



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS
NATURALES (INIRENA-UMSNH)**



COORDINACIÓN DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS

**“LIMNOLOGÍA DE CUATRO SISTEMAS
ACUÁTICOS DE LA
SUBCUENCA DE MORELIA, MICHOACÁN”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN LIMNOLOGÍA Y ACUICULTURA**

PRESENTA

AARÓN ABEL VÁZQUEZ AGUIRRE

**DIRECTOR DE TESIS
M. C. MARTHA BEATRIZ RENDÓN LÓPEZ**

MORELIA, MICHOACÁN

Septiembre 2008

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	5
II. JUSTIFICACIÓN	9
III. OBJETIVOS	10
3.1 Objetivo general	10
3.2 Objetivos particulares	10
IV. ANTECEDENTES	11
4.1 Internacional.....	11
4.2 Nacional	15
4.3 Regional.....	21
V. DESCRIPCION DEL ÁREA	27
5.1 Localización	27
5.1.1 <i>Municipio de Morelia</i>	<i>27</i>
5.1.2 <i>Presa de Umécuaro</i>	<i>28</i>
5.1.3 <i>Presa de Loma Caliente.....</i>	<i>29</i>
5.1.4 <i>Presa de Las Angustias</i>	<i>29</i>
5.1.5 <i>Presa de La Mintzita.....</i>	<i>30</i>
5.2. Fisiografía.....	31
5.2.1 <i>Municipio de Morelia</i>	<i>31</i>
5.2.2 <i>Presas de Umécuaro y Loma Caliente.....</i>	<i>33</i>
5.2.3 <i>Presa Las Angustias</i>	<i>33</i>
5.2.4 <i>Presa La Mintzita.....</i>	<i>33</i>
5.3 Geología y suelos	33
5.3.1 <i>Municipio de Morelia</i>	<i>33</i>
5.3.2 <i>Presa de Umécuaro</i>	<i>35</i>
5.3.3 <i>Presa Loma Caliente.....</i>	<i>35</i>
5.3.4 <i>Presa Las Angustias</i>	<i>35</i>
5.3.5 <i>Presa La Mintzita.....</i>	<i>36</i>
5.4 Clima	36
5.5 Hidrografía.....	36
5.6 Vegetación del Municipio de Morelia	39
5.7 Fauna del Municipio de Morelia	42
5.8 Demografía del Municipio de Morelia.....	46
5.9 Aspectos Económicos del Municipio de Morelia	47
VI. MÉTODO.....	48
6.1 Delimitación del área de estudio	48
6.1.1 <i>Parámetros de la Cuenca</i>	<i>48</i>
6.2 Morfometría	50
6.2.1 <i>Mapa de campo.....</i>	<i>50</i>

6.2.2 Trabajo de campo	51
6.2.3 Mapa batimétrico.....	51
6.2.3.1 Valor informativo de los mapas batimétricos	52
6.3 Hidrodinámica	53
6.3.1 Registros de viento.....	53
6.3.2 Corrientes de agua.....	54
6.4 Óptica.....	54
6.4.1 Estaciones de muestreo.....	54
6.4.2 Registro de luz	54
6.5 Datos climáticos	58
6.6 Calidad del agua	59
6.6.1 Muestreo de agua	59
6.6.2 Análisis de laboratorio	60
6.6.2.1 Características fisicoquímicas del agua.....	60
6.4.2.2 Sedimentos.....	65
6.4.2.3 Análisis de textura	66
6.4.2.4 Contenido de materia orgánica en el sedimento.....	67
6.4.2.5. Tratamiento estadístico	68
VII. RESULTADOS	69
7.1 Delimitar la subcuenca hidrográfica del municipio de Morelia.....	69
7.1.1 Microcuencas del área de estudio.....	72
7.1.1.1 microcuenca del Río Grande	73
7.1.1.2 microcuenca de Infiltración.	75
7.1.1.3 microcuenca del Río Chiquito	76
7.2 Morfométricos y batimétricos de las presas Umécuaro, Loma Caliente, La Mintzita y las Angustias.....	78
7.2.1 Morfometría de las presas.....	78
7.2.2. Batimetría de las presas.....	82
7.2.2.1 Valoración de mapas batimétricos.....	82
7.2.2.2 Pendientes de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, La Mintzita y Las Angustias.	85
7.2.2.3 Profundidad y Volumen de las presas.	88
7.3 Clima de la subcuenca y su tendencia en 15 años.	98
7.3.1 Temperatura, precipitación y evaporación.	98
7.3.2 Tiempo de retorno de lluvias.	101
7.3.3 Tipo de clima en las microcuencas de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.	103
7.3.4. Balance Hidráulico de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.	104
7.4 Hidrodinámica del cuerpo de agua.....	106
7.5. Parámetros óptica de las presa de Umécuaro, Loma Caliente, las Angustias y el manantial La Mintzita.	113
7.6 Calidad de agua y sedimentos de las presas Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.....	119
7.6.1. Calidad de Agua	119

<i>7.6.2. Análisis de sedimentos</i>	122
VIII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	124
IX. RECOMENDACIONES	129
X. LITERATURA CITADA.	131
INDICE DE FIGURAS	142
INDICE DE TABLAS	144

I. INTRODUCCIÓN

Un elemento fundamental en la tierra es el agua, ya que cubre un 71% de la superficie del planeta que representa el 1.3 por mil del volumen total del globo terrestres. El mar forma una capa muy delgada de 4 Km de profundidad media en relación al radio de la tierra (6, 371 Km), mientras que la capa integrada por los sistemas epicontinentales (0.5-1,500 m) es menor comparada con el promedio oceánico (De la Lanza y García, 2002).

Es decir que el 97% del agua se encuentra en los océanos, mientras que el 2% representa la fracción del agua epicontinental. Lo anterior adquiere importancia ya que del agua continental depende el desarrollo de la vida terrestre, sin embargo; está no se encuentra homogéneamente distribuida tanto en calidad como en cantidad (Gutiérrez, 1998).

La progresiva demanda de agua para el desarrollo de las actividades humanas es cerca del 75% de la población humana que se concentra en países y regiones donde solo existe el 20% de la disponibilidades de agua. Por lo que las reservas de agua se encuentran bajo una fuerte presión debido al aumento de población mundial, aumento estimado en un 40% sobre la población actual, y de acuerdo a las Naciones Unidas en los próximos 25 años de 6,000 millones de habitantes se incrementara hasta 8,300 millones de habitantes (Izázola, 2001); el problema es aun más grave si se considera el deterioro de los ríos y lagos alrededor del mundo como resultado de la contaminación, además la escasez de agua por el cambio climático (Toledo, 2002).

La escasez mundial del agua se ha convertido en una de las mayores amenazas de la humanidad, además de ser una de las causas de múltiples tensiones y conflictos, hoy en día las disputas regionales por las fuentes de agua se han incrementan. Aunque en algunos casos ha sido también motivo de cooperación entre quienes comparten los recursos hídricos (Izázola, 2001), con la finalidad de mejorar la calidad y cantidad disponible del agua.

La falta de la disponibilidad de agua no solo se basa en su distribución natural en el mundo, sino también a la mala gestión de los recursos hídricos y la falta de concientización de la población en cuanto a sus diferentes métodos de uso.

Lo anterior se puede observar en el uso actual del agua como es el caso de las actividades agrícolas donde una cantidad de agua se pierde en el proceso de riego que funcionan de manera ineficiente estimándose una pérdida entre el 40% y el 60% de este recurso hídrico en la agricultura de riego, mientras que el resto se pierde por evaporación o vuelve al cauce de los ríos o a los acuíferos subterráneos. Un ejemplo de este mal uso se presenta en Asia donde los métodos de riego son ineficientes, resultando no solo en la pérdida del agua, sino también como un riesgo potencial a la salud, ya que se inundan algunas zonas generando condiciones para el desarrollo de enfermedades como la malaria, situación que ocurre en otras partes del mundo (CONAGUA, 2006).

Por la creciente inquietud e interés del Gobierno en los diferentes niveles, sectores productivos y la sociedad en general por la recuperación y mejor manejo del agua, se han desarrollado foros mundiales con el objetivo de plantear estrategias que garanticen la seguridad de éste recurso. México no es la excepción y requiere de conocer tanto la distribución como la disponibilidad y uso del agua en el territorio nacional.

El territorio mexicano recibe volúmenes de agua que tienen su origen en el escurrimiento de corrientes naturales como son los ríos o arroyos, almacenamientos naturales y artificiales, como presas, lagos y lagunas, además del volumen de agua almacenado en el subsuelo por infiltración.

Se reporta que México recibe por lluvia de acuerdo a De la Lanza y García (2002) un volumen de 1,378 Km³, según Equihua, (2002) de 1,528 Km³, y CONAGUA, (2006) de 1,515 Km³; de los cuales el 70% del volumen es decir 1,091 Km³ regresa a la atmósfera a través de la evaporación.

El agua superficial con la que cuenta el país por escurrimiento es de 396 Km³ anual incluyendo las importaciones de otros países y excluyendo las exportaciones, éste escurrimiento representa el 87% y se presenta en 39 ríos, cuyas cuencas ocupan el 58% de la extensión territorial del país. En cuanto a aguas subterráneas éstas recargan los acuíferos con 77 Km³/año del agua de lluvia y se estima que se aprovecha 27.5 Km³/año y el 77% se destina al riego (CONAGUA, 2006).

La mayor parte de la Republica Mexicana presenta condiciones de aridez o semiáridéz, ya que reciben un tercio del escurrimiento superficial, debido a los asentamientos humanos, las instalaciones industriales y las áreas agrícolas de riego (Arreguín, et al., 1996). Esto resulta un panorama contrastante en cuanto a la distribución del agua en México ya que mientras que en las regiones del centro, Norte y Noroeste disponen de un volumen de 1,831 m³/hab/año que presentan condiciones de escasez, sobreexplotación y contaminación, en el Sureste disponen de 13,361 m³/hab/año, éstos excedentes de agua se encuentran ligados a factores físicos y socioeconómicos (Aldama, 1994; y Tinoco, 2006).

La principal actividad que demanda la mayor cantidad de uso de agua es la agrícola con 326,000 Mm³ del consumo total nacional, seguida por un uso urbano y domestico con 9,633 Mm³ del consumo total, y finalmente por un uso industrial con 6,940 Mm³ y la generación de energía con 120,982 Mm³ (Utrilla et al., 2005).

Hoy en día, el agua en el país se ha convertido en un recurso vulnerable, por lo que se han desarrollado mejores prácticas de manejo (Cotler, 2005). Por lo tanto se han asumido compromisos como avanzar hacia una gestión integrada, crear condiciones para un desarrollo sustentable y hacer frente a las necesidades derivadas de la pobreza y procesos de desarrollo, Sin embargo, los sistemas acuáticos son vulnerables, frágiles y se requiere de un conjunto de principios, mecanismos y procesos conjuntos que permitan la administración y protección del recurso hídrico de tal modo que pueda lograrse un equilibrio y potenciar su uso para el bienestar(Mestre, 1994).

Por lo que se han desarrollado estrategias de gestión e innovación tecnológica en el país para compensar la escasez de agua mediante la construcción de presas, éstas nacieron con el objetivo de generar energía eléctrica, irrigación de tierras, satisfacer las demandas de uso doméstico y uso industrial (Aboites, 2002). No obstante, han dejado de considerarse los impactos de dichas acciones, los cuales no solo han sido cambios en las condiciones económicas y sociales de diversas regiones, sino también el paisaje de las mismas.

El país cuenta con 4,000 presas las cuales presentan un ciclo de vida corto por los grandes incrementos de azolves, asociados a problemas de mantenimiento, lo que requiere de monitoreos para evaluar la calidad del agua. En México la mayoría de las presas se encuentran influenciadas por la estacionalidad climática, además de presentar procesos acelerados de envejecimiento debido a las descargas de aguas residuales, industriales y domésticas que se vierten directamente. Los estados con el mayor número de presas son Jalisco (337), Guanajuato (239) y Michoacán (236) (De la Lanza y García, 2002, CONAGUA, 2006).

En Michoacán al igual que el resto del país presenta problemas de abastecimiento de agua y contaminación provocado por las actividades antropogénicas. Por lo que se ha construido presas entre las más importantes se encuentran la presa de Infiernillo en el municipio de Arteaga, La Villita en Lázaro Cárdenas, Tuxpan en el municipio de Tuxpan, Aristeo Mercado en Jiménez, Melchor Ocampo en Angamacutiro y la presa de Cointzio en Morelia (INEGI, 1994) entre otras.

En los ecosistemas acuáticos del Estado se han desarrollado estudios de corte limnológico siendo más frecuentes en los lagos naturales y muy pocos enfocados a la descripción de las presas (lagos artificiales) y sobre todo que se han enfocados a su estado trófico y asolvamiento lo cual acelera el proceso de envejecimiento de estos sistemas. En consecuencia se requiere de trabajos que aporten bases científicas enfocadas a la redefinición y mejoramiento de las estructuras, regulación y manejo de las presas en busca de un equilibrio y uso sustentable de estas estructuras hidráulicas.

II. JUSTIFICACIÓN

En Michoacán se ha dado un acelerado proceso de deterioro ambiental a partir de la sobreexplotación de todos sus recursos naturales, el rápido crecimiento demográfico, y los drásticos cambios económicos que alteran la asignación de los recursos, limitando la inversión en nuevas tecnologías y obras que coadyuven a la conservación de los recursos hidráulicos.

Por mucho tiempo los programas de manejo no integran las características regionales o de la cuenca donde se ubican los cuerpos de agua, lo que ha resulta en el deterioro del sistema acuático y su cuenca. En éstos programas es importante reconocer los beneficios del uso del agua que se ligan a las actividades realizadas en la cuenca, así como sus cambios de uso de suelo, descarga de nutrientes, sedimentos, y su biodiversidad.

En el municipio de Morelia, debido al acelerado crecimiento de la demanda de agua, los recursos hídricos se encuentran actualmente en el límite de su aprovechamiento. Las actividades de extracción del agua superficial o subterránea en cualquier punto de la cuenca, afecta los aprovechamientos ya ubicados aguas abajo o a los que comparten los recursos renovables de los distintos acuíferos.

Esta problemática en el municipio se originado por dos razones principalmente: una por la carencia del conocimiento integral del uso potencial de los cuerpos de agua y otra por el uso del recurso hídrico sin planes de aprovechamiento, y manejo inadecuado. Problemática que ha puesto en peligro el desarrollo regional económico y social, así como la recuperación y conservación de la cantidad y calidad de los cuerpos de agua del municipio de Morelia. Por lo tanto el presente trabajo permite generar información limnológica de los principales cuerpos de agua artificiales (presas) de la subcuenca de Morelia (presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y el manantial La Mintzita), con la finalidad de dar ha conocer su estado trófico y ofrecer bases científica que ayuden a orientar los planes de aprovechamiento, manejo y conservación mas adecuados a esto sistemas artificiales.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Realizar un reconocimiento limnológico de los cuatro principales sistemas acuáticos subcuenca de Morelia, Michoacán.

3.2 Objetivos particulares

3.2.1 Delimitar la subcuenca hidrográfica del municipio de Morelia.

3.2.2 Elaborar un mapa batimétrico evaluando los parámetros morfométricos más importantes que describan la geomorfología de las presas Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.

3.2.3 Describir el clima de la subcuenca y sus tendencias en 10 años.

3.2.4 Determinar variable físicas como óptica e hidrodinámica del cuerpo de agua.

3.2.5 Evaluar la calidad de agua de las presas Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.

3.2.6 Determinar la composición química de sedimentos de las presas Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.

IV. ANTECEDENTES

4.1 Internacional

El agua es más que un compuesto químico formado de hidrógeno y oxígeno, es un recurso de primera magnitud cuya utilización exige, con frecuencia su almacenamiento y distribución.

La reseña histórica realizada por Smith (1971) muestra la lucha del hombre por modificar el terreno, con el objeto de regular los caudales disponibles. En éste trabajo el autor da ejemplo de la primera obra de ingeniería realizada que fue la presa de Saad-el-Kafara, o “Presa de los paganos” construida hace 5,000 años para desviar el río Nilo. Además resalta las obras hidráulicas ejecutadas en España durante la época romana: las presas Proserpina y Cornalbo, asimismo destaca la presa de Almonacid, y la presa de Almanza que son de las más antigua del mundo y aun sigue en operación desde el siglo XVI, ésta fueron construidos por los árabes considerados como los dominadores del arte del agua.

Andreu (1993), plasma en su análisis como el hombre influye de forma decisiva, en la modificación a diferentes escalas de las cuencas y de los procesos hidrológicos que influyen en los ecosistemas acuáticos. Además considera que la construcción de vías de comunicación y las prácticas agrícolas actuales producen cambios en las tasas de evapotranspiración, escorrentía, infiltración, erosión y sedimentación, así como en un deterioro en la calidad del agua superficial y agua subterránea.

También considera en su obra que la construcción de las presas, los canales, la realización de obras en los cauces de los ríos, así como la derivación de aguas superficiales y el bombeo del agua subterránea, resultan en cambios geomorfológicos y ambientales que alteran los flujos de agua y deterioran la calidad de agua en los sistemas acuáticos naturales.

A pesar de los efectos, resultado de la construcción de obras hidráulicas, estas han sido una necesidad sobre todo en las zonas donde el agua es escasa y no se cuenta con embalses naturales. Thornton, et al., (1990) cita que en los Estados Unidos la mayoría de los lagos se distribuyen en la zona glacial y al sureste de Florida, en cambio las presas o embalses artificiales se localizan en la zona del centro, suroeste y oeste. Esta distribución refleja la escasa disponibilidad del agua, en las regiones donde existe infraestructura hidráulica construida por el hombre.

Se ha determinado que las presas se encuentran influenciadas por eventos climáticos estacionales que ocurren en la cuenca. Faures, et al., (1995) reportaron que en las cuencas pequeñas la distribución espacial y temporal de precipitaciones ejerce una influencia significativa en las descargas y el escurrimiento total, concluyendo que la variabilidad de lluvia espacial se relaciona con el tamaño de la cuenca y las propiedades físicas de la tormenta o evento de precipitación.

Rendón (1996) en su estudio del Lago Waco (presa), Texas se enfoca a la dinámica de nutrientes y productividad primaria en relación a los eventos de precipitación denominados pulsos considerando su periodicidad e intensidad. La autora concluyó que la productividad primaria es afectada por los pulsos de agua que llegan de cuenca con grandes concentraciones de nutrientes inorgánicos incrementándose durante los periodos de lluvias más intensos y que permanece este efecto por días avanzando desde el tributario hasta la cortina de la presa.

Una prioridad mundial ha sido el control de las presas y su capacidad de almacenamiento por lo que Graf (1999), realizó un censo geográfico donde reporta 75,000 presas en los Estados Unidos, con una capacidad de almacenamiento de 5,000 m³ de agua por persona, además indica que la construcción y operación de las presas fragmentan el sistema fluvial de la cuenca donde se establecen y sus impactos sobre la descarga del río y como consecuencia del cambio climático global, el almacenaje máximo de estas presas en las últimas tres décadas ha sido afectado.

En los estudios hecho por Kurber (2000) se afirma que las poblaciones desplazadas por la construcción de las presas en el mundo son de 40 a 80 millones de habitantes. El autor resalta que el impacto biológico y social de la construcción de éstos embalses artificiales resultan ser negativo, tomando en cuenta que el daño por éste desplazamiento no vale la pena, ya que la mayoría de las presas tienen una vida útil aproximadamente de 60 a 80 años dependiendo del terreno donde se construyen, conservación de su cuenca y del mantenimiento que se da a estos embalses artificiales y los impactos son severos dependiendo del tamaño de la cuenca del embalse y el uso que se le da a la misma.

En el trabajo realizado por Brandt (2000) se realizó una clasificación de estos impactos y determina que los efectos geomorfológicos río abajo, en las presas de los Estados Unidos, donde se observa que los efectos son diferentes dependiendo de la ubicación, ambiente, el sustrato, el agua liberada y el sedimento, evaluando si se atribuye a la construcción de presas, además realiza una estimación sobre los efectos de los cambios río abajo, en base al flujo liberado del agua y sedimentos, para determinar los cambios resultantes antes y después del efecto en la construcción de presas, logrando identificar estos impactos como punto de partida para una la predicción analítica de éstas alteraciones.

La carencia de datos que determinen la dinámica de las presas es un problema frecuentemente que impide realizar las estrategias necesarias para el manejo de embalses, por lo que Rujana, et al., (2001) concuerda que ante la carencia de centros de almacenamiento de datos de los recursos hídricos en la cuenca del río Mirinay (Argentina), no es posible evaluar la demanda en el manejo y oferta del recurso o elaborar un balance calidad-cantidad de agua. Ante la falta de un acceso adecuado a la información científica respecto al ciclo hidrológico y su planificación, proponen un enfoque participativo entre el sector privado y del Estado, para determinar el desarrollo de la presa, partiendo de una base de conocimiento de los recursos hídricos como condición previa para el manejo efectivo del agua.

Barreira (2002) analizó los planes de planificación y gestiones futuras del agua ibérica y además gracias al interés internacional para promover una mayor colaboración y participación en la gestión integrada de las cuencas hidrográficas entre España y Portugal se realizó la construcción de la presa de Alqueva que representa la mayor reserva estratégica de agua de la Península Ibérica. Esta construcción fue gracias a los estudio sobre las características de la cuenca, de los regímenes jurídicos, de las prácticas de cooperación y de la participación pública de las partes dos partes integrantes de la cuenca (España y Portugal).

Sin embargo, históricamente se han registrado amenazas naturales por fenómenos como terremotos o lluvias extraordinarias que causan destrucción en áreas de asentamientos urbanos, y especialmente en los suministros de agua presas y lagos, por lo que estos aspectos de vulnerabilidad afectan y ponen en riesgo a los países. Ejemplo de ello, fue el municipio de Teculután, provincia de Zacapa en Guatemala, donde la presa de captación río Teculután tuvo que ser remodelada casi en su totalidad. A la fecha, debido a las reparaciones se encuentra en buen estado, existiendo puntos y tramos vulnerables propensos a sufrir daños por algún evento natural o por la misma mano del hombre (OPS/OMS, 2002).

Díez-Cascón, (2003) hace referencia a los registros estadísticos de la Internacional Comisión on Large Dams, reportando un numero total de grandes presas en el mundo de 25,410, las cuales fueron construidas en los últimos 35 años, y puestas en servicio al mundo solo 290 presas. En el año 2001 sobresalen como países constructores de presas España (25), Brasil (29), Rumania (29), Japón (127), China (214) y en Turquía (224). Finalmente, en su análisis dice que el porcentaje de presas en el mundo con mas de 20 años en servicio es del 67.5%, el 27.3% corresponde a presas con mas de 40 años en servicio y el 13.8% a presas con mas de 60 años en servicio y según los datos mostrados, y de forma simple, se puede decir que alrededor de un 50% de las presas existentes han alcanzado una edad en la que necesitan de una especial vigilancia y permanente chequeo, control y, en su caso, intervención preventiva.

Alonso, et al., (2006) realizan una evaluación de alternativas de la presa Gil García (España); con una propuesta de reconversión del dispositivo, debido a que la presa actualmente es un obstáculo artificial del río Aravalle, que altera las zonas de desove aguas arriba de trucha común e interrumpe el paso a los reproductores, sus conclusiones incluyen alternativas paliativas que varían desde el no realizar acción alguna hasta el desmantelamiento de la presa, teniendo en cuenta el costos, beneficios e impactos generados por cada alternativa.

En el presente milenio el agua se convierte en un bien preciado para obtener su control ante la importancia creciente de proveer un manejo racional del agua, por lo que la construcción de una obra destinada al aprovechamiento del recurso hídrico como las presas, deriva de las decisiones que responden en cada caso a múltiples parámetros y entran en juego varias escalas que condicionan su construcción, ya que cada sociedad aplica criterios propios y políticas de estado. Debido a que las presas utilizan un recurso natural, el análisis involucra la toma de posición ante el uso de dichos recursos y el rol que le compete en su desarrollo (Ortega, 2006).

4.2 Nacional

En México existen discrepancias sobre la superficie de agua embalsada, al respecto Medina, et al., (1976) consideran 704,375 ha de embalses, de los cuales 646,500 ha corresponden a embalses mayores de 50 hectáreas y 58,000 ha. pertenecen a embalses menores de 50 ha.

Sin embargo Vidal, et al., (1985) opinan que México tiene lagos y lagunas con una capacidad de almacenamiento de 14 km³ y presas que almacenan 120 km³, la suma de ambos equivale al 47% del escurrimiento anual; y de acuerdo a los registros de Secretaria de Recursos Hidráulicos (1981), estiman un millón embalses que corresponden a 985,017 ha. de lagos y 1,483,700 ha. estuarios.

Mientras que Guzmán, (1997) reporta que la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago es la mas importante de la región Centro Occidente de México, y comprende el centro este de Nayarit, Centro Norte de Jalisco, Sur de Zacatecas y Aguascalientes, Guanajuato y Norte de Michoacán. En ésta región se encuentran 19 embalses naturales, la mayoría se encuentran en Nayarit, Jalisco y Michoacán, y los estados con presas mayores a 100 ha. son Sinaloa (10 presas) y Michoacán (14 presas).

Un aspecto importante para la distribución de agua en el país es la cantidad y distribución agua, de acuerdo a Acosta, (1993) la precipitación anual en México es de 1,600 km³, de los cuales 410 km³ escurren a los ríos; 62 km³ se infiltran y recargan los acuíferos y 1,128 km³ se evapora. La suma de lo que escurre e infiltra es de 472 km³ que representa el agua que se renueva al año. El 27% del agua que se precipita es escurrimiento superficial de 314 cuencas, el 50% del éste se genera en el Sureste, mientras que en el Norte se genera el 4%.

México tiene una larga historia de gestión del agua y de instituciones afines a esta, con una ley moderna, un organismo nacional rector, asociaciones de usuarios, consejos de cuencas, un sistema de derechos y un incipiente mercado del agua. Sin embargo, el agua se esta convirtiendo cada vez más en una restricción efectiva en varias regiones de México tanto en calidad como en cantidad.

Aldama, (1994) menciona que la Republica cuenta con infraestructura hidráulica con una capacidad de almacenamiento de 180 km³ y que regula un volumen de 84 km³ del total anual disponible de 472 km³, además se considera que por cada hectárea de cuerpos de agua, México ha embalsado 10 ha.

En el país la extracción total de agua es de 190 km³/año, destinando para la generación de energía eléctrica 123.5 km³, para la irrigación 53.2 km³ y para el uso urbano e industrial 13.3 km³ y de acuerdo a Mestre, (1994) el escurrimiento es de 550 m³ por habitante, indicando que la problemática de escasez es natural y se ha acrecentando porque la población es mayor que el agua que nos ofrece los ecosistemas acuáticos.

Bueno y Santiago (2002) en un estudio preliminar en la presa Malpaso, Chiapas los autores evaluaron variables de temperatura de la superficie (29 °C) y a 10 m de profundidad (25 °C), la visibilidad al disco del Secchi (3 m), oxígeno disuelto que disminuye conforme aumenta la profundidad, concentración de ortofosfato (0.2mg/L) y potencial de Hidrogeno (pH=8.0). Concluyendo que los cambios en la presa se deben al aumento del volumen del agua, turbidez y disminución de oxígeno disuelto, condiciones que ponen en peligro a las comunidades acuáticas, las cuales tienen estrategias de adaptación a estos cambios drásticos.

Carranza, et al., (2002) describen limnológicamente la presa del Caracol, (Guerrero), con un complejo comportamiento en cuanto a la estratificación y la circulación del agua en la cortina y el resto de la presa. En la cortina la presa 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 periodo de circulación en el invierno y un periodo de estratificación el resto del año.

De la Lanza y García, (2002) enfatiza que en México las presas sirven para suministrar agua, irrigar áreas agropecuarias, como hidroeléctricas y control de inundaciones. La importancia de estos embalses se expresa en la producción acuícola, generación de energía que utiliza la tercera parte del territorio nacional y en agua potable que abastece al 20% de la población. Sin embargo éstas sufren desajustes ambientales por la sobreexplotación del recurso hídrico, afectando las cuencas hidrográficas y convirtiéndolas en basureros de urbanos e industriales.

Díaz y Gutiérrez, (2002) trabajaron en la presa Requena del Estado de Hidalgo que ha sido poco estudiada, en ella detectaron condiciones de anoxia esporádica, con agua ligeramente alcalina (pH 7.8), una moderada dureza de 151 a 48 mg/L, una conductividad de 336.1 a 1.137 μ S/cm, concentraciones moderadas de nitratos de 0.01 a 0.042 mg/L y concentraciones elevadas de fosfatos de 0.94 a 1.2 mg/L. Además, a partir de la aparición del lirio en el año de 1982, se incrementan los problemas de la navegación y existe una disminución del volumen del agua por evapotranspiración.

Gómez et al., (2002) estudiaron el funcionamiento hidráulico de la obra de excedencia de la presa Moraleños en el río Calvillo en Zacatecas, mediante un modelo físico ubicado en el vertedero con una serie de ensayos para evaluar el funcionamiento con el resultado de recomendar la modificación de la geometría original para optimizar y mejorar el funcionamiento hidráulico con las condiciones ideales para que el flujo despegue de la cubeta en forma aireada.

Hernández y Orbe (2002) mencionan que la presa Zimapán en Hidalgo recibe dos tipos de agua: una por precipitación captadas por la cuenca y otra de aguas residuales con una descarga anual de 296,600 toneladas de desechos orgánicos biodegradables originados en la cuenca del Pánuco según cita de Rodríguez, et al., (1998). Dando a conocer que las condiciones físicas y químicas del agua de acuerdo con la normatividad se encuentran en intervalos de calidad admisible para actividades como riego y pesca.

Orbe, et al., (2002) realizaron trabajos en la presa de Aguamilpa en Nayarit, con una superficie de 11,000 ha, con el objetivo de generar un esquema de manejo para la renovación de los recursos, para lo cual citan los trabajos realizados por Santiago (1992) y la Comisión Federal de Electricidad (1993), de calidad de agua, caracterizando la presa con una temperatura media anual de 27.5 °C, una concentración de oxígeno disuelto de 2 a 12 mg/L, una demanda bioquímica de oxígeno de 1.1 a 72.6 mg/L y una conductividad de 870 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Asimismo, mencionan que se realizaron estudios dirigidos a regular el aprovechamiento pesquero y generar un esquema de manejo que garantice la tasa de renovación de los recursos que permita niveles rentables, además en 1996 la Comisión Nacional del Agua asigna ésta presa con un uso de riego y acuícola.

Cotler y Gutiérrez, (2005) realizaron un inventario y evaluación de las presas de la cuenca Lerma-Chapala, llegando a la conclusión que la cuenca (53,591 km²) presenta un total de 552 presas y bordos, es decir, una presa o bordo por cada 97.1 km². Además mencionan que en la cuenca cada presa destinada para riego abarca una extensión de 39 km², irrigando aproximadamente 11,019 km².

Díaz y Arredondo (2005) los autores realizan un análisis del comportamiento de la oxiclina en quince presas mexicanas con superficies que varían de 14,000 a 45,000 hectáreas y altitudes sobre el nivel del mar de 65 hasta 2600 m; las presas se muestrearon en dos épocas del año, presentando estos cuerpos de agua valores bajos de oxígeno disuelto en gran parte del volumen de agua, efecto que repercutió en la mortalidad de la población peces y otros organismos acuáticos; así mismo afecta el ciclo de fósforo y en los procesos de eutrofización, limitando el desarrollo de comunidades bentónicas. Finalmente establecen que en este tipo de cuerpos de agua se debe mantener un registro constante y permanente de la calidad del agua para lograr establecer el comportamiento limnológico de las presas.

González y Carranza (2005), estos autores en su estudio dan a conocer las variaciones espacio temporales de parámetros físico químicos en la presa Zimapán ubicada entre los límites del estado de Hidalgo y Querétaro, considerando la temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno (pH), alcalinidad, dureza, nutrientes, además de determinar los aportes de materia orgánica y desechos industriales de los afluentes. Los resultados muestran que el oxígeno es el factor más importante en la columna de agua, con temperaturas que varían de 18 °C a 5 °C, un pH entre 6 y 8, lo que es aceptable para el crecimiento de tilapia, finalmente clasifican este embalse como cálido-monomóctico.

Nacif, et al., (2005) realizan un estudio en el cuerpo de agua más importante del estado de Tlaxcala la presa Atlangatepec, considerando cinco zonas que representan las principales condiciones del embalse. Analizaron componentes como la comunidad microbiana presente. Los resultados presentan altos valores de nitrógeno y fósforo para esta presa por lo que se considero un ambiente hipereutrófico. Los autores concuerdan que en este embalse se presentan graves impactos de deterioro de la calidad del agua, debido a la descarga del río Zahuapan y los escurrimientos de su cuenca.

Latournerié, et al., (2005) reportan una investigación en la misma presa de Atlangatepec, realizando una evaluación a través de un ciclo anual de la variación espacio-temporal de la calidad del agua del embalse en diez localidades tipo con las características fisiográficas de mayor contraste, así como los estratos superficie y fondo de la presa. En éste trabajo se consideraron factores como temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrogeno, conductividad, potencial Redox, transparencia, nitritos, nitratos y fosfato. Los autores encontraron diferencias entre todos los factores y detectaron un marcado pulso en el enriquecimiento de las concentraciones de nitrógeno y fósforo durante los meses de septiembre a diciembre del ciclo anual, con éstos valores se confirma y se clasificación a la presa como un ambiente acuático de tipo hipereutrófico.

López, et al., (2005), en su trabajo de enseñanza de limnología básica a los pobladores de la Presa de Yosocuta, Oaxaca, plasman la importancia y logros de aprendizaje de las bases limnológicas, piscícolas, biológicas y actividades ecoturísticas. Los resultados de esta experiencia reflejan los patrones de circulación y estratificación del embalse y la variabilidad espacio-temporal de la masa de agua rica en oxígeno disuelto, lo cual ayuda a los participantes a detectar la mejor temporada para la introducción de peces y la mejor época para la producción pesquera. Se estableció que de 5 a 10 m de profundidad se presentan las mejores condiciones para la pesquería deportiva y comercial, sin embargo en 1980 se identificaron fuentes de contaminación orgánica lo que ocasionó un descenso en la productividad pesquera en un 69%.

De León, et al., (2006), elaboraron la matriz de geoindicadores ambientales en la presa José López Portillo (Cerro Prieto), fuente de abastecimiento de agua potable de Monterrey, N. L., con el objetivo de conocer el estado del funcionamiento actual de la presa. Se baso en la aplicación de la metodología de matrices, considerando tipos de impacto social, económico, geológico, ambiental, flora y fauna. Los resultados obtenidos son la base para la creación de un modelo de identificación de geoindicadores ambientales para presas de almacenamiento de agua potable en el Noreste de México.

4.3 Regional

Las presas en el estado de Michoacán han sido poco estudiadas y en general se ha trabajado más en sus cuencas que de manera integral para determinar la estructura y función de las presas.

Esparza y Trujillo, (1986) estudian los aspectos ecológicos básicos para el manejo integral la cuenca de la Presa de Cointzio (Michoacán) abarca aspectos de topografía, suelo, erosión, vegetación y uso del suelo; y divide la superficie de la cuenca en 10 subcuencas a partir del análisis topográficos, mencionan que aproximadamente el 30% de la cuenca presenta erosión severa y actualmente el porcentaje citado probablemente se encuentra rebasado debido a la degradación del suelo y pérdida de cobertura en los estratos.

Romero, (1991) determino en la presa de Zicuirán que la dinámica hidrológica superficial de la subcuenca y sus propiedades fisiográficas la definen como una cuenca pequeña de forma rectangular-oblonga y con una red de drenaje conformada por numerosas y pequeñas corrientes. En esta presa se reportó una temperatura de 28.1 °C; transparencia del disco de Secchi de 0.94 cm; conductividad de 371 mg/L; potencial de Hidrógeno de 7.6; y oxígeno disuelto de 6.7 mg/L, además se reportó 176 especies de fitoplancton con predominancias de clorofitas, crisófitas y cianofitas; y zooplancton durante la estación de primavera con predominancia de cladóceros y rotíferos.

En Michoacán los sistemas acuáticos se encuentran ubicados en la parte inferior de la cuenca hidrográfica. De acuerdo a De la Lanza, 1995, éstos sistemas reciben una amplia diversidad de desechos incluyendo partículas sólidas que incrementan los volúmenes de azolve, concentraciones de nutrientes, además de residuos de pesticidas agroquímicos e hidrocarburos que en conjunto disminuyen su capacidad de almacenamiento, aumentan su turbidez y aceleran el deterioro de la calidad del agua, ocasionando un acelerado envejecimiento de los sistemas acuáticos.

Ledesma, (2001) define a La Mintzita como una de las fuentes principales de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Morelia, San Nicolás de Obispo, San Antonio Parangari, y para la planta de industria CRISOBA, además de ser utilizado para actividades como lavado de ropa, vertido de aguas residuales provenientes del balneario de Cointzio, fertilizantes y herbicidas de los campos de cultivo. En este manantial se reportó la presencia de lirio y diferentes especies de lentejuela acuática. Además de marcar que el azolvamiento de la microcuenca resulta en la disminución de la profundidad, y define al cuerpo de agua como cálido con un agua blanda y valores de oxígeno de 6.7mg/L. La conductividad, sólidos disueltos totales y sólidos totales indican un alto grado de mineralización. Finaliza con la recomendación de que el agua no es apta para el consumo humano por el alto contenido de coniformes totales y fecales.

Juárez (2002) en el estudio realizado en la presas del infiernillo (Michoacán) reportando que el embalse es de aguas cálidas entre enero y mayo; escaso oxígeno disuelto sobre todo en las zonas profundas, mientras que la conductividad; dureza total y alcalinidad definen tres zonas de influencia: la primera corresponde al río Tepalcatepec, la segunda a la porción norte del río balsas y la ultima al río balas inferior. Señalando que el alto contenido de cloruros en el río Tepalcatepec y parte baja del Balsas es la fuente de contaminación por detergentes o fertilizantes clorados y que en general la calidad de agua presenta intervalos óptimos para el desarrollo de las especies acuáticas del embalse.

En cuanto a trabajos dentro del municipio de Morelia donde se han evaluado la erosión y su influencia en los escurrimientos de la cuenca se encuentra el estudio realizados por Gómez-Tagle, et al., (2003) quienes evaluaron la captación hídrica de la Cuenca del municipio de Morelia y proponen alternativas de rehabilitación ante la degradación intensa en la red hidrológica ocasionado por el pastoreo excesivo del ganado, el cruce continuos de caminos, los aprovechamientos forestales autorizados e ilegales en las áreas de protección, zonas de recarga y en los bancos de orilla como es la siembra de cultivos y en el lecho del cauce de los río y arroyos permanentes.

Los autores mencionan que las autoridades del ramo no cuentan con las bases del conocimiento necesario, ni con la tecnología adecuada para normar y generar los planes y estrategias de conservación de los ecosistemas de ribera, ni para programas de rehabilitación de la cuenca, la cual demanda obras y acciones de urgencia sobre todo en las subcuencas Sur, parteaguas de Canacucho-Jesús del Monte y la zona Poniente cerro del Águila-Quinceo-Copandaro.

Díaz F., (2005) realiza un estudio de la interceptación pluvial por plantaciones de ***Pinus michoacana***, encinar y pastizal en la zona baja de la cuenca hidrográfica de Cointzio. En este trabajo se evaluó las características dasométricas de vegetación y propiedades físicas del suelo, elaborando comparaciones en las diferentes plantaciones. Los resultados indicaron que la infiltración ocurre en forma rápida sin la interceptación por hojarasca y mas lenta con hojarasca, por lo tanto la interceptación total fue mayor en las plantaciones de encino, sin embargo la recarga de los acuíferos fue mayor en la plantación con pino. La autora menciona que la recarga de agua al suelo forestal como la precipitación neta son variables que definen el rendimiento hídrico, los resultados indican que las plantaciones de pino captan mayor volumen de la precipitación pluvial como recarga al suelo siendo el rendimiento hídrico es mayor en este tipo de plantaciones.

Ortega, et al., (2005) trabajaron en la presa de la Mintzita, evaluando la calidad de agua, mediante el uso de indicadores como bacterias, algas y parámetros físicos y químicos. En dicho estudio los resultados indican que éste cuerpo de agua es somero y en proceso de eutrofización. El agua es alcalina, con altos valores de oxígeno disuelto, una baja conductividad, además de una concentración de sólidos disueltos totales y de fosfatos baja. En cuanto a comunidades acuáticas se identificaron 119 especies de fitoplacton, 124 de perifiton destacándose el grupos de diatomeas pennales y algas azul-verde y se reporta una comunidad de zooplancton con baja abundancia y diversidad.

