jiménez, Panindícuaro, Curimeo y Botello.

5.6.2. Permeabilidad

La permeabilidad de la zona está formada por unidades de material consolidado de permeabilidad baja, esta unidad esta constituida por conglomerados, fragmentos volcánicos cementados y suelo de origen aluvial y residual.

5.7. Vegetación

En el municipio de Angamacutiro la cubierta vegetal casi ha desaparecido en más del 95%. Los remanentes de vegetación original incluyen al bosque espinoso dominado por mezquite (*Prosopis laevigata*), acompañado de huámuchil (*Pithecellobium dulce*). En áreas blancas y salinas es frecuente observar los pastizales de *Distichlis spicata* y *Eragrostis obtusiflora*. En los márgenes de ríos y arroyos se identifica un bosque de galería en donde se encuentran sauces (*Salix* sp.), sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), aile (*Alnus* sp.) y fresno (*Fraxinus udhei*). Los bosques de encino (*Quercus* sp.) y pinos (*Pinus* sp.) se encuentran en elevaciones de 2,400 m mientras que en esta zona se encuentran matorrales xerófilos con nopal (*Opuntia* sp.), garambullo (*Myrtillocactus* sp.), granjeno (*Celtis* sp.), uña de gato (*Mimosa* sp.), limpia tuna (*Zaluzania* sp.).

La mayor parte de las laderas y cerros sostienen vegetación secundaria en forma de matorral o bosquecillo formado por cazahuate (*Ipomoea murucoides*), huizache (*Acacia farnesiana*), nopal (*Opuntia* sp.), tepame (*Acacia pennatula*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*) y palo prieto (*Lysiloma microphylla*). Otras plantas de la zona son *Euphorbia ophtalmica*, *E. hirta*, *E. lineada*, *Sagittaria longiloba*

La vegetación en la ribera de la presa se compone en un 90% de selva baja, el 4% de terrenos agrícolas y el 4% por desarrollo urbano. Los principales cultivos son maíz, sorgo, frijol, garbanzo y calabaza.

5.8. Asentamientos humanos

El municipio posee un total de 15,108 habitantes y agrupa a 28 localidades de las cuales nueve son mayores de 500 habitantes (500 a 2000), existe una sola población de 2,000 habitantes, las 18 localidades restantes tienen entre 50-499 habitantes.

Los poblados ribereños son El Rosario, La Palma, San Ignacio, San Diego, Curicipio, Aranjuez, San Isidro y San Nicolás.

5.9. Actividades productivas

La principal actividad es la agricultura y se produce trigo, sorgo, alfalfa, maíz y diversas hortalizas, la segunda actividad es la ganadería practicada en forma de pastoreo libre a base de cabras y reses.

La superficie cultivada es de 8,469 ha entre riego y temporal mientras que la población ganadera, avícola y la existencia de colmenas registran una cantidad de 28,375 cabezas de ganado bovino entre carne y leche, 11,173 de ganado porcino, 708 de ganado ovino, 13,555 de ganado caprino (carne y leche) y 300 colmenares.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Morfometría

6.1.1. Mapa de campo

Se elaboró un mapa trazado actualizado del vaso de la presa en una escala 1:25,000 a partir de diferentes fuentes cartográficas. El mapa general de la presa se trazó a partir de los mapas publicados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y fueron corregidos utilizando fotografía aérea. Las fotografías aéreas fueron verificadas en escala a partir de tres líneas base ubicadas en la zona de estudio y posteriormente los márgenes de la presa fueron ajustados donde fue necesario con observaciones simultáneas de campo. Para el establecimiento de la elevación promedio del nivel de la presa se consideró como base el promedio de oscilación de niveles anuales máximos y mínimos registrados durante los últimos años. La cifra promedio obtenida fue verificada en campo por medio de los bancos de nivel cercanos al embalse.

6.1.2. Batimetría

Se realizó un estudio de 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 con los transectos que fueron necesarios paralelos a la longitud máxima y otros en intersección en ángulo recto. Para el estudio batimétrico se utilizó una ecosonda marca “Furuno” modelo FE-808 operada a 200 KHz calibrada con una sonda manual graduada en centímetros durante toda la campaña batimétrica.

Los transectos fueron trazados previamente en mapas de campo y ubicados físicamente usando para ello un geoposicionador marca “Garmin” modelo V Plus, los que a su vez fueron utilizados para la navegación. Los puntos de inicio y término de los transectos se localizaron por medio de geoposicionamiento satelital.

6.1.3. Procesamiento de datos

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

Considerando que las fotografías aéreas proporcionan solamente una escala aproximada la cual se deriva del altímetro del avión, una serie de líneas rectas de tierra fueron establecidas en el campo, cercanas a la línea de costa de la presa con el objeto de incrementar la exactitud de la escala (Chacón, 1993).

6.2. Influencia climática

El criterio para la descripción del clima en México es esencialmente el sistema de clasificación sugerido por Köppen (1936). Sin embargo, este sistema fue diseñado para clasificar grandes áreas climáticas alrededor del mundo que se encuentran distribuidas en diferentes latitudes. Como Köppen mismo lo refiere, este sistema no considera diferencias que de hecho existen en grandes extensiones planas localizadas en latitudes superiores ni tampoco aquellas diferencias que existen en las montañas altas que se localizan en bajas latitudes. En México, debido a los cambios climáticos que ocurren en distancias relativamente cortas a consecuencia de la orografía y las diferencias de altitud de la región, este sistema de clasificación tuvo que ser modificado y adaptado por García (1973) para las condiciones reales del país. Por lo tanto, en el presente estudio el mismo sistema de clasificación fue utilizado para observar las variaciones y tendencias climáticas en la presa “Melchor Ocampo” para los periodos 1941-2003.

En la presa de “Melchor Ocampo” existe una estación meteorológica administrada por la Comisión Nacional del Agua, la cual se encuentra situada en el extremo sureste de la cortina. Esta estación se encuentra localizada a 1995 m de altitud y ha realizado registros meteorológicos desde el año de 1941.

Después de aplicar los criterios de García (1988) el tipo de clima en el municipio de Angamacutiro donde se localiza la presa “Melchor Ocampo” con base al Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificada por García (1988) para las condiciones de la República Mexicana se identifica con la fórmula:

$$(A) \quad C (w_0)(w) a (i') g$$

Lo anterior describe a un clima semi-cálido sub-húmedo con un régimen de lluvias en verano, porque su precipitación de verano es por lo menos diez veces mayor el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco y porque su cociente de precipitación sobre la temperatura es de 41.34, es decir, menor que 43.2. La temperatura media anual es superior a los 18.0°C lo que representa un verano cálido. La oscilación de la temperatura es poca y la marcha anual de la temperatura es de tipo Ganges

6.3. Niveles de la presa

Para obtener una interpretación sobre los fenómenos climáticos y sus posibles efectos sobre los niveles del embalse se utilizó un modelo simple, requiriendo únicamente registros de precipitación y evaporación, en una ecuación de balance de masa comúnmente utilizada en limnología

$$\text{Nivel de la presa} = \text{Nivel agua inicial} + \Delta V * (\text{Precip} - \text{Evap} + \text{Filtr})$$

El factor de infiltración de mayor significancia estadística fue empleado para efectuar el balance de agua mensual para la presa. El promedio de 25 años de precipitación y de evaporación (1980-2005) fueron utilizados para estimar el balance general de agua en la presa.

6.4. Viento

Con el objeto de identificar los vientos dominantes a lo largo del año que pueden inducir los diferentes movimientos de agua y la distribución de sólidos, sedimentos, nutrientes y gases disueltos, se realizó una revisión de los registros meteorológicos existentes. Se determinó la frecuencia mensual para dirección y velocidad del viento y el patrón anual de distribución.

6.5. Corrientes de agua

El uso y precisión de las veletas o flotadores de corriente para estimar corrientes de agua y describir los patrones de circulación en ambientes lénticos ha sido ampliamente documentado (Shulman and Bryson, 1961; Landless and Edwards, 1976, Bhowmick and Stall, 1978; Goldman and Horne, 1983). Los resultados sugieren que estos aparatos son muy económicos de construir, fácil de operar y muy precisos a bajas velocidades de corriente (menor de 3.0 cm/s) (Chacón, 1993).

Las veletas de corriente fueron rastreadas por medio de lanchas con motor fuera de borda a una distancia aproximada de 250 m para evitar disturbios de agua en el área circundante. Las veletas fueron localizadas geográficamente mediante el uso de un geoposicionador. La dirección y velocidad del viento se registraron por medio de brújula y un anemómetro de campo "DWYER". Los tiempos inicial y final para cada rastreo fueron registrados con un cronómetro. Los transectos de las veletas se trazaron en un mapa de escala (1:25,000), las distancias cubiertas por las veletas de corriente para cada localidad seleccionada fueron utilizadas para estimar la dirección y velocidad de corriente. Posteriormente, se elaboró un mapa general para describir los patrones de circulación en la presa "Melchor Ocampo" (Chacón, 1993).

6.6. Seiches y estimación de la altura de oleaje

Utilizando la información morfométrica básica obtenida con anterioridad se efectuaron cálculos para estimar teóricamente los movimientos de agua diferentes a aquellos de deriva superficial unidireccionales. Para el cálculo de la fricción del viento, efecto de Coriolis y oscilaciones de superficie conocidas como “Seiches” se siguieron los criterios sugeridos por Mortimer (1974) y Smith (1975).

Para la predicción de la máxima altura de ola se utilizó el método de Sverdrup-Munk-Brtschneider (SMB) descrito por la US Army Corps of Engineers (1984). Este sistema de predicción es un procedimiento combinado empírico-analítico el cual ha sido continuamente analizado y ampliamente utilizado cuando existe información limitada para evaluar los efectos del oleaje. La máxima altura de ola depende de tres factores principales, la velocidad del viento, el tiempo que el viento sopla sobre la superficie del agua y la distancia en línea recta de agua abierta carente de obstrucciones sobre la cual el viento sopla, esta distancia ha sido definida y conocida como “Fetch” o longitud de viento (Bascom, 1964, citado por Beveridge, 1987). Por lo tanto, dado un promedio de velocidad del viento, la formación de olas puede también estar limitada por la distancia de acción de viento en un sistema acuático en particular.

Para la medición de la altura de ola en campo se efectuó por lectura en una escala vertical montada a 100m de la costa más expuesta al viento a lo largo de la longitud de viento máxima. Se registraron grupos de diez lecturas y el promedio de cada grupo se anotó y fue empleado para su comparación con los valores de predicción del método SMB.

Para la determinación la altura máxima de ola se utilizó tanto la longitud de viento máxima aplicada para zonas costeras, como el concepto de “longitud de viento efectiva” el cual se utiliza ampliamente para aguas continentales. Este último se obtuvo mediante la fórmula obtenida por US Beach Erosion Board Corps of Engineers (1962).

6.7. Calidad del agua

6.7.1. Estaciones de muestreo

Se establecieron tres estaciones de muestreo ubicadas en las coordenadas geográficas del sistema de proyección geográfica Universal Transversa de Mercator (UTM). Las estaciones de muestreo se seleccionaron de manera que se observaran las variaciones propias del ecosistema incluyendo el ingreso del afluente, zona de mayor extensión de litoral y zona central del embalse.

6.7.2 Muestreo de agua

El muestreo se llevó a efecto a bordo de una lancha con motor fuera de borda, con un horario estimado de muestreo de las 9:00 a las 11:45 h. Las muestras fueron mantenidas en baja temperatura, aisladas de la luz solar y transportadas al laboratorio para su análisis inmediato (Chacón, 1993).

Se colectaron muestras de agua de tres profundidades; de superficie, a media profundidad y a 10.0 cm antes del fondo del embalse en tres estaciones mediante una botella de muestreo tipo Van-Dorn con capacidad de 2.0 litros.

Las muestras se colocaron en botellas de plástico previamente lavadas con detergente libre de fosfatos, se etiquetaron y se transportaron en frío al laboratorio de Limnología del Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA-UMSNH) para su posterior análisis.

6.7.3. Análisis de campo

El contenido de oxígeno disuelto (DO) se determinó mediante la técnica iodométrica de Winkler usando almidón como indicador y modificado con azida de sodio para corregir las interferencias ocasionadas por nitritos. Con el objeto de complementar los datos de comportamiento de concentración de oxígeno, se realizaron cálculos del porcentaje de saturación de oxígeno (%DO). Para ello se tomaron lecturas de presión batimétrica (P) simultáneamente a los análisis de

concentración de oxígeno durante todo el periodo de muestreo, usando un altímetro de campo "TOMHEMN" Mod. 2000. El altímetro fue calibrado en el Observatorio Climatológico de Angamacutiro, Michoacán, utilizando la presión media anual de la zona y las lecturas en la presa de Melchor Ocampo se efectuaron a las 12:00 hrs. Con atmósfera soleada y seca.

De manera simultánea en el campo se realizaron lecturas de concentración de oxígeno disuelto mediante el empleo de un medidor electrónico de oxígeno equipado con un termistor marca "Yellow Springs Inc." Modelo 52B, tomando lectura a cada metro de profundidad. El medidor electrónico fue calibrado con frecuencia por medio de la técnica volumétrica indirecta de medición de oxígeno de Winkler modificada a la azida de sodio.

De la misma manera, se registró la lectura de potencial de Hidrógeno y la conductividad eléctrica en unidades de Microsiemens por centímetro mediante el uso de un potenciómetro marca "Conductronic" modelo PC18.

La alcalinidad se determinó mediante la técnica titrimétrica usando ácido sulfúrico 0.1 N como solución titulante y fenoftaleína como indicador (APHA, 1985).

Para el análisis de dureza por calcio y magnesio se utilizó la técnica de titulación con solución valorada de la sal Disódica de Etileno Diamino Tetra Acético utilizando como indicador una solución de Eriocromo Negro T (APHA, 1997).

6.7.4. Temperatura

Considerando los objetivos de este estudio, solamente fue registrada la temperatura de la superficie del agua la cual se realizó en forma rutinaria en campo. Sin embargo, durante el periodo de muestreo algunas de las estaciones localizadas a lo largo del eje mayor de la presa fueron consideradas para examinar perfiles de temperatura. La temperatura fue registrada inmediatamente con un termómetro de mercurio y un termistor marca "Conductronic" modelo PC18 a partir de muestras de agua tomadas de la superficie y diferentes profundidades, hasta el fondo de la presa, por medio de una botella de Van Dorn de 3.5L de capacidad. La hora de muestreo fue en la mayoría de los casos de 9:00 a 11:00

horas, combinada con muestreos ocasionales en la tarde y a la media noche (Chacón, 1993).

6.7.5. Óptica

Se estableció una estación de muestreo en el embalse, esta estación se ubicó en la zona más profunda del ecosistema acuático. El sitio de muestreo fue ubicado en campo empleando para ello un geoposicionador. Se realizó una serie de registros de luz obtenidos con lecturas a diferentes profundidades en la estación de muestreo. La transmitancia de luz se registró empleando un transmisómetro digital marca “Kahlsico” Digital in-situ Transmittance Meter modelo No. 269WA170. Se estimó el coeficiente de atenuación horizontal de la luz © de acuerdo a Jerlov (1976). Para los registros de atenuación vertical de la irradiación solar bajo el agua e irradiación solar ambiental se empleó un irradiómetro marca “Kahlsico” Underwater Irradiometer Modelo No. 268WA310. Se estimó el coeficiente de atenuación vertical (Kd) usando la relación obtenida por la ley Beer-Lambert propuesta por Kirk (1983). En forma simultánea a los registros de los instrumentos de medición de luz solar, se tomaron lecturas del disco de Secchi (Zsd). 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). Se estimó el coeficiente de atenuación horizontal de luz © de acuerdo a Jerlov (1976) utilizando la expresión:

$$c = -[Ln(1 - C)]/r$$

Donde:

c = coeficiente de atenuación de luz (m)

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

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

Se estimó el coeficiente de atenuación vertical de la luz (**Kd**) utilizando la relación obtenida por la ley Beer-Lambert propuesta por Kirk (1983).

$$\ln Ed(z) = -Kdz + \ln Ed(0)$$

Donde:

Ed(z), Ed(0) = Valores de irradianza solar descendente a una profundidad (z) expresada en metros y aquella medida inmediatamente debajo de la superficie del agua (0) respectivamente (mW/cm²).

Kd = Coeficiente de atenuación vertical obtenida por regresión lineal de Ln Ed(z) con respecto a la profundidad (m).

La profundidad de la zona eufótica fue obtenida mediante un análisis de regresión lineal a partir de la profundidad y el logaritmo natural de la cantidad de luz a diferentes profundidades por medio de la ecuación

$$Ed = Ed(0) e^{(-Kd z)}$$

La transparencia del agua usualmente se expresa como la profundidad de visión del disco de Secchi; que es un disco blanco de 20 cm de diámetro para lagos. Carlson (1977) sugirió que la transparencia 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, de manera general se utilizó la transparencia del disco de Secchi para aproximar una medida sobre el estado de los atributos ópticos del agua.

6.7.6. Medida de flujo

Se tomaron muestras de agua y medidas de flujo en el afluente principal que previamente fue localizado. Para estimar el flujo de agua se utilizó la ecuación descrita para salidas en forma de “V” por Ven Te Chow (1964) siguiendo la relación:

$$Q = 1.4 \tan \theta H^{5/2}$$

Donde:

Q = Flujo de agua en m³ /s

θ = Angulo de salida “V”

H = Altura del nivel del agua en m.

En aquellas zonas en donde no existan salidas con geometría definida se utilizó en forma simultánea la técnica del flotador y la ecuación de Manning (ILDC, 1981).

$$V = 1/n R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{y} \quad Q = V \times A$$

Donde:

V = Velocidad promedio en m/s

n = Coeficiente de rugosidad

R = Radio hidráulico de sección diagonal en m

(Área de sección diagonal/ perímetro húmedo).

S = Pérdida de energía por gradiente hidráulico (pendiente)

6.7.7. Análisis de laboratorio

La concentración de sólidos totales (TS) y de sólidos suspendidos (SS) se estimó por el método gravimétrico. Para sólidos totales disueltos se colocó una muestra de agua de volumen conocido a evaporar en una cápsula de porcelana de peso conocido a una temperatura de 105° C, posteriormente la muestra se enfrió en un desecador para después conocer su peso en una balanza analítica. El procedimiento fue repetido hasta que la capsula alcanzó un peso constante (APHA, 1985).

Para la determinación de sólidos suspendidos, las muestras de agua se filtraron por vacío a través de un filtro de fibra de vidrio de peso conocido con una apertura de malla de 0.45 μ m, se secaron a 105° C y fueron pesadas posteriormente en una balanza analítica hasta alcanzar una lectura de 0.01 mg de precisión (Strickland y Parsons, 1972). La concentración de sólidos totales disueltos fue estimada mediante substracción de SS a partir de TS.

La concentración de materia orgánica disuelta y particulada se determinó por medio de la técnica de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (COD). Para el análisis de DBO las muestras fueron diluidas en 25%-50% con agua destilada y saturada de oxígeno, las muestras fueron incubadas a temperatura constante por un periodo de cinco días (APHA, 1985). Las concentraciones de oxígeno inicial y final fueron estimadas mediante la técnica de Winkler modificado al azida de sodio. La demanda química de oxígeno (COD) fue analizada por la técnica del dicromato de reflujo abierto. Las muestras de agua se sometieron a calentamiento y reflujo en una solución de ácido fuerte con una cantidad en exceso conocida de dicromato de potasio por un periodo de dos horas. Después de la digestión, el remanente del dicromato que no se sometió a reducción se tituló con sulfato ferroso de amonio (APHA, 1985).