Bañuelos, (2006) realizó un diagnóstico ecológico del embalse de Bellas Fuentes en el municipio de Coeneo, Michoacán, mismo embalse que no a sido aprovechado, el autor determina su categoría de manejo de acuerdo a las características propias del área y trabaja en función de cuatros principios de desarrollo, la recreación y el deporte, la convivencia comunitaria, la educación ambiental y la producción de alimentos, además del resultado de este diagnóstico, realizo la caracterización física del sitio con planos de integración urbana, incluyendo una propuesta indicativa de diseño arquitectónico del embalse.

En el diagnóstico realizado por Cruickshank, et al., (2006) para el Estado de Michoacán se reporta 115 presas distribuidas en las cuencas del Bajo y Medio Balsas, Bajo Lerma, Cupatitzio, Tepalcatepec, Cuitzeo, Chapala, Duero, Angulo, Solís y Tuxtepec. De las 115 presas en el Estado, once de ellas tienen un uso distinto al del riego. Para generación de energía eléctrica se cuenta con las presas: Adolfo López Mateos (Infiernillo) en Arteaga, Tuxtepec en Contepec, presa Aristeo Mercado (Wilson) en Jiménez, las presas Cupatitzio (Los cristales) en Uruapan y la de Umécuaro en Morelia. Para el control de avenidas se reportan la presa Barraje de Ibarra en Briseñas; para suministro de agua potable las presas del Bosque en Zitácuaro y presa de Cointzio en Morelia; para deposito de desperdicios la presa Laguna Verde en Zinapécuaro, y como derivadora la presa Tuxpan en Tuxpan. Finalmente la presa José María Morelos (La Villita) ubicada en los municipios La Unión, Guerrero y Lázaro Cárdenas se destina para tres usos: generación de energía eléctrica, riego y suministro de agua potable.

Rendón, et al., (2006) realizaron un estudio de la presa de Umécuaro, Loma Caliente y Las Angustias, los resultados indican que es la segunda presa de mayor área en la cuenca de Morelia es Umécuaro, después de la presa de Cointzio y la mas pequeña Las Angustias. En éste trabajo se clasifican las presas como mesotróficas y mencionan que en los programas de manejo se tome en cuenta el manejo hidráulico ya que los niveles y calidad de agua varían, igualmente y considerar un programa para evitar las descargas de agua sin tratamiento a las presas.

Susperregui, et al., (2006) reportan en un estudio comparativo entre la presa de Umécuaro y Cointzio, Michoacán que existe diferencias de turbidez. En la presa de Umécuaro el aumento de la turbidez se debe generalmente a las actividades biológicas que ocurren en el sistema, mientras que en la presa de Cointzio se atribuye a la baja tasa de sedimentación. Se demuestra en este trabajo una diferencia en los sedimentos enfatizando que en la presa de Umécuaro son producto del deterioro ambiental de la cuenca y el impacto humano, mientras en la presa de Cointzio son resultados de efectos locales.

Barrera, et al., (2007) comentan en su trabajo que debido la escasa comunicación y participación de la población se tiene presión sobre los recursos naturales de la presa de Loma Caliente, Michoacán, ya que dependen económicas de éste recurso, por lo que es fundamental incrementar las estrategias de conservación de los recursos naturales y la participación social de la comunidad de Loma Caliente para lograr una aprovechamiento sostenible de la tierra. Los autores concluyen que esta zona de Loma Caliente y sus condiciones socioeconómicas actuales presenta un síntoma crítico que requiere de orientar acciones de conservación y mitigación de la degradación del recurso. Siendo necesario y urgente un cambio tecnológico a través de tecnologías sostenibles que garanticen la mitigación del recurso suelo y el incremento de su ingreso personal.

Medina, et al., (2007) efectuaron un reconocimiento hidráulico de la presa Melchor Ocampo, Angamacutiro, Michoacán, donde los resultados sugieren que las corrientes de fondo se encuentran influenciadas por el cauce que ocupaba anteriormente el río Angulo, y las corrientes de deriva superficial son inducidas por el ingreso de los vientos dominantes y no presentan un patrón definido de dirección, ni de velocidad, por el efecto de protección orográfica de las elevaciones que se encuentran en las cercanías, y concluyen que los efectos del ingreso de los afluentes del sur de la misma disipación la energía, limitando la generación de corrientes.

Rendón, et al., (2007) realizaron un estudio limnológico en la presa de Umécuaro determinando los efectos del manejo Hidráulico en un sistema de pulso, los resultados indican que presenta una profundidad máxima de 7.0 m en la cortina, lo que la ubica como un sistemas someros, una conductividad baja (51 $\mu\text{S}/\text{cm}$), potencial de hidrógeno alcalino de 8.23, dureza total de 278.40 mg/L, dominando el calcio (83.10 mg/L), se reporta una alta turbidez con una concentración de sólidos suspendidos de 130mg/l, el oxígeno disuelto en la época de lluvias se reduce en un 18%. Las descargas de sólidos suspendidos resultan en el azolve de la presa además del manejo inadecuado, ya que rebasan los niveles mínimos de vaciado de la presa por lo tanto presenta un deterioro ambiental avanzado.

Utrilla S., (2007) menciona que la degradación de la red hidrográfica de la Cuenca de Cointzio es debido a los impactos ambientales como la deforestación, cambio de uso del suelo, erosión, la presencia de cultivos, las ladrilleras y el pastoreo excesivo que inciden directamente en los bancos de orilla al eliminar la cobertura vegetal, resultando en una degradación del cauce y azolvamiento de los embalses Reporta que dentro de la red hidrográfica la microcuenca del Río mezquite presenta nivel mayor de degradación mientras que las microcuencas con un nivel medio de degradación son la presa, río la Palma, río San Andrés, Lagunillas, y las microcuencas del río Grande y río Tupátaro presentan un nivel de degradación bajo.

V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

5.1 Localización

5.1.1 Municipio de Morelia

El municipio de Morelia cuenta con una superficie de 1,199 km² que representa el 2.03% de la superficie del Estado, éste se ubica al Noroeste del Estado de Michoacán y pertenece a la región Hidrográfica del Lerma–Chapala–Santiago, dentro de la cuenca Hidrológica del Lago de Cuitzeo y en la subcuenca de Morelia.

El municipio se localiza entre la zona UTM 14 (Unidades Transversa Mercator) con coordenadas máximas X=290450, Y=21944312; y mínimas X=237579, Y=2157790, con alturas que van desde los 1,900 msnm al noreste de la ciudad de Morelia, hasta los 3,080 msnm en el cerro El Águila y la ciudad de Morelia se localiza a 1,951 msnm (Fig.1).

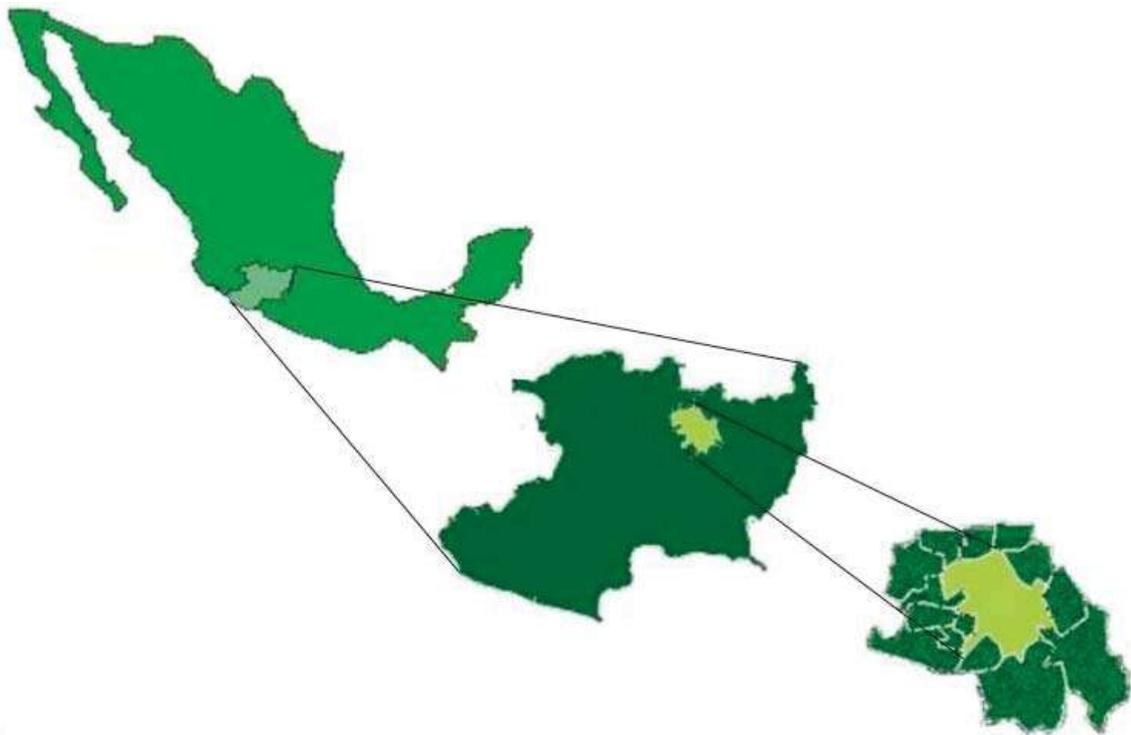


Figura 1. Localización del municipio de Morelia, Michoacán.

El municipio limita al Norte con Copándaro y Chucándiro, al Sur con Villa Madero, Pátzcuaro y Acuitzio, al Este con Charo y Tarímbaro y al Oeste con Quiroga y Tzintzuntzan. Al Noroeste con Coeneo y Huaniqueo. Al Sureste con Tzitzio y al Suroeste con Lagunillas y Huiramba (Secretaría de Gobernación, 1988). En el Municipio de Morelia, se localizan las presas de **Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y el manantial La Mintzita**, cuerpos de agua artificiales o presas de interés en éste estudio.

5.1.2 Presa de Umécuaro

La presa de Umécuaro (Fig. 2) se ubica en la subcuenca de Morelia y al Sureste dentro de la microcuenca del Río Grande, a 45 minutos al Suroeste de la capital del Estado y dentro de la localidad de Umécuaro, perteneciente a la tenencia de Santiago Undameo, del municipio de Morelia. Ésta presa se ubica en la zona UTM 14 con coordenadas máximas $X=263319$, $Y=2161063$ y mínimas $X=266064$, $Y=2159145$ a 2,180 msnm, (H. Ayuntamiento Morelia, 2004).



Figura 2. Localización de la Presa de Umécuaro, Michoacán.

5.1.3 Presa de Loma Caliente

Dentro de la misma subcuenca de Morelia y al Sureste dentro de la microcuenca del Río Grande se encuentra la tenencia de Santiago Undameo donde se ubica la presa de Loma Caliente (Fig. 3) en la localidad del mismo nombre (PDUCPM, 2004), en la zona UTM 14 con coordenadas máximas $X=265430$, $Y=2158650$ y mínimas $X=266776$, $Y=2157350$ a 2200 msnm, a 15 minutos al Sureste de la presa de Umécuaro, (H. Ayuntamiento Morelia, 2004).

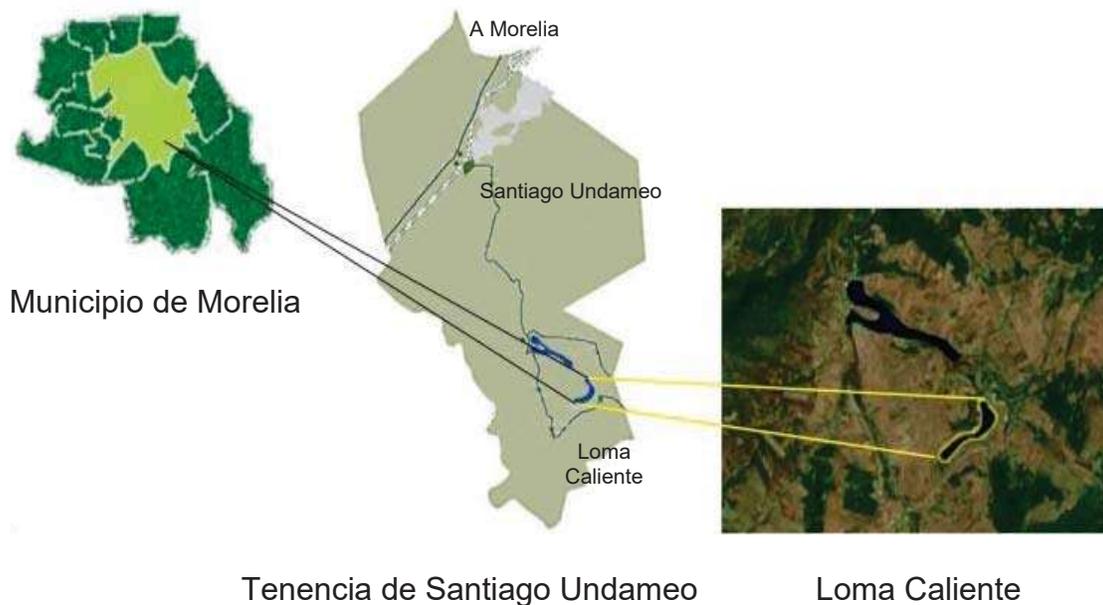


Figura 3. Localización de la Presa de Loma Caliente, Michoacán.

5.1.4 Presa de Las Angustias

En la subcuenca de Morelia, al Norte dentro de la microcuenca del Río Chiquito y al Sureste del municipio a 25 minutos de Morelia, en la localidad de San José de las Torres de la Tenencia de Jesús del Monte se ubica la presa de Las Angustias (Fig.4), en la zona UTM 14 con coordenadas máximas $X=277251$, $Y=2174966$ y mínimas $X=277666$, $Y=2174607$, a 2,180 msnm (H. Ayuntamiento Morelia, 2004).



Figura 4. Localización de la Presa de Las Angustias, Michoacán.

5.1.5 Presa de La Mintzita

Al Suroeste y a 15 minutos de la ciudad de Morelia se ubica el manantial de La Mintzita el cual se encuentra represado y se le uso como tal (Fig. 5), ubicándose en un área que esta integrada por los ejidos Cointzio, Mintzita, San Nicolás Obispo, San Antonio Parangareo, San Juanito Itzicuaro y Tenencia Morelos (SUMA 2004 y H. Ayuntamiento de Morelia, 2004), en la zona UTM 14 con coordenadas mínimas $X=261456$, $Y=2174191$ y máximas $X=261889$, $Y=2173485$ a 1,920 msnm, se ubica en la subcuenca de Morelia y al Sureste dentro de la microcuenca denominada de infiltración de los mantos acuíferos.



Figura 5. Localización de la Presa de La Mintzita, Michoacán.

5.2 Fisiografía

5.2.1 Municipio de Morelia

El municipio de Morelia (Fig. 6) pertenece al sistema neovolcánico transversal y comprende terrenos montañosos que cubren aproximadamente 750 km² del territorio total y 440 km² de planicies (Vázquez, 2001).

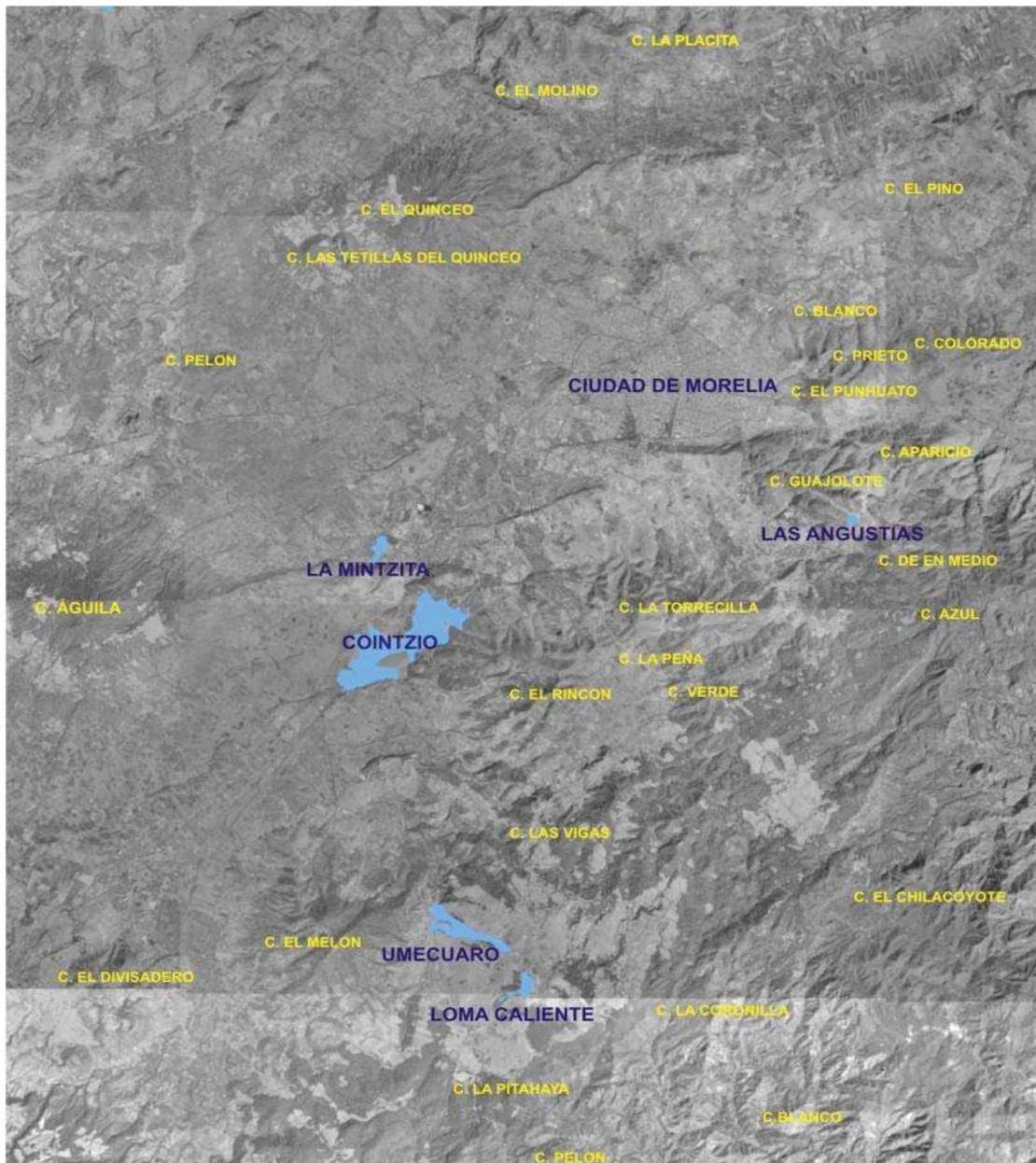


Figura 6. Fisiografía del Municipio de Morelia.

En el municipio de Morelia se encuentran tres sistemas montañosos:

- 1) En el Este se encuentran montañas que forman parte de la Sierra de Oztumatlán y las cuales se extienden desde el Norte hacia el Suroeste, destacando el cerro de El Zacatón (2,960 m), el cerro Zurumutal (2,840 m), el cerro Peña Blanca (2,760 m), y el cerro del Punhuato (2320m) que marca el límite Oriental de la ciudad de Morelia; así como el cerro Azul (2,600 m) y el cerro Verde (2,600 m) un poco más hacia el Sureste. Por el Poniente, sobresalen los cerros de Quinceo (2,760 m), Pelón (2,320 m) y el Águila (3,080 m), cuyo alineamiento va de Norte a Suroeste. El primero es un aparato volcánico de perfil cónico, al Sur del cual se observan dos conos de menor altitud conocidos localmente como las Tetillas del Quinceo.
- 2) Al Sur el parteaguas, presenta una dirección de Poniente a Oriente y los accidentes orográficos corresponden al alineamiento de los cerros Cuanajo y San Andrés cuyos cónicos sirven como límite a los valles de Lagunillas y Acuitzio. En este sector destacan el cerro Verde (2,600 m), el Peña Verde (2,600 m), Cuirimeo (2,540 m), y el cerro la Nieve que se localiza hacia el Suroccidental.
- 3) En el Norte y marcando los límites de la Ciudad de Morelia, se extiende un lomerío en dirección Oeste-Este desde el barrio de Santiaguito hasta enlazarse con los cerros de Punhuato, Blanco, Prieto y los de Charo, que forman parte del límite Oriental y van descendiendo en elevación hasta formar lomeríos bajos hacia Quirio. El límite Norte queda marcado por lomeríos bajos como el cerro La Placita (2,100 m) que se localizan hacia el Norte del Valle de Tarímbaro, así como por el sector más sureño de los Valles de Queréndaro y Álvaro obregón.

5.2.2 Presas de Umécuaro y Loma Caliente

La presa de Umécuaro se encuentra en una zona rodeada al Norte por la loma puerto del Tigre, al noreste por el cerro Las Vigas, al Este con lomeríos de igual pendiente del 7 al 20%, al Sureste con el los cerros el Caracol y La Pitahaya, los anteriores con pendientes del 7 al 20% y al Sur con el cerro Peña Tajada, al Oeste con los cerros El Melón, La Trampa y El Rincón con pendientes que van del 20 al 40%. Mientras que la presa de Loma Caliente se ubica en la misma zona que la presa de Umécuaro por lo que presenta las mismas características (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004d).

5.2.3 Presa Las Angustias

Este cuerpo de agua se encuentra en una zona con pendientes del 0 al 20%, y al Norte con los cerros Coronilla Grande y El Guajolote, al Noreste con el cerro Aparicio con pendientes del 20 al 40%, al Este con el cerro Alto y Loma Larga con el mismo tipo de pendientes, al Sureste con el cerro De en Medio con pendientes de 29 a mas de 40% (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004d).

5.2.4 Presa La Mintzita

La presa se encuentra en una zona con pendientes del 0 al 7%, ubicándose al Noroeste de la misma la Loma del Divisadero con pendientes del 0 al 20%, al Norte con el cerrito el Itzicuaro con pendientes que van del 7 al 20%, al Sur con lomerío con pendientes del 20 y mayores del 40%, al Oeste con los cerros de Las Albercas, El Águila, La Víbora y la Arena con pendientes del 0 a mas del 40% (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004d).

5.3 Geología y suelos

5.3.1 Municipio de Morelia

En el Municipio de Morelia, cuenta geológica con una litología superficial que se forma de todas las montañas en la zona, son de origen volcánico, existiendo dos principales tipos de rocas: las ígneas extrusivas y las sedimentarias. Las primeras son las más abundantes y destacan los siguientes tipos:

- a) Las andesitas que se localizan en pocos afloramientos, uno cerca del Puerto de los Copales y el otro al pie del cerro Viejo, al Suroeste de Acuitzio y cerca de Atécuaro. Las Tobas andesíticas se encuentran en el Km. 16.4 de la carretera Morelia-Mil Cumbres sobre yaciendo a las andesitas y formando la parte inferior del banco, desde las lomas de Santa María hasta Santiago Undameo; así como en la confluencia del arroyo de Agua Zarca con el Río Chiquito.
- b) Las riolitas afloran en el kilómetro siete de la carretera Morelia-Mil Cumbres, en los márgenes del Río Chiquito, Jesús del Monte y el cerro de la Presa; en el arroyo de Carindapaz, en los contrafuertes del cerro Azul, en la Huerta, en la cascada de Santa María, en Santa Rosalía y en los cerros de Atécuaro o de las Animas.
- c) Las tobas riolíticas afloran en la parte alta de la Loma de Santa María hasta Cointzio, en las canteras del Zapote y de Santiaguito. Se les explota como material de construcción. Las brechas riolíticas se localizan en el arroyo de Carindapaz, cerca de la confluencia con el arroyo de los Laureles.
- d) Los basaltos se extienden en corrientes a partir de numerosos focos como el Quinceo, las Tetillas del Quinceo, el cerro Pelón, cerro del Águila, cerro de San Andrés y cerro del Punhuato. La brecha basáltica se observan en la cañada del Río Chiquito, desde el Molino hasta el Palmito y en los acantilados de la Torrecilla y Peña de San Pedro. Los Tezontles están asociados a las formaciones basálticas en la región de Tacécuaro.
- e) Dentro de las rocas sedimentarias destacan los bancos de cenizas volcánicas que se ubican cerca de Charo y Quirio, mientras que los conglomerados afloran cerca del manantial de Agua Caliente y en los alrededores de San Miguel del Monte.
- f) Las areniscas sobreyacen a las tobas riolíticas de El Zapote y Santiaguito, en posición Sureste de la ciudad de Morelia, en los alrededores de Charo, Quirio, cerca de Tacécuaro y el cerro Pelón, mientras que los aluviones se distribuyen en los cauces de los arroyos y se extienden hasta las planicies (H. Ayuntamiento Morelia, 2004).

5.3.2 Presa de Umécuaro

De acuerdo a la carta geológica (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004b), la zona de Umécuaro contiene rocas ígneas extrusivas, con predominancia de basalto y al sur aluvial, el Norte de la presa de Umécuaro presenta suelos predominantes de acrisol ortico de textura fina, andosol ocrítico y suelo secundario andosol húmico de textura media, al Este el suelo predominante es andosol ocrítico y suelo secundario andosol húmico de textura media, al Sur andosol húmico y al Noroeste luvisol vertico con suelo secundario gleysol vertico de textura fina, al Oeste el suelo predominante es acrisol ortico. (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004c).

5.3.3 Presa Loma Caliente

En el embalse de Loma Caliente se compone geológicamente de rocas ígneas extrusivas con predominancia de basalto y aluviales. La zona norte presenta suelo predominante de gleysol vertico de textura fina; al Noreste, Este y Sureste presenta suelo predominante de andosol húmico y suelo secundario de acrisol ortico de textura media. Al Sur y Suroeste presenta suelo predominante de andosol húmico de textura media; el Oeste y Noroeste presenta suelo predominante de andosol ocrítico y suelo secundario de andosol húmico de textura media (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004c).

5.3.4 Presa Las Angustias

En la presa de Las Angustias geológicamente (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004b) contiene rocas ígneas extrusivas con predominancia de andesitas y brecha volcánica intermedia, presenta un suelo con una predominancia de luvisol crómico de textura fina, además en la zona Norte y Oeste se encuentra suelo predominante de Ranker y suelo secundario de litosol de textura media. En la zona Este y Sureste hay suelos de andosol húmico, suelos secundarios de andosol ocrítico y acrisol ortico de textura media, en la zona Sur suelo predominante de acrisol ortico de textura fina (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004c).

5.3.5 Presa La Mintzita

El manantial de la Mintzita geológicamente (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004b) presenta una zona con rocas ígneas extrusivas, al Oeste predomina el suelo con basalto y al este aluvial. La presa de La Mintzita presenta al Norte suelo de vertisol pélico de textura fina al Noreste; mientras que al Este y Sureste del manantial se registra suelo predominante de vertisol pélico y suelo secundario de vertisol cromico de textura fina. Al Sur, Suroeste y Oeste se tiene suelo predominante de vertisol pélico y suelo secundario de litosol de textura fina (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004c).

5.4 Clima

El clima del municipio es **Cb (w1)(w)**, es decir en clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano; una temperatura media de 17.6 °C, donde a una altitud promedio 1,920 msnm Se presenta una precipitación media anual de 796.1 mm. Los vientos dominantes proceden del Suroeste y Noroeste del municipio y tiene una variación en los meses de Julio, Agosto y Octubre, con una intensidad de 2.0 a 14.5 km/hora (Fig. 7).

5.5 Hidrografía

El municipio de Morelia se encuentra dentro de la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago, cuenta con dos importantes ríos: el Río Grande que nace en la parte Sureste de Acuitzio, se regula mediante la presa de Cointzio, y tiene un trayecto de 26 kilómetros, con rumbo Norte 21° hasta Morelia y desaguar en el lago de Cuitzeo (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004). Su principal afluente es el Río Chiquito que confluye con el Río Grande en la parte Oeste de la ciudad de Morelia de donde recorre 25 kilómetros con dirección general Norte 47° 30' Oriente, posteriormente se desvía hacia el Poniente y hacia el Suroeste, describiendo casi una semicircunferencia y toma una dirección Norte-Noreste para finalmente desaguar en el lago de Cuitzeo.

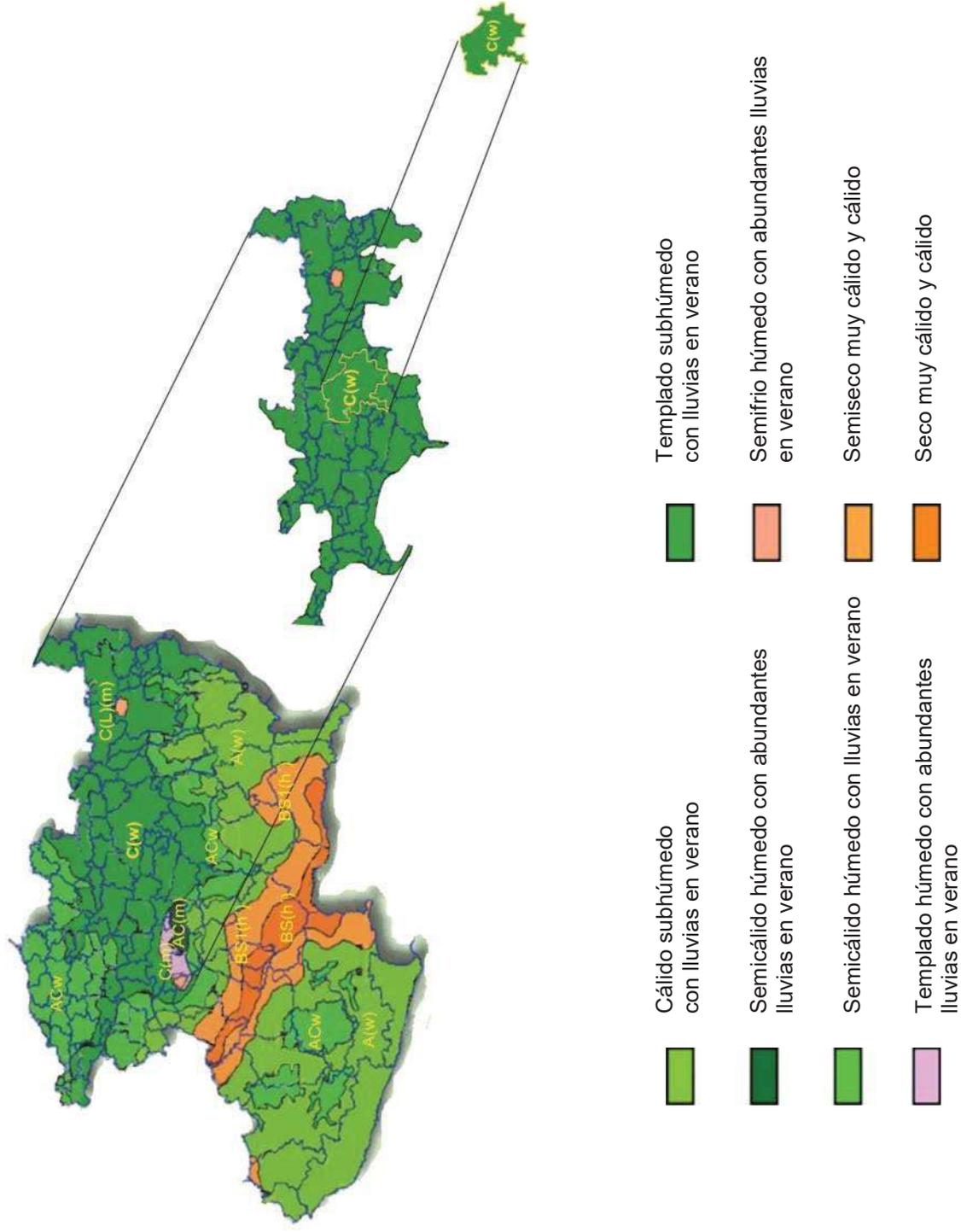


Figura 7. Clasificación del clima en el Municipio de Morelia (Fuente: INEGI, 2004).

El Río Grande atraviesa la ciudad de Morelia y desemboca en la subcuenca del lago de Cuitzeo. Los principales escurrimientos que alimentan a este río son el arroyo de Lagunillas, los arroyos de Tirio y de la barranca de San Pedro (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004a).

El río Chiquito se origina en los montes de la Lobera y la Lechuguilla, cuya cuenca receptora comprende de la región montañosa situada al Sur de Morelia desde cerro Azul hasta Agua Escondida. El río Chiquito se une con los arroyos la Cuadrilla y Agua Escondida, se extiende hasta el arroyo el Salitre, que baja de cerro Azul y luego se une con el arroyo el Peral, después se junta el arroyo Bello, todos estos arroyos tienen aguas permanentes debido a sus manantiales.

Finalmente, se presenta la unión de los pequeños arroyos de Agua Zarca y de las Mojaditas para llegar a la confluencia con el arroyo de Carindapaz y continúa hacia los filtros de donde localizaba la tubería que conducía el agua a la ciudad de Morelia. (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004). Al Suroeste se localiza las presas de Umécuaro y Loma Caliente que son parte del servicio para el sistema de generación de energía eléctrica que abastece a la ciudad de Morelia.

Los escurrimientos de las presas de Umécuaro y Loma Caliente depositan sus aguas en la presa de Cointzio, aprovechando el cauce del río Tirio y del Canal de San Juan, sobre los cuales confluye una gran cantidad de arroyos y corrientes permanentes, destacando por su importancia el río Santa Rosalía. La presa de Cointzio cuenta con una capacidad de operación de 79.2 millones de metros cúbicos, otra presa con la que cuenta el municipio de Morelia es la que se localiza en San José de la Torres, la cual es conocida como Las Angustias (H. Ayuntamiento de Morelia, 2004a). Otro recurso importante de abastecimiento de agua en el municipio de Morelia son los manantiales, destacando por su aprovechamiento el manantial de La Mintzita utilizado en la industria y de abastecimiento de agua potable. Sin embargo se cuenta con otros pequeños manantiales en la zona de los Itzícuaros.

5.6 Vegetación del Municipio de Morelia

El municipio de Morelia se caracteriza por contar con alrededor de diez tipos diferentes de vegetación o agrupaciones vegetales primarias importantes (Madrigal, 2001), entre estos se encuentran: el mezquital, el matorral subtropical, el bosque de encino, el bosque de pino, el bosque de pino-encino, el bosque de oyamel, el bosque mesófilo de montaña, la selva baja caducifolia, la selva media subcaducifolia y el bosque de galería. Estas comunidades vegetales se encuentran en diferentes extensiones y grados de conservación, las comunidades vegetales del municipio también presentan variaciones en cuanto a su composición y abundancia. A continuación se describen las principales comunidades en el municipio:

a) Mezquital: Se localizan en la zona Norte especies como *Prosopis laevigata*, y el estrato herbáceo con abundantes gramíneas.

b) Matorral Subtropical: En la zona Norte, Noroeste y Noreste se cuenta con vegetación como: *Cedrela dugessi* (nogalillo), *Eritrina coralloides* (colorín), *Ehetia latifolia* (capulín blanco), *Bursera fagoroides*, *Brusera palmer*, *Brusera cuneata* (copal), *Brusera bipinnata* (papelillo o borrequilla), *Casimaroa edulis* (zapote blanco), *Ceiba aesculifolia* (puchote), *Ipomea murucoides* (casahuate), *Albizia plurijuga* (parotilla), *Condalia velutina* (grangena), *Opuntia sp.* (nopal), *Opuntia loconostle* (joconol), *Eysenhardtia polystachya*, *Ipomea murocoides*, *Heliocarpus terebinthadeus*, *Zantoxylon fagara*, *Yuca sp.*, *Lysiloma sp.*, *Condalia velutina* (grangeno), *Buddleia sessiflora*, *Croton sp.*, *Iresine sp.*, *Lantana camara*, *Lippia sp.* *Mimosa aff. monancistra*, *Forestiera aff. phillyreoides*, *Ceiba aesculifolia* (puchote), *Yuca filifera* (yuca), *Diospyros xolocotzii* (zapote prieto), se localiza entre los 1,800 y 2,000 msnm, casi siempre sobre terrenos poco empinados muy pedregosos y sobre rocas volcánicas, se distribuye alrededor de todo el valle; la mayoría de sus componentes son caducifolios con aproximadamente tres a seis metros de altura, y se encuentra distribuido irregularmente en el Cerro del Quinceo, Tetillas del Quinceo, Punhuato y faldas de los mismos mezclado con pastizal inducido.

c) Selva Mediana Caducifolia: Se encuentra escasamente representada por las especies de **Prunus aff. Hintonii** (aguacatillo), **Nextandra sp.** (laurel), **Bromelia cartilaginea** (ajunco), **Vitex mollis**, **Pseudobombax ellipticum** (escobetilla) **Ficus cotinifolia** (saiba).

d) Selva Baja Caducifolia: Se encuentran representantes de las especies de: copal, **Bersera spp.** (papelillo), **Lyasiloma acapulcensis** (tepehuaje), **Annona sp.** (anona) **Plumeria rubraf. Acutifolia**, (sacalosúchitl) **Pseudosmodingium perniciosum** y **comocladia engleriana**.

e) Bosque de Encino: Este bosque se caracteriza por que cuenta con individuos con una altura entre los tres y cuatro metros, las especies dominantes son: **Quercus castanea**, **Quercus Obtusa**, **Quercus rugosa**, **Quercus crassipes**, **Quercus candicans**, **Quercus deserticola**, **Quercus obtusata**, **Quercus crassifolias**.

g) El estrato arbóreo mas comunes esta representado por: **Acacia farnesiana**, **Cadalia aff. mexicana**, **Forestiera Phillyreodes**, **Baccharis heterophylla**, **Senecio salignus**, **Solanum madreense**; en el estrato herbáceo se reporta: **Asclepias linaria**, **Crotón sp.** **Muhlenbergia sp.** **Crotalia aff. rutundifolia**, **Pinaroppus roseus**.

h) En la zona de transición al pinar que ocupa el piso altitudinal superior se reportan especies de **Pinus leiophilla**, **Pinus pseudostrobus**, **Pinus montezumae** y **Pinus michoacana**. Este tipo de vegetación se localiza en las faldas de los cerros, marcando el límite inferior de los pinares a veces mezclado entre ellos. Esta vegetación se presenta entre los 2,000 y 2,400 msnm de altitud y se distribuye alrededor del valle de Morelia. Por estar cerca de la ciudad de Morelia son los más explotados y destruidos dando lugar a la formación de pastizales secundarios que se utilizan en ganadería.

i) Bosque de Pino: Este tipo de vegetación se presenta a una altura entre los 10 y 20 metros y los elementos más comunes son: **Pinus pseudostrobus**, **Pinus leiophylla**, **Pinus lawsonii**, **Pinus michoacana**, **Pinus montezumae**, **Pinus teocote** estos pueden estar acompañados por especies de *Quercus*, en el estrato arbóreo; mientras que en el estrato arbustivo esta acompañado de algunas especies de **Eupatorium**, **Callindra** y **Senecio**. Dentro del estrato herbáceo se reportan algunos elementos de los géneros **Bouvardia**, **Castilleja**, **Geranium**, **Muhlebergia**, **Stevia**, **Ganaphalium** y **Lobelia**. Este tipo de bosque se localiza hacia las áreas montañosas y frías del valle de Morelia entre los 2,200 y 3,000 msnm por su importancia maderera también son los más explotados. Se ha identificado comunidades de pino y encino que interactúan en el mismo espacio geográfico como es el caso del bosque de Pino-Encino que se presentan en la zona Sur, Suroeste y Noreste del municipio.

j) Bosque de Galería: El bosque de galería actualmente se encuentra degradado y quedan muy pocos individuos de **Taxodium mucronatum** (ahuehuete) y **Fraxinus uhdei** (fresno), **Alnus acuminata** (aile), **Salix bonplandiana** (sauce).

k) Bosque Mesofilo de montaña: La especie más común es **Carpinus caroliniana** (moralillo), **Alnus acuminata spp. arguta** (alie), **Clethra mexicana** (jaboncillo), **Fraxinus uhdei** (fresno), **Cornus disciflora** (variador), **Symplocos citrea** (garrapato), **Ternstroemia pringlei** (trompillo), **Tilia mexicana** (sirimu), **Abies religiosa var. Emarginata** (pinabete).

l) Bosque de Oyamel: En éste bosque se reportan como especie dominante: **Abies religiosa** (pinabete u oyamel).

m) Los pastizales inducidos: Son pastizales secundarios de diversos tipos de vegetación se localiza en altitudes menores a los 3,000 msnm. Se desarrollan en la región sobre áreas alteradas por el hombre y animales domésticos, generalmente a partir de bosque de encino o del matorral subtropical que fueron expuestos a un pastoreo intenso.