La concentración de pigmentos fotosintéticos (CHL) 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 fueron extraídos en una solución de metanol al 90% amortiguado con carbonato de magnesio (Holm-Hansen y Riemann, 1978); posteriormente se tomó la lectura de su absorbancia en un espectrofotómetro marca "Perkin Elmer" modelo Lambda 10. La absorbancia de 750 nm fue sustraída de aquella lectura tomada a 650 nm para corregir las interferencias ocasionadas por turbidez inorgánica. Las concentraciones de clorofila-a se estimaron usando la ecuación sugerida por Jones (1976):

$$\text{Chl-a} = \text{Ve/Vs} \times \text{f/e} \times \text{A}$$

Donde:

Chl-a = Concentración de clorofila-a en µg/l

Ve = Volumen del extracto en mL.

Vs = Volumen de la muestra filtrada en mL.

f = Factor equivalente al recíproco del coeficiente de absorción específica de la clorofila-a multiplicado por 1000. Para clorofila- en metanol absoluto Hola-

Hansen y Riemman (1978) reportan un coeficiente de absorción específica de 77.91/gcm. Por lo tanto, $1/77.9 \times 1000 = 12.84$. Factor (f) = 12.84

e = Longitud de la celda del espectrofotómetro (1cm)

A = Absorbancia corregida a 665 nm (absorbancia a 665 nm – absorbancia a 750 nm).

Las concentraciones de fósforo disuelto reactivo (FRD) y de fósforo (FT) se determinaron por la técnica espectrofotométrica a 882 nm por medio de la reacción del molibdeno recomendada por Eisenrich *et al*, (1975).

La cuantificación de nitratos (NO_3) se realizó por medio de la reducción de cobre-cadmio a nitritos. Los nitritos (NO_2) se determinaron mediante la técnica espectrofotométrica usando la reacción colorimétrica de la dihidrocloruro etilendiamino-/N (1-naftil) sulfanilamida (NED) (Golterman *et al*, 1978; APHA, 1985).

La concentración de amonio (NH_4) se realizó por técnica espectrofotométrica de reacción del azul de indofenol utilizando el método del fenol-hipoclorito descrito por Solórzano (1969).

La concentración de Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^+), Potasio (K^+) y Hierro (Fe^{+++}) se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica. La dureza total del agua se estimó a partir de los valores de calcio y magnesio (APHA, 1985; Stirling, 1985).

Los valores promedio del total de muestras se utilizaron para describir el ambiente químico

6.7.8. Productividad primaria

Esta fue estimada mediante la variación en la concentración de oxígeno disuelto por unidad de volumen utilizando la técnica de la botella clara y oscura (Vollenweider, 1969). Las incubaciones se realizaron con dos réplicas, a la profundidad donde se estima la presencia de la zona eufótica, por un periodo de 2:00 horas, de 11:45 a 14:30 h. Las determinaciones de oxígeno disuelto son *in situ* fueron realizadas mediante la técnica de Winkler modificada al azida de sodio. Con el objeto de obtener máxima precisión, las determinaciones de oxígeno fueron realizadas por triplicado. Las incubaciones se efectuaron en dos ocasiones, cada una se realizó un día después del muestreo general de agua.

6.7.9. Sedimentos

La colecta de muestras de sedimento se realizó mediante el uso de una draga tipo Eckman y se transportaron al laboratorio para su análisis inmediato.

Como pre-tratamiento las muestras de sedimento se sometieron a un previo proceso de deshidratación, que consistió en colocar las muestras de sedimento húmedo en una estufa de secado a una temperatura de 50°C por espacio de dos días anotando el color y olor original de la muestra de campo y los posibles cambios subsecuentes que se pudieran presentar durante proceso de secado (Folk, 1969). Una vez preparada la muestra se realizaron los siguientes análisis:

Análisis granulométrico. Para el análisis granulométrico se realizó un tamizado de la muestra, usando agua destilada para fragmentar los grumos de arcilla y limo. La muestra se transfirió a una cápsula de porcelana chica, previamente secada y pesada. Después se aforó a 1000 mL y la fracción se pasó por una malla de 40 μ vertiendo agua destilada. Se agregaron 5.0 g de metafosfato de sodio y se agitó por espacio de dos minutos para obtener un homogenizado. Se dejó reposar por 30 segundos y se introdujo una pipeta succionando

20–25 mL de la suspensión. Las muestras pipeteadas se colocaron en cápsulas de porcelana previamente pesadas. Después de cada pipeteo ésta se enjuagó con agua y se agregó a la cápsula con sedimento. Las cápsulas con el sedimento se colocaron en la estufa a una temperatura de 50°C. Pasado el tiempo de secado se extrajeron y dejaron enfriar pesando después en una balanza granataria.

Contenido de humedad. El factor de humedad se determinó siguiendo el criterio de Häkanson (1983) donde la humedad indica el contenido de sólidos del suelo que existen por cada gramo de suelo húmedo. Se pesaron dos crisoles y colocaron 5.0 g de sedimento en cada uno, posteriormente se volvieron a pesar los crisoles con la muestra. Estos se colocaron dentro de la estufa de secado a una temperatura de 110°C por un período de 10 horas. Se enfriaron en un desecador y se registró posteriormente su peso.

Densidad aparente. Se determinó por la técnica gravimétrica de acuerdo con los criterios de Aguilera *et al* (1988). Se pesó una probeta vacía de 10 mL de capacidad, se agregó el sedimento hasta los 10 mL y se golpeó ligeramente 10 veces sobre una franela, inmediatamente después se agregó el sedimento que faltaría hasta cubrir los 10 mL. Después se registró el peso de la probeta con el suelo.

Contenido de materia orgánica. Para la determinación del contenido de materia orgánica en sedimentos se empleó el método de titulación propuesto por Gaudete y Flight (1974). Se determinó mediante la oxidación de 0.3 g de sedimento con 10 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 N en 20 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Se utilizó para la reacción el calor de disolución del H_2SO_4 .

Se dejó reposar por espacio de 30 minutos. Después se agregaron 200 mL de agua destilada, se le adicionaron 10 mL de ácido fosfórico concentrado (H_3PO_4). El $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ se valoró con una solución de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ 0.5 N, usando difenilamina como indicador (Bahena, 1999) modificado por Paez-Osuna *et al* (1984) empleando el método de Walkley y Black por combustión húmeda.

6.10. Tratamiento de resultados

Los resultados de los análisis tanto de campo como de laboratorio fueron tabulados en una primera etapa tanto en modalidad espacial como en la temporal. A partir de estas tablas se aplicó un tratamiento estadístico descriptivo que permitió identificar los valores promedio, moda, desviación estándar y coeficiente de variación. Posteriormente, se analizó la posible asociación entre variables dependientes e independientes incluyendo el análisis de correlación y el análisis de regresión para explicar algunos de los procesos del ecosistema. En su caso, se aplicaron algunas técnicas de análisis multivariado como el Análisis de Componentes Principales en el caso de que algún proceso o relación funcional en el ecosistema se encontrara afectado por más de dos variables ambientales.

7. RESULTADOS

7.1. Batimetría y morfometría

En la Figura 4 se presenta el mapa batimétrico de la presa Melchor Ocampo. Como se puede observar el mapa batimétrico refleja todavía las condiciones originales anteriores al llenado del embalse. El canal del afluente río Angulo que inicia en el sureste del vaso y se extiende hasta el noreste del mismo hasta la cortina de la presa aún permanece vigente. La región con menor profundidad es la zona del noroeste que se ubica justo enfrente de la cortina del embalse. Las mayores profundidades se manifiestan en el sureste del embalse y de manera particular en las zonas más cercanas a la cortina.

Se observa que en la parte occidental se presenta una extensa planicie de baja profundidad en donde se registran las mayores variaciones de nivel durante la época de estiaje.

La Figura 5 ilustra la curva hipsográfica derivada del mapa batimétrico elaborado. A partir de esta figura fue posible estimar la profundidad mediana (7.80 m), la profundidad del primer cuartil (11.0 m), así como la profundidad del segundo cuartil (4.50 m).

La misma Figura 5, permite definir el tipo de sistema acuático del que se trata. Siguiendo los criterios propuestos por Häkanson (1981) se considera que la presa “Melchor Ocampo” es un sistema ligeramente convexo de tipo micro ya que posee dos puntos de inflexión en la curva hipsográfica.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la estimación de los parámetros morfométricos, se estima que el embalse presenta una superficie de 19.12 km². Este cuerpo de agua artificial tiene una profundidad promedio de 10.2 m que distribuye un volumen total de 163'047,438 m³ y con una profundidad máxima durante el muestreo de 22.0 m (Tabla 19). La mayor parte de la presa es somera (Figura 4).

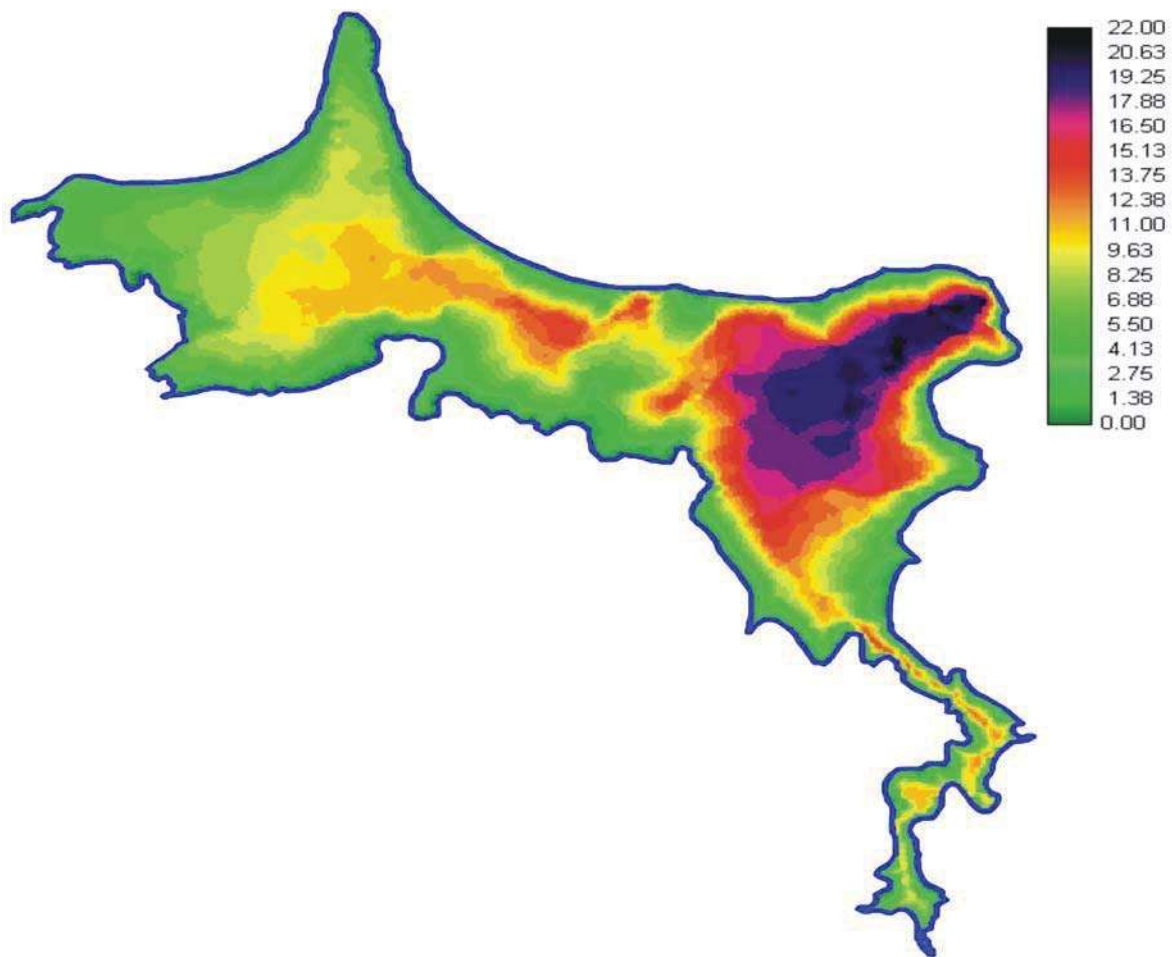


Figura 4. Batimetría de la Presa Melchor Ocampo, Municipio de Angamacutiro

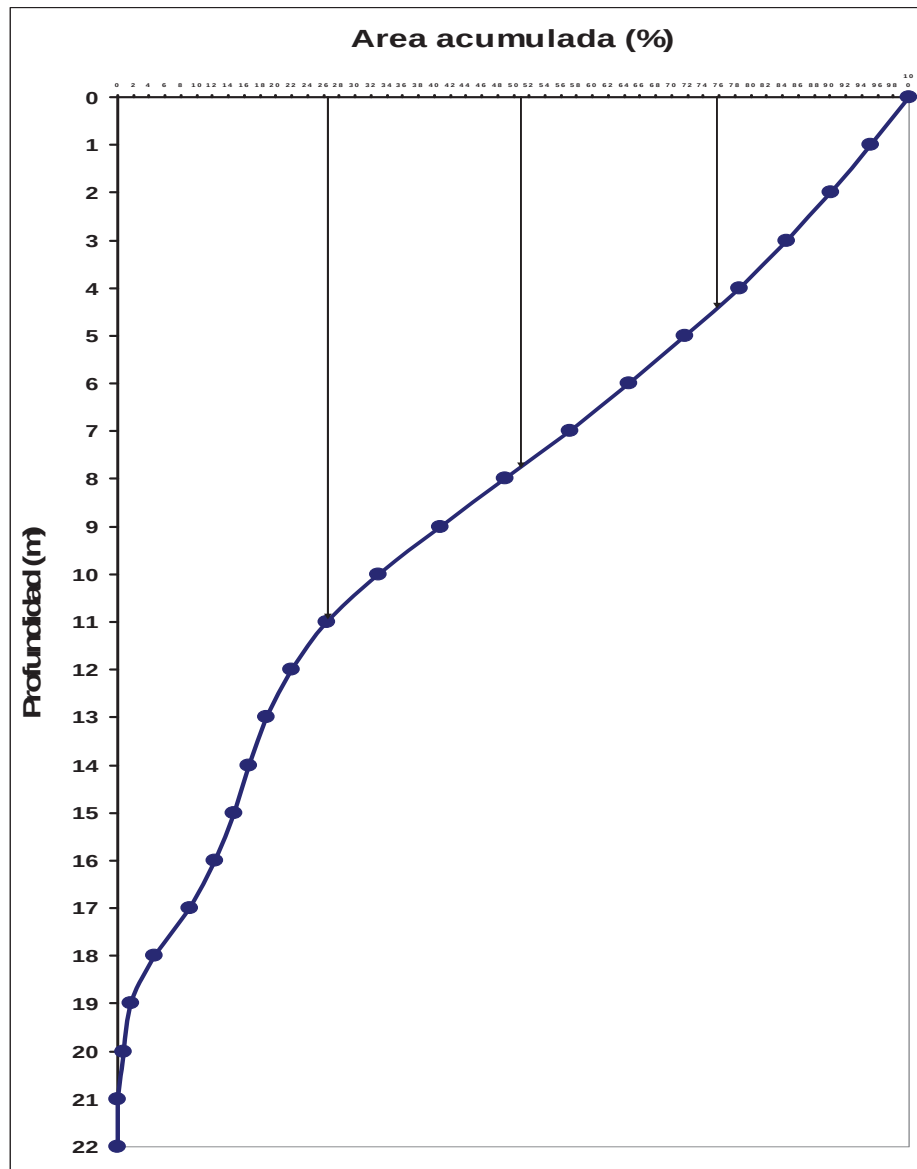


Figura 5. Curva hipsográfica de la presa Melchor Ocampo.

Tabla 2. Parámetros morfométricos de la Presa Melchor Ocampo (2007)

Parámetro	Valor
Área total del embalse (A), km ²	12.12
Volumen (V), x 10 ⁶ m ³	185.0
Profundidad máxima (D _{máx}), m	31.0
Profundidad media (D), m	9.68
Profundidad mediana (D ₅₀), m	7.80
Profundidad al 1er cuartil (D ₂₅), m	11.00
Profundidad al 3er cuartil (D ₇₅), m	4.50
Profundidad relativa (D _r), %	0.44
Longitud máxima (L _{max}), km	8.92
Longitud máxima efectiva (L _e), km	8.92
Amplitud máxima (B _{máx}), km	3.25
Amplitud máxima efectiva (B _e), km	4.14
Amplitud media (B), km	2.14
Longitud máxima de viento efectiva (L _f), km	8.25
Longitud de costa (L _o), km	42.27
Pendiente (α), %	5
Pendiente media (ᾱ), %	2.5
Desarrollo de costa (F), adimensional	2.72
Rugosidad del fondo lacustre ®, adimensional	0.62
Desarrollo de volumen (V _d), adimensional	0.77
Forma del lago	SCx <i>mi</i>

La presa “Melchor Ocampo” considerando su intenso manejo hidráulico presenta una fluctuación en el nivel de agua hasta de 8.3 m, por lo que en la temporada de mayor almacenamiento llega a registrar una profundidad máxima de 30.0 m (Figura 5).

La máxima longitud es de 8,917.0 m con una amplitud de 3,249.45 m, por lo que es un cuerpo de agua tipo irregular lo que favorece el intercambio agua-tierra incrementando las posibilidades de ingreso de material alóctono y ofrece también mayores posibilidades de existencia de ambientes protegidos del viento y oleaje.

El volumen total registrado fue de 163'047,438.0 m³, mientras que su capacidad máxima de almacenamiento es de 252'000,000m³, por lo tanto, actualmente existe una diferencia de 88'952,562 m³. Lo anterior equivale al 64.7% del volumen total de la presa, este volumen de agua es destinado a las áreas de riego en donde la presa beneficia una superficie de riego de 33,200 ha.

7.2. Clima de la Presa Melchor Ocampo

De acuerdo con los registros climáticos de las estaciones meteorológicas más cercanas al embalse, la temperatura máxima fue de 33.3°C en el año de 1976 (Tabla 2), la temperatura promedio mínima fue de 5.7°C en el año de 1986 (Tabla 3) y la temperatura media anual registrada fue un promedio de 19.2°C (Tabla 4).

La precipitación media anual es de 793.7 mm, con registro máximo de lluvia de 305.4 mm, en el mes de agosto en el año de 1973 (Tabla 5). De acuerdo con los registros meteorológicos, la precipitación del año más seco fue de 481.9 mm y del año más lluvioso fue de 1,089.1 mm. En cuanto a la presencia de periodos de niebla en las zonas de esta región son de 0 a 10 al año y las granizadas de 0 a 2 días.

Una vez analizadas las variables climáticas así como el comportamiento de éstas, el tipo de clima en el municipio de Angamacutiro donde se localiza la presa Melchor Ocampo con base al Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificada por García (1988) para las condiciones de la República Mexicana se identifica con la fórmula:

(A) C (w₀)(w) a (i') g

Lo anterior describe a un clima semicálido subhúmedo con un régimen de lluvias en verano, porque su precipitación de verano es por lo menos diez veces mayor el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco y porque su cociente de precipitación sobre la temperatura es de 41.34, es decir, menor que 43.2. La temperatura media anual es superior a los 18.0°C lo que representa un verano cálido. La oscilación de la temperatura es poca y la marcha anual de la temperatura es de tipo Ganges (Figura 3)

UNIDAD DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

NORMALES CLIMATOLÓGICAS (1971-2000)

ESTADO DE MICHOACÁN

ESTACION: 00016005 ANGAMACUTIRO, (SMN)

ELEVACIÓN: 1500.0 msnm

LATITUD: 20° 09' N

LONGITUD: 101° 43' W

Tabla 3. Registro de temperatura máxima

T_{MÁX} (°C)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Normal provisional	25.4	27.1	29.8	32.1	33.0	30.3	27.4	27.4	27.0	27.0	26.7	25.5	28.2
Máxima mensual	28.0	29.1	31.8	34.2	34.2	34.1	28.7	29.2	28.5	29.4	28.1	28.7	34.2
Año de máxima	1971	1971	1973	1972	1972	1969	1969	1962	1972	1970	1970	1979	1972
Mínima mensual	23.2	25.7	27.3	29.3	31.6	28.7	26.1	25.4	24.7	24.4	24.9	24.1	23.2
Año de mínima	1967	1968	1968	1977	1963	1961	1961	1965	1967	1967	1977	1962	1967
Años con datos	17	16	17	16	14	15	15	15	14	15	14	15	

Tabla 4. Registro de temperatura mínima

T_{MÍN} (°C)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Normal provisional	8.1	8.4	11.2	14.1	16.5	16.9	16.0	16.0	15.9	13.3	10.2	8.5	12.9

Mínima mensual	6.4	6.1	8.7	11.5	14.5	15.5	14.9	15.0	14.2	11.3	7.5	6.1	6.1
Año de mínima	1965	1963	1968	1977	1977	1977	1974	1977	1977	1974	1966	1966	1963
Máxima mensual	11.9	10.7	13.3	16.3	18.1	18.4	16.8	17.0	17.3	15.9	14.2	11.9	18.4
Año de máxima	1971	1973	1973	1972	1972	1969	1973	1973	1971	1971	1972	1970	1969
Años con datos	17	16	17	16	14	15	15	15	14	15	14	15	

Tabla 5. Registro de temperatura media

T _{MEDIA} (°C)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
NORMAL	16.8	17.8	20.5	23.1	24.7	23.6	21.7	21.7	21.5	20.2	18.5	17.0	20.6
PROVISIONAL													
PER/QUINTIL 1	15.3	16.3	19.1	21.3	23.5	22.2	20.9	20.9	20.5	18.7	16.8	15.7	
PER/QUINTIL 2	15.7	16.9	19.5	22.0	23.9	22.9	21.3	21.4	20.9	19.2	17.4	16.1	
PER/QUINTIL 3	16.7	17.6	20.8	23.2	24.9	23.4	21.7	21.6	21.5	19.7	18.4	16.8	
PER/QUINTIL 4	17.4	18.6	21.1	24.1	25.2	24.4	22.1	21.8	22.1	21.1	19.4	17.4	
PER/QUINTIL 5	18.8	19.3	21.7	24.9	25.9	25.3	22.5	22.6	22.5	22.0	20.6	19.0	
AÑOS CON DATOS	17	16	17	16	14	15	15	15	14	15	14	15	

Tabla 6. Registro de precipitación total

PRECIPITACIÓN TOTAL (mm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Normal provisional	11.5	5.0	5.9	9.1	27.2	117.9	210.3	177.3	146.2	52.4	7.3	7.2	777.3

Máxima mensual	45.5	17.0	25.4	37.6	68.0	183.6	280.4	338.7	272.2	116.4	25.8	25.2	338.7
Año de máxima	1967	1968	1968	1966	1968	1971	1963	1965	1970	1967	1972	1968	1965
PER/QUINTIL 1	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	84.8	189.9	120.4	87.7	28.2	0.0	0.3	
PER/QUINTIL 2	1.1	0.0	2.4	2.8	20.5	98.1	196.1	152.6	114.1	33.8	1.2	3.3	
PER/QUINTIL 3	8.8	2.7	5.7	12.1	36.0	139.1	208.2	177.9	149.0	51.7	7.0	7.4	
PER/QUINTIL 4	25.9	14.8	12.7	15.4	43.7	158.2	240.4	233.1	209.2	93.7	15.5	13.9	
PER/QUINTIL 5	45.5	17.0	25.4	37.6	68.0	183.6	280.4	338.7	272.2	116.4	25.8	25.2	
Años con datos	17	16	17	16	14	15	15	15	14	15	14	15	

Tabla 7. Registro de días con precipitación apreciable

DÍAS	PRECIPITACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
APRECIABLE														
Normal provisional		1.9	1.0	1.4	1.4	4.2	11.9	19.3	16.7	13.9	6.1	1.4	1.5	80.5
Años con datos		17	16	17	16	14	15	15	15	14	15	14	15	

Tabla 8. Registro de días con tormenta eléctrica

DÍAS	CON	TORMENTA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ELÉCTRICA															
Normal provisional			0.18	0.06	0.13	0.56	1.93	4.80	6.27	6.00	4.64	0.80	0.29	0.20	25.85
Años con datos			17	16	16	16	14	15	15	15	14	15	14	15	

Tabla 9. Registro de días con granizo

DÍAS GRANIZO	CON	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Normal		0.12	0.00	0.00	0.00	0.07	0.13	0.47	0.13	0.14	0.00	0.00	0.07	1.13
provisional														
Años con datos	17	16	16	16	16	14	15	15	15	14	15	14	15	

Tabla 10. Registro de días con niebla

DÍAS NIEBLA	CON	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Normal	0.29	0.06	0.00	0.00	0.06	0.00	0.07	0.33	0.53	0.64	0.47	0.21	0.13	2.81
provisional														
Años con datos	17	16	16	16	16	14	15	15	15	14	15	14	15	

UNIDAD DEL SERVICIO METEORÓLOGICO NACIONAL

NORMALES CLIMATOLÓGICAS (1971 – 2000)

ESTADO DE MICHOACÁN

ELEVACIÓN: 1720.0 msnm

ESTACIÓN: 00016159 EL ROSARIO, ANGAMACUTIRO LATITUD: 20° 07' N LONGITUD: 101° 42' W

Tabla 11. Registro de temperatura máxima

T_{MÁX} (°C)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAXIMA
Normal provisional	25.0	26.6	29.4	31.2	32.2	29.4	26.4	25.9	26.0	26.3	26.3	25.2	27.5
Máxima mensual	27.2	28.2	31.6	33.8	34.0	32.2	28.4	27.2	27.4	28.0	27.4	27.2	33.8
Año de máxima	1989	1988	1991	1991	1998	1998	1988	1972	1987	1972	1989	1993	1991
Años con datos	26	26	24	25	26	26	26	26	26	26	25	26	

Tabla 12. Registro de temperatura mínima

T_{MÍN} (°C)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MINIMA
Normal provisional	7.1	7.9	9.6	11.6	13.5	14.7	14.1	13.9	13.5	11.4	9.6	7.9	7.1
Mínima mensual	5.4	4.8	7.1	8.8	10.8	11.9	10.2	10.9	10.5	9.0	7.0	5.4	4.8
Año de mínima	1988	1991	1983	1997	1997	1992	1990	1990	1990	1987	1999	1999	1991

Años con datos	26	26	24	25	26	26	26	26	26	26	25	26	
-----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	--

Tabla 13. Registro de temperatura media

T _{MEDIA} (°C)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTA L
NORMAL	16.0	17.3	19.5	21.4	22.8	22.1	20.2	19.9	19.8	18.8	17.9	16.5	19.4
PROVISIONAL													
AÑOS CON DATOS	26	26	24	25	26	26	26	26	26	26	25	26	

Tabla 14. Registro de precipitación total

PRECIPITACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TOTAL (mm)													
Normal provisional	13.4	4.9	5.3	7.4	28.2	132.0	206.0	180.4	133.6	55.3	9.3	9.9	785.7
Máxima mensual	113.4	37.6	30.4	36.2	94.3	256.6	326.0	331.3	346.3	182.4	34.8	43.1	346.3
Año de máxima	1992	1992	1976	1997	1992	1993	1992	1992	1998	1978	1997	1982	1998
Años con datos	26	26	24	25	26	26	26	26	26	26	25	26	

Tabla 15. Registro de días con precipitación apreciable

DÍAS	PRECIPITACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NO	DIC	TOTA
APRECIABLE												V		L

Normal provisional	1.7	1.5	1.0	1.9	4.0	13.5	19.2	16.4	11.6	5.5	1.7	2.4	80.2
Años con datos	26	26	24	25	26	26	26	26	26	26	25	26	

Tabla 16. Registro de evaporación total

EVAPORACIÓN TOTAL (mm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL L
Normal provisional	132.	149.	211.	230.	249.	205.	159.	148.	135.	142.	133.	122.0	2018.4
	1	0	3	4	0	0	4	7	5	8	2		
Años con datos	26	26	24	24	26	26	26	26	26	26	25	26	

Tabla 17. Registro de días con tormenta eléctrica

Días con tormenta eléctrica	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Normal provisional	0.17	0.17	0.00	0.00	0.3	1.1	1.8	2.0	1.3	0.3	0.00	0.00	7.0
Años con datos	26	26	24	24	26	26	26	26	26	26	25	26	

Tabla 18. Registro de días con granizo

Días con	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------

granizo																	
Normal	0.1	0.0	0.1	0.00	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.1
provisional																	
Años con datos	26	26	24	24	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26		

Tabla 19. Registro de días con niebla

Días con niebla	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Normal	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.5	0.6	1.7	1.5	1.0	0.5	0.8	6.8
provisional													
Años con datos	26	26	24	24	26	26	26	26	26	26	25	26	

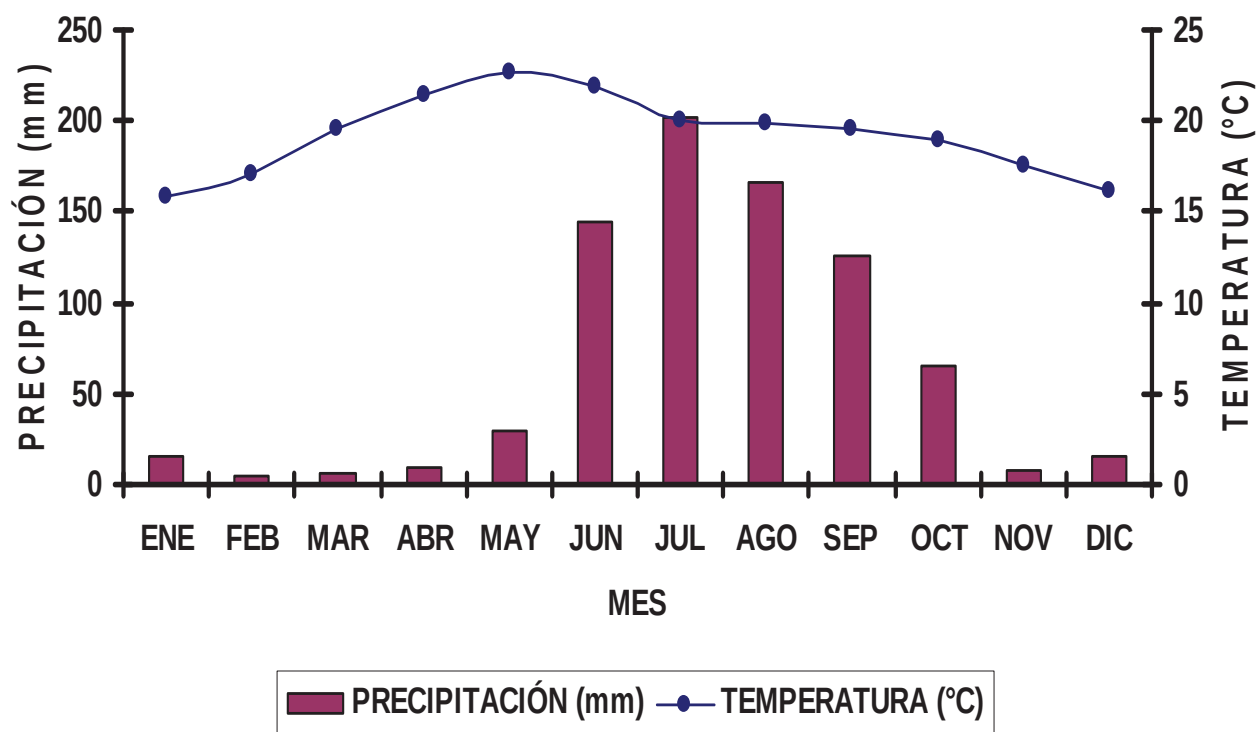


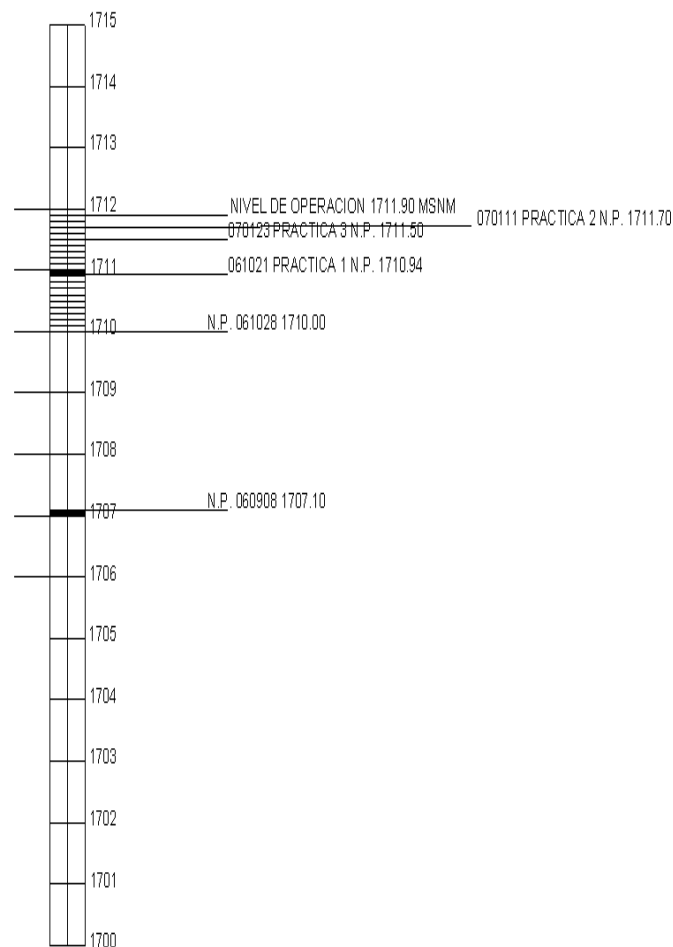
Figura 6. Climograma de la presa Melchor Ocampo, Municipio de Angamacutiro, Michoacán. Estación El Rosario (Periodo de registro: 1971-2000)

7.3. Balance hidrológico

De acuerdo con el análisis batimétrico obtenido asociado a las variables meteorológicas que influyen en la capacidad de almacenamiento del embalse “Melchor Ocampo”, fue posible estimar el balance hidrológico promedio en el sistema. En las Figuras 6 y 7, se presentan los resultados de la estimación del balance de agua, observando que asumiendo un volumen almacenado de 185 millones de metros cúbicos, la aportación de la precipitación anual es de 15.87

millones de metros cúbicos. El ingreso del río Angulo se estima que durante la época de estiaje es de 52.03 millones de metros cúbicos con un flujo diario mínimo de 5.43 m³/s. Sin embargo, la evapotranspiración es superior a la aportación de las lluvias con un valor de 32.0 millones de metros cúbicos. Si a ello se considera que de acuerdo con los registros oficiales de la Comisión Nacional del Agua, existe un volumen comprometido de agua de riego de 171.2 millones de metros cúbicos con una descarga mínima diaria de 3.65 m³/s, entonces el embalse presenta un déficit de agua.

Figura 7. Registro de variaciones de nivel en la Presa Melchor Ocampo durante el periodo de trabajo de campo



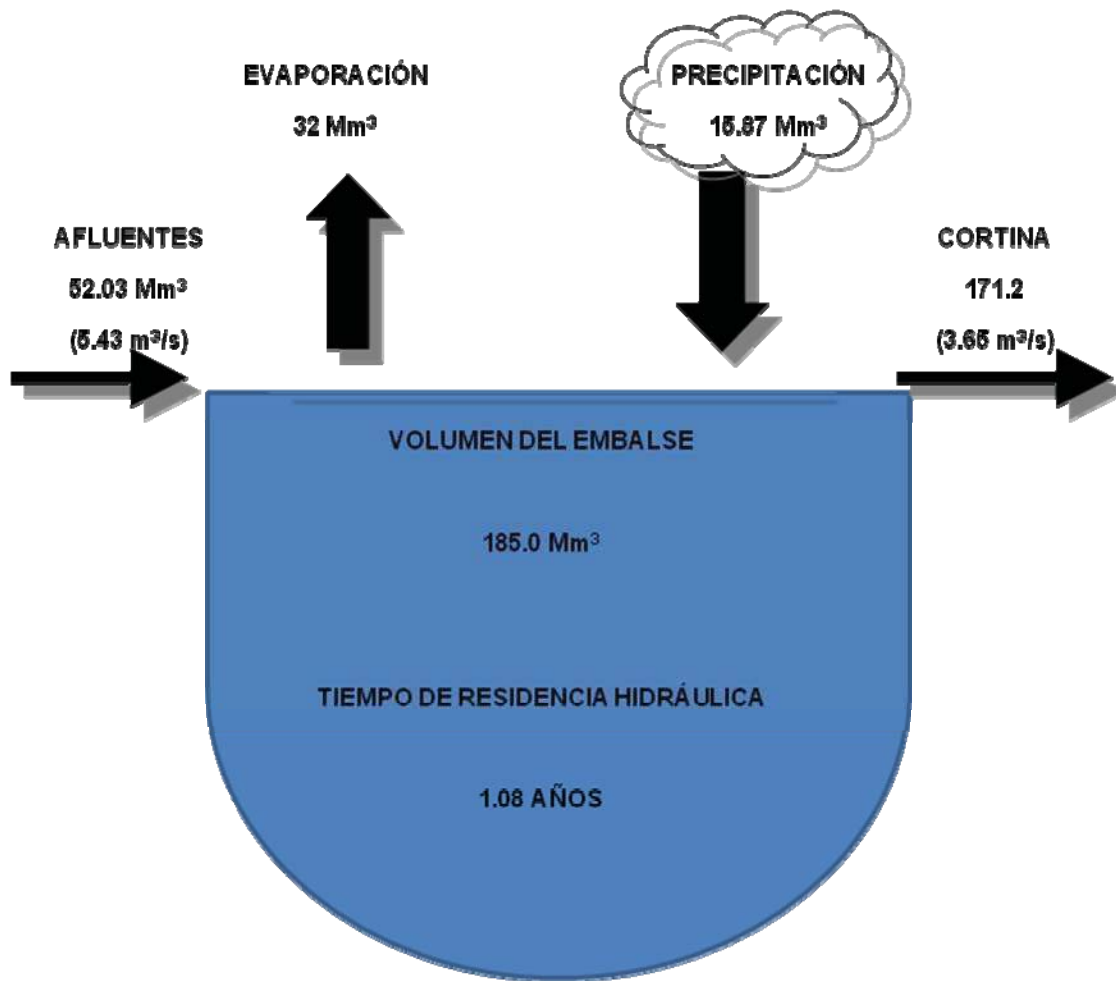


Figura 8. Balance hidrológico de la presa Melchor Ocampo

El tiempo estimado de retención hidráulica del embalse es de 1.08 años. Lo anterior significa que en un periodo de un año el agua del embalse es vaciada a través del sistema de riego de la cortina. Esto es en principio positivo porque los nutrientes son eliminados en un periodo relativamente corto, además de que el sistema de vaciado de la presa es inferior a través de mecanismos de fondo para la exportación de agua. Es decir, el vaso del embalse tiende a ser una trampa de calor en la superficie y un liberador de nutrientes del fondo.