Esta vegetación se distribuye en toda la porción Norte de la microcuenca del Río Grande, en el Cerro del Quinceo y Tetillas, en el Cerro del Punhuato, Pelón y faldas de los mismos. Estos ocupan áreas agrícolas abandonadas generalmente a partir de bosques de encino o de matorral subtropical.

Los cultivos más importantes son: maíz (***Zea mays***), frijol (***Phaseolus vulgaris***), calabaza (***Cucurbita pepo***), sorgo (***Sorghum vulgare***), chícharo (***Pisumativum sp.***), alfalfa (***Medicago sativa***), garbanzo (***Ciser arietum***), Avena (***Avena sativa***), cebada (***Hordeum vulgare***), chilacayote (***Cucurbita ficifolia***).

5.7 Fauna del Municipio de Morelia

Entre la fauna mas importante se presentan los grupos de anfibios como Salamandra de las especies ***Ambystoma amblycephalum***, ***Ambystoma ordinarium***, sapos y ranas ***Bufo compactiles***, ***Hyla aericolor***, ***Hyla bistinca***, ***Hyla eximia***, ***Eleutherodactylus hobartsmithi***, ***Eleutherodactylus microbatrachylus*** y ***Hypopachus variolosos***.

Entre los reptiles se reportan la Falsa coralillo ***Lampropeltis triangulum arcifera***, ***Masticophis taeniatus girardi***, culebra látigo rayada, ***Phituophis deppei deppei***, Alicante, ***Rhadinaea Hesperia***, culebra rayada occidental, ***Sibon fasiata guerreroensis***, culebra rayada de guerrero, ***Toluca lineata lineata***, Toluqueña rayada, ***Storeria storerioides***, culebra parda mexicana, ***Thamnophis melanogaster canescens***, culebra de agua panza negruzca-gris, ***Thamnophis pulchrilatus***, Jarretera de tierras altas mexicanas, ***T. eques eques***, culebra de agua rayada, ***T. cyrtopsis collaris***, culebra de agua nómada de Smith, ***Conopsis nasus***, culebra de tierra de la meseta mexicana, ***Kinosternos integrum***, Casquito, ***Sceloporus aeneus***, Llanerita, ***S. grammicas microlepidotus***, Chintete de mezquite común, ***S. torcuatus toricuatus***, Rápido barrado de meseta, ***Ramphotyphlops braminus***, Culebra ciega de Braminy, ***Crotalus polysticus***, Cascabel acuática, ***C. triseriatus aquilus***, Hocico de puerco, ***C. triseratus triseratus***, Cascabel oscura mexicana.

Las aves más comunes son: ***Corvus corax Linnaeus***, Cuervo común, ***Calocitta formosa Swinson***, Urraca, ***Capodacus mexicanus Müller***, Pinzón mexicano, ***Budo virginianus Gmelin***, Búho carnudo, ***Glaucidium brasilianum Gmelin***, Tecolote, ***Cathartes aura Linnaeus***, Zopilote, ***Columbina inca Lesson***, Tórtola cola larga, ***Aphelocoma ultramarina Bonaparte***, Chara pecho gris, ***Basileuterus rufifrons Swainson***, Chipe garra rufa, ***Carduelis pinus Wilson***, Jilguero pinero, ***Carduelis psaltria Say***, Jilguero dominico, ***Chondestes grammacus Say***, Gorrión arlequín, ***Dendroica townsendi Townsend***, Chipe negroamarillo, ***Dendroica petechia Linnaeus***, Chipe Amarillo, ***Guiraca caerulea Linnaeus***, Picogordo azul, ***Icteria virens Linnaeus***, Buscabreña, ***Icterus cucullatus Swinson***, Balsero encapuchado, ***Icterus galbula Linnaeus***, Balsero de Baltimore, ***Mniotilta varia Linnaeus***, Chipe trepador, ***Myioburus myniatus Swainson***, Chipe de montaña, ***Oporornis tolmie Townsend*** y ***Passerina cyanea Linnaeus***, Colorín azul, ***Passerina versicolor Bonaparte***, Colorín morado, ***Pseuedramus taeniatus Du Bus de Gisignies***, Ocotero enmascarado, ***Phucticus melanocephalus Swainson***, Picogordo, ***Pipilo fuscus Swainson***, Toquí pardo, ***Piranga flava Viellot***, Tangará encinera, ***Quiscalus mexicanus Gmelin***, Zanate mexicano.

Además se cuenta con el Gorrión ceja blanca ***Spizella passerina Bechstein***, , ***Sporophila torqueola Bonaparte***, Semillero de collar, ***Vermivora celata Say***, Chipe corona naranja, ***V. ruficapilla Wilson***, Chipe de coronilla, ***Wilsonia pusilla Wilson***, Chipe corona negra, ***Mimus polyglottus Linnaeus***, Cenzontle norteño, ***Toxostoma curvirostre Swinson***, Cuitlacoche pico curvo, ***Cathartes aurantirostris Hartlaub***, Zorzal pico naranja, ***C. gattatus Pallos***, Zorzal cola rufa, ***Myadestes obscurus Lafresnaye***, Clarín jilguero, ***M. occidentalis***, ***Polioptila caerulea Linnaeus***, Perlita azul gris, ***Regulus calendula Linnaeus***, Reyzeuelo de rojo, ***Sixilia sialis Linnaeus***, Azulejo garganta canela, ***Turdus assimilis Cabanis***, Mirlo garganta blanca, ***Passer domesticus Linnaeus***, Gorrión casero, ***Ptilogonys cinereus Swainson***, Capulinerio gris, ***Otus kenicottii Linnaeus***, Tecolote oriental, ***Amazilia beryllina***, Colibrí berilo, ***Cyconthus latirostris Swainso***, Colibrí pico ancho, ***Amazilia violieps Gould***, Colibrí corona violeta,

Selasphorus platycercus Swainson, Zumbador cola ancha, ***Selasphorus rufus Gmelin***, Zumbador rufo, ***Campylorhynchus gularis Sclater***, Matraca serrana, ***Thrymanes bewickii Audubon***, Chivirin cola oscura, ***Troglodytes aedon Vieillot***, Chivirin saltapared, ***Empidonax difficilis Baird***, Mosquetero californiano, ***E. fulvifrons***, Mosquetero pecho leonado, ***Myiarchus cinerascens Lawrence***, Papamoscas cenizo, ***Myiarchus tuberculifer D'orbigny & Lafresnaye***, Papamoscas triste, ***Pyrocephalus rubinus Boddaert***, Mosquetero cardenal, ***Tyrannus vociferans Swainson***, Tirano gritón, ***Vireo huttoni Cassin***, Vireo reyezuelo.

Los mamíferos listados para este municipio son: ***Canis latrans***, Coyote, ***Urocyon cinereoargenteus***, Zorra gris, ***Dasypus novemcinctus***, Armadillo, ***Delphis virginiana***, Tlacuache, zarigüeya, ***Marmosa canvacens***, Tlacuachín, ratón tlacuache, ***Pappogeomys tylorhinus***, Tuzas como ***Pappogeomys alconii***, ***Pappogeomys gymnurus***, ***Pappogeomys umbrinus***, y ***Liomys irroratus***, Tucita, ***Natalus stramineus***, Murciélagos como ***Balantiopteryx plicata***, ***Anoura geofroyi***, ***Artibeus intermedius***, ***Glossophaga curozoe***, ***Glossophaga mexicana***, ***Glossophaga soricina***, ***Glossophaga morenoi***, ***Letonycteris nivalis***, ***Musonycteris harrisoni***, ***Musonycteris choeronycteris harrisoni***, ***Sturnira lillium***, ***Sturnira angelina***, ***Sturnira ludurensis***, ***Bassariscus astutus***, ***Eumops glaucinus***, ***Eumops underwoodi***, ***Leptonycteris yerbabuenae***, ***Leptonycteris nivalis***, ***Leptonycteris sanborni***, ***Eptesicus furinalis***, ***Eptesicus gaumeri***, ***Eptesicus fuscus***, ***Lasiurus borealis***, ***Lasiurus cinerea***, ***Myotis auriculus***, ***Myotis eotis***, ***Myotis thysanodes***, ***Myotis velifer***, ***Myotis yomanensis***, ***Molossus ater***, ***Cynomys malagai***, ***Molossus sinaloae***, ***Molossus trinitatus***, ***Nyctinomops macrotis***, ***Tadarida femorosacca***, ***Nyctinomops macrotis tadarida macrotis***, ***Promops centralis***, ***Tadarida brasiliensis***, ***Pteronotus davyi***, ***Pteronotus suapurensii***, ***Pteronotus personatus chilonycteris torrei***, ***Pteronotus parnelli chilonycteris parnelli***, ***Mormoops megalophyla aelo megalophyla***, y ***Baiomys musculus***.

Entre roedores se encuentran ratones y ratas de campo *Baiomys taylori*, *Metorito microtus mexicanus*, *Neotoma mexicana*, *Oryzomys covesi*, *O. fulvesces*, *O. palustris*, *Peromyscus difficilis*, *P. truei*, *P. spicilegus*, *P. Boylii*, *P. maniculatus*, *Rattus norvegicus*, *Sigmodon hispidus*, *Sigmodon mascotensis*, *S. fulviventor*, *S. hallen*, *S. hispidus*, *Conepatus mesoleucus* y *Mus musculus*, Ratón de casa, *Neotoma albigula*, *Reithrodontomys fulvescens*, *Reithrodontomys microdon*, *Peromyscus levipes*, Rata parda, *Rattus rattus*, Rata gris, *Reithrodontomys chysopsis*, Zorrillo de una banda, *Mephitis macroura*, Zorrillo de dos bandas, *Mustela frenata*, Comadreja, hurón, *Nasua nasua*, Tejón, *Nasua Larica*, Tejón, *Proyon Iotor*, Mapache, *Sciurus aureogaster*, Ardilla de árbol, *Notiosorex crawdordi*, las Musarañas, *Notiosorex gigas*, *Notiosorex megorex gigas*, *Sorex oreopolus*, *Sorex saussurei*, *Sorex vagranas*, *Sorex obscurus*.

Tabla 1. Especies en peligro de extinción.

FLORA		
<i>Fraxinus udhei</i>	Fresno	Protegida
<i>Pinus martinezii</i>	Pino	Protegida (peligro de extinción)
ANFIBIOS		
<i>Ambystoma amblecephalum</i>	Ajolote	Protegida (peligro de extinción)
<i>Ambysotma ordinarium</i>	Ajolote	Protegida (peligro de extinción)
<i>Hyla bistincta</i>	Rana	Rara (peligro de extinción)
REPTILES		
<i>Crotalus polystictus</i>	Culebra	Protegida (peligro de extinción)
<i>Kinosternon integrum</i>	Casquillo	Protegida (peligro de extinción)
<i>Rhadinea hesperia</i>	Culebra rayada occ.	Rara (peligro de extinción)
<i>Sceleporus grammicus</i>	Llanerita	Rara (peligro de extinción)
AVES		
<i>Icterus cucullatus</i>	Bolsero encapuchado	Amenazada
<i>Myadestes accidentalis</i>	Jilguero	Protegida
MAMÍFEROS		
<i>Peromyscus maniculatus</i>	Ratón	Amenazada

5.8 Demografía del Municipio de Morelia

El crecimiento demográfico en el municipio de Morelia, desde mediados del siglo pasado, presenta una dinámica mayor a la experimentada en el Estado (en algunos casos mayor al doble como en el periodo 1970-1980). Sin embargo, la tasa de crecimiento se ha reducido de 4.9 a 2.3 en el periodo de 1990-2000; dinámica de crecimiento demográfico que equivale a casi el doble de las tasas estatales de 2.1 y 1.2 respectivamente.

La densidad de población en el municipio de Morelia se incremento de 369 habitantes por kilómetro cuadrado en 1990 a 465 en el 2000, indicador muy por arriba de la densidad estatal de 67 habitantes por kilómetro cuadrado conforme al último censo del 2000.

De acuerdo a INEGI, 2000 en el Censo General de Población y Vivienda, presenta una mayor preponderancia en su jerarquía urbana al pasar de 492,901 habitantes en 1990 a 620,532 en el año 2000. El proceso de concentración demográfica que se acentúa a nivel municipio de Morelia donde el 88% de su población reside en el área urbana de la capital estatal, en contraste con el 86% de 1990, y en el municipio de Morelia registro 234 localidades de las cuales únicamente 4 (2%) se consideraron urbanas, es decir, mayores a 2,500 habitantes y el resto 230 (98%) rurales, en las que habitan el 92% y el 8% de la población respectivamente.

El crecimiento acelerado en el municipio de Morelia, conforme a las tasas de crecimiento y con base a las estadísticas de la población a nivel municipal, se debe al saldo neto migratorio positivo, es decir a la mayor cantidad de personas que inmigran al municipio de Morelia.

5.9 Aspectos Económicos del Municipio de Morelia

La población económicamente activa en el municipio de Morelia ha tenido un incremento de 145,859 a 253,505 personas durante la década 1990-2000, lo cual implica un aumento sustantivo en la proporción de 43% a 51% respecto a la población total de 12 años y mas, lo cual implica una mayor demanda de empleo.

Con relación a la ocupación, destaca el incremento durante la última década de la población económicamente activa (PEA) de la región Centro que paso de 41% al 47% y que 97 de cada 100 personas se declararon ocupadas en 1990 mientras que para el 2000 dicha cifra aumento a 99.

Las principales actividades económicas en el municipio son la primaria que comprende las actividades agrícolas, ganaderas, silvícolas, de caza y pesca; las actividades secundarias donde se integra la industria manufacturera, construcción, de agua, y el sector terciario con actividades comerciales, turismo y de servicios.

La importancia económica de la región centro se manifiesta en que concentra el 23% de la ocupada a nivel estatal; la actividad económica preponderante es la relacionada al ramo del comercio y servicios, el cual proporción empleo, en el 2000, al 63% de la población que se registro como ocupada en el municipio, contrastando con el 49% obtenido a nivel estatal; además que el 30% de la población económicamente activa ocupada en este sector de todo el Estado, reside en esta zona. De manera complementaria la población ocupada se distribuye en el sector secundario o industrial que emplea el 25% y el sector primario o agropecuario que ocupa al 0% de la población económicamente activa de la región (INEGI, 2000).

VI. MÉTODO

6.1 Delimitación del área de estudio

Para la delimitación geográfica del área de estudio se utilizaron las cartas topográficas del municipio de Morelia (E14A12, E14A13, E14A22, E14A23, E14A32 y E14A33), para el reconocimiento del área de cada embalse, así como la verificación de campo de los puntos de referencia para la ubicación geográfica de cada una de las presas e identificar la subcuenca de Morelia y las microcuencas que la integran, se realizó un reconocimiento de las principales características morfológicas que integran cada una de las presas, donde se ubicaron las presas de Umécuaro, Las Angustias, Loma Caliente y La Mintzita.

Posteriormente, se realizaron salidas de campo y se llevo un registro de los elementos geográficos, variables físicas y química del agua de las presas de Umécuaro, Las Angustias, Loma Caliente y La Mintzita.

6.1.1 Parámetros de la Cuenca

Para la evaluación de la cuenca se obtuvieron los parámetros de forma como el Factor de forma donde se considera que mientras mas ancho tiende al círculo y menos ancho tiende a ser cuencas mas largas; el Índice de forma donde el valor de $1/1=$ círculo perfecto y valores mayores de 1 (1.10, 1,25, 1.50, 2.00) se va obrogando, y con valores menores de 1 (0.90, 0.80, 0.75, 0.50), menos ancho tiende a cuencas largas; y la Relación de elongación valor que cuando se acerca a la unidad (1.00) se considera como una cuenca plana; y para cuencas con relieve pronunciado, el valor resultante se encuentra entre 0.60 y 0.80. Lo anterior se calculo a partir de las siguientes formulas:

- ❖ El **factor de forma** (Ff) que es expresado por la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del eje axial, se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$Ff = \frac{Ap}{La}$$

Donde: Ff = Factor de forma
 Ap = Ancho promedio
 La = Longitud axial

- ❖ El **índice de forma** (If) es la relación entre el área de la cuenca y la longitud y se obtiene utilizando la ecuación:

$$If = \frac{A}{La^2}$$

Donde: If = Índice de forma
 A = Área de la cuenca
 La = Longitud axial

- ❖ La **relación de elongación** (Re) es la expresión del diámetro de un círculo de igual área que la cuenca y la longitud axial de estas, y se obtiene de la ecuación:

$$Re = \frac{0.318P}{La}$$

Donde: Re = Relación de elongación
 0.318 = Constante
 P = Perímetro de la cuenca
 La = Longitud axial

- ❖ La **Pendiente** influye de directamente en la rapidez de los escurrimientos. Ésta se clasifica a partir de la propuesta de Klingebiel y Montgomery (1961) (Tabla 1) y se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Sm = \frac{H}{La * 100}$$

Donde: Sm = Pendiente media (%)
 H = Diferencia de elevación entre el punto mas alejado al punto de interés
 La = Longitud axial

Tabla 2. Clasificación de Pendientes según Klingebiel y Montgomery (1961).

Zona	Valores		Descripción
	Grados	Porcentajes	
I	0 – 2	0 - 3	Plano
II	2 - 3	3 - 6	Ligeramente ondulado
III	3 - 7	6 - 12	Ondulado
IV	7 - 14	12 - 25	Muy ondulado
V	14 - 22	25 - 40	Ligeramente escarpado
VI	22 - 31	40 - 60	Escarpado
VII	31 - 37	60 - 75	Muy escarpado
VIII	>37	>75	Montañoso

6.2 Morfometría

6.2.1 Mapa de campo

Se elaboro un mapa actualizado para las presas de Umécuaro, las Angustias, Loma Caliente y la Mintzita en una escala 1:50,000 a partir las cartas topográficas. El mapa general se trazo a partir de mapas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, E14A23 y E14A33) en escala 1:50,000 y fue corregido utilizando ortofotos digitales (E14A23A, E14A23B, E14A23D y E14A33A), fotografías aéreas escala 1:75,000 de fecha del mes de Febrero de 1995, con una proyección cartográfica del sistema Universal Transversa de Mercator (ZONA UTM 14), (DATUM: ITRF92 , ELIPSOIDE: GRS 80, Columnas: 5999, Renglones: 7075, dimensiones del pixel X, Y: 2 metros) verificadas en campo.

6.2.2 Trabajo de campo

Se realizó un reconocimiento de los tres cuerpos de agua artificiales y el manantial con el objeto de identificar puntos de referencia, el levantamiento topográfico del perímetro de cada presa se realizó utilizando una estación total marca "Leica" modelo TC705 y además se identificaron obstáculos potenciales para la navegación.

A partir de este reconocimiento de campo se diseñó un programa de ecosondeo que consistió en recorridos en zigzag para obtener una mayor cobertura en cada uno de los sistemas acuáticos. Para el estudio batimétrico se utilizó una ecosonda digital equipada con un geoposicionador satelital marca "Garmin" modelo GPS Map 235 Sounder. Los puntos de inicio y término de los transectos se localizaron por medio de lecturas de geoposicionamiento de un geoposicionador Garmin modelo GPS V.

6.2.3 Mapa batimétrico

Se elaboraron los mapas batimétricos reproduciendo mapas a escala 1:2000 de cada uno de los cuerpos de agua, donde variaron los puntos muestreo e isobatas dependiendo del tamaño y profundidades de los ecosistemas acuáticos.

En la presa de Umécuaro se realizó un muestreo para el perímetro con un total de 200 puntos y las isobatas se elaboraron con 470 puntos tomados en el cuerpo de agua. En la presa de Loma Caliente se realizó el perímetro con un total de 100 puntos y las isobatas se elaboraron con 284 puntos. En la presa de Las Angustias se realizó el perímetro con un total de 66 puntos y las isobatas se elaboraron con 234 puntos, y en la presa de La Mintzita se realizó el perímetro con 55 puntos y las isobatas se elaboraron con 274 puntos. Se evaluaron 20 parámetros morfométricos siguiendo los criterios propuestos por Håkanson, 1981. La información registrada de campo se evaluó con un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se integró la información geodésica que genera el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y que fue empleada como elemento necesario para la interpretación geográfica.

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

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

6.2.3.1 Valor informativo de los mapas batimétricos

Para definir la precisión y la intensidad de los trabajos realizados en campo, así como su valor en la interpretación gráfica y morfométrica, fue necesario evaluar el valor informativo del mapa batimétrico.

Para evaluar la calidad de la información del presente estudio se aplicó el modelo de optimización propuesto por Häkanson (1981). A partir de esta evaluación fue posible definir la certidumbre del mapa con respecto a la información las presas de Umécuaro se realizaron 25 transectos con una longitud total de 10.425 km, considerando la forma del cuerpo de agua estos transectos se realizaron tanto en forma lineal como en forma de zigzag; En Loma Caliente se realizaron 10 transectos con una longitud total de 3.17087 km, considerando la forma del cuerpo de agua se realizaron transectos en forma lineal; La Mintzita se lograron siete transectos con una longitud total de 0.98028 km, en forma lineal como en forma de zigzag; y en Las Angustias se realizaron 10 transectos con una longitud total de 2.4699 km, en forma lineal. Las evaluaciones de estos mapas batimétricos, se realizaron aplicando la siguiente relación que proporciona el valor informático:

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

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

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

Donde:

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

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

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

a = Área del lago en km²

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

e = La base de logaritmos naturales = 2.718

L_r = El valor de intensidad de medición

F = El normalizado desarrollo de orilla

6.3 Hidrodinámica

6.3.1 Registros de viento

Para identificar la incidencia de los vientos dominantes a lo largo del año se realizó una revisión de los registros meteorológicos disponibles en cada una de las estaciones correspondientes a cada presa y el manantial. En el casos de las presas de Umécuaro y Loma Caliente se registraron los datos de la estación (16120) de Santiago Undameo, para Las Angustias la estación (16055) de Jesús del Monte y para La Mintzita la estación (16080) Morelia, todas estas estaciones se ubican en el municipio de Morelia. Con la información obtenida se determinó el tipo de clima regional y la frecuencia mensual de dirección y velocidad del viento.

6.3.2 Corrientes de agua

Se utilizaron veletas de corriente con dimensiones de 40 x 40 centímetros elaboradas de metal y equipadas con un flotador de ubicación al nivel de la superficie. Estas veletas fueron rastreadas a distancia por medio de una embarcación de remo. Después de un tiempo no menor a una hora las veletas fueron ubicadas mediante el empleo de un sistema GPS.

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

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

Las corrientes fueron estimadas al nivel de superficie, a 0.50 m, 1.00 m y a 2.00 m de profundidad, previa estimación de la profundidad promedio y análisis de la batimetría de las presas de Umécuaro y Loma Caliente, de igual manera para la presa de Las Angustias fue de 0.5 m y 1.00 m, para el caso de La Mintzita no fue posible estimar las corrientes debido a la presencia de lirio que no permitió la realización esta actividad.

6.4. Óptica

6.4.1 Estaciones de muestreo

Se estableció una estación de muestreo en cada cuerpo de agua. Éstas se ubicaron mediante el empleo del geoposicionador, en las zonas más profundas.

6.4.2 Registro de luz

Se realizó una serie de registros de luz obtenidos con lecturas a diferentes profundidades en cada una de las estaciones de muestreo de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita. Para disminuir la

interferencia de condiciones atmosféricas incidentales, no se realizaron registros bajo condiciones de viento fuerte, oleaje o nubosidad (Chacón, 1993).

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

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

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

Donde:

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

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

Las lecturas de transmitancia se registraron inmediatamente debajo de la superficie del agua, a 0.2, 0.5 m y a cada metro de profundidad hasta alcanzar una profundidad en donde el porcentaje de transmitancia fue menor al 1.0%. La transmitancia de luz se registró empleando un transmisor digital marca "Kahlisco" modelo Digital in-situ transmittance meter No. 269WD170, calibrado a 0.40 m de distancia máxima entre la lámpara emisora de luz y la fotocelda de recepción.

El sistema fue suspendido en agua clara antes de utilizarlo en cada uno de los cuerpos de agua y los controles fueron ajustados hasta que la transmitancia fuera del 100% (Chacón, 1993).

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

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

Donde:

c = Coeficiente de atenuación horizontal de luz (m)

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

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

Para determinar la transparencia del agua se tomaron lecturas del disco de Secchi (Z_{sd}); que es un disco blanco de 20 cm de diámetro para el caso de lagos, con sectores de color negro y blanco, cuyo diámetro es el suficiente para que no se vea bajo un ángulo demasiado pequeño antes de desaparecer, la transparencia del agua se expresa como la profundidad de visión del disco de Secchi, este se deja descender en el agua pendiendo de una cuerda registrando la profundidad a la que dejó de verse, lo cual es indicativo de la desaparición entre el contraste entre la luz difusa que envía el agua y la misma sumada a un rayo de luz paralela, atenuada a través de un espesor de agua entre una y dos veces la profundidad a la que se encuentra el disco, según sea la cantidad de luz difusa que interviene en el retorno.

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

El disco de Secchi se ha utilizado como medida directa de la transparencia del lago. Carlson, (1977) menciona 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, existe una relación entre la profundidad a la que el disco desaparece y el coeficiente de atenuación vertical de luz (K_d) (Carlson, 1977 y Lorenzen, 1980), dicha relación se expresa como:

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

En donde:

Z_{sd} = profundidad del disco de Secchi

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

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

$$Eu = \frac{\ln(100)}{kd}$$

En donde:

Kd = coeficiente de atenuación vertical de luz

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

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

En donde:

A = Absorbancia corregida

Kd = coeficiente de atenuación vertical de luz

c = coeficiente de atenuación horizontal de luz (m)

La suma de los coeficientes de atenuación vertical y horizontal ha sido empleada como valor de la claridad del agua con la profundidad del disco de Secchi, la atenuación horizontal esta estrechamente relacionado con la atenuación horizontal, la cual es muy sensible a la dispersión de los rayos por las partículas presentes en al agua (Preisendorfer, 1986), la zona eufótica ha sido considerada

como una función de la atenuación vertical de la luz, la cual depende también de la absorción y de la dispersión, esta con menor efecto en la atenuación vertical que en la horizontal (Tilzer, 1988).

6.5 Datos climáticos

Se obtuvo la información de la recopilación de los periodos de registro de 1991 a 2005 de las estaciones meteorológicas administradas por Comisión Nacional del Agua (CNA) en el municipio de Morelia, para las presas de Umécuaro y Loma Caliente corresponden los registros obtenidos de la estación (16120) Santiago Undameo entre las coordenadas geográficas latitud $19^{\circ} 36' 10''$ N y longitud $101^{\circ} 19' 12''$ W con una elevación de 2048 msnm, para el cuerpo de agua de Las Angustias corresponden los registros de la estación (16055) Jesús del Monte entre las coordenadas geográficas latitud $19^{\circ} 40' 00''$ N y longitud $101^{\circ} 07' 00''$ W con una elevación de 2100 msnm, así mismo para la presa de La Mintzita los registros obtenidos de la estación (16080) Morelia entre las coordenadas geográficas latitud $19^{\circ} 42' 00''$ N y longitud $101^{\circ} 11' 00''$ W con una elevación de 1915 msnm, con los que se determino los patrones climáticos respectivos.

Tiempo de retorno de lluvias

Se calcula la posibilidad de retorno de la lluvia con la siguiente relación:

$$P=M/N+1*100$$

Donde:

P= Precipitación (Probabilidad de lluvia)

M= Numero orden (Decreciente)

N= Numero de observaciones

Periodo de retorno de la lluvia

$$R=T/m$$

Donde:

R= Periodo de Retorno o frecuencia de la lluvia

T= Numero total de años de registro m=Numero total de orden de la lluvia

Tipo de Clima

Se realizo de acuerdo a la Guía para clasificar el clima según el sistema de Koppen modificado por Enriqueta García (1988).

6.6 Calidad del agua

6.6.1 Muestreo de agua

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

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

Para el presente estudio, de manera simultánea, se registró la temperatura de la superficie del agua, de la misma manera, se obtuvieron lecturas de potencial de Hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica empleando un medidor marca "Conductronic" modelo PC18 equipado con una celda de conductividad, un electrodo de pH y un termistor integrado. La conductividad eléctrica de una solución depende de la concentración total de la sustancia ionizada, de su naturaleza y de la temperatura. Por lo tanto, la conductancia específica fue expresada en microSiemens/cm.

6.6.2 Análisis de laboratorio

6.6.2.1 Características fisicoquímicas del agua

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

La alcalinidad fenolftaleínica y total se determinó mediante la técnica titrimétrica usando 100 mL de muestra con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.02 N como solución titulante y como indicadores fenolftaleína y verde de bromocresol (APHA, 1985);

Cálculo:

$$\frac{mgCaCO_3}{L} = A * 10$$

A= ml de ácido sulfúrico utilizado

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

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

$$Dureza\ total\ (mg\ CaCO_3L^{-1}) = mgCaCO_3L^{-1} = A * 40$$

ó

$$\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1} = \frac{A * B * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

Donde:

A= mL de EDTA

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

La interpretación de la conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA72-1981 (Tabla 3).

Tabla 3. Interpretación de la dureza de calcio (CaCO₃).

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

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-AA72-1981

Para el análisis de la dureza por calcio se utilizaron muestras de 50.0 mL, se agregaron 1.2 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 1N, hasta ajustar el potencial de Hidrógeno (pH) en un intervalo de 13-14. Posteriormente se agregaron 0.02g del indicador murexida, con la técnica titrimétrica y su posterior titulación con solución valorada de la sal Disódica de Etilen Diamino Tetra Acético (EDTA), (APHA, 1985). Para determinar la concentración se aplicó la fórmula:

$$\text{Concentración de dureza cálcica (mg Ca/L)} = \text{mgCa} / \text{L} = \frac{AB * 400.8}{\text{mL de muestra}}$$

Donde: **A**= mL de titulación

B= mg CaCO₃=1 mL EDTA

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

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

$$mEqCa^{+2} L^{-1} = mg Ca^{+2} L^{-1} * 0.0499$$

$$mg Mg^{+2} l^{-1} = 12.16 * [mEq\text{dureza } L^{-1} - mEqCa^{+2} L^{-1}]$$

La concentración de sólidos suspendidos totales se estimó por la técnica gravimétrica. Para su determinación las muestras de agua se filtraron por vacío a través de una membrana de fibra de vidrio de peso constante con un diámetro de poro de 0.45 μm . Se secaron a 105 °C y se registró su peso en una balanza analítica hasta alcanzar una lectura de 0.01 mg de precisión (Strickland y Parsons, 1972). La concentración de sólidos sedimentables, se realizó mediante la técnica volumétrica de acuerdo con la propiedad de densidad que tienen los sólidos de sedimentarse utilizando para ello el cono de sedimentación tipo Imhoff (APHA, 1985).

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

La concentración de fósforo total se estimó a una longitud de onda de 880 nm mediante la técnica del fosfomolibdato (Murphy y Riley, 1962), agregando inicialmente a la muestra de agua un digestor de persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$). Posteriormente se colocó la muestra en una autoclave a 15 psi ($1kg/cm^2$) de presión. La curva de calibración empleada fue de 10 – 500 $\mu g/L$ (R^2 : 0.99; Error Residual: 0.001336) (APHA, 1985) (Fig. 8).

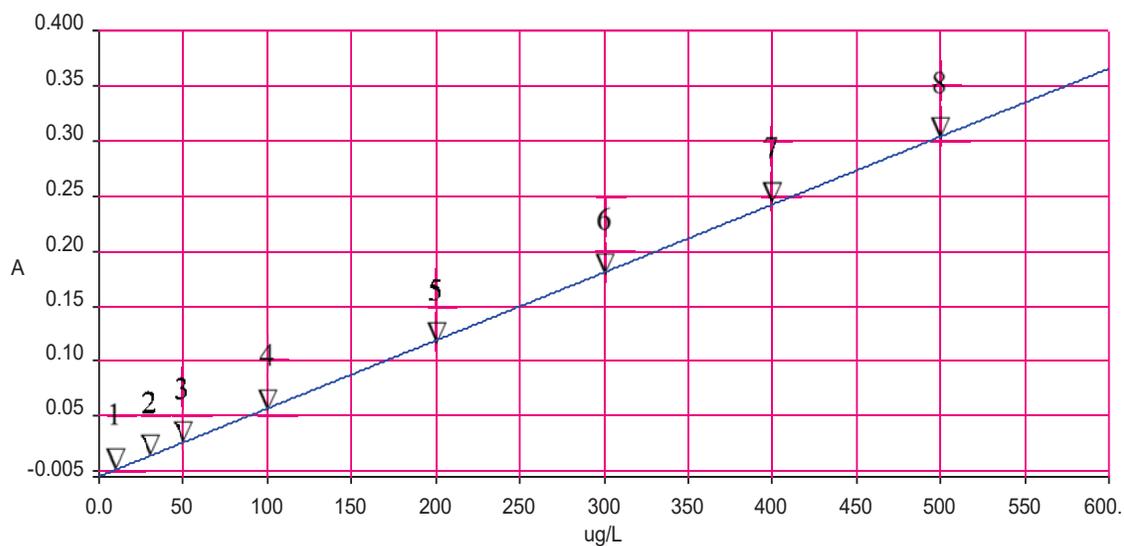


Figura 8. Curva de calibración de fósforo total.

La concentración de fosfato reactivo soluble u ortofosfato se estimó mediante la técnica del ácido ascórbico con una lectura a 880 nm empleando una curva de calibración de 10 –1000 $\mu\text{g/L}$ (R^2 : 0.99; Error Residual: 0.006709,) (APHA, 1985) (Fig. 9).

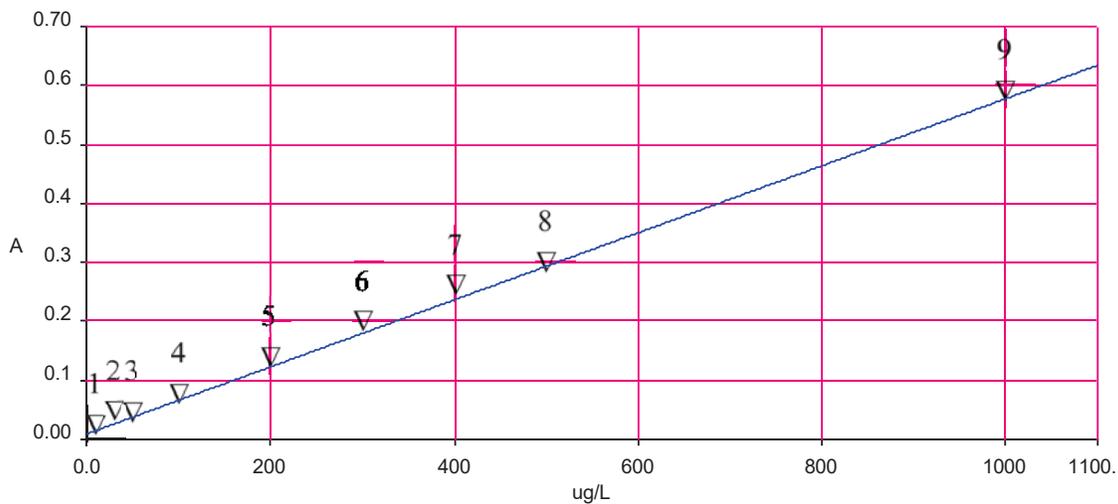


Figura 9. Curva de calibración de fósforo reactivo soluble.

Para la determinar la concentración de nitritos se tomaron las lecturas de muestras a 543 nm de longitud de onda utilizando una curva de calibración del amplitud de 0.01 a 1.0 mg/L (R^2 : 0.99 y Error Residual: 0.017786) expresando la concentración en unidades de mg NO₂-N/L (APHA, 1985) utilizando la técnica colorimétrica de la Sulfanilamida (Fig. 10).

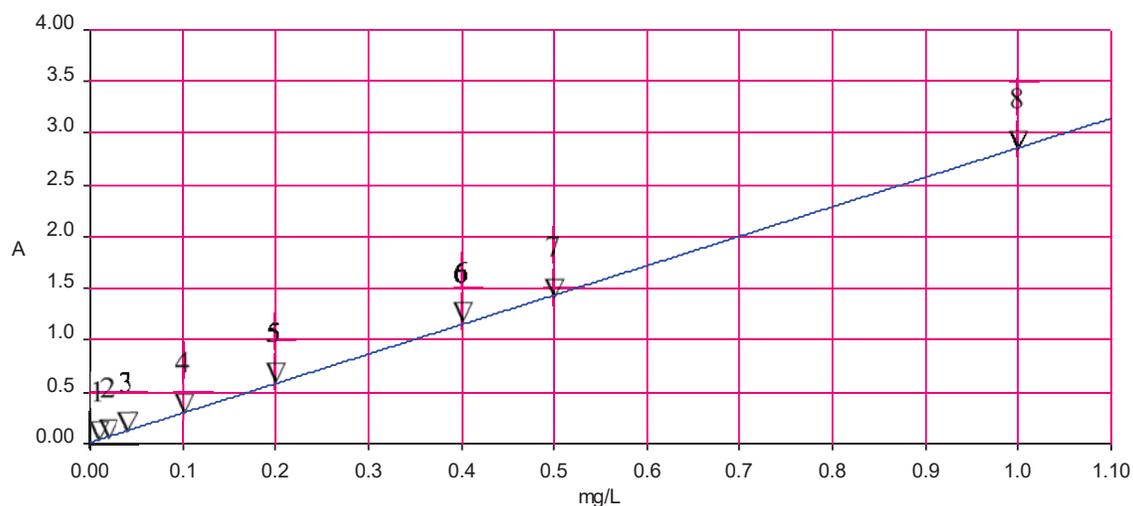


Figura 10. Curva de calibración para estimar la concentración de nitritos.

Se estimó la concentración de nitrato a una longitud de onda de 425 nm mediante una curva de calibración de amplitud de 0.02 – 10 mg NO₃-N /L (R^2 :0.99 y Error Residual: 0.021488), utilizando la técnica colorimétrica de la brucina (Fig. 11).

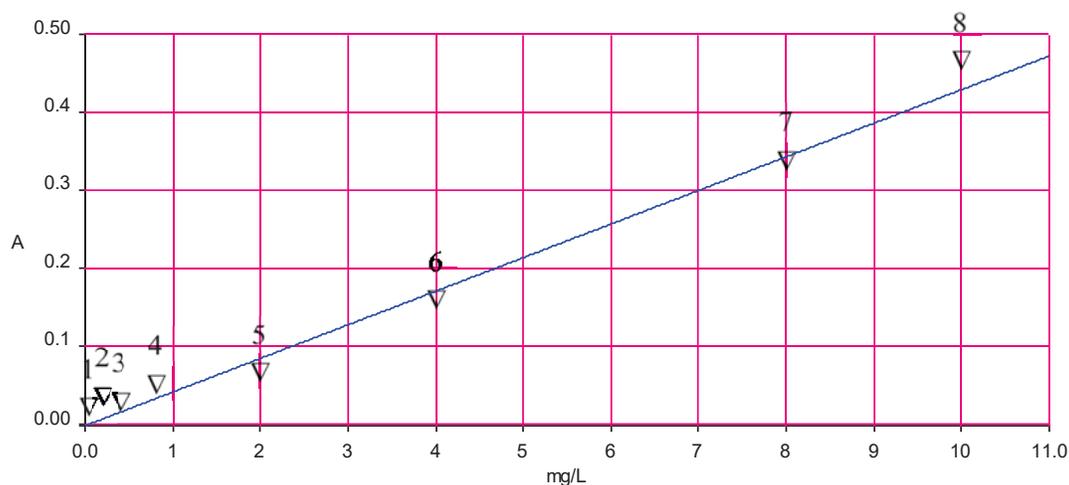


Figura 11. Curva de calibración para estimar la concentración de nitratos

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

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

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

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

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

6.4.2.2 Sedimentos

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

Se realizó un pretratamiento a las muestras de sedimento, las cuales fueron pesadas en una balanza analítica y se sometieron a su deshidratación 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 y los posibles cambios subsecuentes que se puedan presentar durante proceso (Folk, 1969).

6.4.2.3 Análisis de textura

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

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

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

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

Para la realizar la clasificación textural se expreso por los nombres de las clases que se encuentran en el *Triángulo de texturas*. Los nombres de las clases de suelos básicamente consisten en los términos: *arena*, *limo*, *arcilla* y *migajón o franco*, usados ya sea como nombres o adjetivos o ambos. Los términos texturales se definen de una manera gráfica en un diagrama triangular que representa los valores de las tres fracciones (Fig. 12).

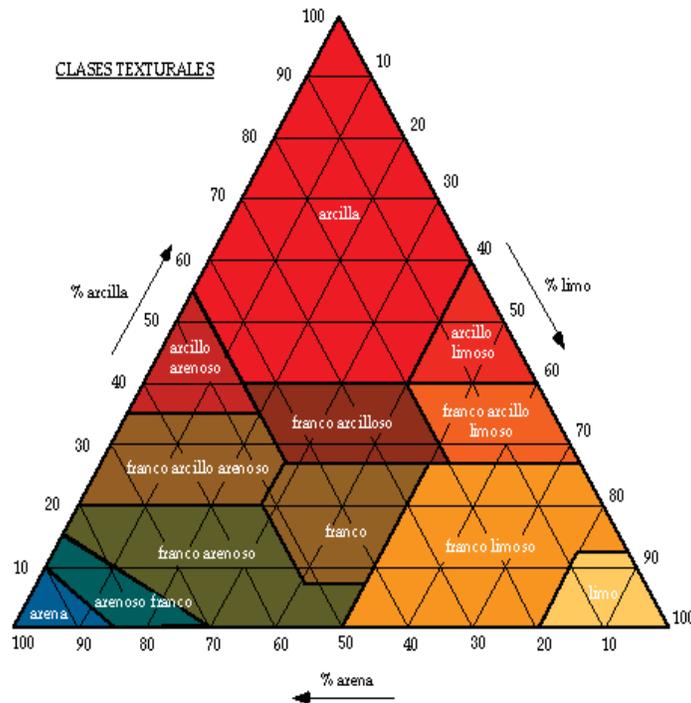


Figura 12. Triángulo para la determinación de clases texturales.

6.4.2.4 Contenido de materia orgánica en el sedimento

La concentración de materia orgánica fue determinada por el método húmedo de Walkey y Black (1934), en un matraz de 250, se coloca 0.5 g de muestra a la vez se estableció un matraz blanco sin muestra, se agregó 5 ml de dicromato de potasio 1N ($K_2Cr_2O_7$), y se adicionó 10 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Después de introducir 100 mL de agua destilada y 10 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4), con indicador de difenilamina, se tituló con sulfato ferroso ($FeSO_4$) 0.5 N. Se determinando el porcentaje del carbono orgánico mediante la fórmula:

$$\% \text{ de carbono orgánico} = \frac{\text{ml de } FeSO_4 \times N_{\text{real}} \times 0.687 \times Fc}{\text{gramos de muestra}}$$

Donde:

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

Fc (Factor de corrección) = mL teóricos/mL reales de sulfato ferroso ($FeSO_4$) gastados en el blanco. La cantidad de materia orgánica se establece conforme a la NOM-021-RECT-2000 en suelos de origen volcánico y de origen distinto (Tabla 4).

Tabla 4. Cantidad de materia orgánica.

Clase	Materia Orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	<4.0	<0.5
Bajo	4.1-6.0	0.6-1.5
Medio	6.1-10.9	1.6-3.5
Muy Alto	>16.1	6.0

6.4.2.5. Tratamiento estadístico

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

VII. RESULTADOS

7.1 Delimitar la subcuenca hidrográfica del municipio de Morelia.

Se realizó la delimitación del área de la subcuenca de Morelia (Fig. 13) definiendo las principales elevaciones que conforman el parteaguas que delimita la subcuenca iniciando con el cerro del Quinceo con una elevación de 2,720 m, continuando el parteaguas en dirección Este hacia la loma de san Juan, el cerro La Cruz y Mesa los Resbaladeros con elevaciones de 1,980 m., prolongando el parteaguas en dirección hacia el Sur hacia el cerro Colorado con elevación de 2,220 m, siguiendo en la misma dirección hacia la loma La Gallina con elevación de 2,120 m, cerro De Aparicio con elevación de 2,380 m, cerro Alto 2,420 m, cerro Azul con 2,600 m, y continuando el parteaguas en dirección Suroeste al cerro Verde con elevación 2,600 m, prolongando hacia el Sur hasta llegar a el cerro la Pitahaya con elevación de 2,380 m, siguiendo el parteaguas hacia el Oeste a los cerros La Peña Lajada con 2,440 m, El Zopilote con 2,500 m, El Pozole con 2,500 m, La Peñita con 3,020 m, y hasta llegar a el cerro La Alberca con elevación 3,080 m, siguiendo el parteaguas en dirección Noroeste hacia los cerros La Nieve con elevación 3,220 m y Los puercos con 3,200 m, continuando en dirección Norte hacia el cerro El Gallo con elevación de 2,320 m, prolongando el parteaguas en dirección Norte hasta los cerros Las Albercas con 2,820 m y El Águila con 3,080 m, siguiendo el parteaguas en dirección Noroeste hacia los cerros Sanambo con elevación 2,720 m e Arauco con 2,780 m, para continuar al Norte hacia el cerro Los caballos con 2,640 m y el volcán La Mina con 2,560 m, para seguir el parteaguas en dirección noreste hasta la Mesa Lagunilla con elevación de 2,360 m, y seguir el parteaguas en dirección Sureste hacia Loma Alta con elevación de 2,380 m y llegando en la misma dirección a los Cerros Las Tetillas del Quinceo llegando al punto inicial de partida del parteaguas al cerro del Quinceo.

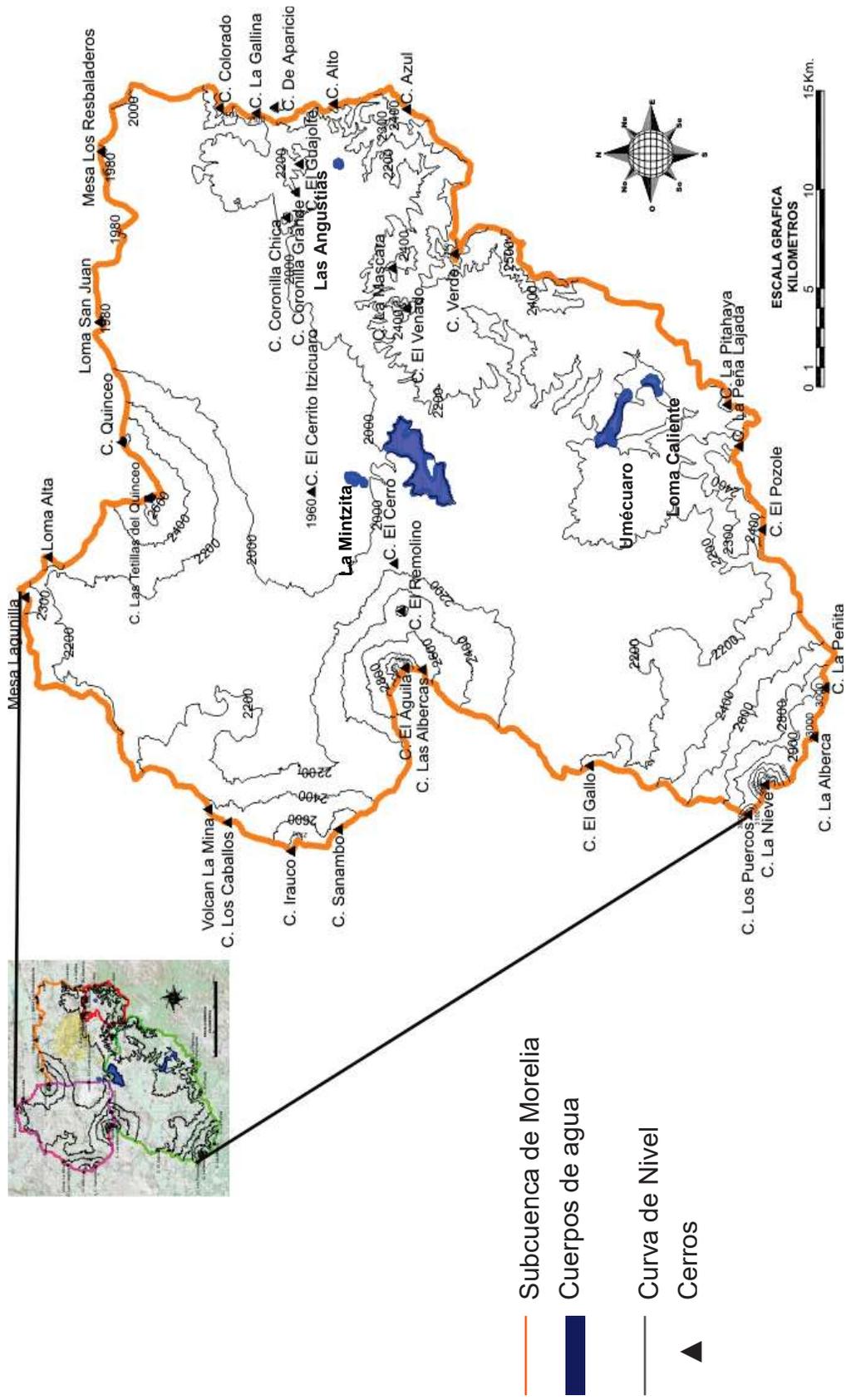


Figura 13. Área delimitada Subcuenca de Morelia.

De acuerdo a los resultados se calculó para la subcuenca de Morelia una superficie de 1,050,992,286.25 m² es decir 1,050.99 km². El 80.14% del área de la subcuenca se ubica dentro del municipio de Morelia, y presenta una longitud del parteaguas de 177,279.86 m equivalente a 177.28 km con una pendiente del 3.3%. Según la clasificación de pendientes por Klingebiel y Montgomery (1975) esta cuenca se clasifica en la zona III con terreno ondulado, siendo una zona media de abastecimiento hídrico (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de Subcuenca de Morelia.

Concepto		Unidades	Subcuenca de Morelia
Parámetros de Forma	Área	m ²	1,050,992,286.25
		km ²	1,050.99
	Longitud	m	177,279.86
		km	177.28
	Factor de forma	Ff	0.57
	Índice de Forma	If	0.44
	Relación de Elongación	Re	1.16
	Pendientes	%	3.3
	Forma (1/1= Circulo perfecto)		
Clasificación de pendientes		Zona	II (Ligeramente ondulado)
Cuerpos de agua		Presa	Cointzio, Umécuaro, Loma Caliente, La Mintzita y Las Angustias

Los cálculos de los parámetros de factor de forma (Ff) que expresa la relación entre el ancho promedio de la subcuenca y la longitud máxima, reporta un valor de 0.57 donde por ser menos ancho tiende a ser una cuenca larga, además el índice de forma (If) registra un valor de 0.44 indicando que la subcuenca de Morelia tiene una forma alargada, y con una relación de elongación (Re) de 1.16, que es la expresión del diámetro de un círculo de igual superficie que la subcuenca y la longitud axial, determina que la subcuenca tiene una forma alargada, por lo que se define como una cuenca plana con porciones accidentadas. Esta subcuenca presenta una pendiente del 3.3%, que según la clasificación de Klingebiel y Montgomery (1975) correspondiente a la zona de mediano abastecimiento hídrico

7.1.1 Microcuencas del área de estudio.

La Subcuenca de Morelia se subdividió en microcuencas (Fig.14) de acuerdo a sus componentes más importantes como es el parteaguas, laderas, corrientes de 1° y 2° orden en las que se ubican los cuerpos de agua (Tabla 6)

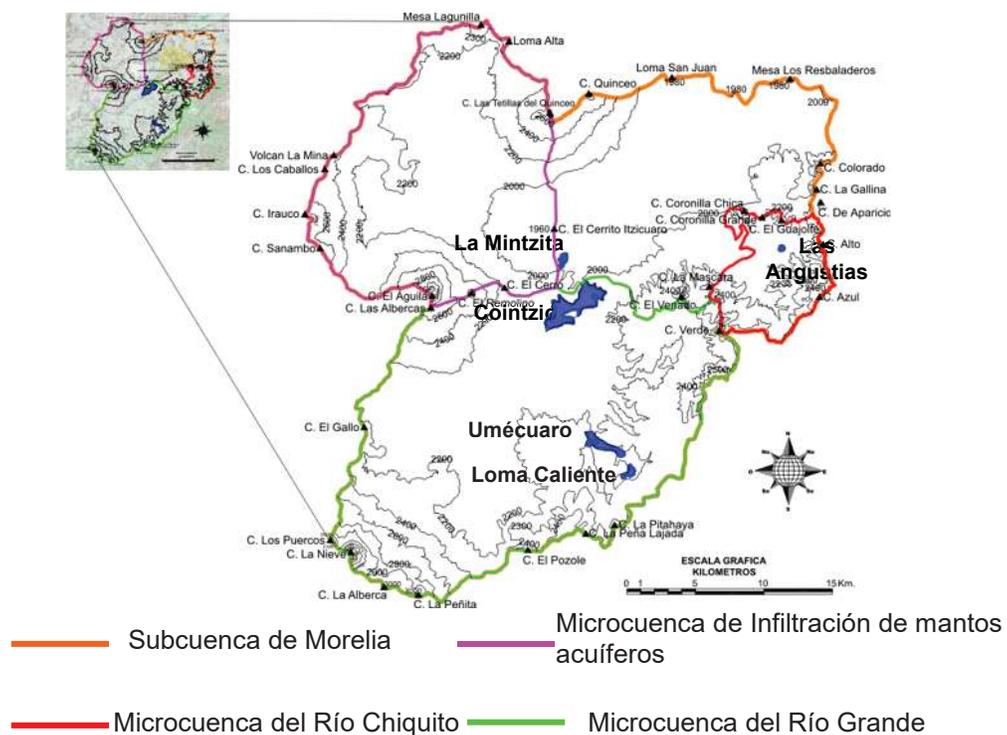


Figura 14. Área delimitada microcuencas.

Tabla 6. Valores de las microcuencas en la subcuenca de Morelia.

Concepto		Unidades	Microcuencas		
			Río Grande	Infiltración mantos acuíferos	Río Chiquito
Parámetros de Forma	Área	m ²	458,935,724.52	272,738,307.86	57,995,936.40
		km ²	458.94	272.74	57.99
	Longitud	m	102,593.32	73,608.57	41,374.21
		km	102.59	73.61	41.37
	Factor de forma	Ff	0.54	0.65	0.61
	Índice de Forma	If	0.43	0.61	0.44
	Relación de Elongación	Re	1.00	1.11	1.15
	Pendientes	%	5.5	12.1	7.2
	Forma (1/1= Circulo perfecto)			Alargada	Alargada
Clasificación de pendientes		Zona	III (ondulado)	III (ondulado)	III (ondulado)
Cuerpos de agua		Presa	Umécuaro Loma Caliente	La Mintzita	Las Angustias

7.1.1.1 microcuenca del Río Grande

Al Sur de la subcuenca de Morelia se ubica la microcuenca del Río Grande (Fig. 15), su principal corriente es el río Grande. Las principales elevaciones que conforman y delimita la microcuenca inician con el cerro Verde con elevación 2,600 m, prolongándose hacia el Sur hasta el cerro la Pitahaya con una elevación de 2,380 m, siguiendo hacia el Oeste a los cerros La Peña Lajada (2,440 m), El Zopilote (2,500 m), El Pozole (2,500 m), La Peñita (3,020 m) hasta llegar a el cerro La Alberca (3,080 m).

Después el parteaguas continua en dirección Noroeste a los cerros de La Nieve con una elevación de 3,220 m y los puercos con una altura de 3,200 m, en dirección Norte llega al cerro El Gallo con elevación de 2,320 m, prolongándose hacia el Norte a los cerros Las Albercas con 2,820 m de elevación y El Águila con una altitud de 3,080 m El parteaguas en dirección Este esta delimitado por el cerro El Remolino con una elevación de 2,640 m y cerro El Cerro con una altitud de 2,180 m, para continuar al Este hacia el cerro El Venado con una elevación de 2,540 m y el Cerro La Peña con una altura de 2,460 m de altitud y finalmente el parteaguas en dirección Sureste llega al punto inicial de partida que es el cerro Verde.

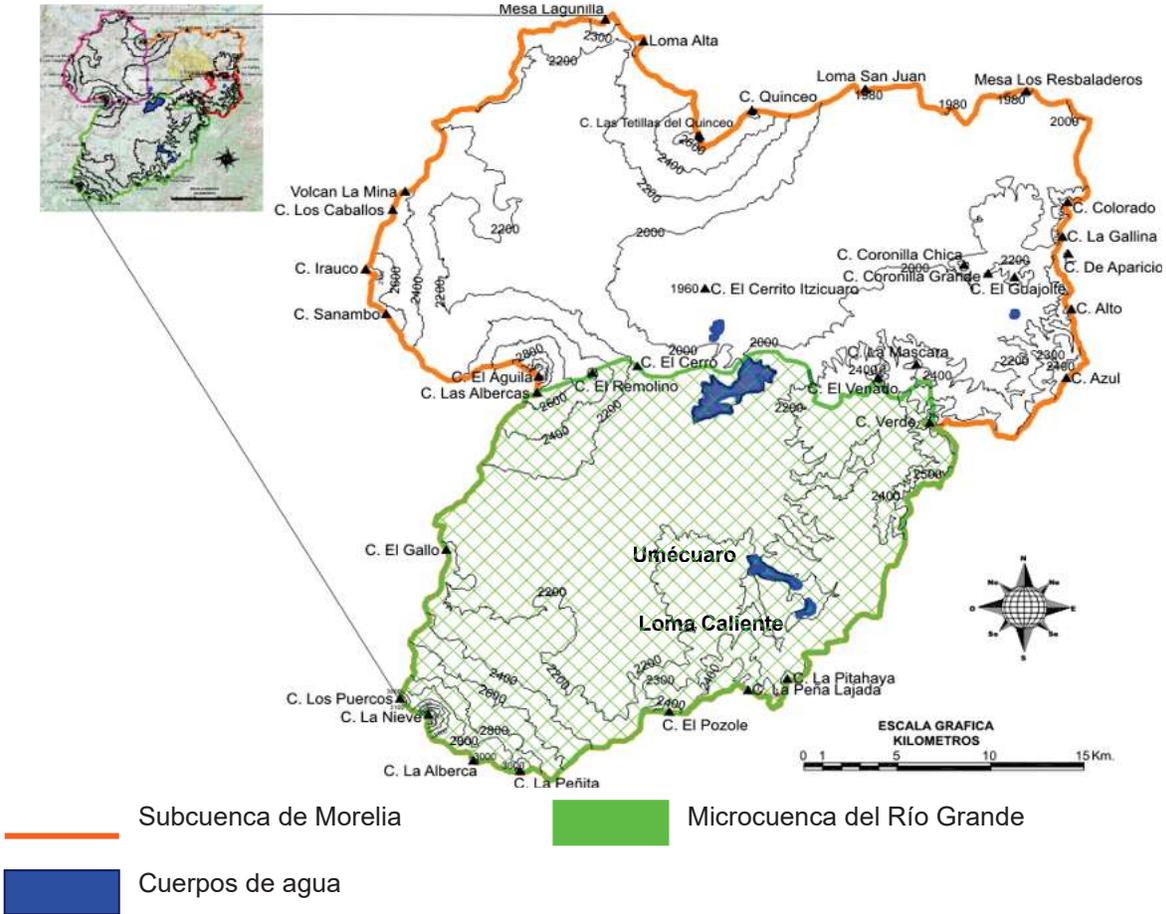


Figura 15. Forma microcuenca Río Grande.

En la microcuenca del Río Grande tiene una superficie de 458,935,724.52 m² equivalente a 458.94 km², lo que representa el 43.67% del área subcuenca de Morelia, con un parteaguas de 102,593.32 m (102.59 km). Los resultados indican un factor de forma (Ff) de 0.54, con un índice de forma (If) de 0.43 y una relación de elongación (Re) de 1.0, lo que la define esta microcuenca con una forma alargada, y una pendiente del 5.5%. Según la clasificación de pendientes por Klienbely y Montgomery (1975) entre los valores de 5.1 a 12, la microcuenca correspondiente a la zona III de abastecimiento hídrico altas (Tabla 6).

7.1.1.2 microcuenca de Infiltración.

Al Oeste de la subcuenca de Morelia se ubica la microcuenca de Infiltración de Mantos acuíferos donde afloran varios manantiales, siendo el de la Mintzita el más grande (Fig. 16).

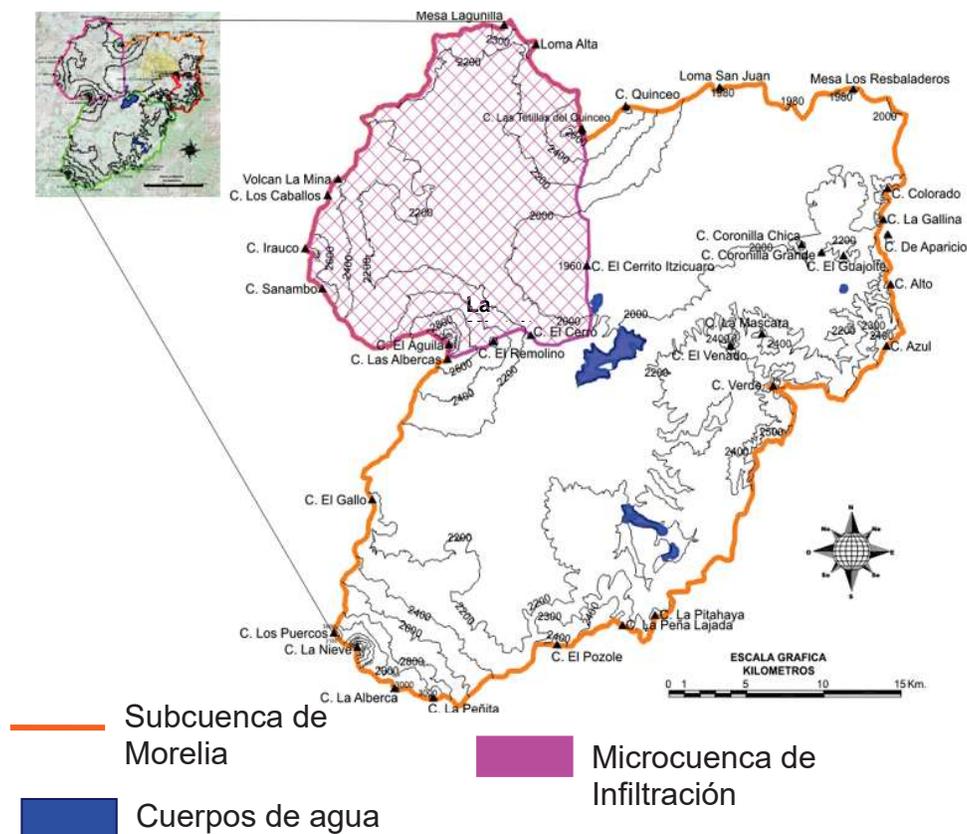


Figura 16. Forma microcuenca de Infiltración de mantos acuíferos.

Las principales elevaciones que conforman la microcuenca, son primeramente el cerro las Tetillas del Quinceo con una elevación de 2,740 m, continuando el parteaguas en dirección Sur al Cerrito Itzícuaru con una elevación de 1,960 m, prolongándose en dirección Sur hacia el cerro El Cerro con elevación de 2,160 m, al Oeste se delimita con el cerro El Remolino con una elevación de 2,640 m, hasta el cerro Las Albergas con 2,820 m y siguiendo en dirección Norte el cerro El Águila con 3,080 m, hacia el Noroeste se localizan los cerros Sanambo con elevación 2,720 m e Arauco con 2,780 m, para continuar al Norte con el cerro Los caballos (2,640 m) y el volcán La Mina (2,560 m), para seguir el parteaguas en dirección Noreste hasta la Mesa Lagunilla con elevación de 2,360 m, y seguir el parteaguas en dirección Sureste hacia Loma Alta con elevación de 2,380 m y llegando al punto inicial con el cerro Las Tetillas del Quinceo.

En la microcuenca de Infiltración de los mantos acuíferos se registro una superficie de 272,738,307.86 m² (272.74 km²), lo que representa el 25.95% del área subcuenca de Morelia, y una longitud del parteaguas de 73,608.57 m (73.61 km), y con parámetros de forma de factor de forma (Ff) 0.65 y con un índice de forma (If) de 0.61, con una relación de elongación (Re) de 1.11, lo que la define como una microcuenca de forma alargada, con una pendiente del 12.1% y según la clasificación de pendientes por Klienbely y Montgomery (1975) entre los valores de 5.1 a 12 correspondiente a la zona III de abastecimiento hídrico altas (Tabla 6).

7.1.1.3 microcuenca del Río Chiquito

Al Este de la subcuenca de Morelia se ubica la microcuenca del Río Chiquito (Fig. 17), su principal corriente es el río Chiquito, las principales elevaciones que conforman el parteaguas se inicia con el cerro de Aparicio (2,380 m), continuando el parteaguas en dirección Sureste al cerro Alto con elevación de 2,420 m, prolongándose en dirección Sur al cerro Azul (2,600 m), continuando en dirección Suroeste al cerro Verde (2,600 m), y hacia el Norte al cerro la Mascara (2,500 m), siguiendo el parteaguas en dirección Noreste hacia los cerros La Coronilla Chica (2,140 m), cerro La Coronilla Grande (2,240 m), y el cerro El Guajolote (2,280 m), llegando en la misma dirección al punto inicial al cerro de Aparicio.

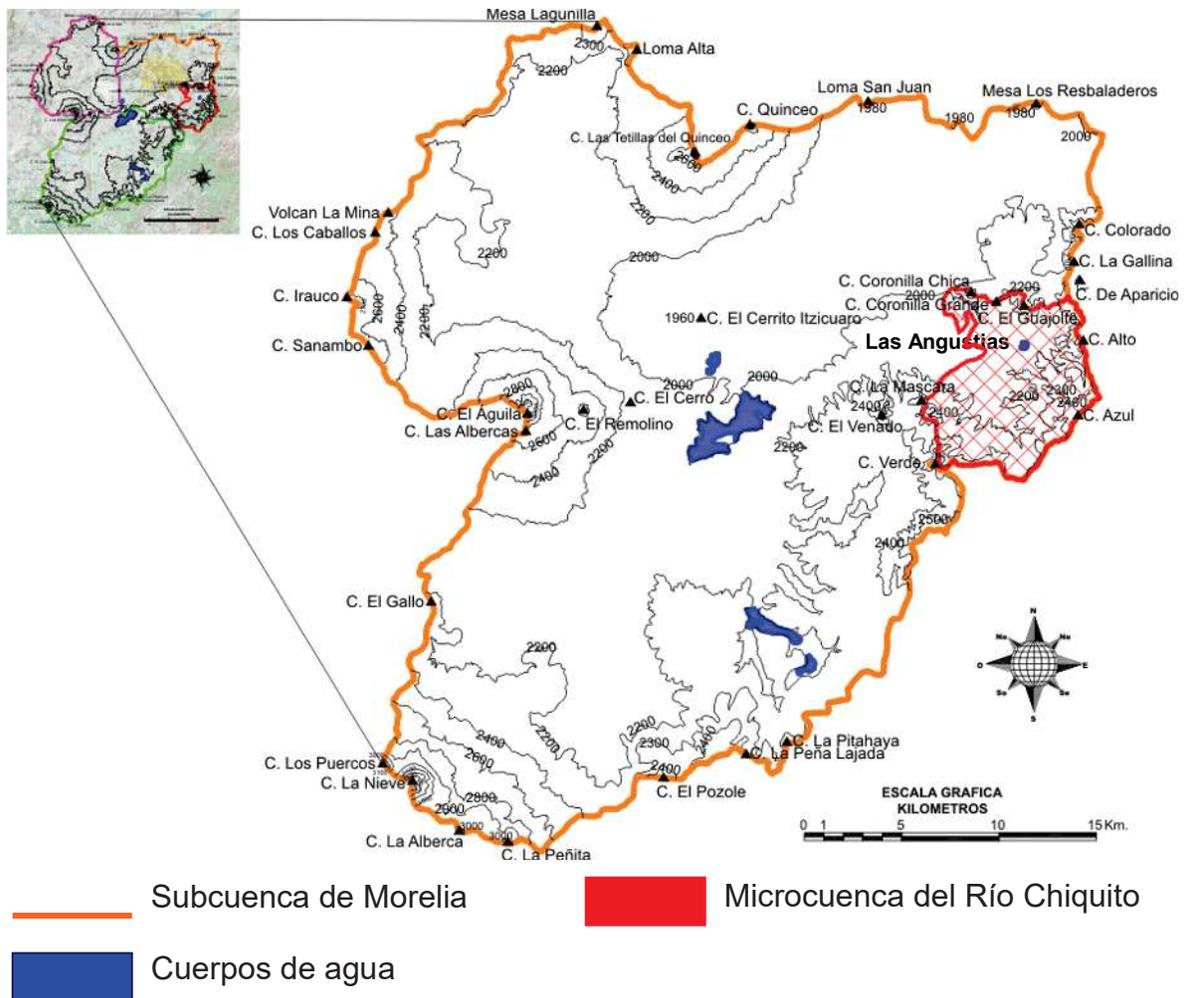


Figura 17. Forma microcuenca Río Chiquito.

La microcuenca del Río Chiquito reporta una superficie de 57,995,936.40 m² (57.99) km², lo que representa el 5.52% del área subcuenca de Morelia, y una longitud del parteaguas de 41,374.21 m (41.37 km), con parámetros de forma de factor de forma (Ff) 0.61, y con un índice de forma (If) de 0.44, con una relación de elongación (Re) de 1.15, lo que la define como una microcuenca de forma alargada, con una pendiente del 7.2% y según la clasificación de pendientes por Klienbely y Montgomery (1975) entre los valores de 5.1 a 12 correspondiente a la zona III de abastecimiento hídrico altas (Tabla 6).

7.2 Morfométricos y batimétricos de las presas Umécuaro, Loma Caliente, La Mintzita y las Angustias.

7.2.1 Morfometría de las presas

Para el estudio de un cuerpo de agua se requiere calcular los parámetros morfométricos más notorios y la relación de magnitudes de estos parámetros determina las características de los cuerpos de agua.

La presa Umécuaro registra un área de 1,086,214.408 m² (1.086214408 km²), es la presa con mayor superficie en relación con las otras presas de éste estudio (Fig. 18), la presa de Loma Caliente es la siguiente en dimensión con un área de 434,667.61 m² (0.4346676 km²) siendo en comparativa un 40% de la superficie total de la presa de Umécuaro, continuando en orden decreciente la presa de La Mintzita con un área 118,478.48 m² (0.1184784 km²) siendo un 11% en comparativa, y finalmente Las Angustias con una superficie de 86,895.53 m² (0.0868955 km²) siendo del cuerpo de agua con menor superficie registrada con un 8% en comparación con la presa de Umécuaro, que es la superficie de cuerpo de agua que recibe mayor energía solar.

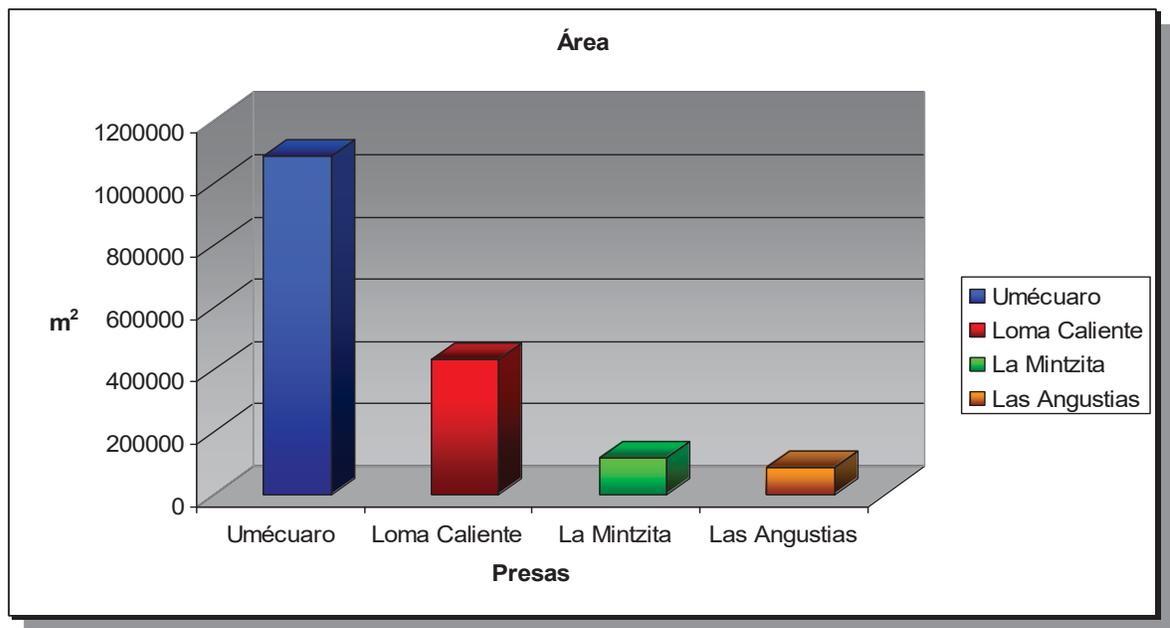


Figura 18. Comparación entre áreas de las presas de Municipio de Morelia.

La mayor longitud máxima ($L_{m\acute{a}x}$) de la superficie del cuerpo de agua con la cual puede interactuar el viento se da en la presa de Umécuaro (Fig. 19) la cual tiene una direcci3n de eje Nw-Se y cuenta con una longitud máxima de 3.0970120 km, seguida por la presa de Loma Caliente con una direcci3n de eje Nw-Se y una longitud máxima de 1.6030905 km, le continua la presa La Mintzita con direcci3n de eje N-S y una longitud máxima de 0.7150623 km; y la de menor longitud es Las Angustias con una direcci3n de eje Ne-Sw y una longitud máxima de 0.4535565 km.

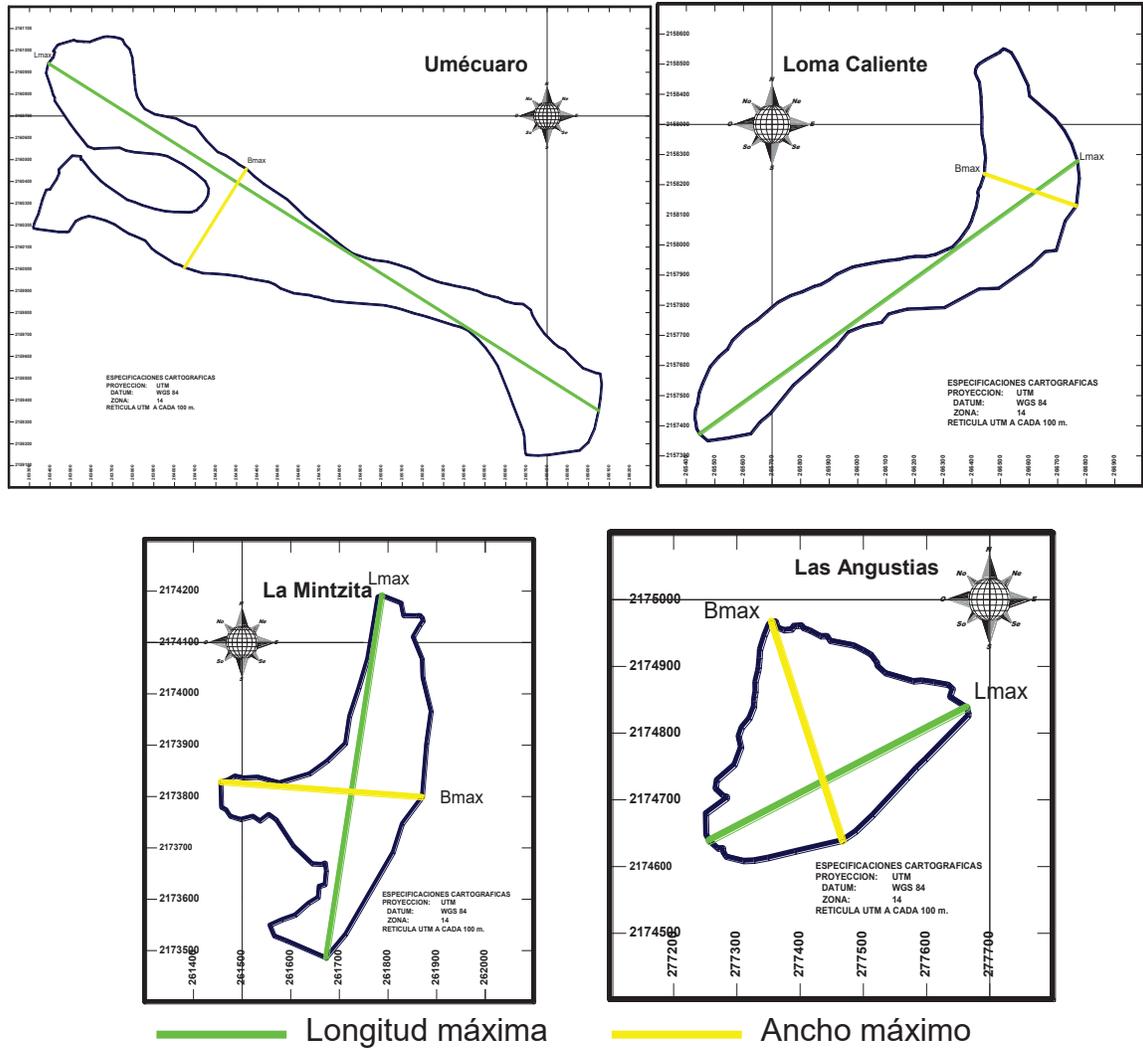


Figura19. Longitudes y anchos máximos de las presas en estudio.

La relación entre la longitud y la circunferencia irregular del área nos establece que para lagos con un índice de mas de 2 o mas de 4 se alejan de la circunferencia (Håkanson 1981) siendo esto el desarrollo de costa para los cuerpo de agua (F).

El desarrollo de costa mas alejado a la de la circunferencias corresponde a la presa de Umécuaro con un valor de 2.49, para la presa de Loma Caliente es de 1.80 y para la presa La Mintzita es de 1.71, lo que sugiere que son cuerpos de aguas altamente irregulares, por lo que favorece al intercambio térmico agua – tierra, incrementando las aportaciones exógenas de diferentes materiales, así mismo con posibilidades ser protegido del viento y oleaje.

Únicamente la presa Las Angustias presenta un valor de 1.22 lo que indica que se considera un índice de desarrollo de costa muy cercano a una circunferencia y al considerar que por ser poco elongado se presenta un bajo potencial para el desarrollo de comunidades litorales con relación al volumen de agua del cuerpo de agua.

La presa de Umécuaro es la de mayor superficie y dimensión con valor de 3.097 km de longitud máxima y 0.541 km de amplitud máxima, a continuación la presa Loma Caliente con valor de 1.603 km de longitud máxima y 0.338 km de amplitud máxima (Tabla 7), da como resultado ser cuerpos de agua mas elongados y tener una mayor longitud de costa, a diferencia de La Mintzita con valor de 0.715 km de longitud máxima y 0.415 km de amplitud máxima y Las Angustias con una longitud máxima de 0.453 km y 0.346 km de amplitud máxima, son las de menor superficie y dimensión y tienden a ser mas a la forma de circunferencia y a tener menor longitud de costa.

Tabla 7. Morfometría de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.