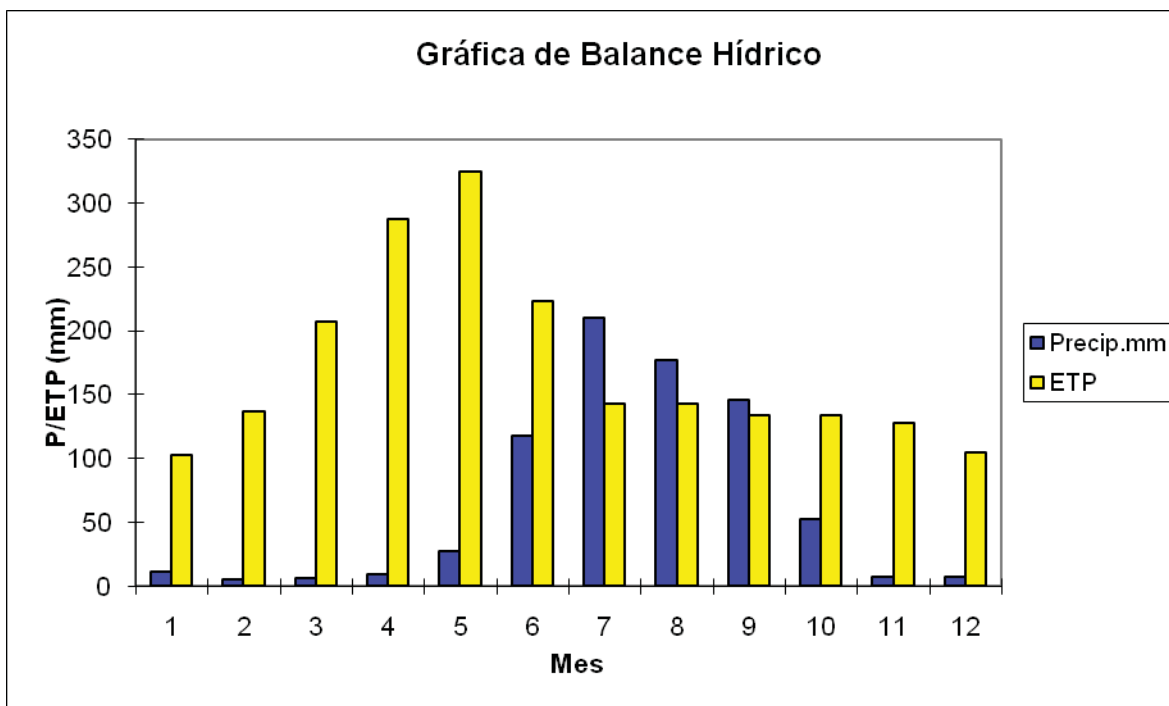


Figura 9. Balance hidrología de la presa Melchor Ocampo. (INEGI 2000)

7.4. Hidrodinámica

En las Figuras 8, 9 y 10 se presentan los registros de dirección del viento con periodos de frecuencia de 90 días, siete días y 24 horas respectivamente para diferentes fechas del periodo de estudio. Como se puede observar de los resultados de estos muestreos, no existe una tendencia a un dominio específico de vientos. Es decir, éstos se presentan procedentes de diferentes direcciones y ejercen su acción sobre el espejo del agua.

Sin embargo, de manera específica es posible identificar que la mayor frecuencia de vientos se presenta del sur y sureste así como del norte y noroeste. Lo anterior, significa que los vientos convectivos generados en el Altiplano Mexicano tienen una influencia en la zona de estudio y de los vientos sub húmedos de la Sierra Madre Occidental. Esto es posiblemente derivado de que la zona de estudio es una zona de transición climática de climas sub húmedos a climas cálidos.

Respecto a la generación de movimientos de agua de la Figura 11 a la 15 se presentan los resultados del estudio de hidrodinámica. Como se pueden apreciar los movimientos del agua son un resultado de la acción del viento ejercida sobre la superficie del agua, especialmente en lo que se refiere a la veleta de superficie. Con relación a las veletas de 5.0 y 10.0 metros de profundidad es posible detectar movimientos ligeramente fuera de la acción del viento, lo que sugiere una acción de los afluentes de la porción sur del embalse.

La figura 11 de hidrodinámica fue obtenida a partir de datos colectados con veletas de superficie, 5 metros y 10 metros de profundidad, siendo este día en particular en la única ocasión que se utilizaron estas tres profundidades ya que se pudo observar que no era viable el uso de la veleta de 10 metros de profundidad ya que solo en el área mas profunda fue posible su utilización, esto debido a que la forma del embalse es muy irregular.

La Tabla 20 presenta un resumen de los movimientos de agua registrados en el embalse. La velocidad promedio de la corriente incluyendo la deriva superficial fue de 2.69 cm/s, la cual es un valor normal para lagos y embalses epicontinentales en México. La desviación estándar de estos ensayos fue de 1.811 cm/s lo cual se considera bajo considerando que la corriente es un parámetro ambiental de alta variación. Lo anterior puede ser el resultado de la homogeneidad en las horas de muestreo y en condiciones de cielo despejado y soleado. Por lo que posiblemente será necesario realizar un muestreo más intensivo en condiciones meteorológicas diferentes con el objeto de registrar variaciones propias del embalse.

A pesar de registrar corrientes superficiales máximas hasta de 5.0 cm/s, la eficiencia del viento en la generación de corrientes de deriva superficial es del orden del 1.0%, lo cual es un porcentaje bajo para zonas expuestas a vientos convectivos.

Esta circunstancia puede ser el resultado de dos procesos: a) el efecto de protección orográfica que ofrecen las elevaciones que se encuentran en la cercanía y que incluyen los cerros de Blanco, Chongo, Los Reyes, Bola y Guayabo, los cuales ejercen un efecto de barrera y disminución de los vientos que se integran al valle que inunda la presa "Melchor Ocampo", ó b) el efecto del

ingreso de los afluentes del sur de la presa y que en su proceso de disipación de energía presenten una limitación en la generación de corrientes.

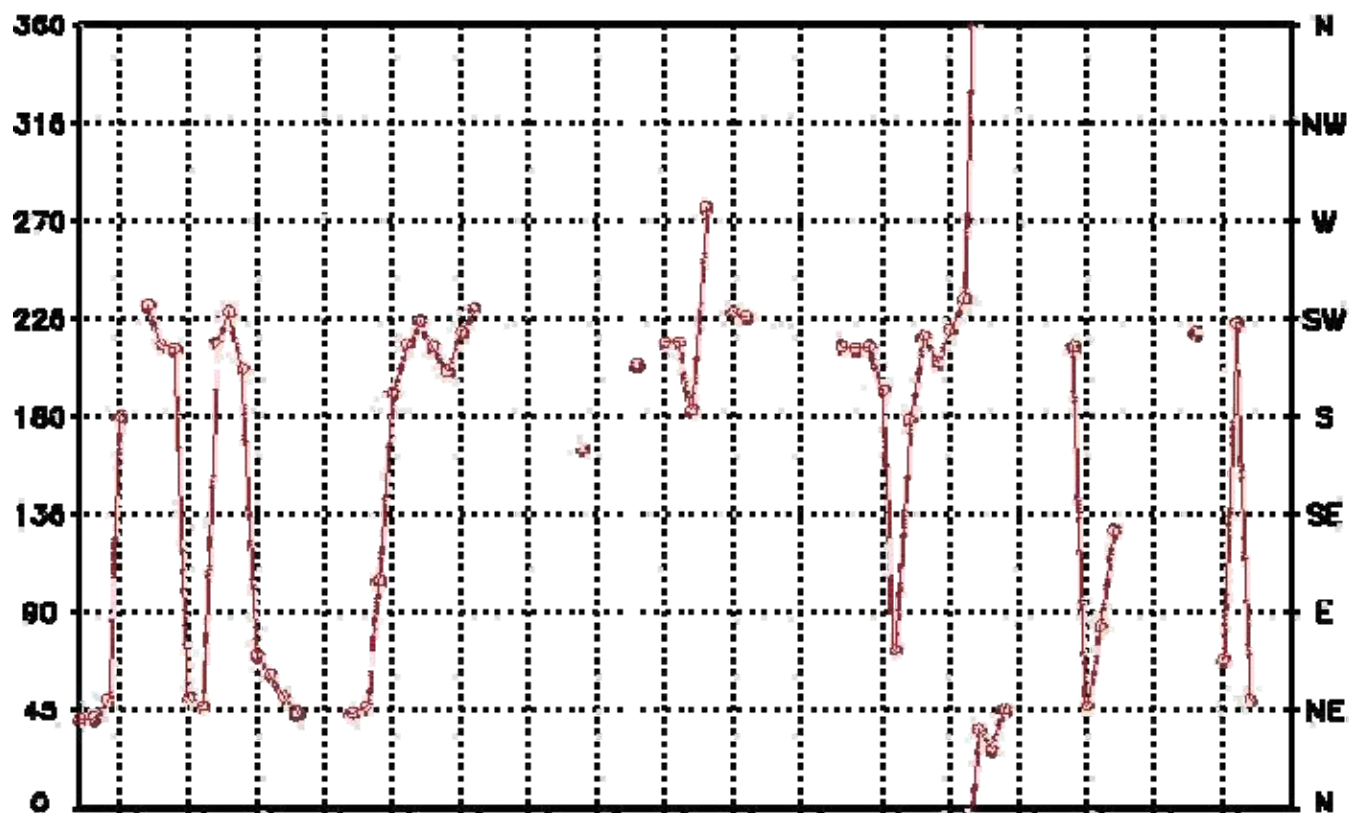


Figura 10. Dirección del viento sostenido en 90 días durante el mes de enero de 2007 en la Presa “Melchor Ocampo”, Municipio de Angamacutiro, Michoacán

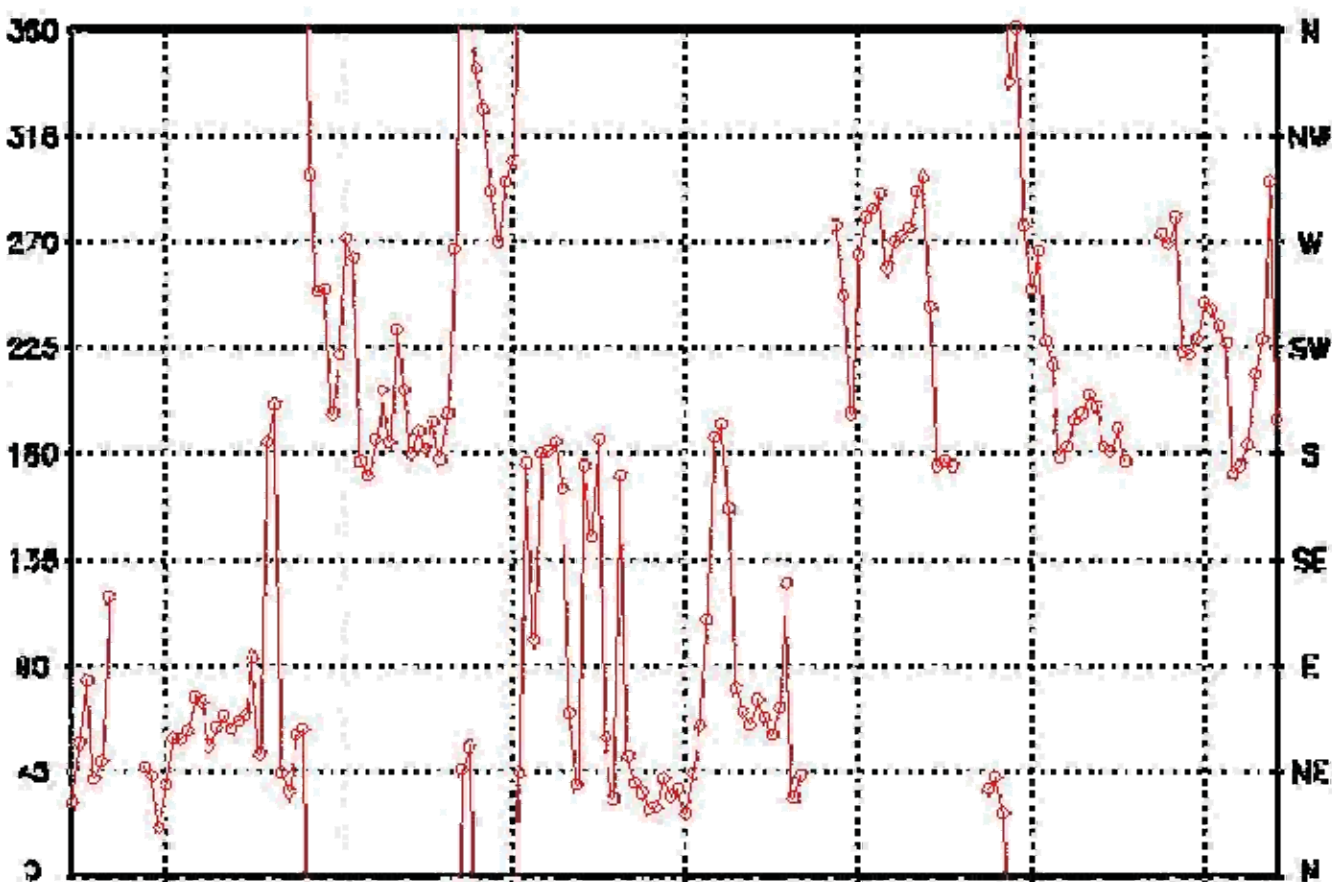


Figura 11. Dirección del viento sostenido en 7 días durante el mes de febrero de 2007 en la Presa “Melchor Ocampo”, Municipio de Angamacutiro, Michoacán

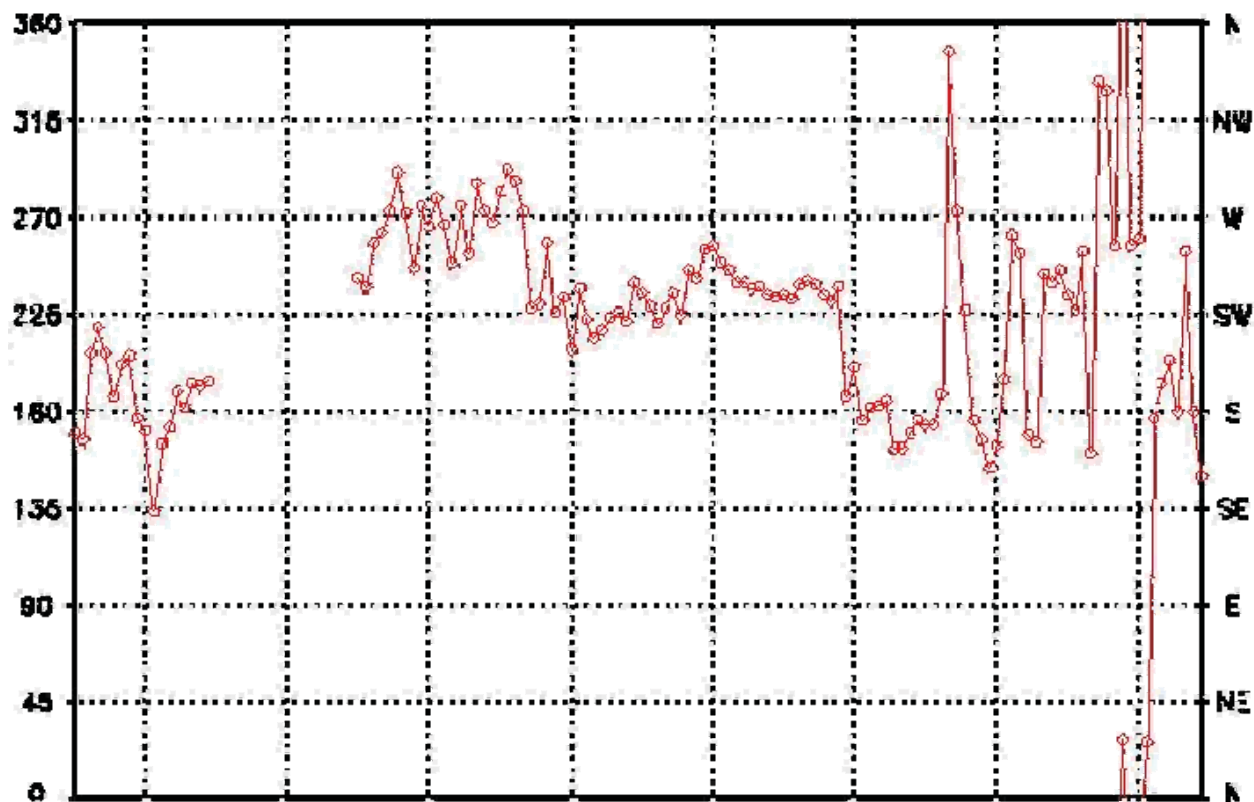


Figura 12. Dirección del viento sostenido en 24 horas durante el mes de enero de 2007 en la Presa “Melchor Ocampo”, Municipio de Angamacutiro, Michoacán

TRANSECTOS DE VELETAS DE CORRIENTE

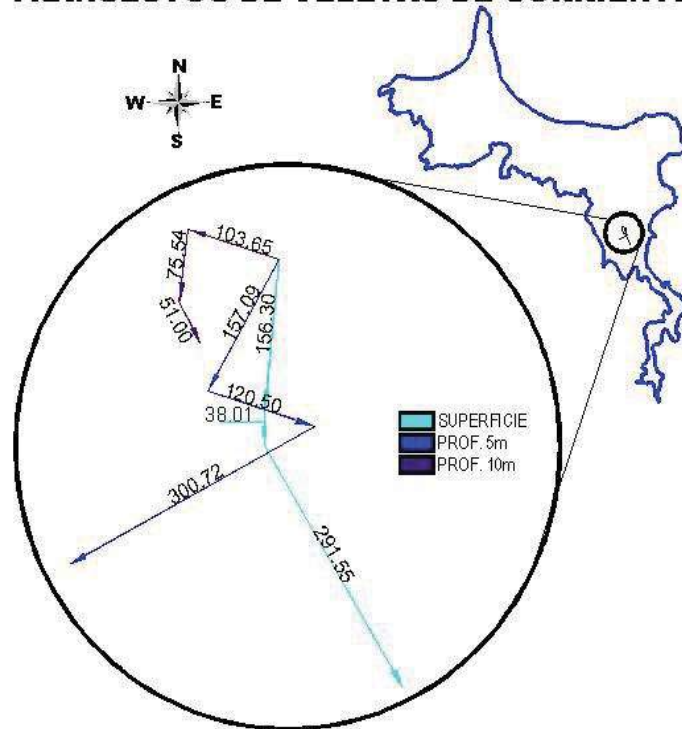


Figura 13. Movimientos de agua en la presa "Melchor Ocampo". Las veletas fueron colocadas de manera simultánea en la superficie, a 5.0 y 10.0 m de profundidad.