Concepto	S	Umécuaro	Loma Caliente	La Mintzita	Las Angustias
Área	A	1,086,214.41 m ² (1.0862144 km ²)	434,667.61 m ² (0.4346676 km ²)	118,478.48 m ² (0.1184784 km ²)	86,895.53 m ² (0.0868955 km ²)
Dirección del eje mayor		Nw-Se	Nw-Se	N-S	Ne-Sw
Longitud máxima	L _{máx}	3.0970120 km	1.6030905 km	0.7150623 km	0.4535565 km
Longitud máxima efectiva	L _e	2.1019166 km	0.8202678 km	0.5319694 km	0.4440962 km
Amplitud máxima	B _{máx}	0.5419154 km	0.3385408 km	0.4153995 km	0.3465435 km
Amplitud máxima efectiva	B _e	0.5511853 km	0.3475349 km	0.3765787 km	0.3287100 km
Amplitud Media	B	0.3507298 km	0.2711435 km	0.1656897 km	0.1915870 km
Profundidad máxima	D _{máx}	6.16 m	4.40 m	2.10 m	2.10 m
Profundidad media	D	1.86 m	1.37 m	0.64 m	1.02 m
Profundidad mediana	D ₅₀	1.66 m	0.87 m	0.64 m	1.20 m
Profundidad al 1er. cuartil	D ₂₅	2.96 m	2.24 m	0.96 m	1.60 m
Profundidad al 3er. cuartil	D ₇₅	0.71 m	0.44 m	0.32 m	0.70 m
Profundidad relativa	Zr	0.52 %	0.59 %	0.54 %	0.63 %
Longitud de costa o perímetro	I _o	9.1905268 km	4.2130332 km	2.0807259 km	1.2697809 km
Desarrollo de línea de costa	F	2.49 %	1.80 %	1.71 %	1.22 %
Volumen	V	2,025,121.23 m ³ (0.0020251 km ³)	595,962.03 m ³ (0.0005959 km ³)	75,244.58 m ³ (0.0000752 km ³)	88,817.83 m ³ (0.0000888 km ³)
Desarrollo de volumen	Vd	0.91 %	0.93 %	0.91 %	1.46 %
Forma de Lago		Cxmi	Cxmi	SCxmi	Lme

7.2.2. Batimetría de las presas

7.2.2.1 Valoración de mapas batimétricos

A) Mapa batimétrico de la presa Umécuaro

Para la presa de Umécuaro se realizó un mapa batimétrico (Fig. 20), el cual presenta seis isobatas con un intervalo de 1.0 m con una longitud total de isobatas de 23.853 km y obteniendo un valor de informativo (I) para ésta presa de 0.81 muy cercano a la unidad por lo que se considera que la información generada es completa.

En cuanto a la ubicación de las isobatas o identificación de profundidades del mapa se obtuvo un valor del área identificada (I') equivalente a 0.89. Lo anterior representa que el 81% del área se encuentra correctamente identificada. En tanto que el 19% del área que representa aproximadamente 0.2047 km² se encuentra sujeta a incertidumbre.

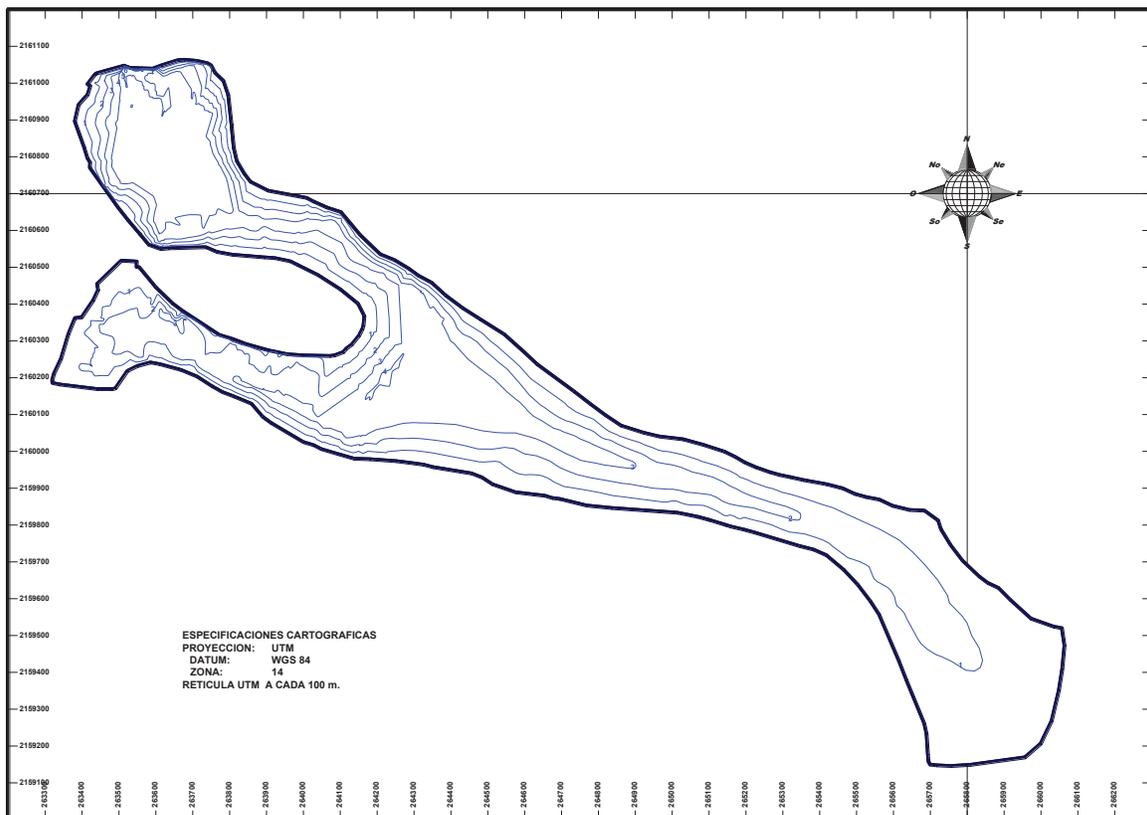


Figura 20. Batimetría presa Umécuaro.

B) Mapa batimétrico presa Loma Caliente

Para la presa de Loma Caliente se realizó un mapa batimétrico (Fig. 21) con cuatro isobatas a intervalos de 1.0 m con una longitud total de isobatas 7.250 km. El valor de informativo (I) obtenido fue igual a 0.90 muy cercano a la unidad por lo que se considera que la información generada es completa, en cuanto a la ubicación de las isobatas o identificación de profundidades del mapa se obtuvo un valor de (I') equivalente a 0.99, Lo anterior representa que el 90% del área se encuentra correctamente identificada. En tanto que el 10% del área que equivale aproximadamente a 0.0440 km² se encuentra sujeta a incertidumbre.

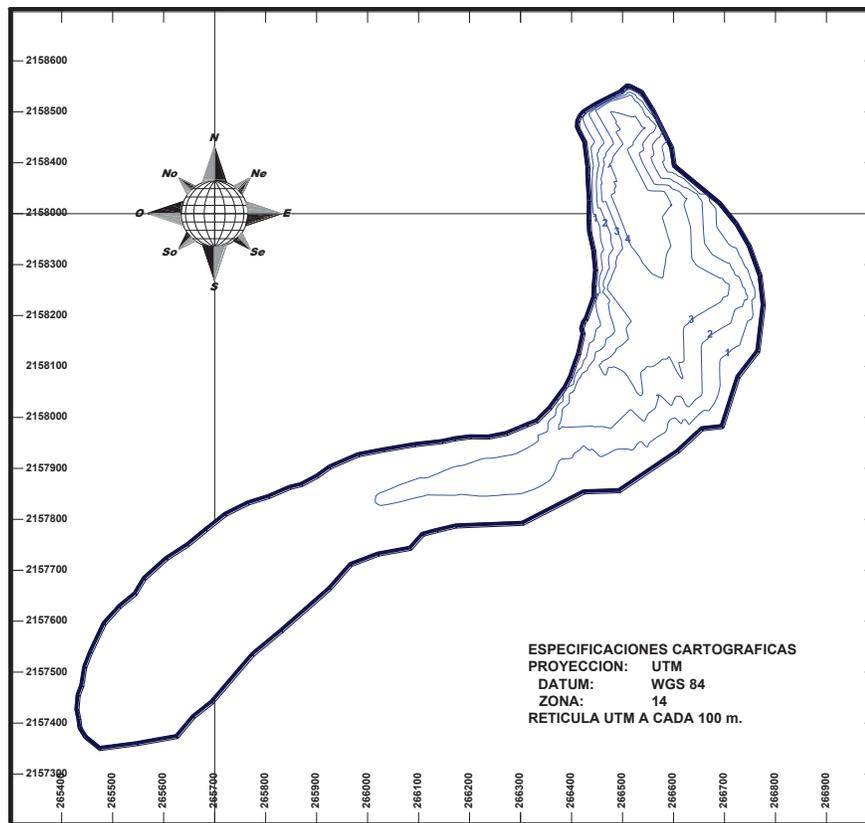


Figura 21. Batimetría presa Loma Caliente.

C) Mapa batimétrico presa La Mintzita

Para la presa de La Mintzita presenta dos isobatas con un intervalo de 1.0 m con una longitud total de isobatas 1.371 km (Fig.22). Aquí se realizaron con lo que se obtiene un valor de informativo (I) igual a 0.88 por lo que se considera que la información generada es completa.

En cuanto a la ubicación de las isobatas o identificación de profundidades del mapa se obtuvo un valor de (I') equivalente a 0.99. Lo anterior representa que el 88% del área se encuentra correctamente identificada. En tanto que el 12% del área que equivale aproximadamente a 0.0134 km² que se encuentra sujeta a incertidumbre.

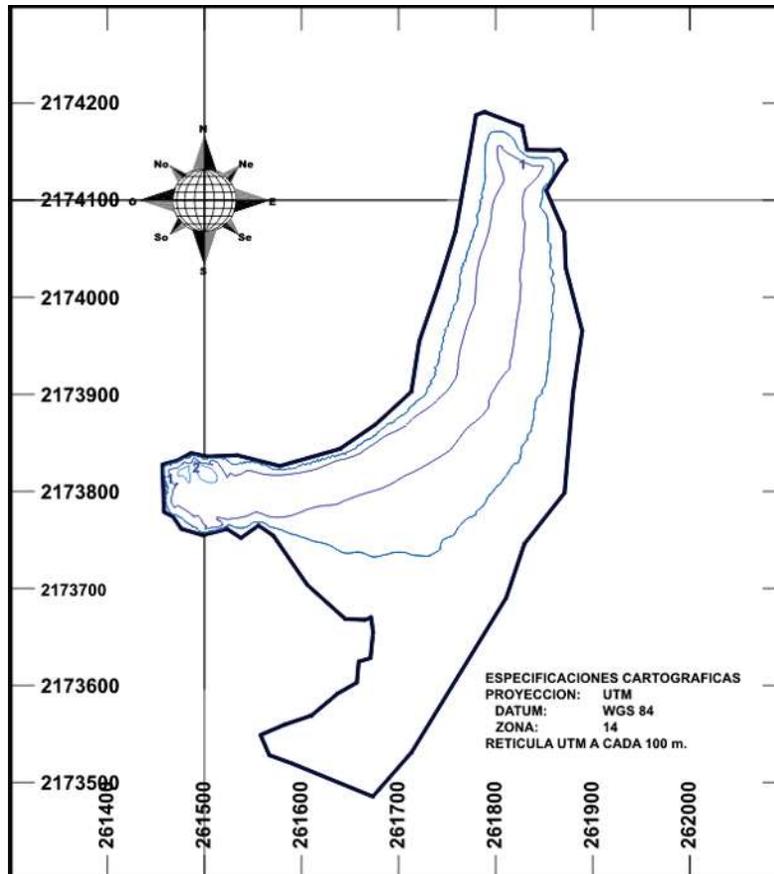


Figura 22. Batimetría presa La Mintzita.

D) Mapa batimétrico presa Las Angustias

Para la presa de Las Angustias (Fig. 23) presenta dos isobatas con un intervalo de 1.0 m con una longitud total de isobatas 1.509 km. En ésta presa se obtuvo un valor de informativo (I) igual a 0.90 por lo que se considera que la información generada es completa, en cuanto a la ubicación de las isobatas o identificación de profundidades se obtuvo un valor de (I') equivalente a 0.99.

Lo anterior representa que el 90% del área se encuentra correctamente identificada. En tanto que el 10% equivalente aproximadamente a 0.0089 km² del área se encuentra sujeta a incertidumbre.

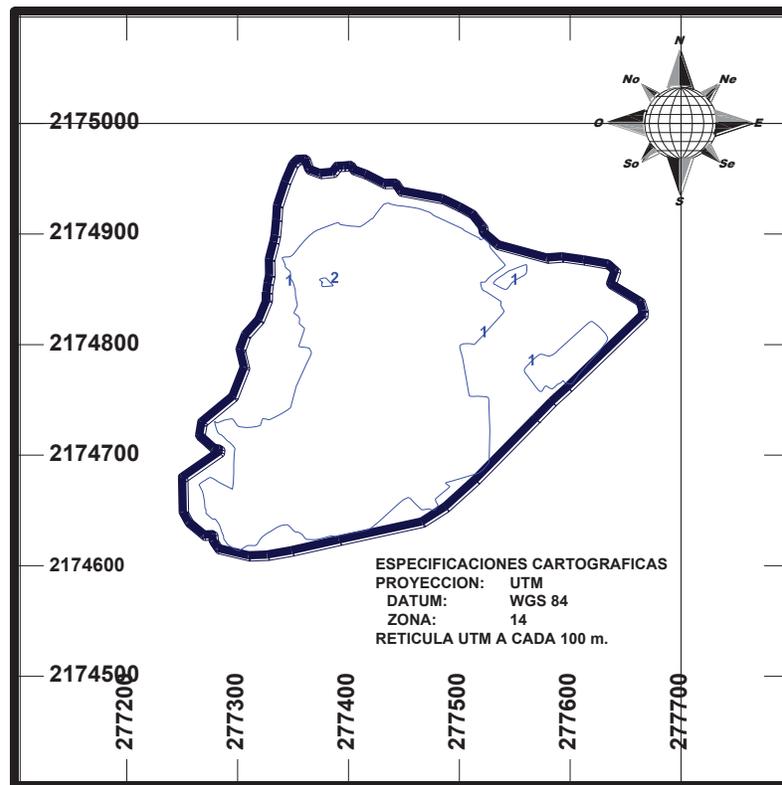


Figura 23. Batimetría presa Las Angustias.

7.2.2.2. Pendientes de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, La Mintzita y Las Angustias.

La presa de Umécuaro presenta pendientes en la zona litoral que van del 5 al 6% y en la zona de la cortina se registraron pendientes del 8% donde el embalse registra una mayor profundidad, a diferencia de la zona Sureste de la presa donde se reportan pendientes muy suaves de 1 al 2% y un promedio de 4% (Fig. 24).

En la presa de Loma Caliente se registraron pendientes en la zona litoral entre el 3 al 4%, y se registró la mayor pendiente en la zona norte de 15% cercana a la cortina, a diferencia del 0.1 al 2% al Suroeste y un promedio de 4% (Fig. 25).

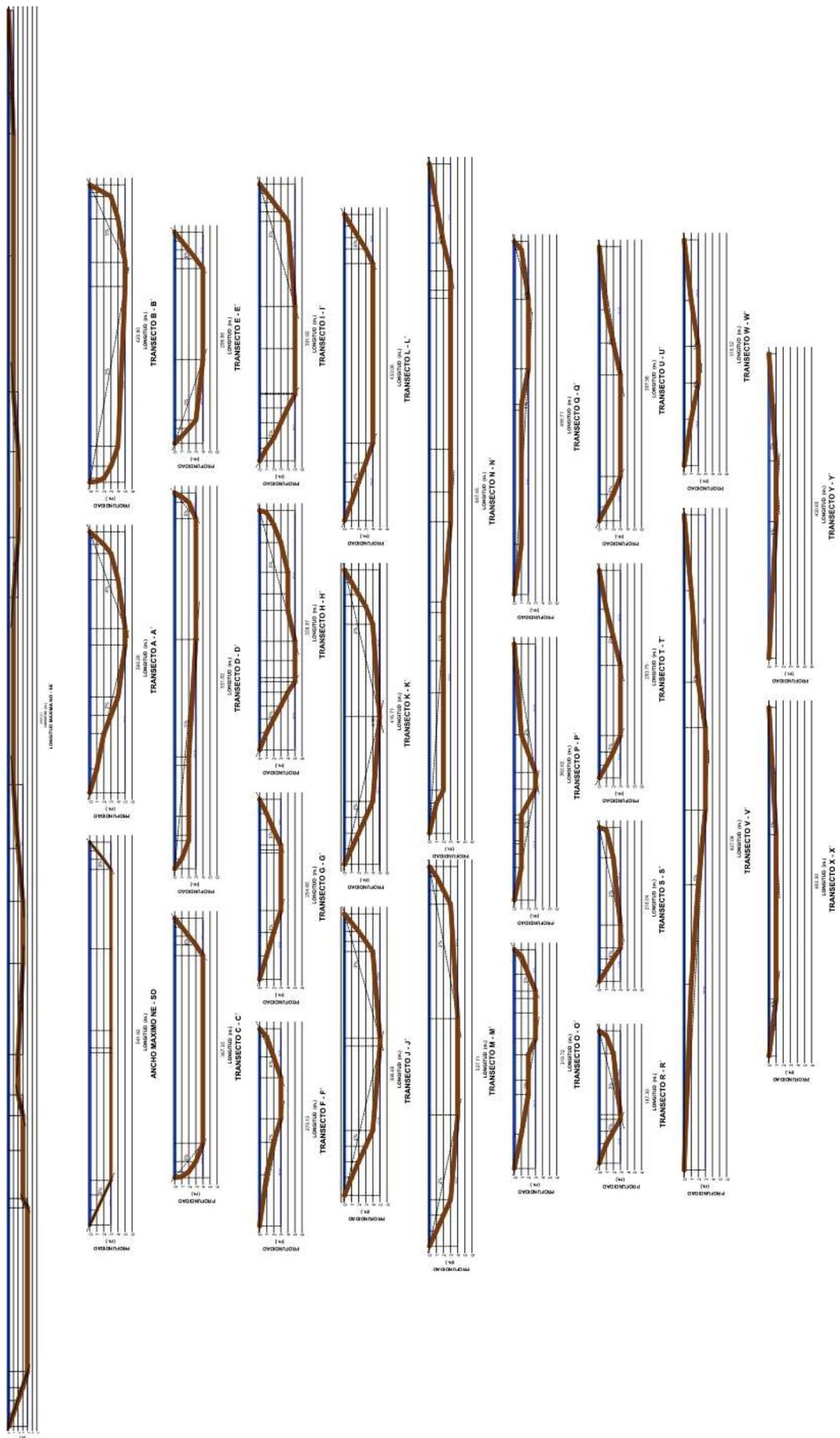


Figura 24. Perfiles presa Umécuaro.

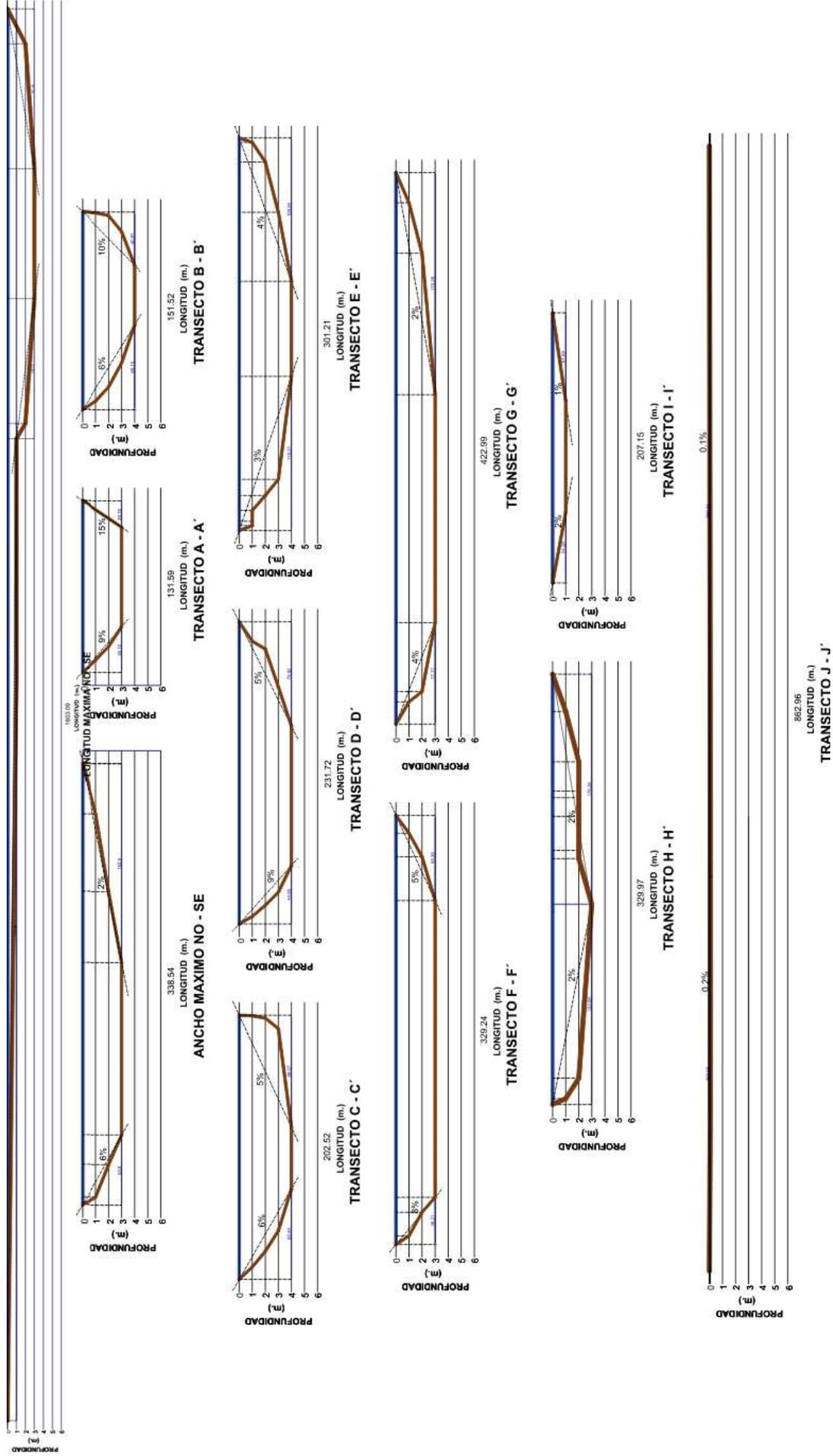


Figura 25. Perfiles presa Loma Caliente.

Para el caso de La Mintzita los perfiles indican que en la parte Sur se presentan áreas de poca profundidad con pendientes suaves del 0.3 al 1%, en relación con el área ubicada al Oeste es donde presentan pendientes suaves del 3% hasta pendientes fuertes del 27% debido a lo abrupto y rocoso en algunas partes del litoral; en el área Este y Noreste se registraron pendientes suaves del 1 a 4%. El promedio de las pendientes en el cuerpo de agua fue del 5% (Fig. 26).

Finalmente, para el mapa batimétrico de la presa de Las Angustias se reporta en las parte Sur, Sureste y Suroeste pendientes suaves del 3% hasta pendientes fuertes de 27% registradas en distancias cortas en el bordo del litoral que se ubica desde la parte Sur hasta el Noreste de la presa, siendo la máxima pendiente registrada del 59% en una distancia corta del bordo que delimita la orilla del litoral al Este; en la parte Norte y Noroeste se registraron pendientes suaves del 1 al 9%, En esta presa se el promedio de las pendientes fue del 10% (Fig. 27).

7.2.2.3 Profundidad y Volumen de las presas.

A partir del mapa batimétrico de la presa Umécuaro se determinó una profundidad máxima de 6.16 m al Noroeste cerca de la cortina, dado a este valor la presa es de poca profundidad. De acuerdo al cociente entre los valores de la profundidad media y la máxima que indica la forma del vaso señalando que los lagos con valores cercanos a 0.33 presentan una forma de un cono elíptico, mientras que los que se aproximan a 0.5 corresponden a una forma de parábola elíptica. Bajo éste contexto la presa de Umécuaro que registra una profundidad media de 1.86 m, y cociente de 0.30, sugieren que ésta tiene una forma de un cono elíptico.

Para los casos de las presa de Loma Caliente con una profundidad máxima de 4.40 m, al Noreste de la cortina y en la parte Suroeste de la presa se registra las mas bajas profundidad, con una profundidad media de 1.37 m, y un cociente de 0.31 que junto con la Mintzita donde se reporta una profundidad máxima de 2.10 m al Oeste, una profundidad media de 0.64, y un cociente es 0.30 se sugiere en los dos cuerpos de agua presentan una forma de cono elíptico y son poco profundas.

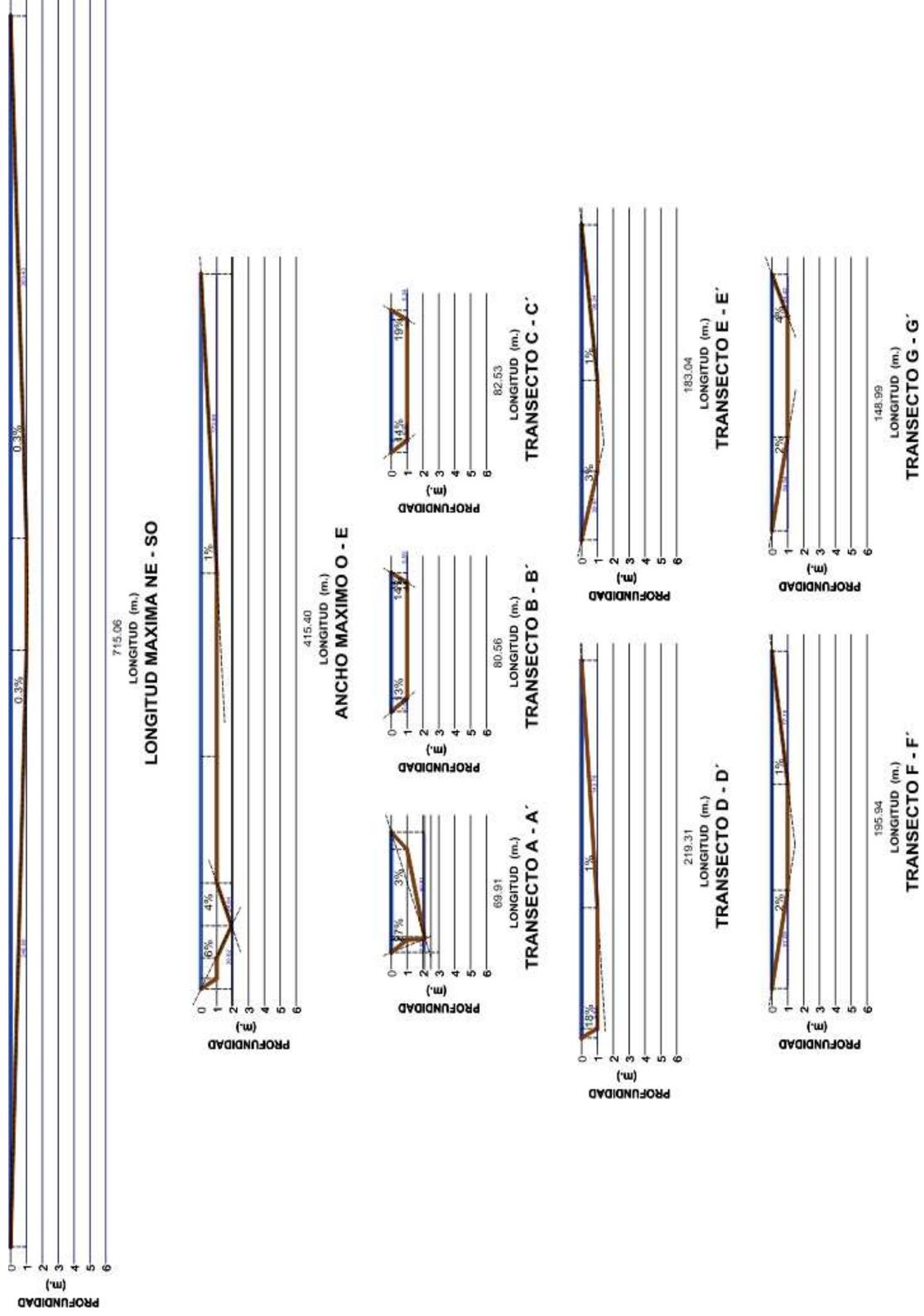


Figura 26. Perfiles presa La Mintzita.

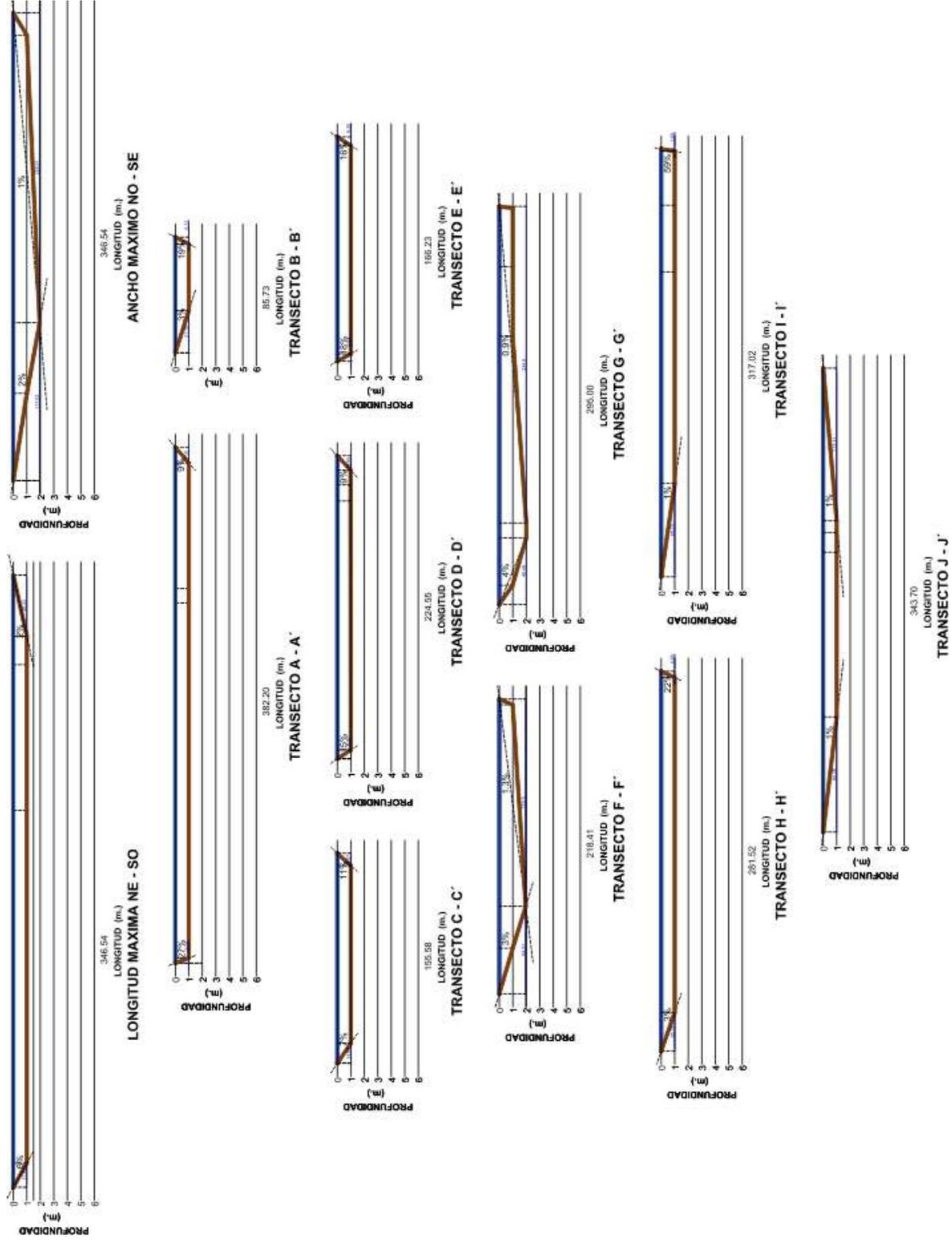


Figura 27. Perfiles presa Las Angustias.

En el mapa batimétrico de Las Angustias se registro una profundidad máxima de 2.10 m al área noroeste, profundidad media de 1.02 m, y un cociente de 0.48; lo que sugiere una forma de parábola elíptica y al igual que las anteriores es poco profunda.

En cuanto a la profundidad relativa (Z_r) en los cuerpos de agua en este estudio, representa la porción de la profundidad máxima como porcentaje de diámetro promedio de la superficie de un cuerpo de agua y la capacidad del viento para inducir la mezcla que tiende a variar en función de estos parámetros, se considera por lo tanto, que es un indicador de la estabilidad de la columna de agua. Wetzel (1981) señaló que la mayoría de los lagos poseen un valor de Z_r menor al 2.0% es poco profundos y con menor estabilidad, mientras que los sistemas profundos y de superficie pequeña exhiben una mayor estabilidad y tienen generalmente valores de Z_r mayores del 4.0%.

De acuerdo con lo anterior, el valor obtenido (Tabla 7) para la presa de Umécuaro es de 0.52%, para la presa de Loma Caliente el valor fue de 0.59%, en La Mintzita se reportó el 0.54% y en Las Angustias el 0.63%, lo que sugiere que éstos son sistemas acuáticos pocos profundos y con baja estabilidad en la columna del agua, es decir que no ofrecen resistencia a la mezcla.

Con referencia al volumen de las presas los resultados indican que la presa de Umécuaro tiene un volumen de 2,025,121.23 m³, esto se refleja en el modelo digital donde en la parte Noroeste se registra el 30% de del volumen total de agua acumulado. La presa de Loma Caliente tiene un volumen de 595,962.03 m³, ésta presa al igual que la anterior registra al Noreste el 36% del volumen acumulado (Fig. 28). En la Mintzita se registró un volumen de 75,244.58m³ distribuido en forma homogénea y se acumula el 11% del volumen total al Oeste junto al manantial donde se encuentra la mayor profundidad, a diferencia de Las Angustias con un volumen de 88,817.83m³, y a pesar que ésta distribuido de forma dispersa se identifica una acumulación del 26.59 % del volumen total al Oeste (Fig. 28).

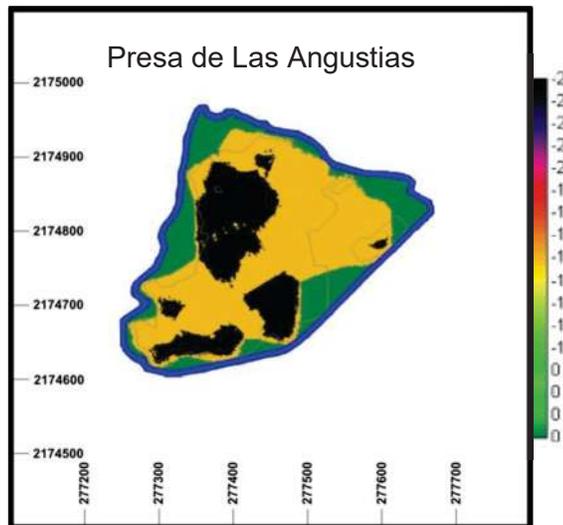
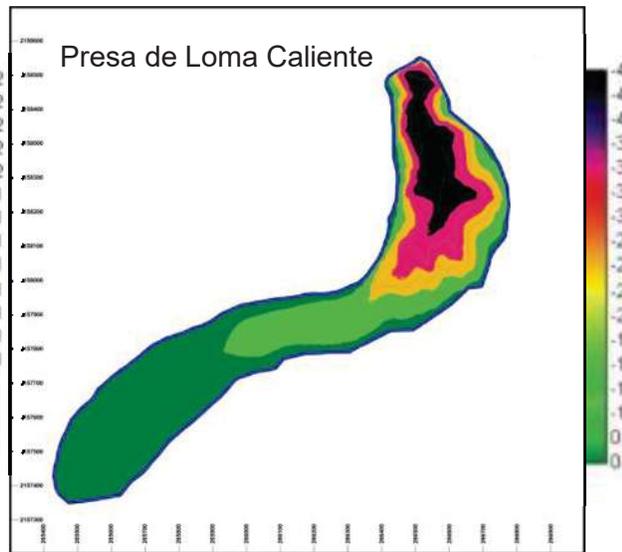
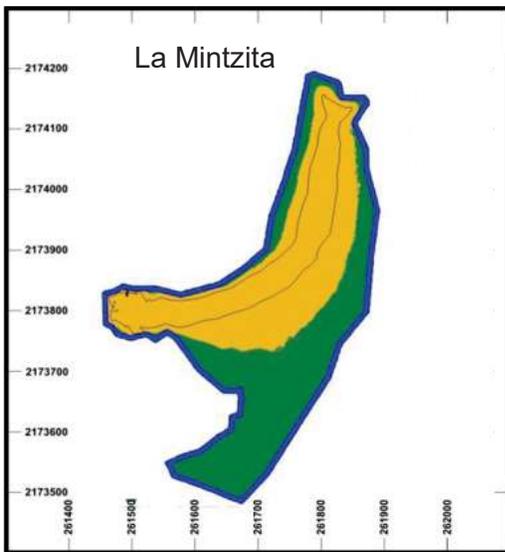
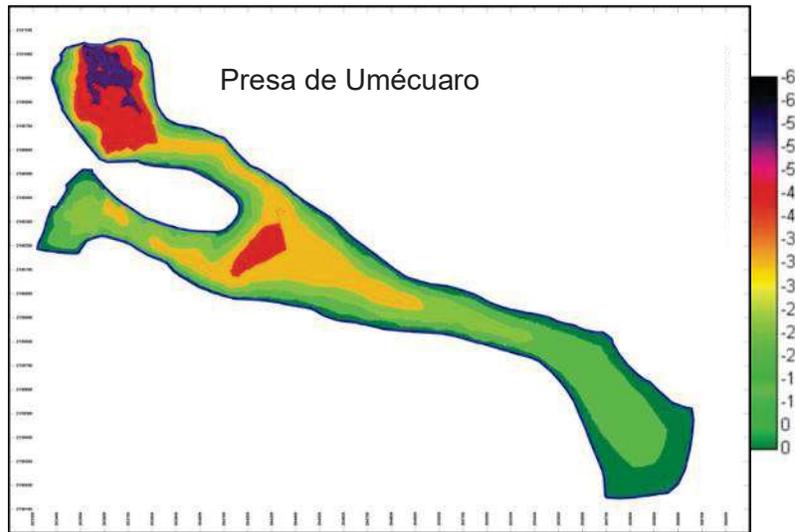


Figura 28. Modelo digital de las presas del municipio de Morelia.

Además se realizó la generación de un modelo de sombreado donde se representa el relieve de las profundidades de las presa de Umécuaro con un desarrollo de volumen del 0.91 %, y la presa Loma Caliente con un desarrollo de volumen del 0.93 % (Fig. 29).

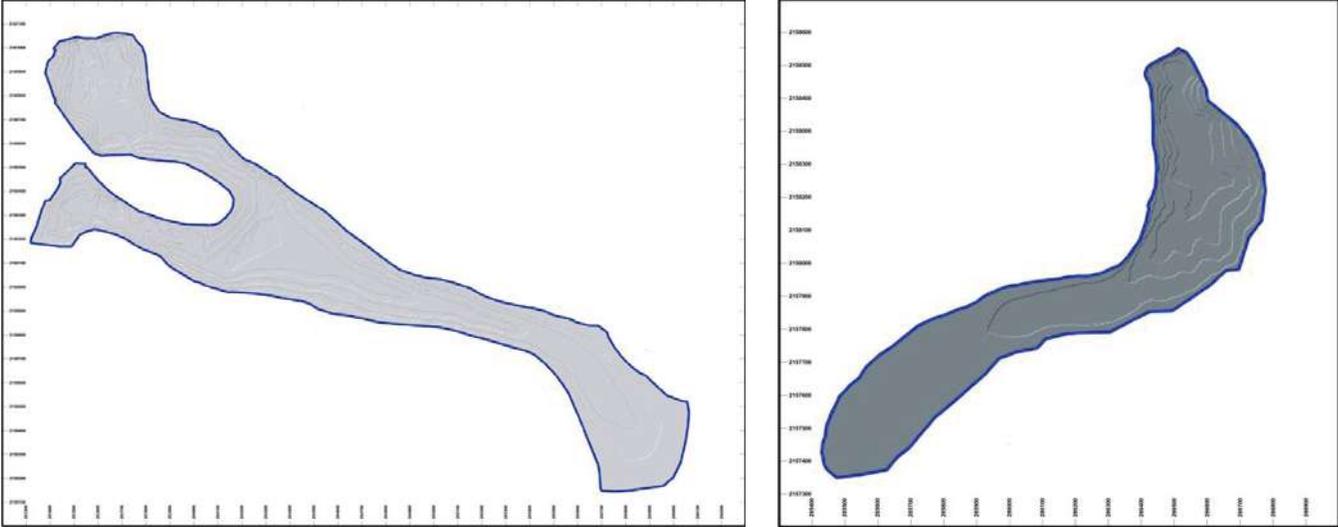


Figura 29. Modelo de Sombreado Presas Umécuaro y Loma Caliente.