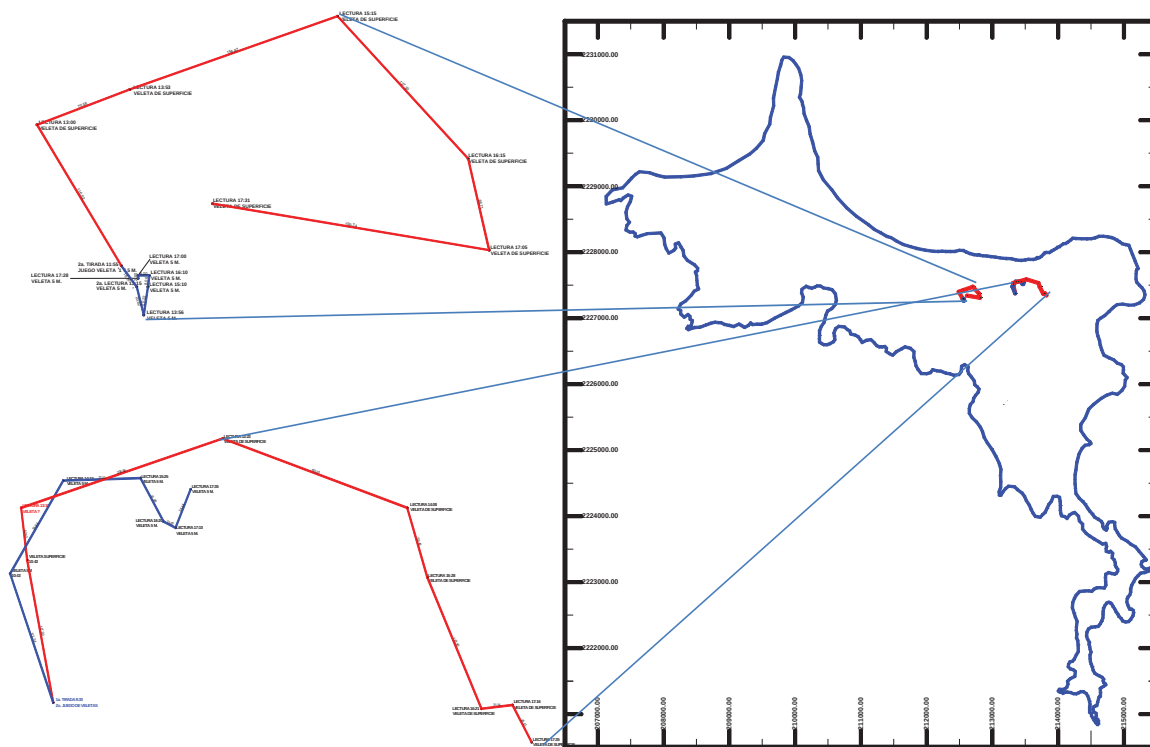


Figura 14. Movimientos de agua en la presa “Melchor Ocampo”. Las veletas fueron colocadas en la superficie y a 5.0 de profundidad con fecha del 25 de julio del 2007.

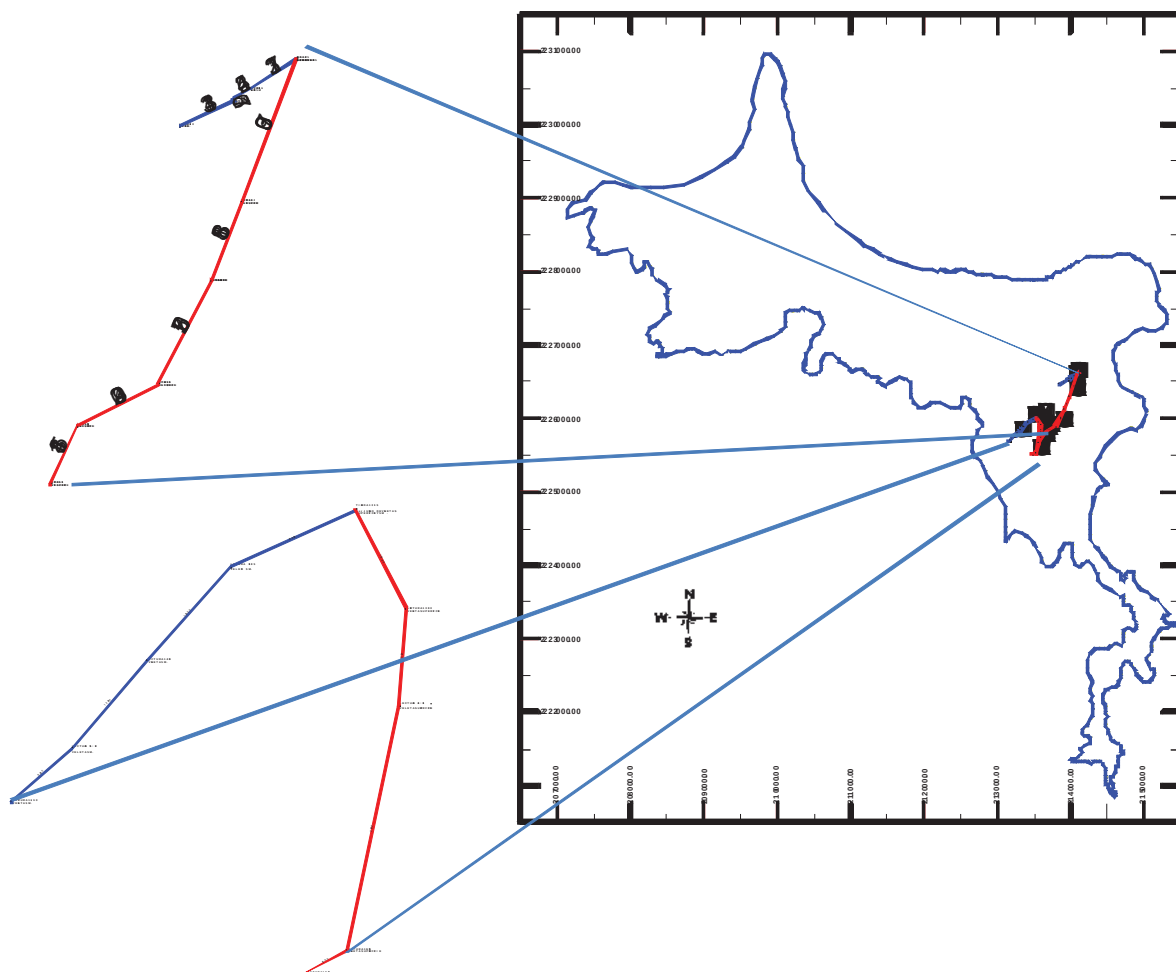


Figura 15. Movimientos de agua en la presa “Melchor Ocampo”. Las veletas fueron colocadas en la superficie y a 5.0 de profundidad.

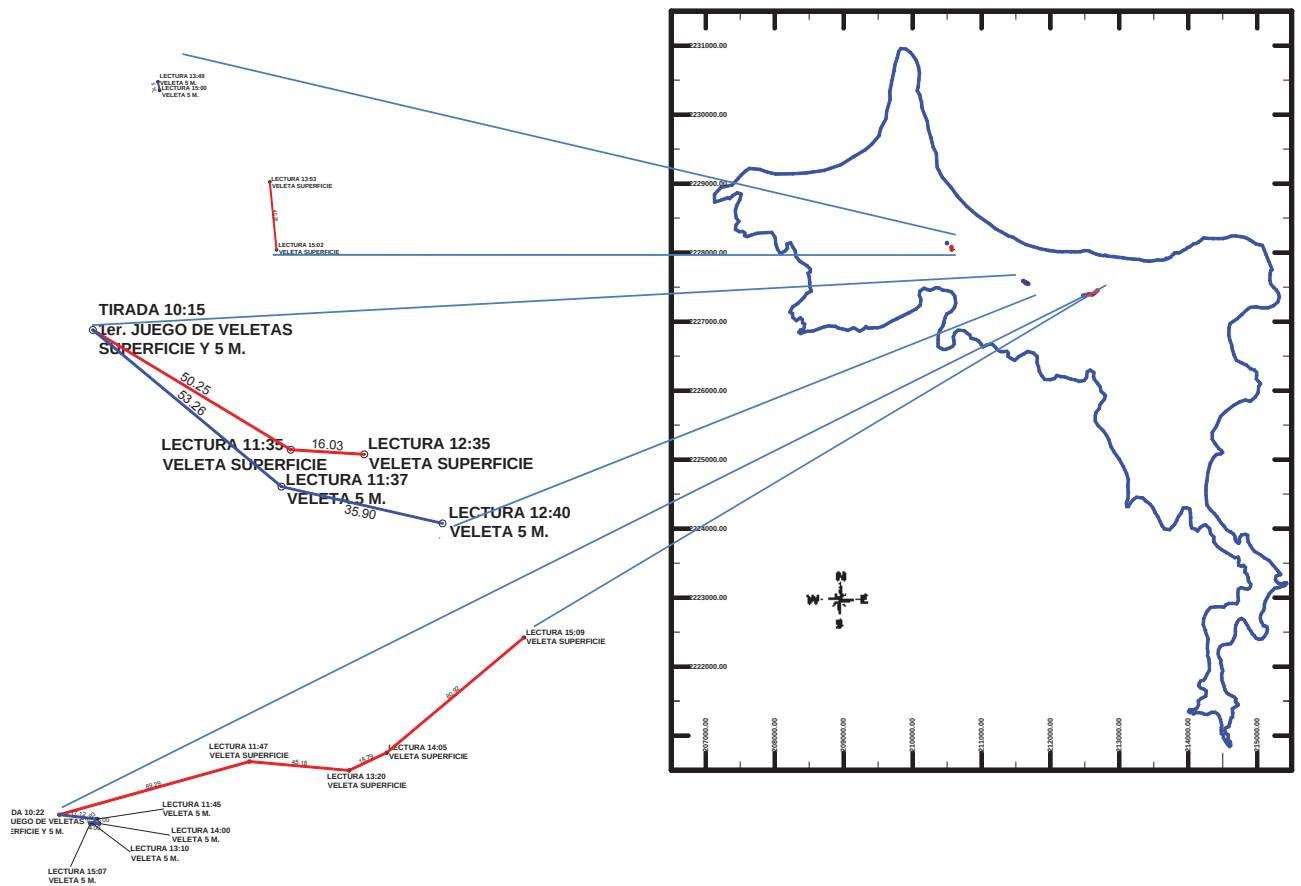


Figura 16. Movimientos de agua en la presa “Melchor Ocampo”. Las veletas fueron colocadas en la superficie y a 5.0 de profundidad.

Tabla 20. Resumen de la hidrodinámica básica de la presa Melchor Ocampo.

Parámetro	Valor
Velocidad promedio de corriente (cm/s)	2.69
Desviación estándar (cm/s)	1.811
Velocidad mínima de corriente (cm/s)	0.930
Velocidad máxima de corriente (cm/s)	5.80
Velocidad promedio del viento (m/s)	5.00

7.5. Óptica

Los resultados del estudio de óptica lacustre se presentan en la Figura 12 y en la Tabla 21. En la Figura 12 se puede apreciar el perfil de penetración vertical de la luz solar como luz blanca medida a través del irradiómetro. De la misma manera, se pueden observar los perfiles de penetración de la luz solar en las bandas de los colores azul, verde y rojo.

La profundidad de la zona eufótica con luz blanca se estimó en un valor de 4.31 m, lo que significa en asociación con las lecturas del disco de Secchi, de que el agua del embalse es altamente turbia. Por lo tanto en una columna total de 31.0 metros de profundidad únicamente una columna de 4.31 m es apropiada para la fotosíntesis del fitoplancton.

En consecuencia el volumen total con potencial productivo en biomasa vegetal para la presa “Melchor Ocampo” es de 86.30 millones de metros cúbicos.

Al analizar los diferentes intervalos de longitud de onda en las bandas azul, verde y roja se observa que la banda azul es la que sufre la mayor atenuación en el sistema lo que se considera normal para lagos turbios. La banda roja que es el producto de la dispersión de luz sigue en penetración vertical. Finalmente el espectro verde es la banda de mayor penetración (5.05 m) (Tabla 21).

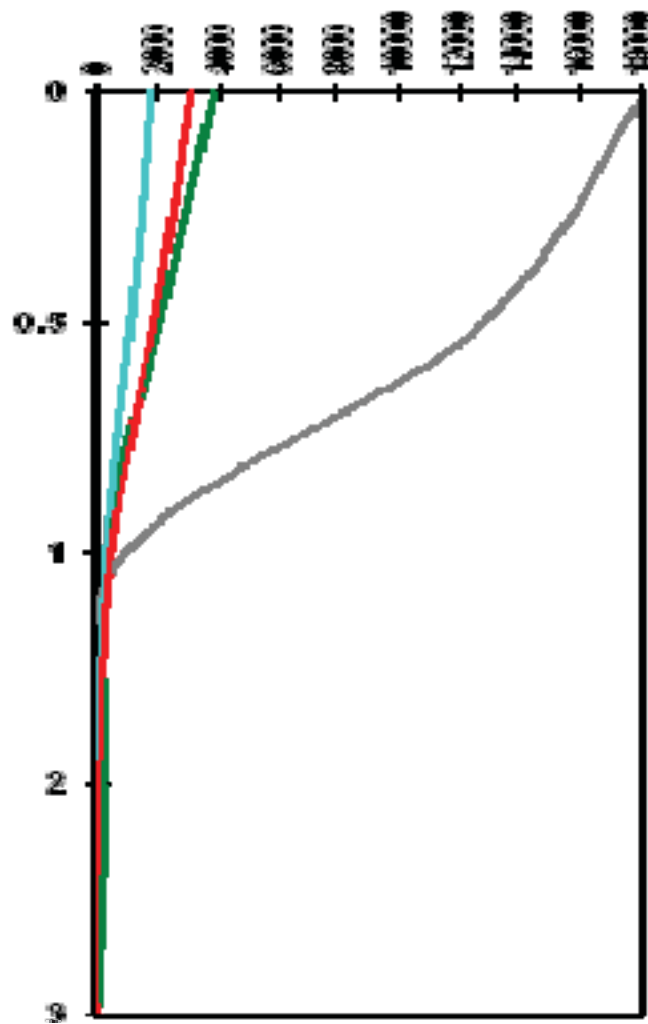


Figura 18. Perfil vertical de penetración de la luz solar en la presa “Melchor Ocampo” (luz blanca y longitud de onda azul, verde y rojo).

Tabla 21. Resumen de los atributos ópticos estimados en la Presa Melchor Ocampo, Municipio de Angamacutiro, Michoacán

Parámetro	Luz blanca	Banda azul	Banda verde	Banda roja
Coeficiente de atenuación vertical (Kd) (m)	2.30	2.01	1.62	1.75
Coeficiente de atenuación horizontal © (m)	5.38	7.53	6.70	5.60
Transparencia del disco de Secchi (DS) (m)	0.54	0.54	0.54	0.54
Profundidad de la zona eufótica (Eu) (m)	4.31	3.81	5.05	4.62
Atenuación total de la luz (Kd + c) (m)	7.68	9.54	8.32	7.35
Radio Eu/DS (Adimensional)	14.37	12.70	16.83	15.40

7.6. Temperatura

Los resultados del perfil vertical de temperatura y oxígeno del muestreo de campo en la presa “Melchor Ocampo” se ilustran en la Figura 13.

Como puede observarse en todos los muestreos, es posible identificar una discontinuidad térmica durante el mes de noviembre a una profundidad de 5.0 metros. Posteriormente a medida que la temporada de estiaje avanza esta discontinuidad avanza en profundidad hasta los 8.0 metros, permaneciendo de esta manera durante la temporada de estiaje.

Aunque pudiera argumentarse que existe la posibilidad de una estratificación térmica en sentido estricto ya que en algunos de los perfiles existe una diferencia de 1.0°C por metro de profundidad, de acuerdo a los criterios limnológicos convencionales e internacionales, es discutible clasificarla como estratificación ya que solamente la capa de densidad es de 1.0 metros como máximo. Por lo tanto, si se aceptara esta hipótesis entonces la termoclina es de únicamente 1.0 metro de amplitud en la columna y al mismo ésta es dinámica ya que tiende a la inmersión a medida que avanza la temporada de estiaje.

Por lo tanto, para poseer los suficientes fundamentos limnológicos suficientes es necesario continuar los muestreos durante la temporada de lluvias con el objeto de verificar el comportamiento de esta discontinuidad y su posible mezclado durante la época lluviosa.

La temperatura superficial promedio registrada para el periodo de muestreos fue de 24.9°C , con un máximo registrado en el mes de mayo de 26.3°C en el mes de mayo, mientras que la mínima registrada fue de 23.0°C durante los meses de noviembre a enero.

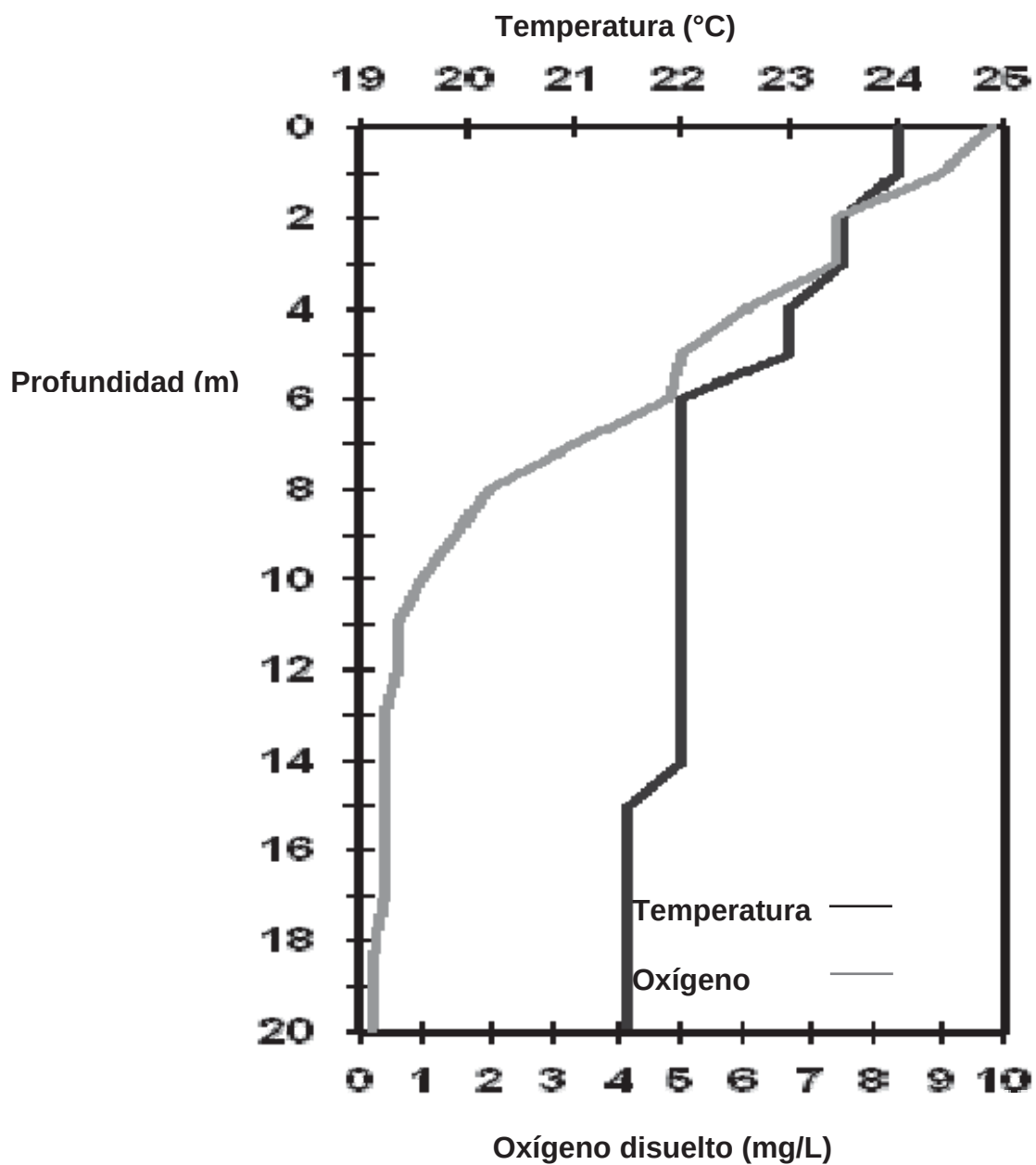


Figura 19. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa Melchor Ocampo (Noviembre de 2006)

7. Oxígeno disuelto

Los perfiles verticales de temperatura y de concentración de oxígeno disuelto se presentan en las Figuras 14 a 18.

Se observa una concentración cerca de la saturación en la superficie del agua pero a medida que aumenta la profundidad la concentración de oxígeno disuelto comienza a disminuir, específicamente a partir de los 4.0 metros. Posteriormente a partir de los 8.0 metros de profundidad la concentración de oxígeno disuelto disminuye por debajo de los 4.0 mg/L hasta llegar a la anoxia o casi a la anoxia.

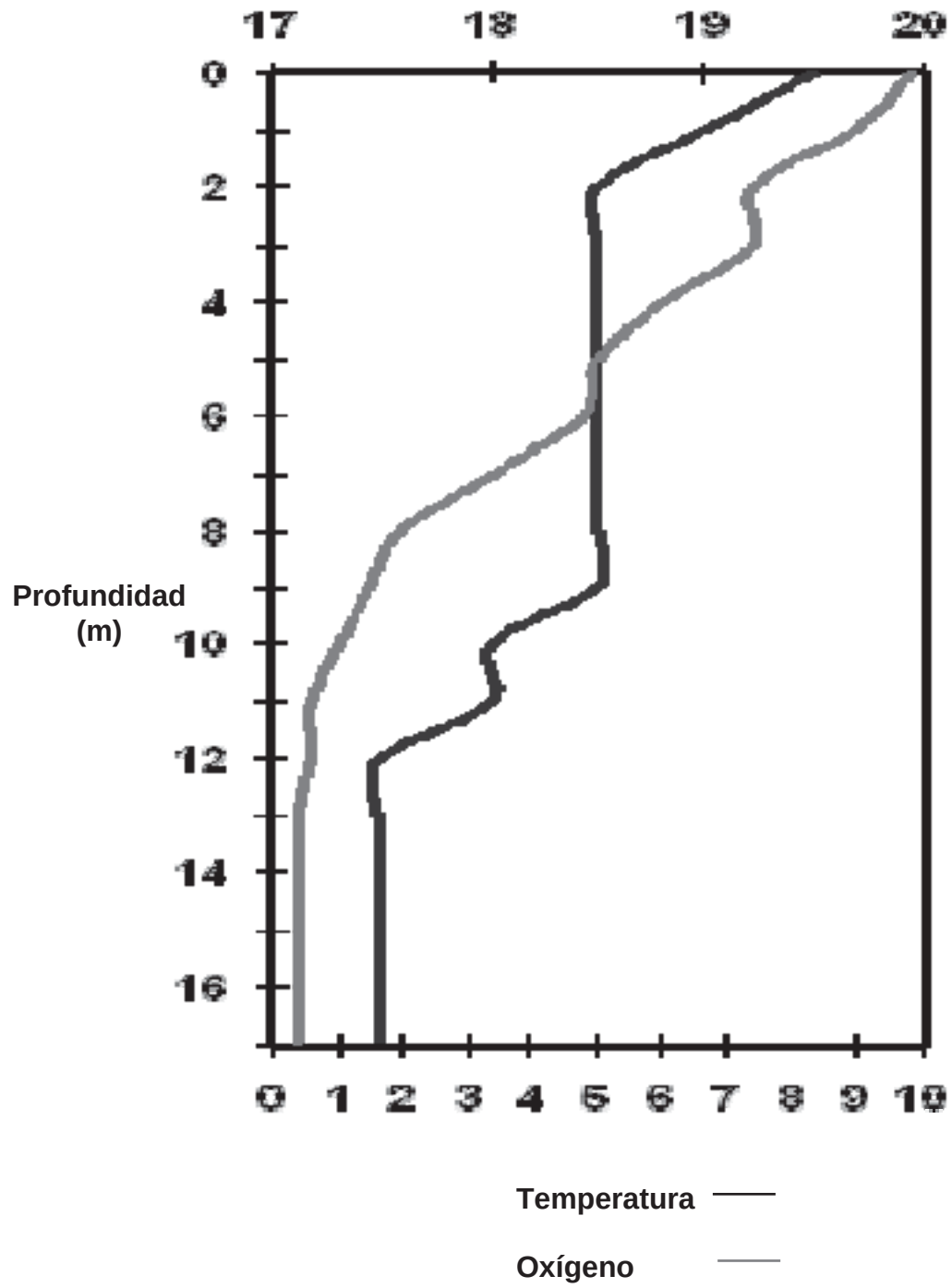
De lo anterior se asume que la concentración de oxígeno disuelto en el agua tiene su máxima disolución en la superficie, éste ingresa por dos vías naturales. La primera es la acción del viento a la temperatura y presión barométrica local. La segunda es la producción primaria derivada de la actividad fotosintética del fitoplancton.

A medida que se aumenta la profundidad los procesos de dispersión de la luz por los sólidos suspendidos disminuyen la eficiencia fotosintética, asociado a los estratos de calentamiento y a la discontinuidad térmica la disolución del oxígeno disuelto tiende a disminuir de manera progresiva a partir de los 4.0 metros de profundidad generando un estado casi anóxico en el fondo.

En la figura numero 22 se observa que los resultados obtenidos del Ciclo Dial que al igual que el los otros muestreos de oxigeno la concentración de oxigeno es de 11 Mg/L. Esta alta concentración de oxigeno disuelto se da en su mayor parte del día mientras el sol se encuentre a plenitud, disminuyendo relativamente en las horas de la noche donde encontramos concentraciones bajas de oxigeno disuelto de tan solo 6.29 mg/L

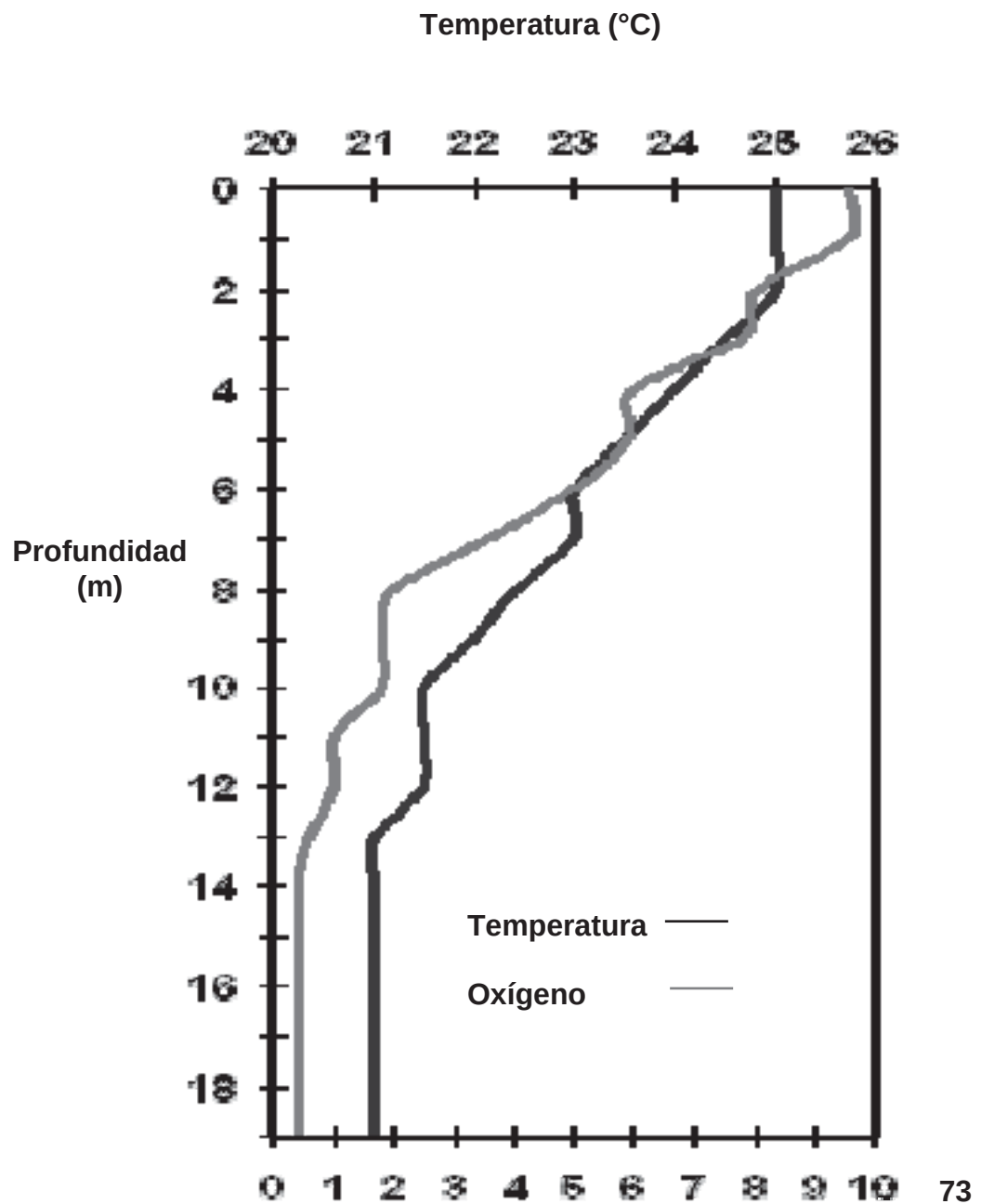
Es preciso continuar con más muestreos durante más tiempo, especialmente durante la temporada lluviosa para detectar la posibilidad de cambios en la disolución del oxígeno disuelto por los efectos de la dilución, el ingreso de los escurrimientos locales y la posible disminución de temperatura que pueda inducir un proceso de mezclado en la columna del agua.

Temperatura (°C)



Oxígeno disuelto (mg/L)

Figura 20. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa “Melchor Ocampo”
(Enero de 2007)



Oxígeno disuelto (mg/L)

Figura 21. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa “Melchor Ocampo”
(Febrero de 2007)

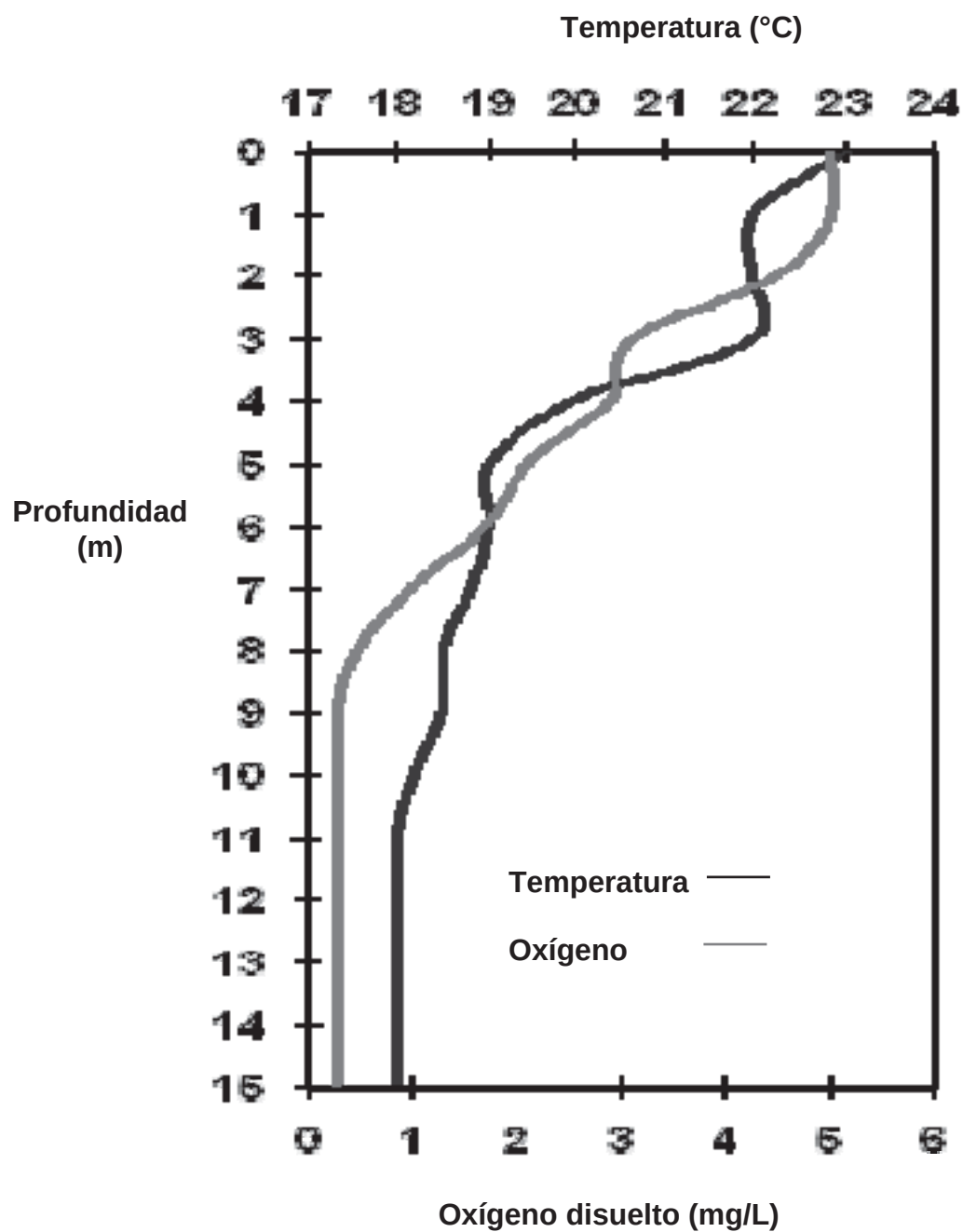


Figura 22. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa “Melchor Ocampo” (Marzo de 2007)

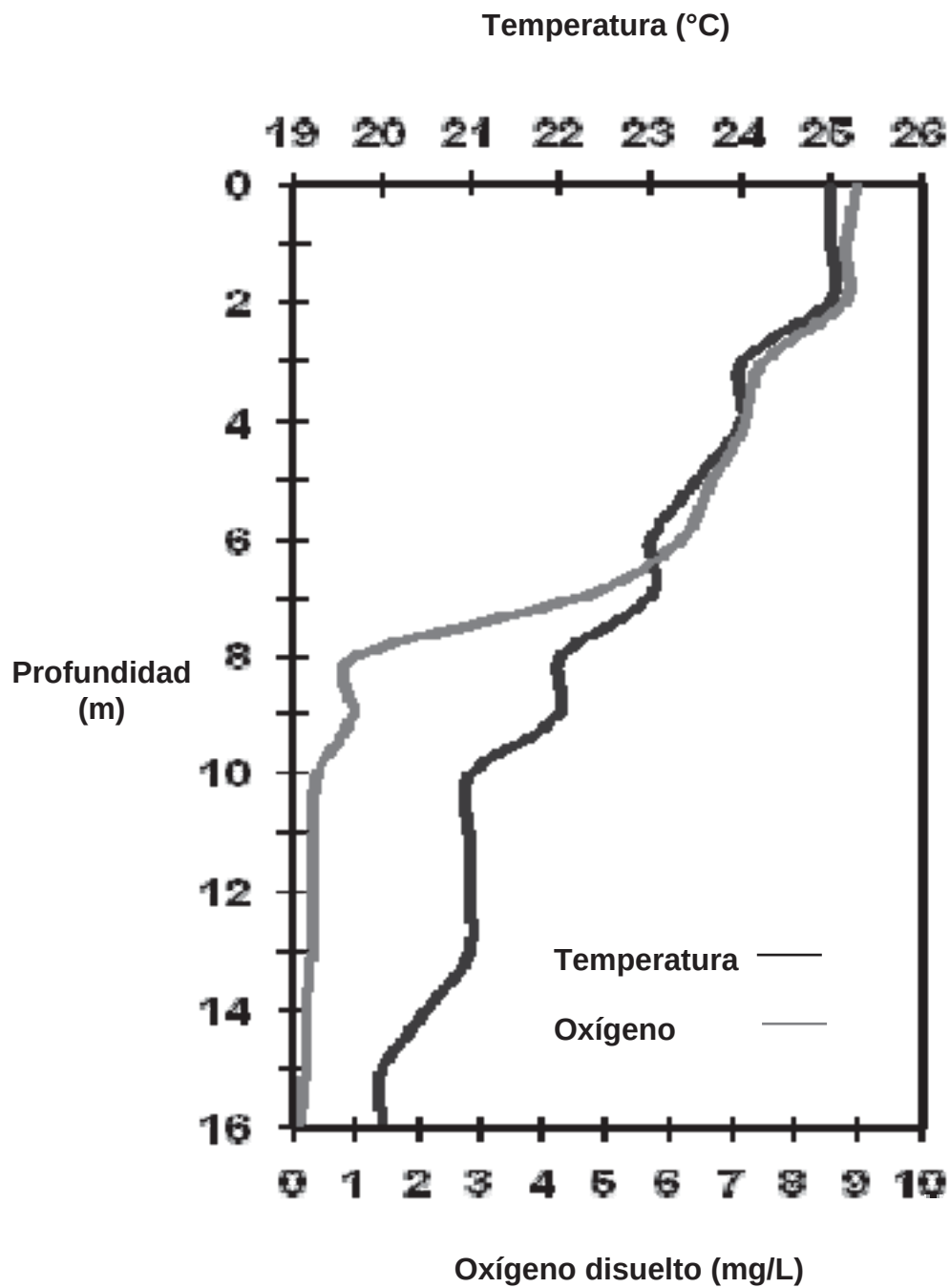


Figura 23. Perfil de temperatura y oxígeno disuelto en la presa “Melchor Ocampo” (Mayo de 2007)

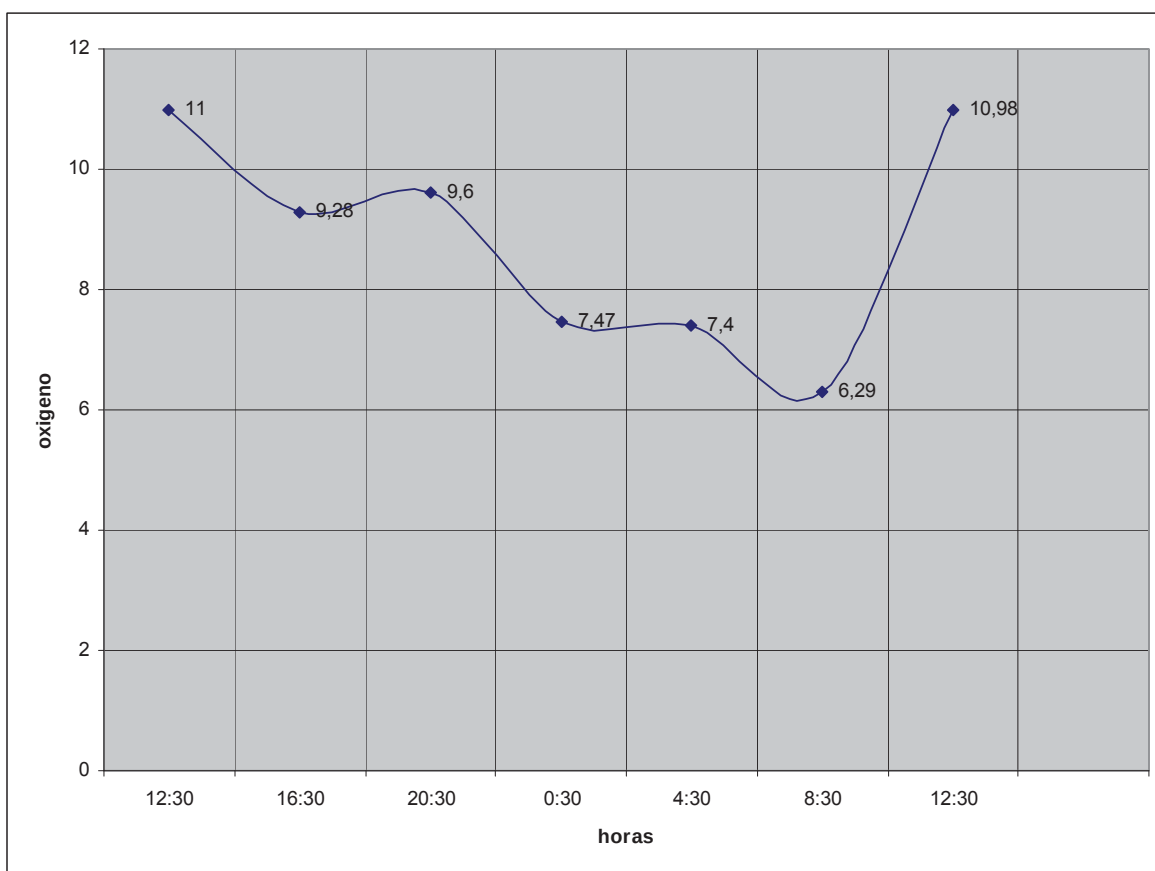


Figura 24. Ciclo dial de la presa Melchor Ocampo en lapsos de 4 horas entre recoleccion de datos

7.8. Calidad del agua

El río Angulo es el principal afluente de la presa y en él son vertidos desechos industriales, la presa recibe desechos de los colectores urbanos de Villa Jiménez, Panindícuaro, Curimeo y Botello.