Además de la generación de los modelos de sombreado de la presa La Mintzita con un desarrollo de volumen de 0.91% y Las Angustias que cuenta con un desarrollo de volumen de 1.46% (Fig. 30),

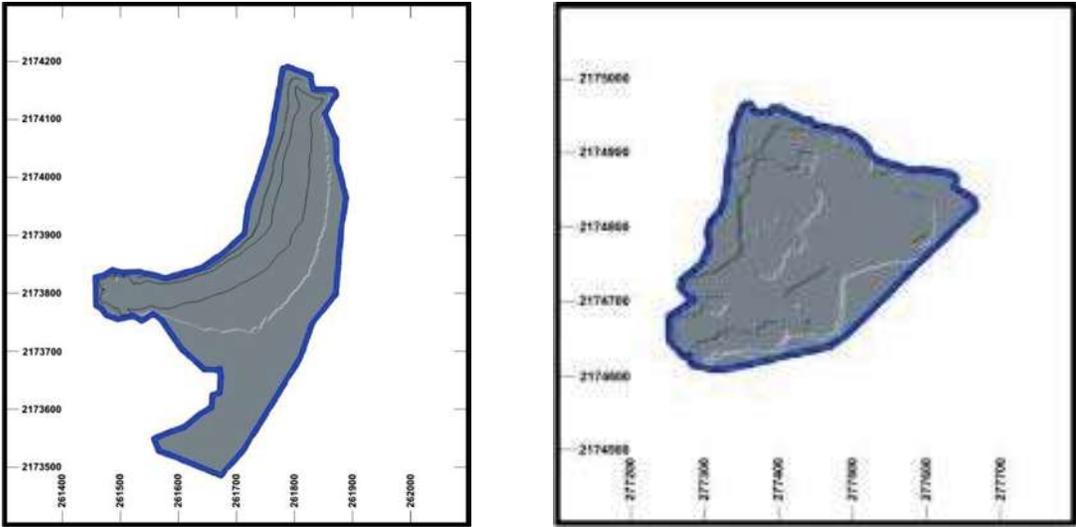


Figura 30. Modelo de Sombreado Presas La Mintzita y Las Angustias.

Con la relación directa entre la profundidad y el área de cada uno de los cuerpos de agua, se estableció la curva hipsográfica directa (Håkanson 1981) (Fig. 31) en la presa de Umécuaro se determinó que tiene una forma de parábola, lo que indica que es casi homogéneo en su distribución de área con respecto a la profundidad, excepto en el área acumulada de 0 a 0.09 donde se registró su mayor profundidad.

Asimismo en la presa de Loma Caliente se presenta en forma curva de manera homogénea en relación al área acumulada respecto a la profundidad, y donde se presenta la mayor área acumulada de 0.434 km² desde 0-1 m; en la presa de La Mintzita de igual manera se distribuye en forma homogénea en relación al área acumulada con la profundidad pero registrándose la mayor área acumulada de 0.118 km² desde la profundidad de 0-1 m. Sin embargo, en la presa de Las Angustias se presenta una curva invertida debido a sus profundidades dispersas en toda el área, con la mayor área acumulada de 0.086 km² a profundidad de 0-1 m.

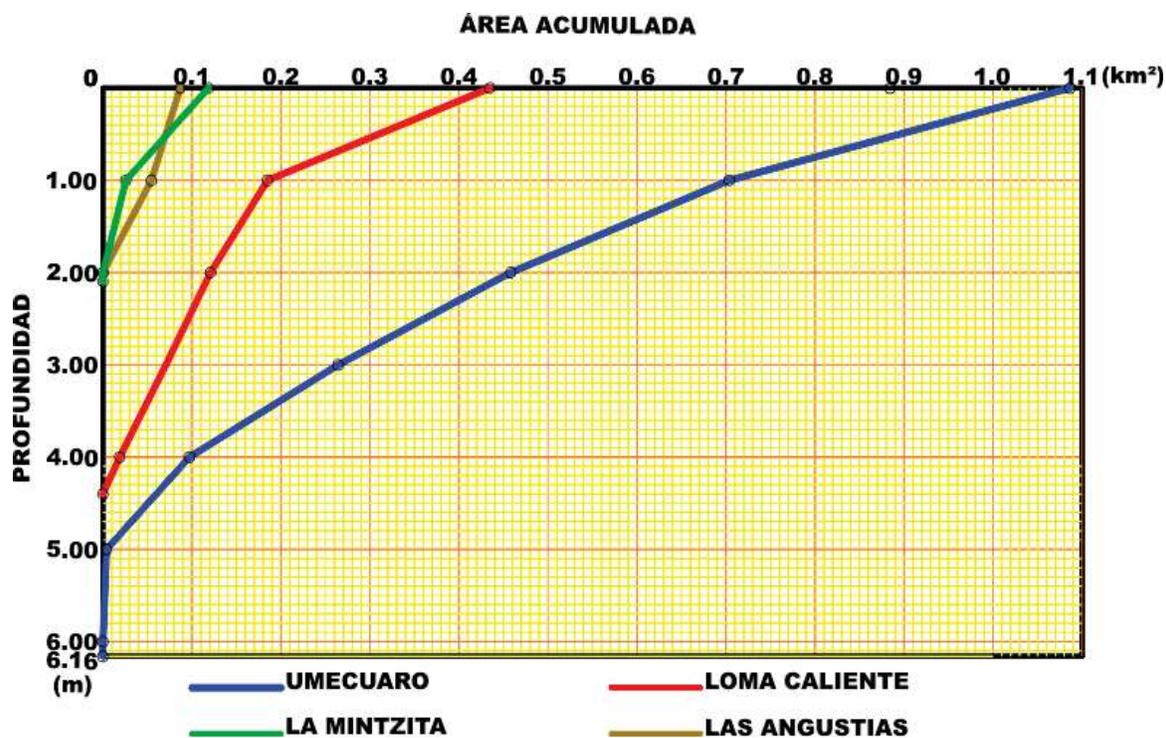


Figura 31. Curva hipsográfica directa Presas.

La gráfica hipsográfica porcentual determina las profundidades media y aquellas profundidades por cuártils, sugiriendo los porcentajes de área en relación con la profundidad. La profundidad mediana con el mayor valor se registró en la presa de Umécuaro con 1.66 m, en segundo lugar lo ocupa la presa Loma Caliente con 0.87 m, seguido de la presa de Las Angustias con 1.20 m, y para el caso de la Mintzita, se registró una menor profundidad mediana de 0.64 m, a pesar de que se registró un área mayor que el reportado en la presa de las Angustias (Fig. 32).

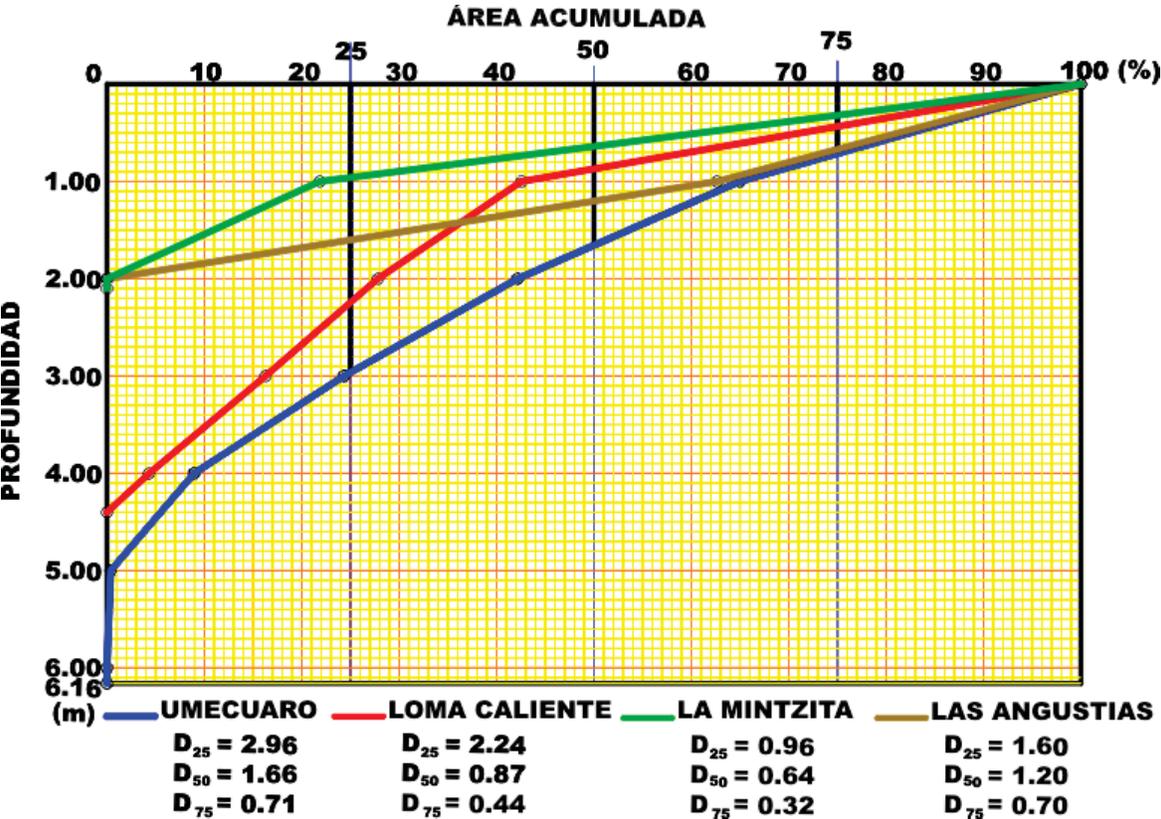


Figura 32. Curva hipsográfica porcentual Presas.

En el primer cuartil (D_{25}) las presas de Umécuaro y Loma Caliente se registraron los valores mas altos de 2.96 y 2.24 m respectivamente, seguidos de la presa de Las Angustias con 1.60 m mientras que La Mintzita presenta el valor mas bajo de 0.96 m.

Sin embargo; en el segundo cuartil se comportan de diferente manera, ya que las presas que reportan los valores más altos y similares son la presa de Umécuaro (0.71 m) y Las Angustias (0.70 m), seguido de Loma Caliente (0.44 m) y por último La Mintzita (0.32 m).

De acuerdo a la curva hipsográfica relativa propuesta por Håkanson 1981 (Fig. 33) cataloga a la presa de Umécuaro como un lago de tipo “micro” considerando que la curva presenta más de dos puntos de inflexión. Además se observa que el 33.37% con un valor de $f(-1.5)$ a $F(-3.0)$ y el 85.57% de los valores del cuerpo de agua se encuentran dentro de los valores límites $f(-0.5)$ a $f(-1.5)$ y esto lo clasifica a la presa como un lago de tipo convexo (Cx).

La presa de Loma Caliente se clasifica también como un lago de tipo “micro” considerando que la curva presenta dos puntos de inflexión. Se observa que el 39.45% de los valores se encuentran dentro de los límites $f(0.5)$ a $f(-0.5)$ y el 60.65% con un valor de $f(-0.5)$ a $f(-1.5)$, lo que la cataloga como un lago convexo (Cx) (Håkanson 1981).

La presa de La Mintzita se clasifica como un lago de tipo “micro” con dos puntos de inflexión. El 4.20% de los valores se encuentran dentro de los límites $F(-1.5)$ a $f(-3)$, el 30.52% entre $f(-0.5)$ a $f(-1.5)$ y el 65.28% de los valores se encuentran dentro de los límites $f(0.5)$ a $f(-0.5)$. Estos valores ubican a la Mintzita como un lago ligeramente convexo (SCx) (Håkanson 1981).

Finalmente la presa de Las Angustias se clasifica como un lago de tipo “micro” con dos puntos de inflexión. El 0.63% de los valores se encuentran entre los límites $F(-0.5)$ a $f(-1.5)$, y el 3.71% en los valores $F(-1.5)$ a $f(-3)$, el 11.50% entre $f(0.5)$ a $f(-0.5)$, y el 84.16% de los valores se encuentran dentro de los límites $f(0.5)$ a $f(1.5)$. Estos valores lo clasifican como un lago ligeramente convexo (SCx) (Håkanson 1981).

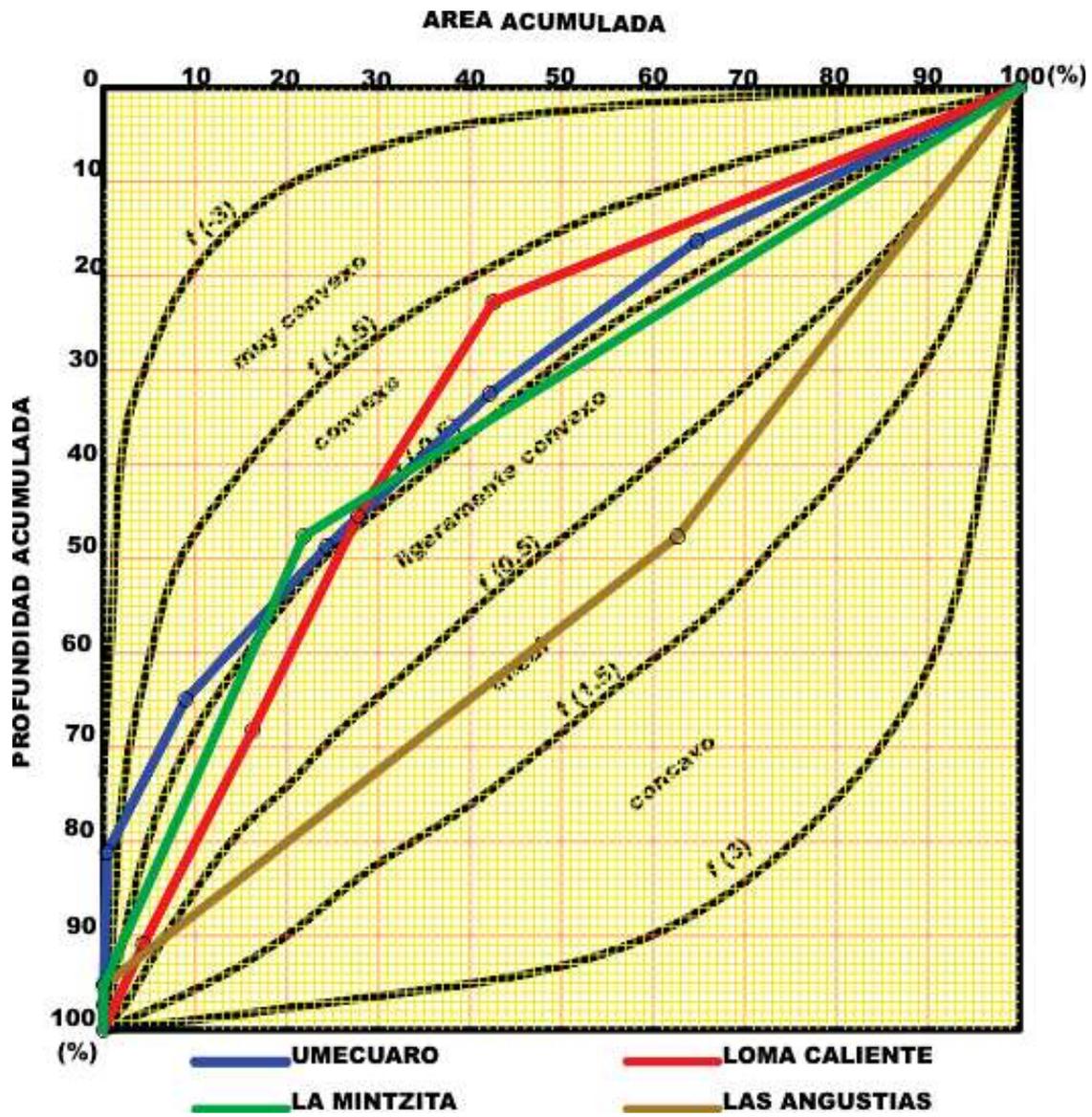


Figura 33. Curva hipsográfica relativa Presas.

En cuanto a la rugosidad del fondo, ésta explica la disposición de los sedimentos en el fondo del lago, así como su transporte dentro del sistema, es decir, es una medida del grado de irregularidad del fondo del lago.

Para la presa de Umécuaro se registró un valor de rugosidad de fondo de 1.24, en Loma Caliente una rugosidad de fondo de 1.12, en La Mintzita la rugosidad de fondo fue de 1.03 y en Las Angustias un valor de rugosidad de fondo fue de 0.50. Con respecto a la forma de rugosidad se reportó un valor de 15.06 en la presa de Umécuaro, para La presa Loma Caliente fue de 13.05, en la presa de La Mintzita de 14.42, y en Las Angustias fue de 15.83 (Tabla 8).

Tabla 8. Variables de rugosidad de las presas Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.

VARIABLES	PRESAS			
	Umécuaro	Loma Caliente	La Mintzita	Las Angustias
Rugosidad del fondo lacustre	1.24	1.12	1.03	0.50
Forma de rugosidad	15.06	13.05	14.42	15.83

7.3 Clima de la subcuenca y su tendencia en 15 años.

7.3.1 Temperatura, precipitación y evaporación.

En los último 15 años (1991 al 2005), se reportaron las temperaturas promedio mas altas en la zona del manantial La Mintzita y las menores en las presas de Umécuaro y Loma Caliente (Fig. 34).

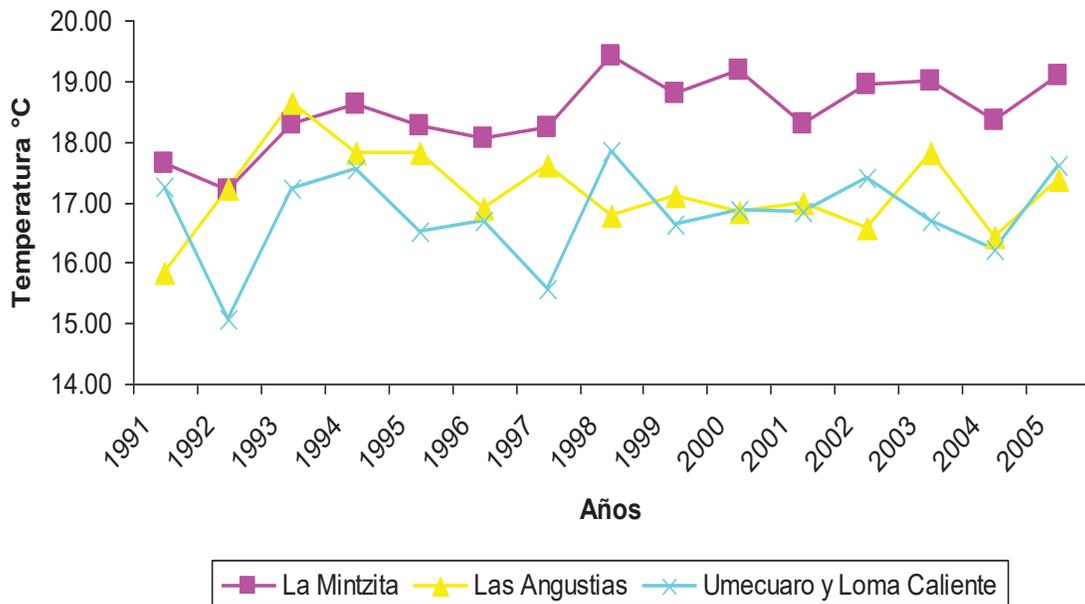


Figura 34. Temperatura promedio de las presas del municipio de Morelia.

En las presas de Umécuaro y Loma Caliente se registro una temperatura máxima de 40°C en Mayo de 1995 y la mínima registrada fue de -6°C en Enero de 1996. La máxima temperatura registrada en La Mintzita fue de 35.2°C en Abril de 1998, mientras que la menor en ésta zona fue de 4°C en Enero del mismo año. En Las Angustias la temperatura máxima fue de 41.0 °C en el mes de Junio del 1993, y la temperatura minima fue de -1.0 °C en el mes de Febrero de 2005. (Tabla 9).

Tabla 9. Temperatura de las presas del municipio de Morelia, Mich.

Cuerpo de agua	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Promedio (°C)
Umécuaro	40	-6	16.85±11.38
Loma Caliente	40	-6	16.85±11.38
Mintzita	35.7	4	18.19±7.32
Las Angustias	41	-1	17.82±9.81

En cuanto a la precipitación se determinó que para las presas de Umécuaro y Loma Caliente en los últimos 15 años la mayor precipitación fue de 229.50 mm en el mes de Junio y la mínima de 1.2 mm en Abril de 1995, con un promedio anual de 124.01 mm. En la zona de las Angustias la máxima precipitación fue de 426.20 mm en Julio de 1996 y la mínima de 3.10 mm en Noviembre del mismo año, con promedio anual de 94.46 mm y en La Mintzita se reportó una máxima de 269 mm en Junio de 1995, la mínima fue de 0.20 en Marzo del 2000, con un promedio anual de 68.73 mm (Tabla 10).

Tabla 10. Precipitación de las presas del municipio de Morelia, Mich.

Cuerpo de agua	Máxima (mm)	Mínima (mm)	Promedio (mm)
Umécuaro	229.50	1.2	124.1±82.68
Loma Caliente			
Mintzita	269	0.20	68.73±80.60
Las Angustias	426.20	3.10	94.46±98.45

La evaporación en la zona de las presas de Umécuaro y Loma Caliente que se registró fue una evaporación mínima diaria de 62.6 mm en el mes de Enero de 1992 y la máxima en el mes de Mayo de 1998 de 204.10 mm, con un promedio de 133.35 mm. Para el caso de La Mintzita la evaporación mínima fue de 83.83 mm en el mes de Octubre de 1998 y la máxima en el mes de Mayo de 1996 de 257.93 mm, con un promedio de 170.88. En la presa de Las Angustias la evaporación no fue posible documentar ya que no hay registro de estos datos (Tabla 11).

Tabla 11. Evaporación en las presas del municipio de Morelia, Mich.

Cuerpo de agua	Máxima (mm)	Mínima (mm)	Promedio (mm)
Umécuaro	204.2	62.6	133.35±
Loma Caliente			
Mintzita	257.93	83.83	170.88±8
Las Angustias	nd	nd	nd

7.3.2 Tiempo de retorno de lluvias.

En la Microcuenca del Río Grande de con una superficie de 45,893 ha, donde se incluye las presas Umécuaro y Loma Caliente, de acuerdo a los resultados el retorno de lluvia con mayor aportación de precipitación (302.6mm) es de 15 años con una probabilidad del 6%, que aportan un volumen de 138'872,218 m³ en la microcuenca, los retorno de lluvia con una probabilidad del 50% es cada 1.9 años con una aportación de precipitación de (206.2mm) con un aporte de 50'849,444 m³, mientras que el retorno de lluvia mas frecuente con un 94% de probabilidad son las lluvias con menos de 140mm de precipitación que ocurren cada año, ingresando a la microcuenca un volumen de 50'849,444 m³ (Tabla 12).

Tabla 12. Retorno de lluvia para las presas de Umécuaro y Loma Caliente desde 1991 a 2005.

Precipitación mm	Probabilidad $P=M/N+1*100$ %	Año de retorno $R=T/m$	Captación m ³ (área microcuenca x precipitación)
302.6	6	15.0	138'872,218
261.8	13	7.5	120'147,874
258.1	19	5.0	118'449,833
218.1	25	3.8	100'092,633
213.0	31	3.0	97'752,090
209.6	38	2.5	96'191,728
208.6	44	2.1	95'732,798
206.2	50	1.9	94'631,366
172.1	56	1.7	78'981,853
168.6	63	1.5	77'375,598
148.0	69	1.4	67'921,640
139.7	75	1.3	64'112,521
134.3	81	1.2	61'634,299
120.5	88	1.1	55'301,065
110.8	94	1.0	50'849,444

En la Microcuenca de Infiltración con una superficie de 27,273 ha, donde se encuentra la Mintzita, se obtienen menor volumen de aporte a la microcuenca de 73'364,370 m³, cuando el tiempo de retorno de lluvia es de 15 años, mientras que las lluvias con una probabilidad del 50% ocurre cada 1.9 años (182.4mm), mientras que las pequeñas precipitaciones (80.1mm) se presentan cada año con probabilidad del 94% aportando un volumen de 21'845,673 m³ (Tabla 13).

Tabla 13. Retorno de lluvia para La Mintzita desde 1991 a 2005.

Precipitación mm	Probabilidad %	Año de retorno R=T/m	Captación m ³ (área microcuenca x precipitación)
269.0	6	15.0	73'364,370
263.4	13	7.5	71'837,082
261.2	19	5.0	71'237,076
232.4	25	3.8	63'382,452
226.4	31	3.0	61'746,072
189.3	38	2.5	51'627,789
188.1	44	2.1	51'300,513
182.4	50	1.9	49'745,952
176.4	56	1.7	48'109,572
172.0	63	1.5	46'909,560
161.6	69	1.4	44'073,168
125.6	75	1.3	34'254,888
111.2	81	1.2	30'327,576
104.0	88	1.1	28'363,920
80.1	94	1.0	21'845,673

Mientras que en la Microcuenca del Río Chiquito con una superficie de 5,799 Ha. se localiza la presa de Las Angustias, se registra un tiempo de retorno para altas precipitaciones al igual que las dos anteriores microcuencas cada 15 años con una precipitación anual de 24,715,338 m³, mientras que el 50% de probabilidad de retornos de lluvia se registra cada 1.9 con 12, 798,393 m³ (Tabla 14).

Tabla 14. Retorno de lluvia para la presa de Las Angustias desde 1991- 2005.

Precipitación mm	Probabilidad %	Año de retorno R=T/m	Captación m ³ (área microcuenca x precipitación)
426.2	6	15.0	24, 715,338
346.7	13	7.5	20, 105,133
334.3	19	5.0	19, 386,057
316.3	25	3.8	18, 342,237
294.2	31	3.0	17, 060,658
250.4	38	2.5	14, 520,696
222.0	44	2.1	12, 873,780
220.7	50	1.9	12, 798,393
171.4	56	1.7	9'939,486
106.2	63	1.5	6'158,538
84.4	69	1.4	4'894,356

7.3.3 Tipo de clima en las microcuencas de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.

Con los resultados anteriores y de acuerdo a el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1988) para las condiciones de la República Mexicana se determino que para las presas de Umécuaro y Loma Caliente el clima regional se describe con la formula:

$$Cb(w1)(w)eg$$

Esta describe a una condición climática semicalido subhúmedo con régimen de lluvias en verano e invierno seco, con un cociente de precipitación y temperatura (P/T) de 51.2, donde el porcentaje de precipitación invernal es menor del 5% (4.0%) con respecto al total de la precipitación anual, con verano calido con temperatura media anual entre 12 y 18 °C (16.8°C), con oscilación térmica extremosa, es decir entre 7 y 14°C (7.6°C) presenta una marcha anual de la temperatura tipo Ganges con el mes más cálido que es Mayo antes del solsticio de verano.

Para La Mintzita se determino un clima regional que se describe con la formula:

$$(A)Ca(w1)(w)i'g$$

Lo que indica que es un clima semicalido subhúmedo con régimen de lluvias en verano e invierno seco, con un cociente de precipitación y temperatura (P/T) de 44.6, donde el porcentaje de precipitación invernal es menor del 5% (4.6%) con respecto al total de la precipitación anual, con verano calido con temperatura media anual entre 12 y 18 °C (18.5 °C), y con poca oscilación térmica, es decir entre 5 y 7 °C (7 °C) presenta una marcha anual de la temperatura tipo Ganges con el mes más cálido que es Mayo antes del solsticio de verano.

Para la presa de Las Angustias se determino con datos de la estación 16052 Jesús del Monte, que el clima se describe con la formula:

$$Cb(w1)(w)i'g$$

Lo que refiere que es un clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano e invierno seco, con un cociente de precipitación y temperatura (P/T) de 48.5, donde el porcentaje de precipitación invernal es menor del 5% (2.4%) con respecto al total de la precipitación anual, con verano fresco largo con temperatura media anual entre 12 y 18 °C (17.1 °C), y con poca oscilación térmica, es decir entre 5 y 7 °C (6.1 °C) presenta una marcha anual de la temperatura tipo Ganges con el mes más cálido que es Mayo antes del solsticio de verano.

7.3.4 Balance Hidráulico de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.

Balance hidráulico (Fig. 35) correspondiente a las presas Umécuaro y Loma Caliente de la información obtenida de la estación Santiago Undameo, cuenta con un volumen de precipitación de 673.46 m³ y un balance positivo hídrico con una curva masa de aportaciones de 336.73 m³ en el periodo de 1991 a 2005.

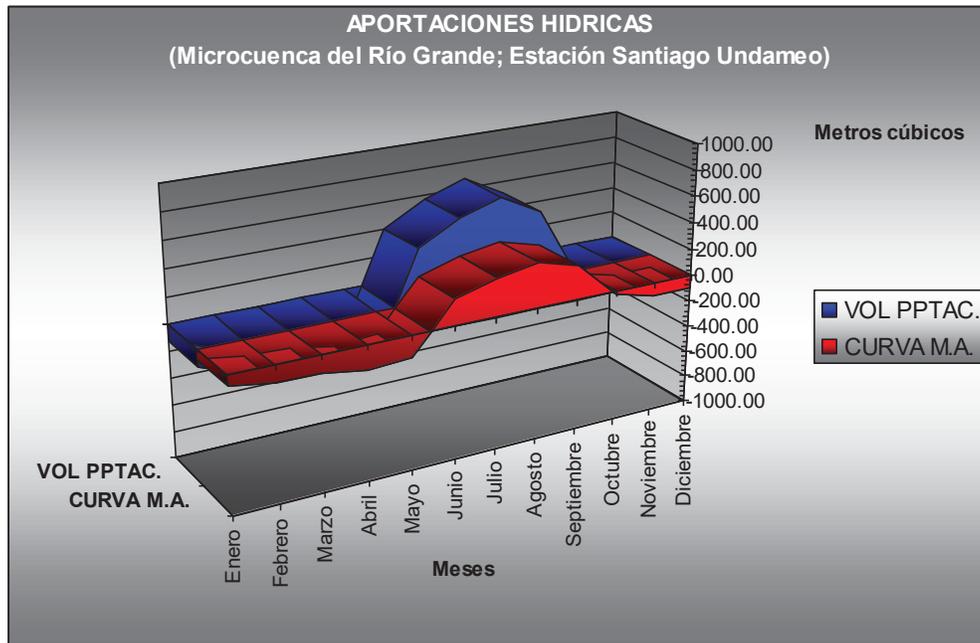


Figura 35. Grafica Balance Hidráulico presas Umécuaro y Loma Caliente.

El balance hidráulico (Fig. 36) correspondiente a La Mintzita cuenta con un volumen de precipitación de 578.75 m³ y un balance positivo hídrico con una curva masa de aportaciones de 289.38 m³ en el periodo de 1991 a 2005.

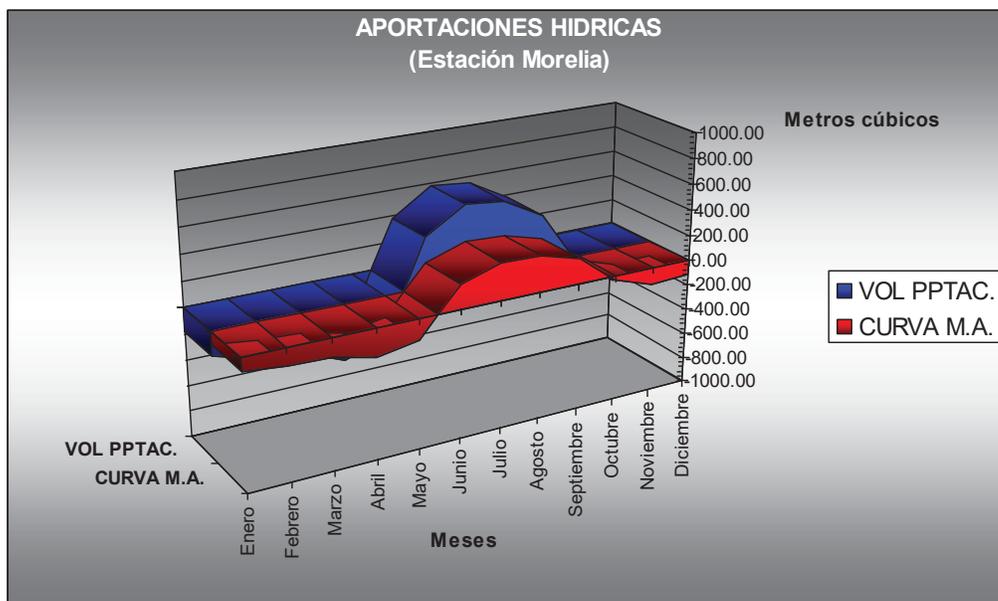


Figura 36. Grafica Balance Hidráulico presa La Mintzita.

Los resultados del balance hidráulico (Fig. 37) correspondiente a la presa Las Angustias indican que cuenta con un volumen de precipitación de 647.59 m³ y un balance positivo hídrico con una curva masa de aportaciones de 323.80 m³ en el periodo de 1991 a 2005.

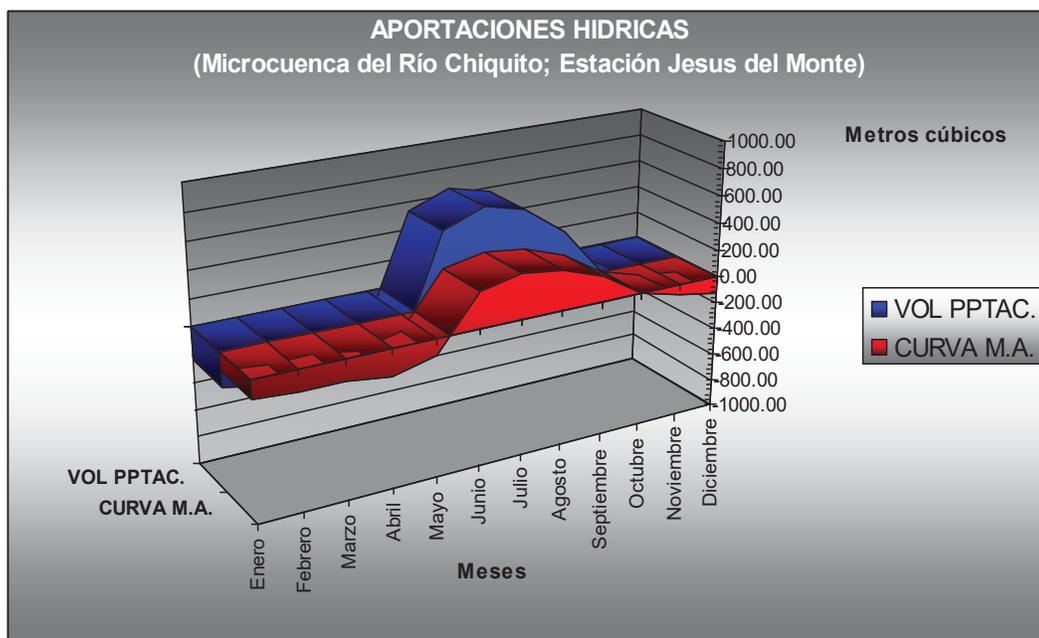


Figura 37. Grafica Balance Hidráulico presa Las Angustias.

7.4 Hidrodinámica del cuerpo de agua

El análisis de los datos de vientos indican que en la Microcuenca del Río Grande (Umécuaro y Loma Caliente) provienen del Suroeste con una frecuencia del 47.31% durante todo el año y con menor frecuencia del Oeste en 10.42%. En el de la Microcuenca del Río Chiquito (Las Angustias), los datos reflejan que los vientos provienen del Este con una frecuencia del 65.71% durante todo el año, presentándose además vientos en dirección Norte con una frecuencia menor de 18.57% en los meses de Septiembre a Enero (Fig. 38).

En la Microcuenca de infiltración (La Mintzita) los resultados de frecuencia del viento indican que provienen del Suroeste con un 47.31% durante los meses de Diciembre a Mayo, además de vientos con una frecuencia de 43.55% con dirección al Noreste durante los meses de Junio a Noviembre (Fig. 38).

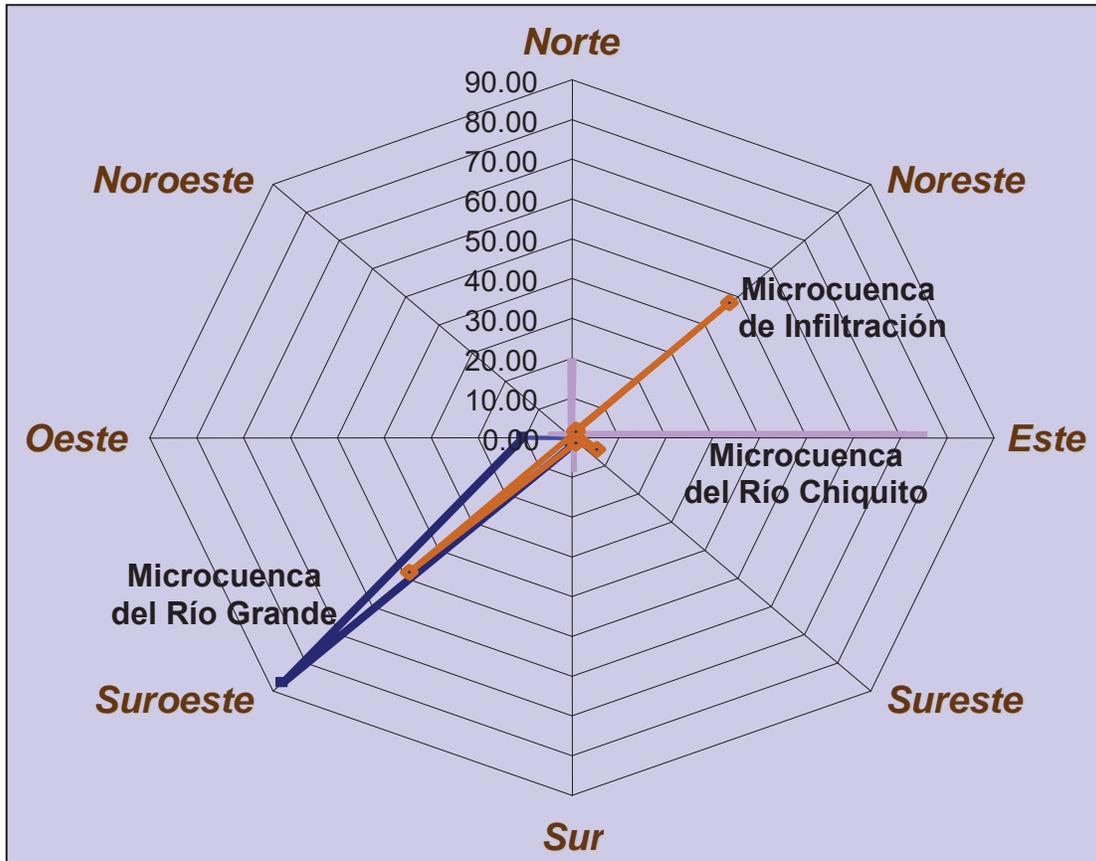


Figura 38. Grafica Rosa de vientos, frecuencia y dirección de vientos anual.

En Umécuaro, las veletas de deriva superficial realizaron movimientos hacia el Noroeste con una velocidad promedio 0.12 m/seg, con una velocidad de viento promedio de 7.60 millas por hora, los movimientos hidrodinámicos de las veletas de profundidad de un metro se presentaron una dirección semejante con variación aproximada de 11° y una velocidad de 0.11 m/seg, referente a las veletas de 2.0 m, estas se registraron únicamente en la zona profunda de la presa, realizaron movimientos hacia el Noroeste con una variación respecto a las de deriva superficial de 26° con una velocidad promedio de 0.05 m/seg, los desplazamientos de las veletas fueron inferiores al incrementar la profundidad (Fig. 39).

Respecto a los movimientos hidrodinámicos de la presa de Loma Caliente se registró que las veletas de deriva superficial se dirigen hacia el Sureste con una velocidad promedio de 0.05 m/seg y una velocidad de viento de 5.1 millas por hora, las veletas a una profundidad de un metro realizan movimientos hidrodinámicos similares a las de superficie con una variación de 41° y una velocidad de 0.03 m/seg, en cuanto a las de 2.0 m de profundidad se registraron hacia el Noreste con una velocidad de 0.01 m/seg, esta última refleja un cambio de dirección respecto a las dos anteriores (Fig. 40).

En la presa Las Angustias las veletas de deriva superficial realizaron movimientos hidrodinámicos hacia el Suroeste con distancia de desplazamiento promedio de 130.0 m, con una velocidad de 0.04 m/seg, las veletas de la profundidad trazaron su movimiento hidrodinámico hacia el Sureste 0.03 m/seg, disminuyendo su velocidad de desplazamiento conforme a mayor profundidad (Fig. 41).

La Mintzita se encuentra saturada de lirio, vegetación acuática emergente y sumergida que no permitieron el desplazamiento de las veletas de deriva superficial ni de las de profundidad, impidiendo obtener resultados de sus movimientos hidrodinámicos (Fig. 42).

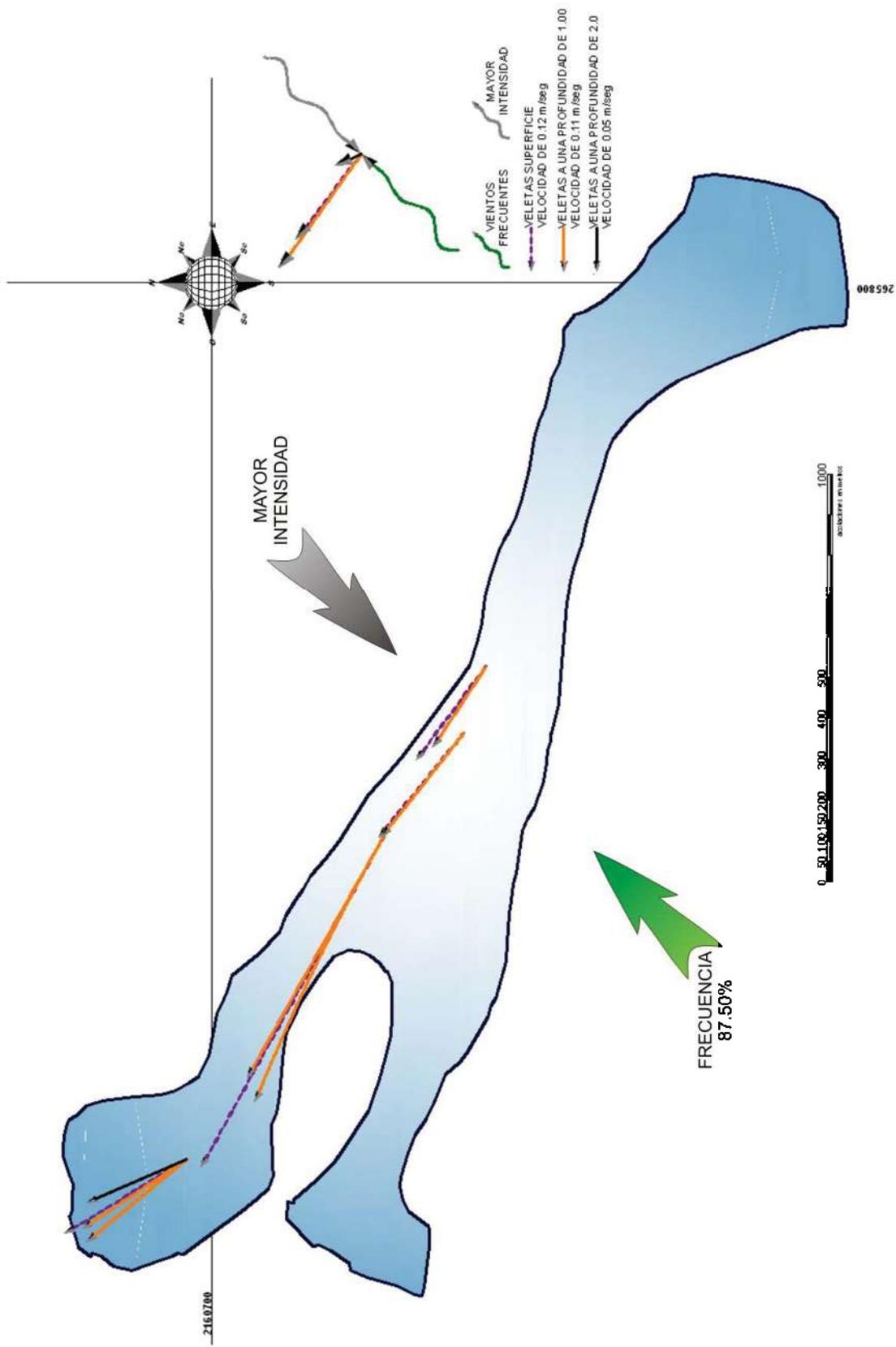


Figura 39. Movimientos hidrodinámicos Presa Umécuaro.

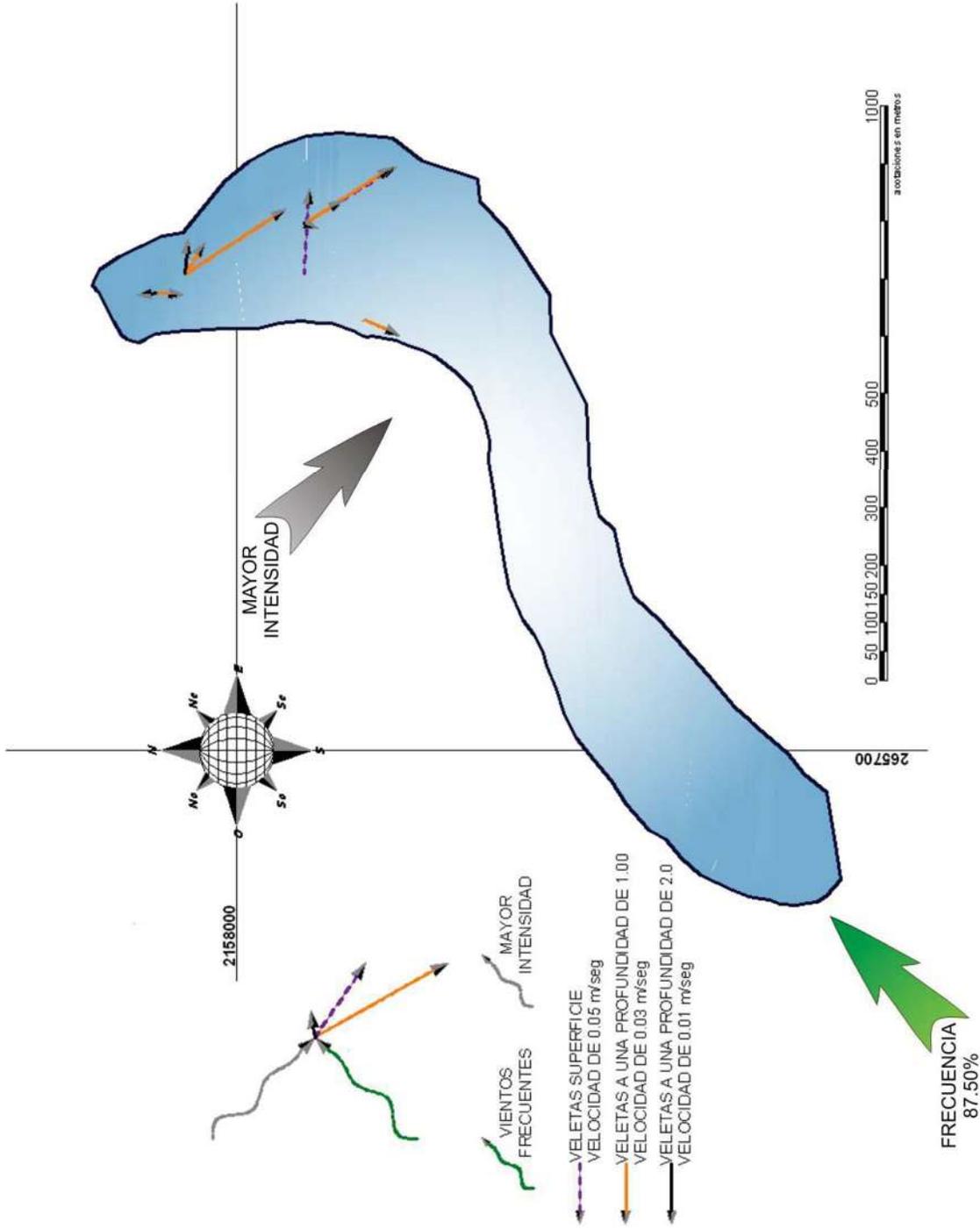


Figura 40. Movimientos hidrodinamicos Presa Loma Caliente.

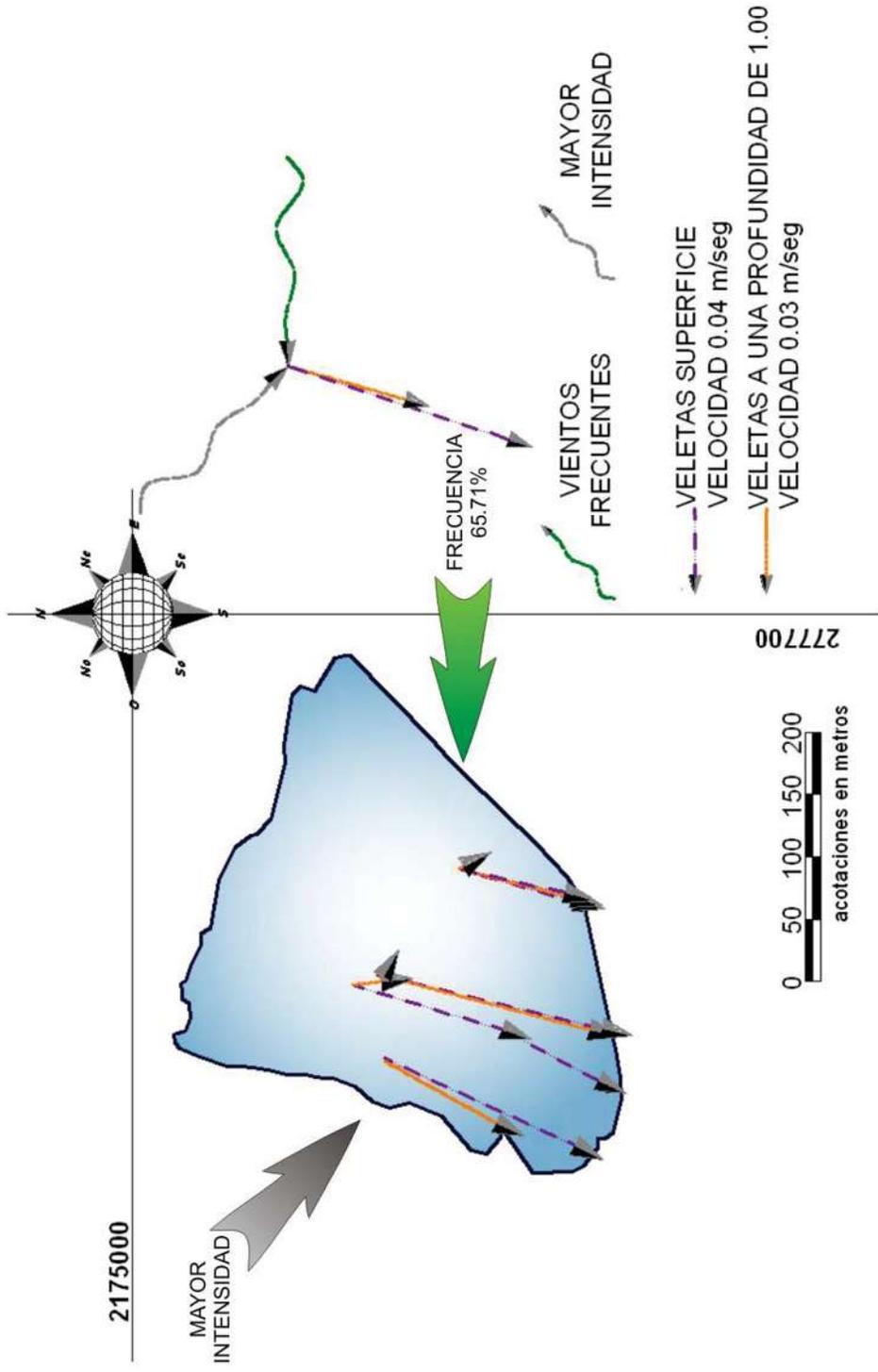


Figura 41. Movimientos hidrodinámicos Presa Las Angustias.

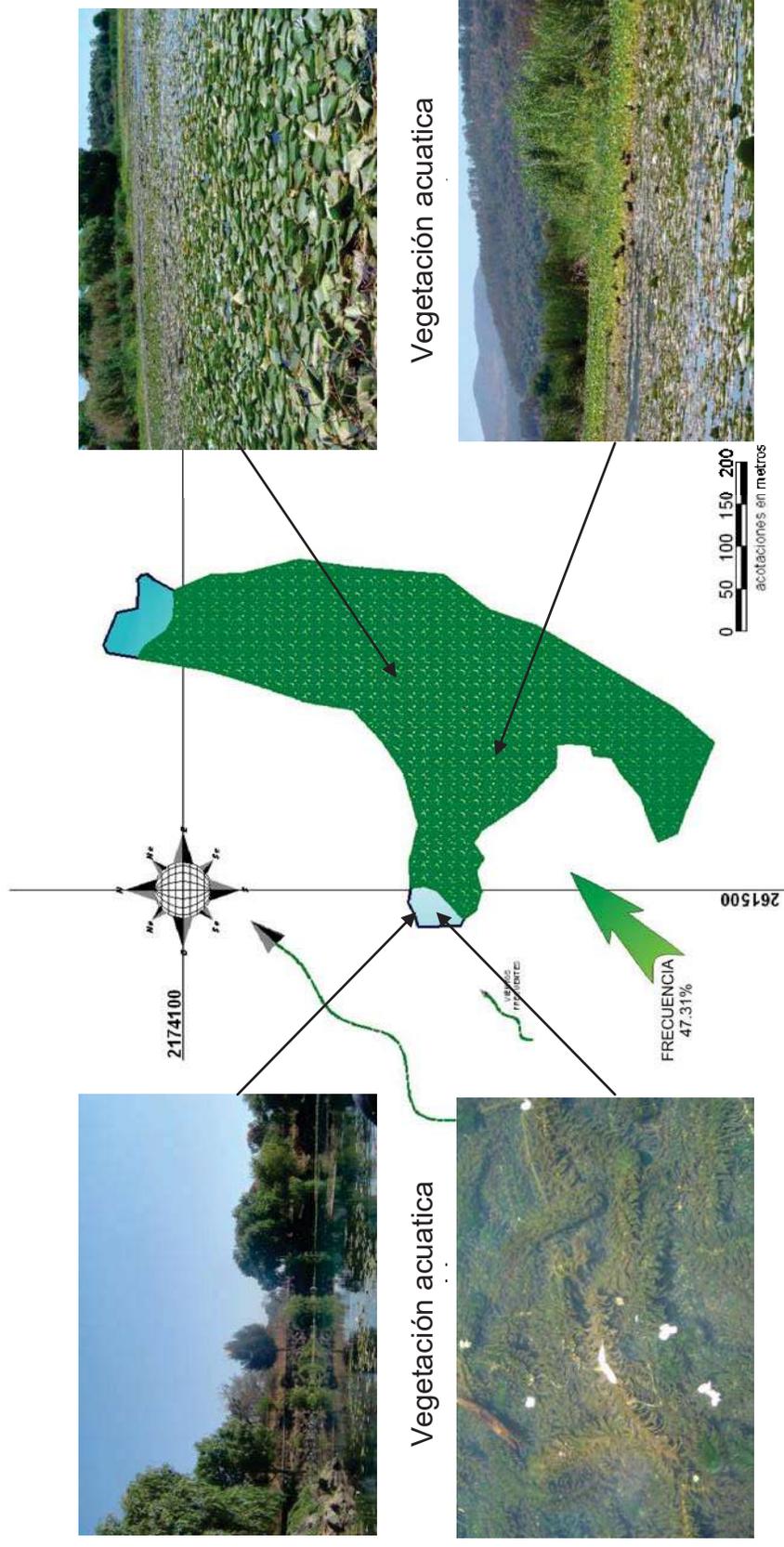


Figura 42. Hidrodinamica en La Mintzita bloqueados por vegetación acuática.

7.5 Parámetros óptica de las presa de Umécuaro, Loma Caliente, las Angustias y el manantial la Mintzita.

Los valores de irradianza en las presas del municipio de Morelia, indican que las presas de Umécuaro y Las Angustias tienen mayor irradiación solar sobre su superficie con valores máximos de 153,400 y 87,000 mW/cm² respectivamente, mientras que la presa de Loma Caliente y La Mintzita están en el orden de 18,000 mW/cm². En cuanto a la profundidad a la que se detecto el mínimo de incidencia de la luz blanca se registró a 2.5 m en las presas de Umécuaro y Loma Caliente, mientras que el Las Angustias se registró a una profundidad de 0.5 m y en La Mintzita a 1.5 m.

Con respecto a la irradianza en los intervalos cromáticos azul, verde y rojo registrados en campo se observó que en las presas se extingue primeramente la banca cromática azul entre los 0.5 a 1 m de profundidad, en las presas de Umécuaro y Loma Caliente la banda color rojo y verde se extinguen a 2.5 m, mientras que en la presa de Las Angustias solo alcanza los 0.4 m y la verde a 0.3 m.

En el caso del manantial La Mintzita las diferentes bandas cromáticas presentan el mismo patrón llegando hasta los 3 m, sin embargo estas se registran con diferencias en intensidad de irradiación, registrándose una mayor irradiación en la banda azul, seguida de la roja y finalmente la verde (Fig. 43).

El porcentaje de luz muestra que la presa de Las Angustias presenta una rápida extinción vertical de luz sin lograr llegar al metro de profundidad y registrando el 1% de esta (zona eufótica) a 0.66 m, en la presa de Umécuaro y Loma Caliente que se encuentran en la misma microcuenca se reporta el 1% de luz vertical a 3.6 y 3.9 m respectivamente, mientras que en el manantial de La Mintzita la zona es el 1% se registra a 4.1 m de profundidad (Fig. 44).

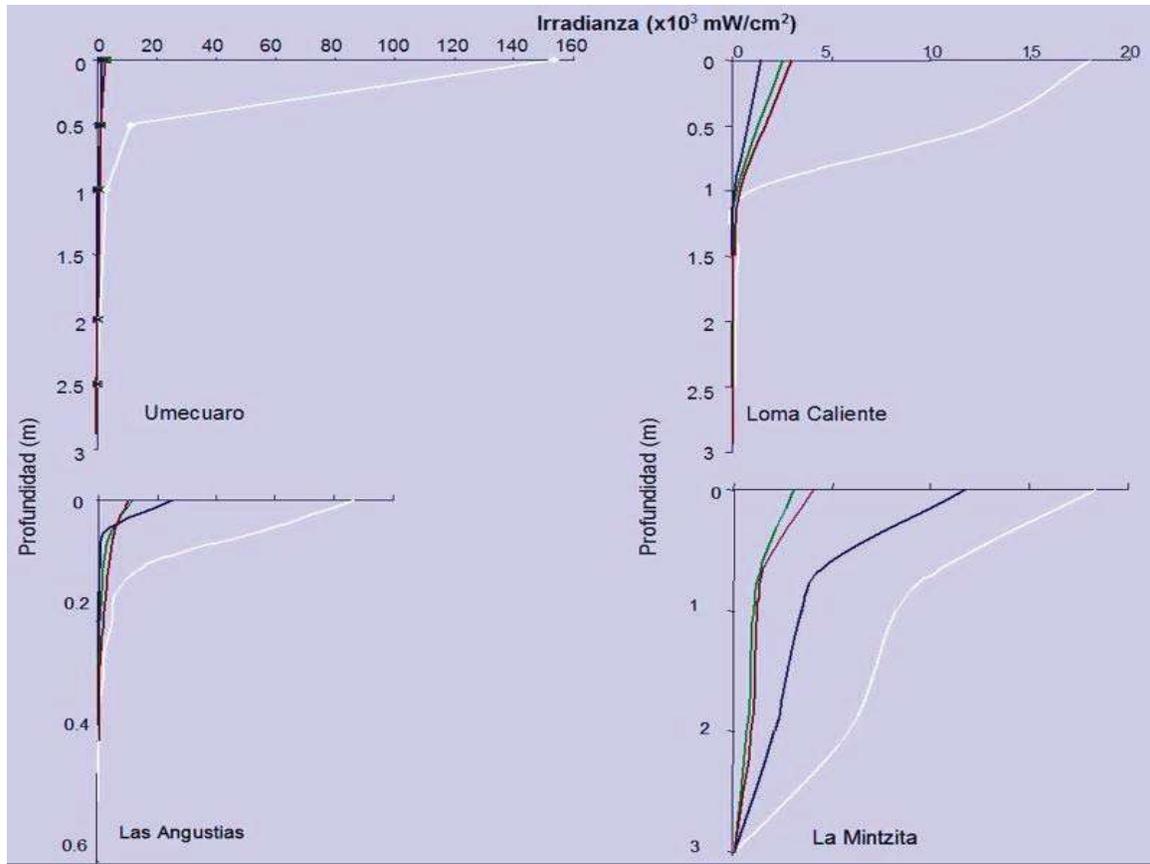


Figura 43. Perfil de atenuación vertical de las presas y el manantial.

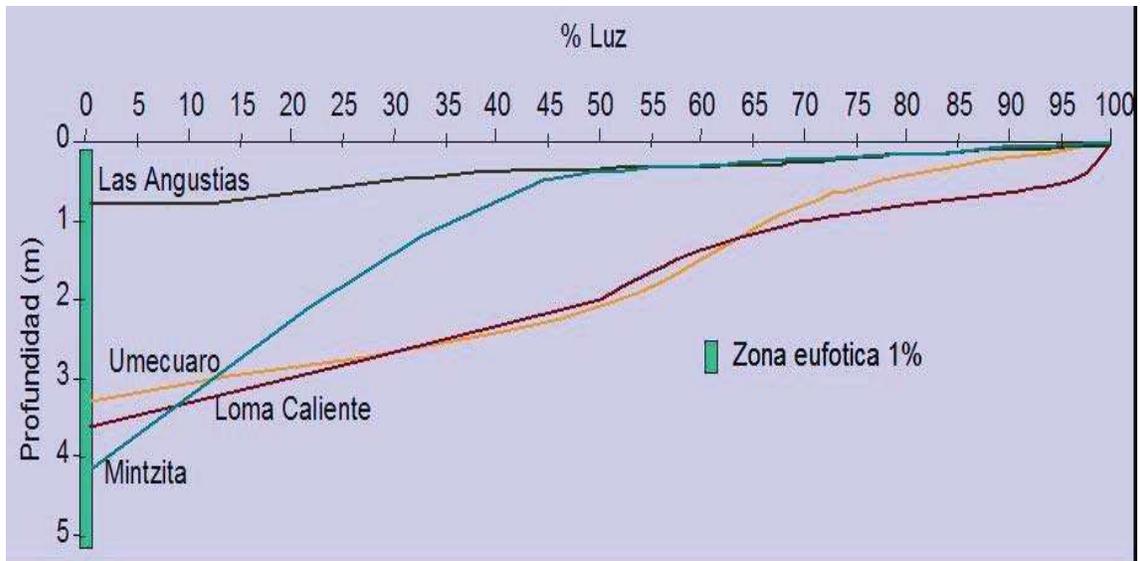


Figura 44. Perfil de atenuación vertical (%) y ubicación de la zona eufótica de las presas y el manantial.

Con el análisis de regresión lineal entre la profundidad y el logaritmo natural de irradianza (k_d) de los valores registrados en las presas y el manantial, se calculó el estimó el coeficiente de extinción vertical de luz a partir de la pendiente recta.

Para el caso de las presas de Umécuaro se registró un coeficiente de 3.0491 con una zona eufótica estimada de 1.51 m, en la presa de Loma Caliente el coeficiente de extinción vertical fue de 2.469 y 1.87 m de profundidad fótica. El menor de los coeficientes de extinción registrado fue de 1.1304 y una zona eufótica de 4.06 m fue en La Mintzita, el caso contrario se presentó en la presa de Las Angustias donde se registró una zona eufótica de 0.76 m y un coeficiente de 6.0335 (Fig. 45).

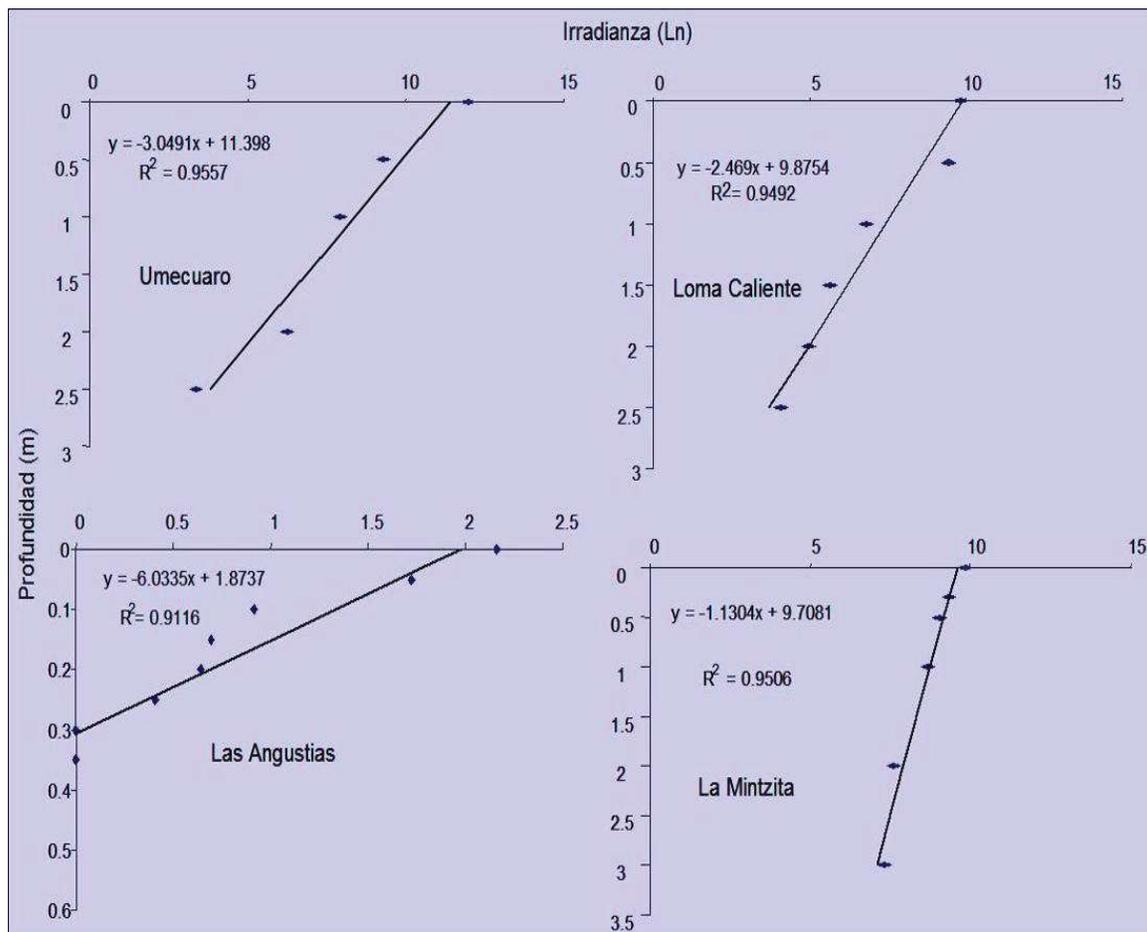


Figura 45. Correlación entre logaritmo natural de k_d y profundidad en las presas y el manantial del municipio de Morelia.

En lo referente a al coeficiente de atenuación vertical de luz (c) se registro el valor mas alto en la presa de Las Angustias de 6.03 m, y una lectura de disco de Secchi de 0.30 m, le siguen la presa de Umécuaro (3.05 m) y un registro de disco de Secchi de 1.87 m, Loma Caliente que se encuentra en la misma microcuenca tiene un coeficiente atenuación vertical ligeramente mas bajo que la presa de Umécuaro 2.47 m con un disco de Secchi de 1.87 m y por último el manantial de La Mintzita presente el coeficiente mas bajo 1.13 con el máximo valor de disco de Secchi de 2.0 m (Tabla 15).

Tabla 15. Valores ópticos de las presas del municipio de Morelia, Michoacán.

Parámetros	Umécuaro	Loma Caliente	Las Angustias	La Mintzita
kd (m)	3.05	2.47	6.03	1.13
c (m)	5.42	5.51	6.70	1.27
Kd+c	8.47	7.98	12.73	2.40
Disco de Secchi (m)	1.54	1.57	0.30	2.00
Zona eufótica	1.51	1.87	0.76	4.06

De acuerdo a la relación de C y Kd ($r^2=0.67$) se puede observar que las presas de Umécuaro, Loma Caliente y Las Angustias destacan en que ambas variables presentaron mayor extinción de luz, mientras que La Mintzita es reportada con menor extinción de luz tanto vertical como horizontal (Fig. 46).

En el caso de la transparencia del disco de Secchi se resalta que las presas Umécuaro, Loma Caliente y Las Angustias, esta relacionada con el kd ($r^2=0.82$), mientras que en el caso de La Mintzita se relaciona con C ($r^2=0.75$) (Fig. 47).

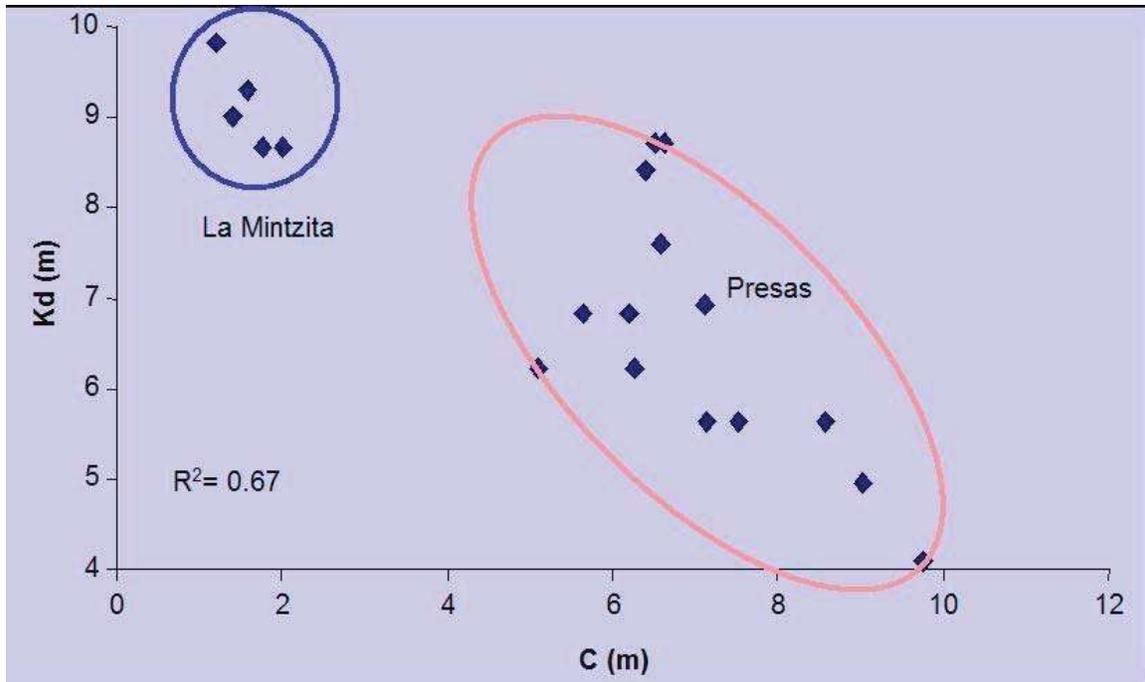


Figura 46. Relación entre k_d y C de sistemas acuáticos en estudio.

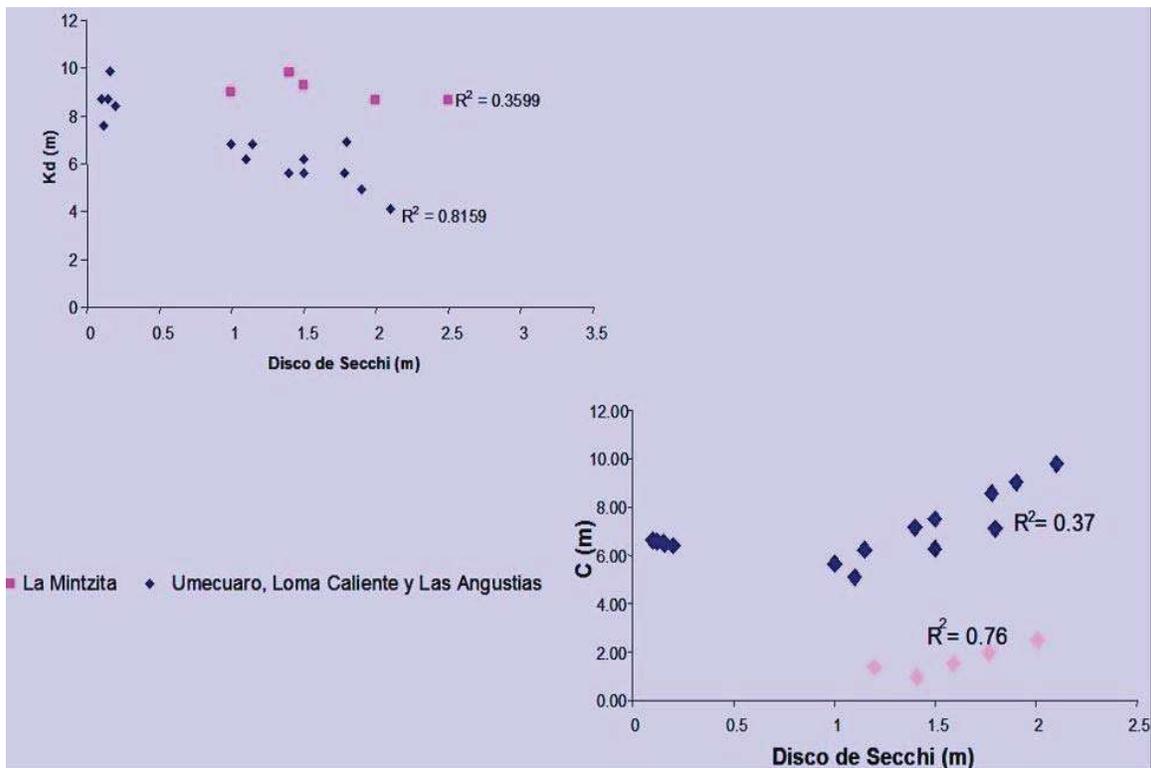


Figura 47. Relación de k_d y c con el disco de Secchi .

Por lo anterior se realizó un análisis de relación extinción de luz vertical (k_d) y horizontal (c) con sólidos suspendidos y clorofilas agrupando las presas y aparte el manantial dado a sus características de mayor transparencia.

Los resultados reportaron que las presas tiene una mayor relación entre k_d con la concentración de sólidos suspendidos de $r^2 = 0.66$, mientras que La Mintzita se encuentra una relación entre k_d y la concentración de clorofila de $r^2 = 0.66$ (fig. 48).

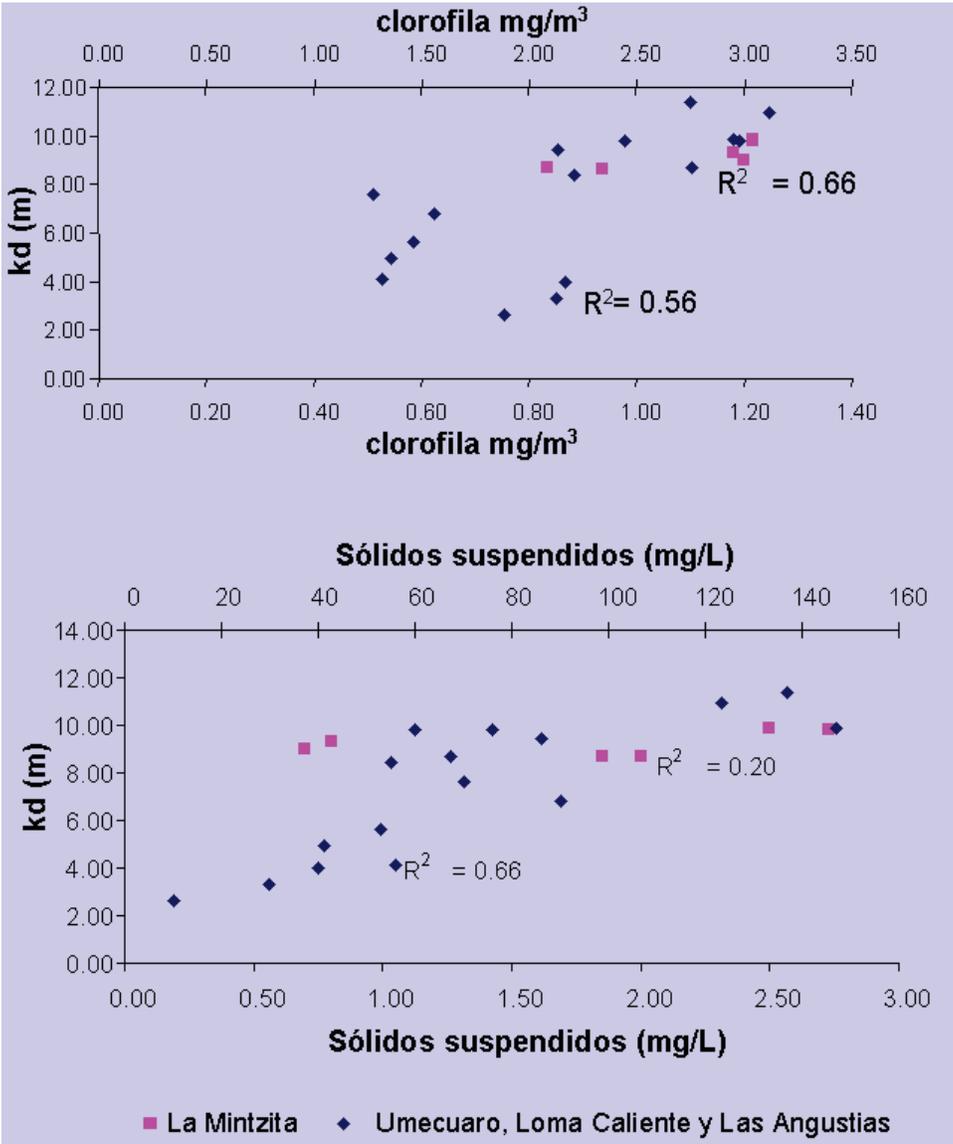


Figura 48. Relación de k_d con clorofila-a y sólidos suspendidos.

7.6 Calidad de agua y sedimentos de las presas Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.

7.6.1 Calidad de Agua

De acuerdo a los resultados la temperatura en los cuerpos de agua de Umécuaro, Loma Caliente y La Mintzita se encuentra entre un rango de 19.20°C a 20.15°C, mientras que Las Angustias se tiene una temperatura del agua de 18.2°C. En cuanto a la conductividad se registra en las presas de Umécuaro, Las Angustias y Loma Caliente los valores mas altos entre un rango de 359.44 a 222.90, mientras que en La Mintzita se reporta el valor mas bajo de conductividad (Tabla 16).

En todas las presas el potencial de hidrógeno es ligeramente alcalino, excepto en temporadas de sequía que se resgistran valores ligeramente ácidos (6.99). Los resultados de alcalinidad en el pH que se registró en estos cuerpos de agua existe una predominancia de bicarbonatos, mientras que la dureza indica que son aguas moderadamente duras, en el caso de Loma Caliente y La Mintzita la dureza de magnesio predomina y en caso de Umécuaro y Las Angustias el calcio ligeramente es dominante (Tabla 16).

Las concentraciones de oxígeno disuelto mas altos se reportan valores dentro del limite para la sobrevivencia de algunas especies de peces tolerantes a bajas concentraciones oxigeno como es el caso de La Mintzita, Loma Caliente y Umécuaro, mientras que en Las Angustias se registra el valor más bajo de oxígeno disuelto 4.20mg/L (Tabla 16).