En el embalse se registra un valor promedio de potencial de hidrógeno de 8.48, el valor máximo fue de 9.50 en el sistema limnético, mientras que el valor mínimo fue de 6.90 en la desembocadura del afluente, lo cual indica una fuerte influencia de

los sistemas de escurrimientos y descarga de aguas negras al río Angulo. La conductividad eléctrica promedio fue de 329.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sin grandes variaciones durante el periodo de muestreo lo que indica valores normales para embalses que reciben ingresos de agua con cantidades moderadas de sólidos disueltos. Los valores de turbidez indican un valor máximo de 3.0 NTU (unidades nefelométricas de turbidez), lo cual indica que es un sistema turbio y que se confirma con los valores de penetración vertical de la luz solar. La alcalinidad total es de 136.23 mg/L; lo que indica que es un sistema acuático con cantidades moderadas de alcalinidad y que la fuente de carbono se encuentra dominada por la presencia de carbonatos y posiblemente una mínima parte por los carbonatos. El valor promedio de la dureza total del agua fue de 185.93 mg/L, lo que la identifica como un agua moderadamente dura con dominio del carbonato de calcio que representa una dureza parcial.

En cuanto a nutrientes la concentración promedio registrada es alta, se reporta un valor promedio de fósforo total de 250.0 $\mu\text{g}/\text{L}$, con un valor máximo de 321.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ y un valor mínimo de 200.0 $\mu\text{g}/\text{L}$. Mientras que la concentración promedio de fósforo reactivo soluble es de 31.92 $\mu\text{g}/\text{L}$, con un valor máximo de 35.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ y un mínimo de 29.0 $\mu\text{g}/\text{L}$. Estos valores sugieren que la mayor cantidad de fósforo que recibe el embalse se presenta en diferentes formas de fósforo no disponible y que requiere de un proceso de hidrolización para integrarse a la columna del agua. Sin embargo los valores de fósforo reactivo soluble son los suficientemente altas para considerar que el embalse se encuentra en proceso de eutroficación.

En lo que se refiere a las diferentes formas del nitrógeno, la concentración promedio de amonio se registra en un valor de 0.140 mg/L, sin mostrar variaciones a lo largo del periodo de muestreo, mientras que para la concentración de nitritos se registró un valor promedio de 0.21 mg/L, con una valor máximo de 0.25 mg/L y un valor mínimo de 19.0 mg/L. La concentración promedio de nitratos fue de 0.30 mg/L, sin mostrar mayores variaciones ni espaciales ni temporales.

La relación entre la cantidad de nitrógeno soluble y la cantidad de fósforo soluble para la producción de biomasa vegetal fue de 8.57 N:1 P. Lo anterior significa que el fósforo es el nutriente limitante para la producción de biomasa vegetal, esta proporción se encuentra relativamente baja para el caso de nitrógeno pero bajo condiciones de competencia algunas especies de algas pueden compensar el ingreso de nitrógeno a la célula vegetal. Sin embargo, si se toma en cuenta la cantidad de fósforo total disponible en el ecosistema entonces la proporción cambia a 1.2N:1 P, lo que definitivamente significa que el nitrógeno es el factor limitante de la producción primaria en el embalse, ya que se requieren como mínimo 12 unidades de nitrógeno por cada unidad de fósforo. Es posible que para el caso de la Presa “Melchor Ocampo” se presente una comunidad de fitoplancton dominada por especies de algas fijadoras de nitrógeno que de manera adaptativa compensan la falta de nitrógeno para el empleo del fósforo disponible.

La concentración promedio de clorofila-*a* fue de 13.23 µg/L, con un máximo de 61.0 µg/L y un mínimo de 2.0 µg/L. Lo anterior significa que se presentan crecimientos masivos de algas en alguna época del año como es el caso del mes de octubre que es el final de la época de verano y principio del otoño.

La carga de materia orgánica disuelta es alta con un valor promedio de 22.60 mg/L, un valor mínimo de 16.32 mg/L y valor máximo de 27.85 mg/L. Lo anterior indica una fuerte contribución de la cuenca con materia orgánica que se ingresa a través del afluente, el río Angulo.

Tabla 22. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo
(Muestreo de Octubre de 2006)

Variable	Unidades	Valor
Disco de Secchi	M	0.64
Potencial de Hidrógeno	Adimensional	8.86
Temperatura ambiental	°C	24.50
Conductividad	µS/cm	369.00
Dureza total	mg/L	221.00
Dureza de Calcio	mg/L	110.00
Dureza de Magnesio	mg/L	99.67
Alcalinidad total	mg/L	115.00
Alcalinidad fenolftaleína	mg/L	0.00
Turbidez	NTU	3.00
Clorofila-a	µg/L	61.00
Ortofosfato	µg/L	35.00
Fósforo total	µg/L	321.00
Nitritos	mg/L	0.22
Nitratos	mg/L	0.3
Amonio	mg/L	0.14
Sólidos suspendidos	mg/L	21.50
Sólidos sedimentables	mL/L	0.10
Materia orgánica disuelta	mg/L	23.0

Tabla 23. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo
(Muestreo de Noviembre de 2006)

Variable	Unidades	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Disco de Secchi	M	0.60	0.50	0.60
Potencial de Hidrógeno	Adimensional	8.50	8.30	8.50
Temperatura ambiental	°C	23.00	23.00	23.00
Conductividad	µS/cm	301.00	290.00	290.00
Dureza total	mg/L	221.00	160.00	186.00
Dureza de Calcio	mg/L	110.00	116.00	110.00
Dureza de Magnesio	mg/L	99.67	35.00	68.00
Alcalinidad total	mg/L	115.00	128.00	130.00
Alcalinidad fenolftaleína	mg/L	0.00	0.00	0.00
Turbidez	NTU	2.00	3.00	3.00
Clorofila-a	µg/L	5.00	2.00	5.00
Ortofosfato	µg/L	35.00	31.00	35.00
Fósforo total	µg/L	240.00	200.00	235.00
Nitritos	mg/L	0.19	0.25	0.19
Nitratos	mg/L	0.3	0.3	0.3
Amonio	mg/L	0.14	0.14	0.14
Sólidos suspendidos	mg/L	21.40	32.00	25.10
Sólidos sedimentables	mL/L	0.10	0.10	0.10
Materia orgánica disuelta	mg/L	27.85	24.60	22.45

Tabla 24. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo
(Muestreo de Enero de 2007)

Variable	Unidades	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Disco de Secchi	m	0.55	0.50	0.50
Potencial de Hidrógeno	Adimensional	8.40	8.50	8.70
Temperatura ambiental	°C	23.00	23.00	23.00
Conductividad	µS/cm	301.00	290.00	316.00
Dureza total	mg/L	200.91	155.10	186.00
Dureza de Calcio	mg/L	101.00	102.00	110.20
Dureza de Magnesio	mg/L	97.00	45.00	61.00
Alcalinidad total	mg/L	132.00	135.00	141.00
Alcalinidad fenolftaleína	mg/L	0.00	0.00	0.00
Turbidez	NTU	2.00	3.00	3.00
Clorofila-a	µ/L	7.00	7.00	7.00
Ortofosfato	µg/L	35.00	31.00	35.00
Fósforo total	µg/L	240.00	201.00	245.00
Nitritos	mg/L	0.19	0.25	0.19
Nitratos	mg/L	0.3	0.3	0.3
Amonio	mg/L	0.14	0.14	0.14
Sólidos suspendidos	mg/L	21.0	32.00	31.10
Sólidos sedimentables	mL/L	0.10	0.10	0.10
Materia orgánica disuelta	mg/L	20.45	18.78	16.32

Tabla 25. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo
(Muestreo de Febrero de 2007)

Variable	Unidades	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Disco de Secchi	M	0.56	0.50	0.56
Potencial de Hidrógeno	Adimensional	8.80	6.90	8.88
Temperatura ambiental	°C	25.00	25.00	25.00
Conductividad	µS/cm	381.00	288.00	320.00
Dureza total	mg/L	200.91	155.10	186.00
Dureza de Calcio	mg/L	101.00	102.00	110.20
Dureza de Magnesio	mg/L	97.00	45.00	61.00
Alcalinidad total	mg/L	132.00	135.00	141.00
Alcalinidad fenolftaleína	mg/L	0.00	0.00	0.00
Turbidez	NTU	2.00	3.00	3.00
Clorofila	mg/L	15.00	10.00	15.00
Ortofosfato	µg/L	29.00	31.00	29.00
Fósforo total	µg/L	240.00	200.00	245.00
Nitritos	mg/L	0.19	0.25	0.19
Nitratos	mg/L	0.3	0.3	0.3
Amonio	mg/L	0.14	0.14	0.14
Sólidos suspendidos	mg/L	21.06	32.00	21.10
Sólidos sedimentables	mL/L	0.10	0.10	0.10
Materia orgánica disuelta	mg/L	25.20	22.15	18.20

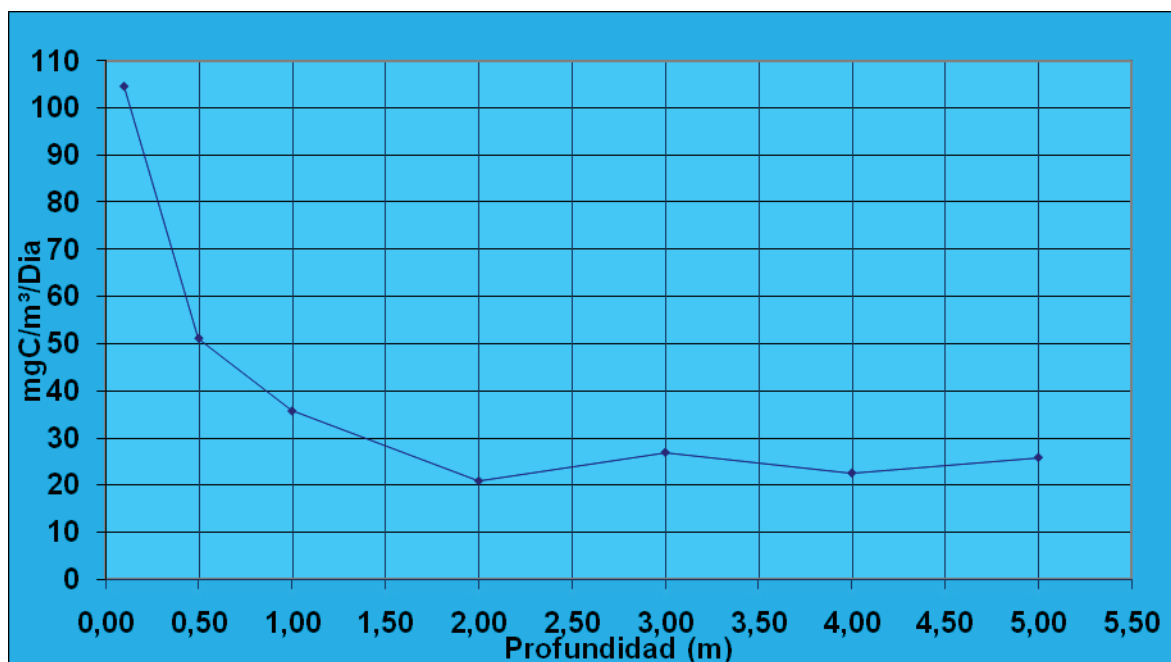
Tabla 26. Caracterización fisicoquímica de la presa Melchor Ocampo
(Muestreo de Mayo de 2007)

Variable	Unidades	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Disco de Secchi	m	0.56	0.50	0.50
Potencial de Hidrógeno	Adimensional	9.51	6.98	9.50
Temperatura ambiental	°C	26.30	26.00	26.00
Conductividad	µS/cm	381.00	381.00	380.00
Dureza total	mg/L	216.43	144.29	184.37
Dureza de Calcio	mg/L	112.00	103.00	120.00
Dureza de Magnesio	mg/L	100.44	35.00	60.89
Alcalinidad total	mg/L	156.57	138.00	172.44
Alcalinidad fenolftaleína	mg/L	0.00	0.00	0.00
Turbidez	NTU	3.00	3.00	3.00
Clorofila	µg/L	16.00	6.10	16.00
Ortofosfato	µg/L	29.00	31.00	29.00
Fósforo total	µg/L	321.00	247.00	318.00
Nitritos	mg/L	0.22	0.22	0.22
Nitratos	mg/L	0.3	0.3	0.3
Amonio	mg/L	0.14	0.14	0.14
Sólidos suspendidos	mg/L	21.78	32.00	31.71
Sólidos sedimentables	mL/L	0.10	0.10	0.10
Materia orgánica disuelta	mg/L	27.23	25.35	22.12

7.9 Productividad Primaria

La productividad primaria es un proceso de fundamental importancia en el ecosistema acuático, ya que tiene como función principal la producción de carbono orgánico y oxígeno al medio. Los resultados de los ensayos de medición de productividad primaria se obtuvieron en un periodo de tiempo total de dos horas y media iniciando a las 11:50 horas y finalizando a las 14:30 horas con un cielo totalmente despejado. La Tabla 27 muestra que la tasa de productividad primaria es particularmente alta al registrar hasta 627 mg de carbono/día/m². Lo que significa que tiene una producción de 6,270 g de carbono/hectárea. De acuerdo a la clasificación que da Wetsel a otros cuerpos de agua, la presa “Melchor Ocampo” correspondería aun cuerpo de agua con un alto avance en su deterioro mas no irrecuperable y correspondería a un sistema mesotrofico, ya que los nutrientes nitrogenados y fosforados no son una limitante para la productividad primaria del embalse al encontrarse en cantidades suficientes en le sistema, por lo que se refleja en el embalse, tiene la capacidad de una alta productividad primaria alta lo cual se relfeja en una productividad de biomasa de hasta 627 kg de pescado por hectárea.

Tabla. 27 Productividad primaria de la presa Melchor Ocampo.



7.10 Sedimentos

Para el análisis de los sedimentos de la presa Melchor Ocampo se obtuvo un total de 4.0 kg de muestra de donde se obtuvieron resultados tanto en la parte física como en la química. En la Tabla 28 se observa los resultados del análisis físico de los sedimentos que indican que los sedimentos son de una composición arcillosa y a su vez media al contener en su composición 33.80% de arcilla, 26.56% de limo y 39.64% de arena lo que sugiere un suelo con tendencia media, arcillo-arenoso con un alto porcentaje de limo.

El contenido de humedad al momento de la colecta de la muestra fue de 93% de lo cual partimos para identificar los valores de porcentaje de humedad aprovechable total de 11.29, porcentaje de saturación de 76 y el porcentaje de aprovechable en mediada del porcentaje de saturación de 8.51 lo que nos da por resultado un suelo limo-arcilloso con alta concentración de humedad permanente y con una saturación de humedad elevada al contener en su un alto nivel de limo y arcilla lo que indica que aunque exista la presencia de arena es un sedimento que tiende a la absorción de humedad (Tabla 28)

La densidad de los sedimentos es alta con un valor de densidad aparente de 1.20 determinada por su conformación física, que es limo-arcillosa sugiriendo un sedimento de medio-alto en su capacidad de compactación, además de que no permite la permeabilidad hacia los acuíferos (Tabla 28).

El color del sedimento según la tabla de valoración de colores del suelo de Munsell, es de un color gris muy oscuro a casi negro con una combinación de marrón oscuro lo que indica que tiene un alto contenido de materia orgánica en su composición.

Tabla 28. Determinación de los valores físicos en la composición del sedimento.

Determinación	Unidades	Resultado
Arcilla	%	33.80
Limo	%	26.56
Arena	%	39.64
Clasificación	Adimensional	Migajón Arcilloso
Interpretación	Adimensional	Medio
Humedad aprovechable total	%	11.29
Saturación	%	76.00
Humedad aprovechable en función al % de saturación	%	8.51
Densidad aparente	gr/cm ³	1.20
Colores	Tabla Munsell	10 YR 3/1
	Tabla Munsell	10 YR 3/2

En cuanto al análisis químico de los sedimentos de la presa Melchor Ocampo se registró un potencial de Hidrógeno de 4.9, es decir, de carácter ácido lo que sugiere una alta actividad bacteriana posiblemente en condiciones anaerobias. (Tabla 29).

El alto contenido de la materia orgánica sugiere que el embalse recibe descargas de aguas negras tanto de las poblaciones ribereñas como de aquellos asentamientos que descargan directamente del río Angulo ya que la muestra fue colectada en zonas cercanas a las márgenes del río Angulo, por lo tanto, un contenido de 5.92% de materia orgánica es un valor elevado para un embalse que es relativamente joven.

Por otro lado, el nitrógeno que contienen los sedimentos sugiere también una cantidad elevada (Tabla 29), es decir un valor de hasta 148.0 gr/m² indica un sistema en el cual los aportes de nutrientes del sedimento a la columna de agua tiene una relación muy estrecha con su productividad primaria y de todo el embalse en general.

Se tenía la teoría que probablemente el sedimento liberaba fosforo en una forma directa a la columna, lo cual, al observar que la concentración del nutriente se encuentra en una proporción de 48.0 gr/m² (Tabla 29), valor relativamente bajo, descarta la posibilidad de esa dinámica.

Tabla 29. Determinación de los valores químicos en la composición del sedimento.

Determinación	Unidades	Resultado
pH H ² O Q.P. 1:2	Adimensional	4.9 acido
pH CaCl ² 1:2	Adimensional	4.7 acido
Materia orgánica	%	5.92 alta
Nitrógeno total orgánico	gr/m ²	14.80 ext. Rico
Nitrógeno aprovechable	gr/m ²	5.90 medio
Fósforo (Bray)	gr/m ²	4.80 pobre
Fósforo asimilable	gr/m ²	1.92 pobre
Potasio	gr/m ²	52.80 ext. Rico
Potasio asimilable	gr/m ²	21.12 rico
Calcio	gr/m ²	172.40 med. Pobre
Magnesio	gr/m ²	14.00 medio

VIII. DISCUSIÓN

La presa Melchor Ocampo desde su construcción en el año de 1978 ha sido una de las presas más importantes en la región hidrológica Lerma-Chapala ya que es un vaso regulador de los afluentes hacia el río Lerma, especialmente en la región de bajío michoacano, ya que la demanda de agua para la agricultura es particularmente alta.

La cantidad de agua que aporta el embalse para apoyar a la agricultura regional es tan significativa que durante la temporada de sequía en la región este embalse sostiene 34,000 ha de riego, durante la temporada de lluvias el adecuado manejo de la presa, previene las inundaciones y disminuye el impacto negativo de la inversión agrícola de la región.

Por ello la evaluación limnológica del embalse tanto por la calidad como por la cantidad del agua que suministra a la agricultura, a la pesca y a la recreación adquiere una importancia significativa.

Los resultados de estudio batimétrico y la determinación de sus parámetros morfométricos más importantes indican que este vaso lacustre es un sistema acuático somero en la mayor parte de su superficie.

El origen del embalse fue en la mayoría de su extensión poco más de 2000 hectáreas de tierras de cultivo que se utilizaron para su diseño y construcción.

La parte más profunda del embalse se localiza en la zona cercana a la cortina del mismo y concuerda con la antigua cartografía del uso de suelo que data del año de 1975 y en su última edición en el año de 1966, situando la zona más profunda en el sitio en donde anteriormente corría el río Angulo. Las porciones más someras del embalse se identifican claramente en las temporadas de estiaje.

Durante la temporada de estiaje de las 2,000 hectáreas que posee a su máxima capacidad, quedan únicamente 1,100 hectáreas ya que durante la época de estiaje es cuando mayor uso se le asigna al agua de la presa, ya que la extensión de tierra que irriga la presa para la agricultura es de 33,200 hectáreas. La presa de Melchor Ocampo durante un ciclo anual puede registrar hasta 8.30 m de fluctuación de nivel del agua.

Las características morfométricas y batimétricas, además del manejo hidráulico al cual se encuentra sometido en la actualidad define a la presa como un cuerpo de agua de forma irregular lo que favorece el intercambio de agua-tierra incrementando las posibilidades de ingreso de material alóctono además de la existencia de ambientes protegidos del viento y oleaje.

El clima en la región de Angamacutiro se define como un clima semicálido, subhúmedo con un régimen de lluvias en verano, porque su precipitación de verano es por lo menos diez veces mayor al mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco, es decir, que la temperatura media anual es superior a los 18.0°C lo que representa un verano cálido; en la región la temperatura oscila entre los 12 y los 28.2°C para el periodo noviembre-abril y se registra un valor mínimo de 9.8°C con un máxima de 28.1°C.

La precipitación media anual es de 793.7 mm lo que indica que es una región de transición climática entre el tipo de clima sub húmedo con una tendencia hacia los climas esteparios, es decir, semi áridos que son típicos de la Altiplanicie Mexicana. La temporada de lluvia solamente satisface algunos escurrimientos superficiales como el río Angulo, lo que en consecuencia hace necesario el empleo del embalse para la irrigación.

El climograma sugiere que durante los meses de mayo a octubre se presenta la precipitación, lo que permite disminuir las altas temperaturas que se presentan en

la época de estiaje, mientras que la mayor evapotranspiración alcanza hasta un 65%, durante el periodo de enero a mayo.

La estimación del balance hidrológico del embalse sugiere una dinámica de la columna del agua intensamente explotada. Como se ha mencionado la presa Melchor Ocampo es un vaso regulador del distrito de riego del bajo río Lerma que integra a parte de los estados de Guanajuato, Michoacán y Jalisco. Durante la temporada de estiaje el manejo hidráulico del embalse es orientado únicamente a satisfacer las necesidades de irrigación para disminuir los efectos de la transpiración de los predios en cultivo. Por lo tanto, el resto de las actividades como la pesca y la recreación pierden importancia ante la necesidad de cubrir las cuotas de riego, lo que necesariamente genera una disminución en la columna del agua con efectos en la dinámica limnológica del embalse.

La tasa de evapotranspiración es significativamente superior a la aportación de las lluvias con un valor de 32.0 millones de metros cúbicos de evapotranspiración por año. Si a ello se considera que de acuerdo con los registros oficiales de la Comisión Nacional del Agua, existe un volumen comprometido de agua de riego de 171.2 millones de metros cúbicos con una descarga mínima diaria de 3.65 m³/s, entonces el embalse necesariamente presenta un déficit de agua para mantener un nivel promedio de agua por arriba del 50% del volumen de almacenamiento.

El tiempo estimado de retención hidráulica del embalse es de 1.08 años. Lo anterior ratifica que en un periodo de un año el agua del embalse es exportada a través del sistema de riego de la cortina. Esto indica que los nutrientes son transferidos en un periodo relativamente corto, derivado del hecho de que el sistema de vaciado de la presa es a partir de su porción inferior a través de tubería de fondo para la exportación de agua. En consecuencia, el embalse tiende a ser una trampa de calor en la superficie del vaso y un exportador de nutrientes en el fondo.

La hidrodinámica de la presa Melchor Ocampo no muestra una tendencia definida con relación al dominio específico de vientos y al flujo de afluentes hacia el vaso; es decir, los vientos se presentan procedentes de diferentes direcciones y ejercen su acción sobre el espejo del agua solamente en la superficie de manera temporal. Fue posible identificar que la mayor frecuencia de los vientos se presenta proveniente del sur y sureste, así como del norte y noroeste. Lo anterior, significa que los vientos generados en el Altiplano tienen una influencia en la zona de estudio además de los vientos sub húmedos de la Sierra Madre Occidental. Esto es posiblemente derivado de que la zona de estudio es una zona de transición climática de climas sub húmedos a climas semi áridos. Lo anterior puede ser el resultado de la homogeneidad en las horas de muestreo y en condiciones de cielo despejado y soleado. Por lo que posiblemente será necesario realizar un muestreo más intensivo en condiciones meteorológicas diferentes con el objeto de registrar variaciones propias del embalse.

En cuanto a las características ópticas en el embalse se puede identificar que el embalse es altamente turbio, ya que la luz se extingue rápidamente en los primeros metros de la columna de agua. Esto se debe probablemente a la productividad primaria que genera un espesa capa de algas lo que impide directamente el paso de la luz, además de que la tasa de sedimentación es relativamente baja manteniendo en la superficie la mayor cantidad de sólidos suspendidos, especialmente aquellos derivados de arcillas. Esta circunstancia se confirma con el bajo valor de transparencia medida con los instrumentos de medición de transmitancia, irradiancia y con los valores ópticos del disco de Secchi (0.54m).

En consecuencia con los valores obtenidos de las propiedades ópticas y calculando a que profundidad se pierde la luz por la absorción de las partículas bióticas y cual es el área total de la presa se puede calcular entonces cual es el total del volumen que es propia para la productividad, que es como se obtuvo el

calculo de cual es el area y el volumen total con potencial para la producción de biomasa vegetal, valor que para la presa es de 86.30 millones de metros cúbicos solamente. A demás que con los valores actuales de óptica podemos definir que por debajo de la densa capa de productividad el agua tiende a ser clara.

En lo registros de temperatura en la columna de agua de la presa fue posible observar la presencia de una discontinuidad térmica desde los 5.0 metros de profundidad durante el mes de noviembre. A medida que avanza la temporada de estiaje esta discontinuidad se observó más pronunciada permaneciendo durante toda esta temporada a una profundidad de 8.0 metros.

De acuerdo con estos resultados de distribución vertical de la temperatura pudiera considerarse la presencia de una estratificación térmica en el embalse. Sin embargo, la capa de densidad es de 1.0 metro como máximo; por lo que de aceptarse la existencia de una estratificación térmica la distribución vertical de la temperatura se manifestaría en valores de por lo menos un grado centígrado por cada metro de profundidad en la capa que corresponde a la termoclina. Lo anterior sugiere la necesidad de realizar un estudio específico mensual incluyendo una estimación del balance de calor.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua es un tanto elevada para la latitud y altitud de este embalse, sin embargo, es posible que los altos valores se expliquen por la alta productividad primaria que se detecta en los primeros metros cuando el sol se encuentra en el cenit. Esto se manifiesta en una concentración cercana al valor de la saturación en la superficie del agua. Sin embargo, la concentración disminuye progresivamente a medida que aumenta la profundidad, hasta llegar a la anoxia en el fondo del sistema.

En consecuencia, la concentración de oxígeno disuelto en el agua tiene su máxima disolución en la superficie, éste ingresa por dos vías naturales. La primera

es la acción del viento a la temperatura y presión barométrica local. La segunda es la producción primaria derivada de la actividad fotosintética del fitoplancton.

A medida de que la alta productividad disminuye con la profundidad, disminuye también la producción fotosintética. Esto asociado al proceso de discontinuidad térmica, la disolución del oxígeno posiblemente es afectada a mayores profundidades hasta alcanzar valores de anoxia en el fondo.

Los valores obtenidos con los ensayos del ciclo dial indican que la mayor producción de oxígeno se presenta a las 12:30 del horario de invierno con el sol en el cenit, mientras que la producción del oxígeno que se genera durante el día se pierde en su mayor parte a las 4:30 de la mañana, y de allí hasta que el sol inicia nuevamente el ciclo.

El potencial de Hidrógeno registro un valor ligeramente alcalino en el sistema limnético, mientras que en la desembocadura del afluente fue ligeramente ácido, lo cual indica una fuerte influencia de los sistemas de escurrimientos y descarga de aguas negras al río Angulo lo que nos indica que la descomposición de la materia orgánica altera el PH del sistema al dejar los nutrientes en libertad para diluirse en la columna.

Es un sistema acuático con cantidades moderadas de alcalinidad y que la fuente de carbono se encuentra dominada por la presencia de carbonatos y posiblemente una mínima parte por los carbonatos.

El valor promedio de la dureza total del agua identifica este sistema con un agua moderadamente dura con dominio del carbonato de calcio que representa una dureza parcial.

En cuanto a nutrientes la concentración promedio registrada es alta sobre todo en los valores del fósforo lo sugiere que la mayor cantidad de fósforo que recibe el

embalse se presenta en diferentes formas de fósforo no disponible y que requiere de un proceso de hidrolización para integrarse a la columna del agua. Sin embargo los valores de fósforo reactivo soluble son los suficientemente altas para considerar que el embalse se encuentra bajo la continúa acumulación de nutrientes que en consecuencia deterioran el medio

En el presente estudio se determino que el fósforo se entra en altas concentraciones lo cual permite un acelerado crecimiento de producción de biomasa algal. En cuanto a la relación de nutrientes fosforó y nitrógeno existe una relación de 1.2N:1 P, lo que definitivamente significa que el nitrógeno es el factor limitante de la producción primaria en el embalse, ya que se requieren como mínimo 12 unidades de nitrógeno por cada unidad de fósforo.

Es posible que para el caso de la Presa “Melchor Ocampo” se presente una comunidad de fitoplancton dominada por especies de algas fijadoras de nitrógeno que de manera adaptativa compensan la falta de nitrógeno para el empleo del fósforo disponible.

La concentración de la materia orgánica disuelta es alta e indica que los escurrimientos que llegan a la apresa son una fuente de aporte importante de materia orgánica, ya sea que entren por el rio Angulo o que entren por los diferentes escurrimientos y arroyos que llegan a la presa.

La productividad Primaria del embalse es muy alta lo que confirma la disponibilidad de los nutrientes en el medio y que el embalse es particular mente productivo al demostrarse que la producción del carbono para la nutrición de las partículas bióticas se encuentra en gran disposición para la producción de altas cantidades de biomasa por hectárea en el sistema.

En cunato al análisis de los sedimento se observo que los sedientos son de una composición física limo-arsillosa con alta concentración de humedad permanente y con una saturación de humedad elevada al contener en su un alto nivel de limo y

arcilla lo que indica que aunque exista la presencia de arena es un sedimento que tiende a la absorción de humedad y a su vez con una densidad alta determinada por su misma composición.

El alto contenido de la materia orgánica y los nutrientes del sedimento sugiere que el embalse recibe descargas de aguas negras y por los diversos tipos de partículas que depositan los escurrimientos que a su vez arrastran agroquímicos y otros desechos tanto de las poblaciones ribereñas como de aquellos asentamientos que descargan directamente del río Angulo.

IX. CONCLUSIONES

1. La presa Melchor Ocampo es un embalse de baja profundidad, con fuertes variaciones de nivel de agua y un tiempo de residencia hidráulica corto (1.08 años), derivado de su intenso aprovechamiento para el riego en el Sistema Hidrológico Lerma – Chapala.
2. De acuerdo con los resultados del presente estudio es un sistema que **NO** se estratifica termalmente, aunque presenta una marcada discontinuidad térmica sin establecer una termoclina definida. Es preciso continuar con estudios de balance de calor y definir la posible existencia de una estratificación térmica.

3. Presenta un perfil vertical de disminución del oxígeno disuelto a partir de los 4.0 metros de profundidad con agotamiento total en el fondo del sistema.
4. Es un embalse con agua turbia que presenta una fuerte limitación de la zona eufótica y en consecuencia de una baja productividad natural dentro de la columna de agua.
5. El embalse recibe una fuerte carga de materia orgánica que a su vez se manifiesta en una alta concentración de fósforo en el agua, lo que a su vez induce a una severa limitación de nitrógeno disponible para la generación de biomasa vegetal.
6. Durante el verano se presentan florecimientos masivos de algas lo que en consecuencia establece una competencia por la luz solar en el nivel de la superficie para la productividad primaria.
7. El estudio de hidrodinámica no muestra alguna tendencia definida y es necesario realizar estudios más específicos para definir la función de la hidrodinámica actual en el patrón de oxigenación en el sistema.
8. A pesar de la permanente demanda de los pescadores para instalar las balsas jaulas de cultivo, es pertinente recomendar suspender la posible instalación de estos sistemas de cultivo y reflexionar sobre la posibilidad de un mejoramiento en el manejo pesquero.

9. El aporte de los nutrientes fosforados de la columna no son una limitante en el área donde se efectúa la productividad primaria al encontrársele en concentraciones muy altas.

X. LITERATURA CITADA

Aguilera *et al* (1988)

American Public Health Association. Washington D. C., 16th edition. APHA (1985)
Standard methods for the examination of water and wastewater.

Bascom W. (1964) **Waves and beaches.** Anchor books. Doubleday and Company, Inc., New York, 267p.

Beveridge M. C. M. (1987) **Cage acuaculture.** Fishing News Books. Farnham, Surrey, England. 351p.

Bhowmink G. N. and Stall J. B. (1978) **Circulation patterns in the Fox Chain of Lakes in Illinois.** **Water Resources Research.** 14(4), 633-642

Chacón T. A. (1993) Pátzcuaro un lago amenazado, bosquejo limnológico

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 1, 14, 15, 24-28, 42-54p.

Carranza, *et.al.* (2002) Descripción la presa de “El Caracol”. **Lagos y presas de México.** 467-485.

CFE.1993. Características de la Calidad del agua del Río Santiago. U.E.M.A.,C.F.E. Nayarit, Mexico. s/p.

Eisenreich S. J., Bannerman R. T. and Armstrong D. E. (1975). A simplified phosphorus analysis technique. *Environmental Letters*, 9, 43-53.

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM. México

Golterman H. L., Clymo R. S. and Ohnstad M. A. M. (1978) Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. *IBP Handbook No. 8*, 2nd edition. Oxford. Blackwell. 213p.

Goldman C. R. and Horne A. J. (1983) Limnology. McGraw Hill Book Co., New York. 464 p.

Gordon H. R. (1978) Removal of atmospheric effects from satellite imagery of the oceans. *Applied Optics* 17(10), 1631-1635.

Gutiérrez y Díaz (1986), **Evaluación de la Biomasa del Lirio Acuático en la Presa Requena**; Hidalgo. Sub-coordinación de la calidad del agua. Reporte.

Håkanson L. (1981) **A handbook of lake morphometry**. Springer-Verlag, Berlín. 78p.

Hernández *et al.* (1998). Descripción de la presa “Zimapan”. **Lagos y preas de México**. 437-459.

Hernández *et al.* (2005). Evaluación de la Contaminación por Metales Pesados y Arsénico en Agua en Embalses del Estado de Chihuahua, México. Memorias del VI congreso internacional y XII nacional de ciencias ambientales.

Holm-Hansen O. and Riemann B. (1978) Chlorophyll-a determination: improvements in methodology. **Oikos** 30, 438-447

ILDC (International Land Development Consultants) (1981) Agricultural
compendium for rural development in the tropics and subtropics. Elsevier
Scientific Publications, Amsterdam, 739p.

J. Arturo Esparza L. y Ma. Piedad Trujillo G. (1986) **Algunos aspectos ecológicos básicos para el manejo integral de la cuenca hidrográfica “Presa de Cointzio” Estado de Michoacán**. Comisión Forestal Serie Técnica Época 3ª. Michoacán, México. 18, 20, 23-25, 67 p.

Jerlov, N. C. (1976) **Marine optics**. Elsevier.

Jones J. R. and Bachmann R. W. (1976) **Prediction of phosphorus and chlorophyll levels in lakes.** Journal of the Water Pollution Control Federation, 48(9), 2176-2182.

Juarez P. J.R. (2000) **Presa infernillo (adolfo lopez mateos) bosquejo limnológico.** Lagos y presas de mexico.421-436.

Kirk J. T. O. (1983) **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems.** Cambridge Univesity Press. 401p.

Köppen W. (1936) **Das geographische system der klimate in handbuch der klimatologie. Band I, Teil C., Berlín, p 1-44**

Landless P. J. y Edwards A. (1976) **Some simple methods for surveying a marine farm site.** Fish Farming International, 4(1), 32-34.

Mortimer C. H. (1974) **Lake Hidrodynamics. Mitteilungen der Internationalen Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie,** 20, 124-197.

Rodriguez et. al. (2002) **Descripcion de la presa de Cerro de Oro (Miguel de la Madrid Hurtado).** Lagos y presas de mexico. 547-567.

Santiago F.S. 1992. **Programa de Monitoreo del ventos del Rio Santiago.** Inst. Biologia. U.N.A.M., CFE.,U.E.M.A. s/p.

Shulman M. D. & Bryson R. A. (1961) The vertical variation of wind-driven in Lake Mendota. Limnology and Oceanography 6 (3), 347-355.

Smith I. R. (1975) Turbulence in lakes and rivers. Freshwater Biological Association. Scientific Publication No. 29. Windermere, England.

Solorzano L. (1969) Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. Limnology and Oceanography. 14, 799-801.

SRH Secretaría de Recursos Hidráulicos) (1976) Presa Cointzio. México. SPP

Stirling, H. P. (ed) (1985) Chemical and biological methods of water analysis for acuaculturists. Institute of Aquaculture, University of Stirling. 111pp.

Strickland J. D. H. & Parsons T. R. (1972) A practical handbook of seawater analysis. Bolletin No. 167, 2nd Edition. Ottawa. Fisheries Research Board of Canada. 310 p.

Torres Morales, M., 1996. Estudio integral de las pesquerías de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas. Mexico Fac. De C. B. de la UANL.

U. S. Army Corps of Engineers (1984) Shore protection manual. Vol. I & II. U. S. Government Printing Office, Washington D. C. 1222pp.

U. S. Beach Erosion Board Corps of Engineers (1962) **Waves in inland reservoirs**. Technical Memoir 132. Beach Erosion Corps of Engineers, Washington, D. C. 60 p.

Vente Chow (1964) **Handbook of applied hydrology**. McGraw-Hill, New York.

Vollenweider R. A. (1969) **A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments**. IBP Handbook No. 12, 1st edition. Blackwell, Oxford