En cuanto a fosfato total se registraron valores de concentraciones altas que de acuerdo al los valores basados en los datos internacionales del programa de eutroficación modificados de Vollenweider en 1979 se ubican dentro del rango de 26.7 a 95 que clasifica a las presas de Umécuaro y Loma Caliente como sistemas mesotróficos y la presa de Las Angustias y La Mintzita entre el rango de 84 a 386 dentro de sistemas eutróficos (Tabla 16).

Tabla 16. Valores fisicoquímicos las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y el manantial de La Mintzita.

Variable	Umécuaro	Loma Caliente	Las Angustias	Mintzita
Temperatura (°C)	20.15	19.90	18.67	19.20
Conductividad (µS/cm)	359.44	222.90	230.00	174.75
Disco de Secchi (m)	1.54	1.57	0.30	2.00
Potencial de hidrógeno	7.54	7.08	7.11	7.47
Alcalinidad Total (mg/L)	68.92	68.33	74.00	87.89
Dureza Total (mg/L)	30.92	54.67	78.93	95.11
Dureza de Calcio (mg/L)	4.58	4.28	13.23	20.57
Dureza de Magnesio (mg/L)	4.73	10.69	11.15	10.62
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.96	6.39	4.20	6.22
Ortofosfato (µg/L)	17.39	23.58	100.00	84.49
Fosfato total (µg/L)	54.96	61.62	220.00	130.40
Nitritos (mg/L)	0.002	0.002	0.230	0.001
Nitrato (mg/L)	0.25	0.48	0.13	0.17
Clorofila (mg/m ³)	1.40	1.65	1.47	1.99
Sólidos suspendidos (mg/L)	51.51	58.48	30.03	2.03
Sólidos sedimentables (ml/L)	0.10	0.10	0.10	0.08

Los nitritos y nitratos en todos los ecosistemas de presas se registran con valores de concentración baja. Mientras que los valores de la concentraciones de clorofila a en estos sistemas se encuentra es similar en todas las presas con valores entre 1.40 a 2 (Tabla 16) correspondiente a sistemas oligo-mesotrofosicos.

Los sólidos suspendidos se registraron con valores de concentración altos en las presas de Umécuaro, Loma Caliente y Las Angustias, sin embargo, en La Mintzita (2.03 mg/L) las concentraciones son menores. Mientras que los sólidos sedimentables es igual a 0.1 en en las presas de Umécuaro, Loma Caliente y Las Angustias y de 0.08 en La Mintzita.

Un análisis de closter donde se consideraron las propiedades fisicoquímicas de los cuerpos de agua en éste estudio se determinó que en un 93% de similitud las presas de Umécuaro, Loma Caliente y Las Angustias son sistemas similares que comparten mas la dinámica de presas, mientras que La Mintzita con un 100% de diferencia conforma por si misma otro grupo ya que se le considera presa, sin embargo, no presenta la dinamica propia de una presa y su caracteristiza fisicoquímicas la identifican como un caso aislado (Fig. 49).

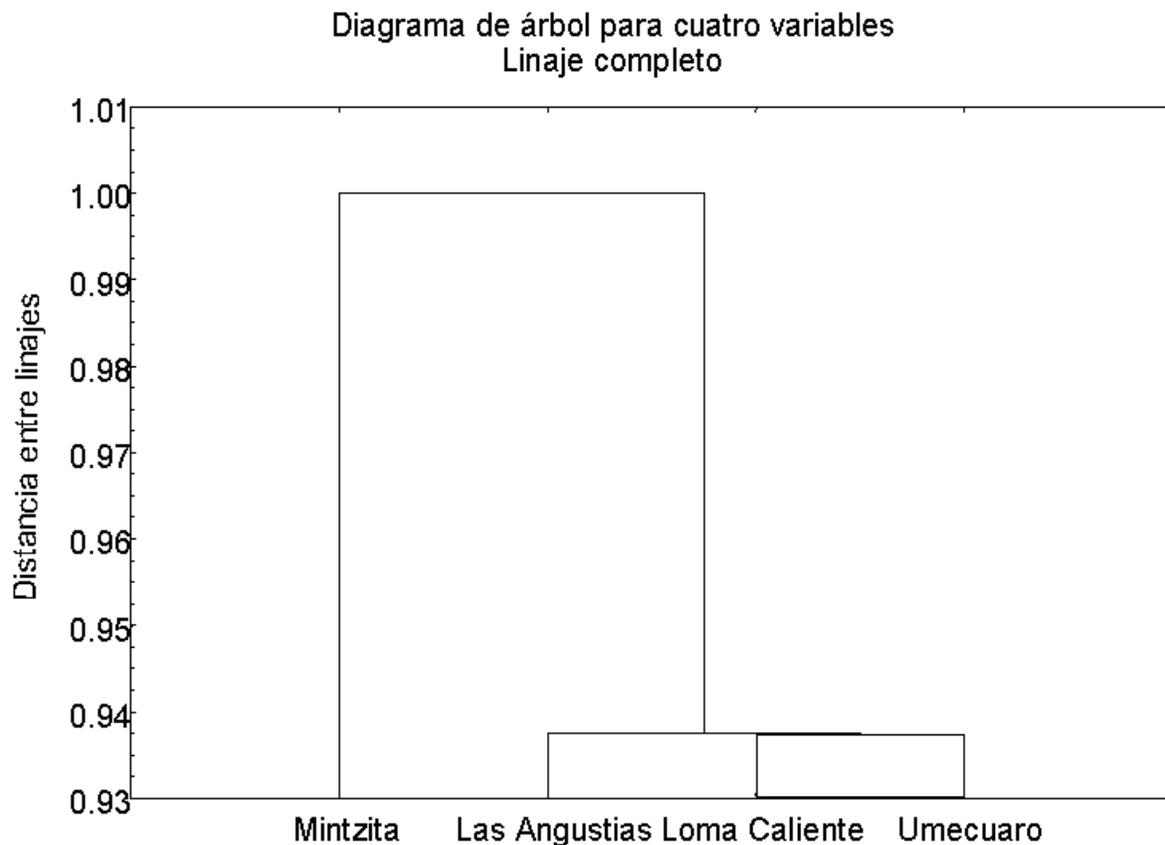


Figura 49. Análisis de closter entre las presas.

Así mismo se aplico un análisis de componentes de principales en los cuales se determinó que las principales variables fisicoquímicas que tienen peso sobre la calidad de agua de éstos sistemas con la conductividad, sólidos suspendidos, alcalinidad y fosfato total (Fig. 50).

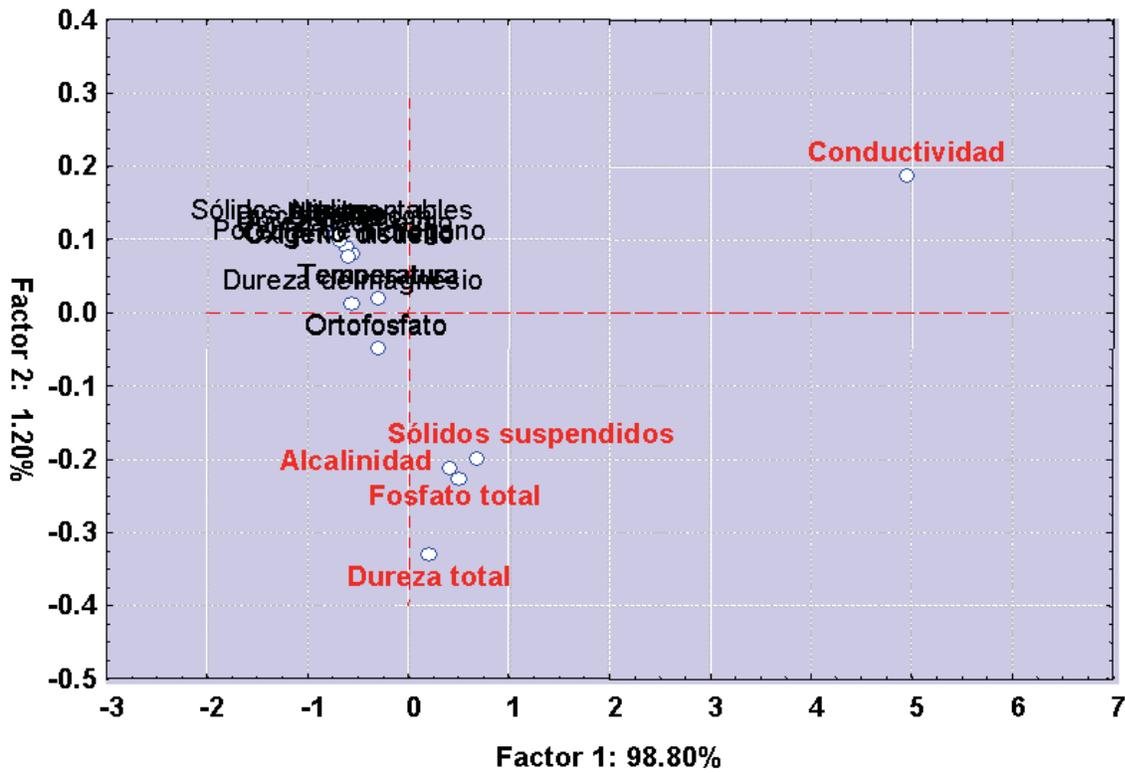


Figura 50. Análisis de componentes principales entre las variables fisicoquímicas del agua en las presas.

7.6.2 Análisis de sedimentos

Los resultados de análisis de sedimentos indican que los sistemas que reciben mayor cantidad de materia orgánica son La Mintzita y Loma Caliente registrándose 16.03% y 16% respectivamente, mientras que la menor concentración se reporta en la presa de Umécuaro 7.09%.

Las presas que se encuentran en la misma microcuenca que son Umécuaro y Loma Caliente presentan una textura de migajón arenoso dominando las arenas con un 30% y 56% respectivamente, mientras que la presa de Las Angustias tiene una textura de Arcilla compartiendo en importancia la Arcilla (46%) y la Arena (42%), mientras que el manantial de La Mintzita tiene una textura de Arena con predominancia de arenas de 96% (Tabla 17).

Tabla 17. Análisis de sedimentos de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y el manantial de La Mintzita.

Parametro	Umécuaro	Loma Caliente	La Mintzita	Las Angustias
Materia Organica (%)	7.09	16.0	16.03	12.93
Textura	Migajón arenoso	Migajón arenoso	Arena	Arcilla
Arena (%)	30.00	56.00	96.56	42.56
Arcilla (%)	18.00	4.00	0.00	46.00
Limo (%)	52.00	40.00	3.44	11.44

VIII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que la subcuenca de Morelia donde se localizan los cuerpos de agua del presente trabajo es una cuenca clasificada de forma alargada plana con tiempos largos de concentración mas lenta de los escurrimientos de la parte mas alta a la mas baja de la cuenca, siendo esto un abastecimiento hídrico mediano, además de contar con proporciones accidentadas, donde se ubican las microcuencas que la integran, denominadas del río Chiquito donde se ubica la presa de las Angustias, la microcuenca del río Grande donde se ubican las presas de Umécuaro y Loma Caliente y finalmente la microcuenca de Infiltración de mantos acuíferos donde se localiza el manantial de La Mintzita.

La mas grande de ésta microcuencas fue la del río Grande, mientras que la mas pequeña fue la microcuenca del río Chiquito, todas las microcuencas se clasificaron con una forma alargada donde se presenta escurrimientos que se concentran mas lentamente y se infiltra en el subsuelo al recorrer mayores distancias por lo que son zonas de abastecimiento hídrico alto. Debido a que estas microcuencas son zonas reciben los escurrimientos e infiltraciones de zonas topográficas arriba de los 2,000 msnm, se considera zonas de recarga valiosas para toda la subcuenca de Morelia y que son las que dan abastecimiento de agua a la capital del Estado, se determina que son prioritarias de conservación.

La microcuenca que mayor volumen de agua aporta por precipitación es la del río Grande con aporte máximo de 138'872,218 m³, y la de menor aportación es la del río Chiquito con 24, 715,338 m³. Mientras que el retorno de lluvia mas frecuente es entre 182 a 220 mm cada 1.9 años, es decir se presentan con mas frecuencia lluvias de menor precipitación y las lluvias de mayor precipitación arriba de los 230 mm son eventuales y pueden ocurrir en periodos de 3.8 a 15 años.

En estas microcuencas se identificaron climas de tipo semicalido subhúmedo y templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano e invierno seco, lo que

permite con los dos elementos importantes del clima, o sea temperatura y precipitación, conocer las variantes climáticas que se producen de acuerdo a las características de las zonas que integran cada microcuenca, las cuales proporcionan un balance positivo hídrico en cada una, que permiten tener una percepción de aplicación para poder llevar a cabo una mejor planeación y aprovechamientos en las diferentes actividades agrícolas, silvicultura y aprovechamiento del agua.

La dirección de los vientos dominantes en la microcuencas intervienen relativamente poco en cuanto a movimientos hidrodinámicos en éstos cuerpos de agua, debido a que interviene la morfometría y vegetación del lugar en que se encuentran ubicados, por lo que la hidrodinámica se expresa en corrientes de deriva superficial que son dominados por movimientos superficiales relativamente rápidos en la superficie influenciados por los vientos en dirección distinta en casi todo el año, en temporada de avenidas de agua por lluvias intensas en caso de las presas estos movimientos hidráulicos se deben a que son dominados por los ríos tributarios. En el caso de La Mintzita la hidrodinámica esta influenciada por las corrientes generadas de nacimiento del manantial.

En cuanto a las presas se concluye que considerando la presa de Cointzio con un área de 5,108,337.11 m² que es la más grande de las presas de la subcuenca, la presa de Umécuaro es la segunda más grande y la presa de Las Angustias es la presa más pequeña en área y volumen.

Las presas de las Umécuaro, Loma Caliente, las Angustias y el manantial de La Mintzita debido a la poca estabilidad de la columna de agua e influencia del viento se favorece el intercambio gaseoso entre la columna de agua y sedimentos, además de contar con aportaciones exógenas de las zonas altas principalmente de aquellas que se encuentran propensas a la erosión. A excepción de La Mintzita donde se cuenta con el desarrollo de comunidades de vegetación acuáticas, las presas del presente trabajo no cuentan con un alto potencial de desarrollo de éstas comunidades en la zona litoral y poco aporte de material exógeno.

En las presas de Umécuaro, Loma Caliente y La Mintzita poseen en general pendientes suaves por lo que su superficie en contacto con el agua permite poseer una distribución de sedimentos homogénea, interpretando que los sedimentos acumulados en el fondo se han suavizado ligeramente con respecto a la distribución de sedimentos en el litoral, esto debido a la rugosidad del lecho y a la presencia de vegetación que retardan el flujo del material suspendido, lo que significa que la zona de litoral, que presentan pendientes de suave a abruptas, actúan principalmente como un área de transporte y de transferencia que permiten el traslado hacia el fondo. A diferencia de Las Angustias que tiene menor rugosidad, vegetación y presenta pendientes abruptas, por lo que sus sedimentos se concentran rápidamente en el fondo.

En Umécuaro y a pesar de tener un balance positivo hídrico, en época de sequía se ve reducido su volumen de $2,025,121.23 \text{ m}^3$ a $215,995.92 \text{ m}^3$ que representa el 11% del total de su máximo registrado debido al manejo hidráulico que disminuye sus líneas batimétricas entre 1 a 3 m, de igual forma en la presa de Loma Caliente tiene un volumen de $595,962.03 \text{ m}^3$ a $6,301.33 \text{ m}^3$ en temporada de sequía que representa el 1% de su capacidad registrada disminuyendo sus líneas batimétricas entre 1 a 3 m, las Angustias de un volumen de $88,817.83 \text{ m}^3$ a 83919 m^3 en temporada de sequía lo que representa el 94% del volumen registrado que disminuye sus líneas batimétricas entre 0.5 y 1 m y La Mintzita con un volumen de $75,244.58 \text{ m}^3$ a 72234.80 m^3 que representa el 96% de su volumen registrado.

Con respecto a sus propiedades ópticas se infiere que las presas debido a su dinámica hidráulica y poca estabilidad de la columna estos son sistemas turbios con una zona fótica poco profunda, mientras que en el manantial de La Mintzita debido a que es un manantial con una columna de agua mas estable es un sistema mas transparente con una zona fótica equivalente a la profundidad total del cuerpo de agua.

De estos ecosistemas acuáticos en que presenta menos transparencia es la presa de las Angustias debido a que se presentan escurrimiento de sus alrededores los

cuales son deforestados y en completo deterioro resultando en acarreo de procesos de erosión, mientras que las presa de Umécuaro y Loma caliente reciben material exógeno y acarreo de los procesos de erosión de la cuenca alta que se encuentra utilizada para actividades de agostadero y agricultura, así que através de su tributario y escorrentías puntuales se cuanta con importantes aportaciones de estos procesos, los cuales no son tan marcados como en la presa de Las Angustias ya que sus alrededores inmediatos se encuentran aun conservados.

De acuerdo a los resultados las presas donde el principal tributario es un río el cual impacta en la turbidez y transporte de materiales inorgánicos y orgánicos de la cuenca alta como es el caso de las presas de Umécuaro, Loma Caliente y Las Angustias se agrupan con las mismas condiciones de calidad de agua, mientras que La Mintzita debido a su mejor calidad de agua por su el origen de su aportador de agua que es manantial se separa de las anteriores, sin embargo dado a el usos de sobre explotación al igual que las demás presas la concentración de Fosfato total es alta. Lo cual clasifica a estos sistemas entre el rango de oligo-mesotrófico y mesotróficos.

Si se considera los limites permisibles de calidad de agua para recreación y protección de la vida acuática (Tabla 18) todas las presas son aptas para el desarrollo de actividades de recreación como es el caso de pesca deportiva, canotaje y otras actividades acuáticas de bajo impacto la presa denominada La Mintzita que dado a sus condiciones fisicoquímicas y la presencia de especies endémicas acuáticas se debe considerar para protección de vida acuática, desarrollar programas de educaron ambiental en donde este sistema puede servir como un laboratorio natural en temas de recursos acuáticos e incluso desarrollo de investigación para la conservación de especies nativas.

Tabla 18. Comparativa de límites permisibles de calidad de agua de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y el manantial de La Mintzita.

Característica	Límite Permissible	Protección de la vida acuática	Recreativo	Umécuaro	Loma Caliente	Las Angustias	La Mintzita
Temperatura (°C)	-	-	-	20.15	19.90	18.67	19.20
Conductividad eléctrica (µS/cm)	1000.00	1000.00	1000.00	359.44	222.9	230	174.75
Disco de Secchi (m)	-	-	-	1.54	1.57	0.30	2.00
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5	6.9	6.9	7.54	7.08	7.11	7.47
Alcalinidad Total (mg/L)	400.00	-	-	68.92	68.33	74	87.89
Dureza Total (como CaCO ₃)	500.00	-	-	30.92	54.67	78.93	95.11
Dureza de Calcio (mg/L)	-	-	-	4.58	4.28	13.23	20.57
Dureza de Magnesio (mg/L)	125	-	-	4.73	10.69	11.15	10.62
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.00	5.00	4.00	5.96	6.39	4.20	6.22
Ortofosfato (ug/L)	-	-	-	17.39	23.58	100	84.49
Fosfato total (ug/L)	0.005			454.96	61.62	220	130.4
Nitrato (mg/L)	10.00	-	-	0.25	0.48	0.13	0.17
Nitritos (mg/L)	1.00	0.00	0.05	0.002	0.002	0.23	0.001
Clorofila (mg/m ³)	-	-	-	1.40	1.65	1.47	1.99
Sólidos suspendidos (mg/L)				51.51	58.48	30.03	2.03
Sólidos sedimentables (ml/L)				0.10	0.10	0.10	0.08

Fuente: Acuerdo CE-CCA-01/89 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de Diciembre de 1989 y la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994

Finalmente, estos sistemas de agua que son utilizados como abastecimiento de agua potable, para actividades agrícolas e hidroenergéticas, es importante vigilar variables como la conductividad, sólidos suspendidos y aporte de fosfato que son importantes en el cambio de las características fisicoquímicas de estos embalses en la subcuenca del Morelia, además de generar programas de manejo hidráulico y propuestas de actividades de ecoturismo en las presa de Umécuaro, Loma Caliente y Las Angustias aprovechando su potencial en recursos naturales. En el caso de La Mintzita se debe crear un plan de restauración y conservación del manantial.

IX. RECOMENDACIONES

- Detener el acelerado proceso de deterioro ambiental mediante la sobreexplotación de los recursos naturales, con programas compatibles para la utilización, manejo y conservación, y reforestación con bosque nativo en las partes altas de las microcuencas.
- La conservación de los ambientes edáficos y de la vegetación que integran cada una de las microcuencas y son componentes esenciales en el ciclo hidrológico.
- Una extracción regulada del manantial de La Mintzita, ya que de lo contrario se tiene una sobreexplotación que disminuye los niveles que se deben mantener entre 2.00 y 2.50 para mantener el cuerpo de agua actualmente.
- Un plan de manejo hidráulico de las presas que son importantes fuentes de abastecimiento de agua, donde se permita el control de los cambios drásticos y conservación de nivel de agua, sin dejar de cumplir con el objetivo principal de su construcción que es abastecimiento a la ciudad de Morelia y las actividades agropecuarias, éste plan de manejo tendrá que incluir un programas de monitoreo de las principales variables fisicoquímicas del agua permitiendo, así llegar a una conservación de este recurso, así como su diversificación de uso.
- Proponer el manejo ecoturístico y pesca deportiva para la conservación del medio y su biodiversidad mediante las actividades turísticas con motivos de aventura, de educación y de recreo, para incrementar el interés y la conciencia ambiental por el medio ambiente.

- Evitar las actividades de lavado y generar basura en estos cuerpos de agua ya que causan efectos negativos en las comunidades bióticas presentes y en la calidad del agua.
- Generar información que sirvan de base para programas de tratamiento adecuado de aguas residuales que eviten las descargas a las presas por la creciente urbanizaciones asentamientos humanos hacia las presas de Umécuaro y Las Angustias.
- La realización de trabajos limnológicos en presas consideradas como sistemas de pulso, que permitan generar información sobre el estado actual y uso de la presas de la Subcuenca de Morelia.
- Realizar estudios para fortalecer programas de conservación y manejo del agua como recurso estratégico en su suministro y enfocados a estas fuentes de abastecimiento de vital importancia para abastecer de agua.

X. LITERATURA CITADA.

- Aboites, L. 2002. Notas sobre el optimismo mexicano y los vínculos entre geografía, ingeniería hidráulica y política (1926-1976). En: Ávila G.P. Agua Cultura y sociedad en México. El Colegio de Michoacán e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 185-198 pp.
- Acosta, G.A., 1993. Situación general del recurso Hidráulico superficial en México. En el agua recurso vital. Universidad Tecnológica Mixteca. Oaxaca. 21-36 pp.
- Aldama R. A.A., 1994. Panorama del agua en México. Reunión Franco Mexicana de Gestión del Agua. Com. Nal. Agua., Guadalajara. 6 pag.
- Alonso C., Baeza B., García de Jalón D., Vizcaíno P., Marchamalo M., Cortazar J., 2006. Evaluación de alternativas a la presa de Gil García (Ávila): Propuesta de reconversión del dispositivo. Ecohidráulica, empresa de base tecnológica ligada a la Universidad Politécnica de Madrid, España. 1-8 pp.
- Andreu J., 1993. "Conceptos y métodos para la planificación hidrológica". Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Artes Gráfica Torres, Barcelona (España). 391 pag.
- APHA, 1985. Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington DC. 16h Edition.
- Brandt Anders S., 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. Institute of Geography, University of Copenhagen, Denmark. 375-401 pp.
- Arreguin C.F., Biswas A.K. y Talavera R.A., 1996. Fortalecimiento de Capacidades Institucionales del Subsector Agua en México. Inst. Mex. Tecnol. Agua. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Jiutepec. 54 pp.
- Bañuelos G. P.H., 2006. Integración urbana de la zona federal del embalse de bellas fuentes, Municipio de Coeneo, Michoacán. Extenso memorias. 2do. Congreso de Ciencia y Tecnología. COECYT. 95 pp.

- Barrera C.G. y Bustos B. P.C., 2007. La asignación de los recursos naturales en la comunidad de Loma Caliente municipio de Morelia, Michoacán: un caso de participación social. Simposio Acciones y resultados para el desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. 37 pp.
- Black C. A., Evans D.D., Withe J.L., Ensminger L.E. y Clark F.E., 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. and Amer. Soc. Testing Matter. Madison, Wis.
- Bueno S.J. y Santiago F.S., 2002. Presa Nezahualcóyotl (Malpaso). En: Lagos y Presas de México. De la Lanza E. G. y García C. J. L. Editorial AGT. S.A. México. 680 pag.
- Carlson R.E., 1977. A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography. 22(2), 361-369 pp.
- Carranza F.J., López H.M. y Ramos E.G., 2002. Presa el Caracol (Ing. Carlos Ramírez Ulloa). Lagos y Presas de México. De la Lanza E. G. y García C. J. L. Editorial AGT. S.A. México. 680 pag.
- Chacón Torres A., 1993. Pátzcuaro, un lago amenazado. Morelia; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Chacón Torres A., 2000. Ordenamiento Territorial de Pátzcuaro. Proyecto SEMARNAP. Informe ejecutivo.
- Chacón T.A., Rosas M.C., Rendón L.M.B. y Utrilla S.B., 2006. El ordenamiento ecológico territorial de las cuencas hidrográficas para la gestión del agua en México. Comisión estatal del agua de Guanajuato. Aquaforum. México. 31-34 pp.
- CONAGUA, 2006a. Documento de las región Américas. IV Foro Mundial del Agua México. Ed. Comisión Nacional del Agua. México. 27-50 pp.
- CONAGUA, 2006. Documento Temático. IV Foro Mundial del Agua México. Ed. Comisión Nacional del Agua. México. Pag. 8-43.
- CONAGUA 2006 c. El Agua en México. Ed. Comisión Nacional del Agua. 4-34 pp.

- Cotler, H. A., 2005. Nuevos paradigmas para el manejo del agua. II Congreso Internacional sobre la Frontera México-Guatemala-Belice. Campeche, México. 4 p.
- Cloter, H.A. y Gutiérrez D.S., 2005. Inventario y evaluación de presas de la Cuenca Lerma-Chapala. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología. 16 pp.
- CNA 2006. Inventario Estatal de presas de almacenamiento.
- Cruickshank V.C., Martínez P. J.L., Mendoza R.R., Monje R. I., 2006. Diagnostico Hidráulico. Diagnostico Energético e Hidráulico del Estado de Michoacán. CIDEM. 211 pags.
- De la Lanza E. G., 1995. Algunos conceptos sobre hidrología y calidad del agua. En la Acuicultura en México. De los conceptos a la Producción. Inst. Biol., Universidad Nacional Autónoma de México. México. 181-199 pp.
- De la Lanza E. G. y García C.J., 2002. Las Aguas Epicontinentales de México: Lagos y Presas de México. Editorial AGT S.A. México. 680 pag.
- Díaz Fernández E., 2005. Interceptación pluvial por plantaciones de pinus michoacana, encinar y pastizal en la zona baja de la cuenca hidrográfica de Coitzio, Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias en Limnología y Acuicultura. INIRENA-UMSNH. 1-71 pp.
- Díaz Z.G. y Gutiérrez L.E., 2002. La presa Requena. Lagos y Presas de México. De la Lanza E. G. y García C. J. L. Editorial AGT. S.A.. México. 680 pag.
- Díaz Z.G. y Arredondo F. J.L., 2005. Comportamiento e la Oxiclina en quince presas mexicanas. Resúmenes. 3er. Congreso de la asociación mexicana de Limnología A.C.; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 4 pp.
- Díez-Cascón S.J., (2003). Las Presas en el siglo XXI. Universidad de Cantabria, España. I.T.N. No. 62. 1-9 pp.

- De León G.H., Medina B.F., Lizárraga M.L., 2006. Elaboración de la matriz de geindicadores ambientales en la Presa José López Portillo (Cerro Prieto), Fuente superficial de abastecimiento de agua potable de Monterrey, N.L., México. Ciencia UANL. Monterrey, México. 65-72 pp.
- Equihua P.J., 2002. Sistemas de riego no convencionales. Antología sobre pequeño riego. Colegio de posgraduados. 3:150 pp.
- Esparza L. A.J. y Trujillo G. M.P., 1986. Algunos aspectos ecológicos básicos para el manejo integral de la Cuenca Hidrográfica "Presa de Coitzi". Estado de Michoacán. INIFAP. COFOM Morelia, Mich. 107 pp.
- Faures J. M., Goodrich C., D. Y Woolhiser A. D., 1995. Impact of small-scale spatial rainfall variability on runoff modeling. Journal of Hydrology 73: 309-326 pp.
- Folk R.L., 1969. Petrología de las Rocas Sedimentarias. Traducida del inglés por: Carmen Schaeffer y Rebeca M. de Schmitter, Instituto de Geología, UNAM, México, D.F. 399 p.
- García de M.E., 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (Para adaptarlo a las condiciones de la Republica Mexicana). Editorial Laros. México, D.F. 217 p.
- Gómez L., Salgado G., Aguilar A. y Urbán R., 2002. Estudio en modelo físico del funcionamiento del vertedor de la presa Moraleños en el río Calvillo, Jalpa, Zacatecas. IMTA. 19-22 pp.
- Gómez-Tagle R.A., Chavez H.Y., Zepeda C.H., Madrigal S.X., Batlle J. y Mariano D.F., 2003. Informe anual del proyecto: Evaluación de la cuenca de Morelia para captación hídrica y alternativas de rehabilitación. INIRENA-UMSNH. suelos de la Cuenca del lago de Pátzcuaro. Morelia, Mich., Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Delegación Federal en Michoacán. 63 pp.
- González L. J.C. y Carranza F.J., 2005. Estado trófico, estratificación y mezcla de la presa Zimapán, Hidalgo-Querétaro. Resúmenes. 3er. Congreso de la asociación mexicana de Limnología A.C.; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 60 pp.

- Graf W.L., 1999. Dam nation: A geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts. *Water resources research*, Department of Geography, Arizona State University. 35(4):1305-1311.
- Gutiérrez F. M.A., 1998. El Agua: gestión del ciclo y planificación Hidrológica. *Aguas Superficiales. Encuentro medioambiental Almeriense. España. Ponencias Marco. Recursos Hídricos.*
- Guzmán A.M., 1997. Las aguas superficiales. Diagnostico. Univ. de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Instituto de Limnología. 55-56 pp.
- Håkanson L., 1981. *A Manual of Lake Morphometry.* Springer-Verlag, Berlín Heidelberg New York. 78 pp.
- H. Ayuntamiento de Morelia, 2004. El Mosaico del Municipio. Ecología. H. Ayuntamiento de Morelia 2002-2004. Disponible en <http://www.morelia.gob.mx/web/Html/Ecologia/EIMosaicoMunicipio/EIMosaicodelMpiodeMoreliaA.htm>
- H. Ayuntamiento de Morelia, 2004a. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia. Plano Hidrografía. Clave D-1. H. Ayuntamiento de Morelia 2002-2004.
- H. Ayuntamiento de Morelia, 2004b. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia. Plano Geología. Clave D-11. H. Ayuntamiento de Morelia 2002-2004.
- H. Ayuntamiento de Morelia, 2004c. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia. Plano Edafología. Clave D-12. H. Ayuntamiento de Morelia 2002-2004.
- H. Ayuntamiento de Morelia, 2004d. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia. Plano Pendientes. Clave D-17. H. Ayuntamiento de Morelia 2002-2004.
- H. Ayuntamiento de Morelia, 2004e. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia. Diagnostico. H. Ayuntamiento de Morelia 2002-2004.
- Hernández M.D. y Orbe M.A., 2002. Presa Fernando Hiriart Valderrama (Zimapán) Hidalgo-Querétaro, México: Opciones para su manejo. Lagos

y Presas de México. De la Lanza E. G. y García C. J. L. Editorial AGT. S.A. México. 680 pag.

- Holmes R.W., 1970. The secchi disk in turbid coastal waters. *Limnology and Oceanography*. 15, 688-694 pp.
- Barreira A., 2002. La aplicación de la Directiva Marco del Agua y del Convenio Hispano-Luso de 1998 en la cuenca Hidrográfica del Guadiana. Iberaqua, España. 1-48 pp.
- INEGI, 1994. Anuario Estadístico de Michoacán. INEGI.
- INEGI, 2000. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Resultados Preliminares.
- INEGI, 2004. Climas. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Disponible en <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/español/Estados/mich/clim.cfm>
- INEGI, Cartas topográficas E14A32, E14A22, E14A13, E14A12, E14A23. Escala 1:50000. INEGI.
- Izázola H, 2001. Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México “Estudios demográficos y urbanos. Colegio de México A.C. 285-320 pp.
- Jerlov N.G., 1976. *Marine Optics*. Elsevier.
- Juárez Palacios J.R., 2002. Presa Infiernillo (Adolfo López Mateos). En: Lagos y presas de México. De la Lanza Espino G. y J.L. García Calderón. AGT Editor S.A. México. 680 pag.
- Klingebiel A. A., y Montgomery P.H., 1961. Land capability classification. *Agricultural Handbook* 210. USDA. Soil Conservation Service. Washington, D.C., EE.UU.
- Kurber Girish, 2000. “80 m displaced by dams World-wide: WCD”. *World Commission on Dams*. Article. 1 pag.
- Latournerie C. J.R., Nacif O. Y., Trujillo J. E. y Estrada O. A.R. 2005. Variación estacional en la dinámica hidrológica de la presa Atlangatepec, Tlaxcala, México. Resúmenes. 3er. Congreso de la asociación mexicana de Limnología A.C.; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 61 pp.

- Ledesma Figueroa A., 2001. Calidad de agua de la presa La Mintzita, Michoacán. Tesis Profesional. Facultad de Biología. UMSNH. 74 pp.
- Lind T.O, 1985. Handbook of common methods in Limnology. U.S.A. Second Edition. 198 pp.
- López H. M., Ramos E. M.G. y Carranza F.J., 2005. Enseñanza de Limnología básica a los pobladores de la presa Yosocuta, Oaxaca: Análisis de tres periodos. Resúmenes. 3er. Congreso de la Asociación mexicana de Limnología A.C.; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 13 pp.
- López L.E. y Soto G.E., 1993. Diagnostico de eutroficación del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México. Anales del Instituto de Ciencias Del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. 20: 33-42 pp.
- Lorenzen M.W., 1980. Use of chlorophyll-secchi disc relationships. Limnology and Oceanography 25(2), 371-372 pp.
- Medina Ávila J.C., Chacón Torres A. y Rendón López M.B., 2007. Movimientos de agua en la presa “Melchor Ocampo” en el municipio de Angamacutiro de la Unión, Michoacán Memorias. 3er. Congreso de Ciencia y Tecnología. COECYT. Pag. 263
- Medina, G. J.A., Vera F. R.H. y Sánchez R.S., 1976. La Acuacultura en la planeación hidráulica. Com. Plan. Nal. Hidrául, Sría. Rec. Hidrául., México. 91 pp.
- Mestre, R.E., 1994. Gestión Regional del Agua en México. El caso de la Cuenca Lerma-Chapala. Reunión Franco Mexicana de gestión del Agua. Comisión Nacional del Agua., Guadalajara. 10 pag.
- Murphy J. & Riley J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal Chim. Acta, 27, 31-36.
- Nacif O.Y., Romero J.J., Cárdenas V. R.J. y Latournerie C. J.R., 2005. Caracterización preliminar de la comunidad bacteriana de la presa Atlangatepec, Tlaxcala, México. Resúmenes. 3er. Congreso de la

asociación mexicana de Limnología A.C.; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 9 pp.

- Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-72-1981. Análisis de agua. Determinación de Dureza Método del E.D.T.A.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- OPS/OMS, 2002. Análisis de vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua de la cabecera municipal de Teculután, departamento de Zacapa. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, Guatemala. 55 pag.
- Ortega M. M.R., Martínez S.I., Soria L.G., Almanza S. J.S., Campero O.Y., Méndez L. M.E., Soto S.M., Maya R. M.A. y Carballo R.O., 2005. Análisis de la calidad del agua y estado trófico de la presa La Mintzita, Mich. Méx. Resúmenes. 3er. Congreso de la asociación mexicana de Limnología A.C.; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 102 pp.
- Orterga, E., 2006. Financiamiento de la Ingeniería de las Presas de Argentina. Resúmenes. IV Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. Argentina. A9. 1-12 pp.
- Orbe M.A., Hernández M.D., Acevedo G.J. y Guzmán A.M., 2002. Presa Aguamilpa, Nayarit, México. Lagos y Presas de México. De la Lanza E. G. y García C. J. L. Editorial AGT. S.A. México. 680 pag.
- Preisendorfer R.W., 1986. Secchi disk science: visual optics of natural waters. *Limnology and Oceanography*. 31(5) 909-926 pp.
- Rainwater S.H. and Thatcher L.L., 1960. Methods for collection and analysis of water samples. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1454, Washington.
- Ramírez, F. 2006. El agua potable. El Agua potable en el mundo: Escasez y sequía. (www.drinkingwater.netfirms.com)
- Rodríguez C.R., Cortes A. y Ramos J.A., 1998. Diagnostico preliminar del estado de las afectaciones ambientales potenciales asociadas a la

presa Zimapán. Instituto de Geofísica UNAM. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. 42 p.

- Rendón Martha B., 1996. Phytoplankton production dynamics in nutrient pulsed systems. Program and Abstracts of Papers. Limnology program, Baylor University, Waco Texas. Page 66.
- Rendón L. M.B., Vázquez A.A., Calderón V.A., 2006. "Limnología descriptiva de 3 presas del municipio de Morelia". Memorias. 2do. Congreso de Ciencia y Tecnología. COECYT. Pag. 60
- Rendón L. M.B., Vázquez A.A., Chacón T.A., Ayala R. L., 2007. Efectos del manejo hidráulico en un sistema de pulsos "Presa de Umécuaro, municipio de Morelia, Michoacán". Memorias. VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales. 134-136 pp.
- Romero Tinoco M.M., 1991. Caracterización Limnológica de la Presa de Zicuirán y de su cuenca de drenaje, en el estado de Michoacán, México. Tesis Licenciatura. Facultad de Biología UMSNH. 32-83 pp.
- Rujana M.R., Currie H.M., 2001. Estrategias de asignación y gerencia del agua en la cuenca del río Miriñay, Corrientes (Argentina). Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE. 1-4 pp.
- Secretaria de Gobernación, 1988. Morelia, Michoacán. Enciclopedia de los Municipios de México.
- Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente, 2004. Estudio Técnico Justificativo del lugar conocido como "Manantial la Mintzita" y su zona de amortiguamiento. Morelia. 40 pag.
- Smith, N., 1971. A History of Dams. The Chaucer Press.Publisher: P. Davies, London, UK. 279 pages.
- Strickland J.D.H. & Parsons T.R., 1972. A practical handbook of seawater análisis. Bulletin No. 167, 2nd edition. Ottawa. Fisheries Research Board of Canada. 310 pp.
- Susperregui S. A., Gratito N., Esteves M. y Prat C., 2006. Hydro-sedimentary characterization of Cointzio y Umécuaro dams (State of Michoacán, Mexico). Hidrological Science Session: Quantification of

anthropogenic impacts on catchment hydrology and water quality for sustainable catchment management. 1 pag.

- Thornton, K.W., Kimmel L.B. y Payne E.F., 1990. Reservoir Limnology. Ecology Perspective Ed. Willey Interscience. 246 pp.
- Tilzer M.M., 1988. Secchi disk-chlorophyll relationships in a lake with highly variable phytoplankton biomass. *Hydrobiologia*. 89, 237-245 pp.
- Tinoco R.J., 2006. Programa del uso eficiente el agua en la ciudad de México. Seminario Regional sobre alternativas de Tecnología de bajo costo para zonas urbanas marginadas. CEPIS; Lima. 4502 pp.
- Toledo A., 2002. El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*. Instituto Nacional de Ecología. No. 64. UAEM. México. 9-18 pp.
- Tyler J.E., 1968. The secchi disk. *Limnology and Oceanography*. Vol. III No. 1 pp. 1-6 UTTERBAK C.L. Some chemical physical and optical characteristic of crater lake. *Ecol.* 1942.97-103.23.
- Utrilla Sánchez B.S., Chacón Torres A., Rendón López M.B., 2005. El Problema del Agua en México. *Revista Cuatro Vientos UMSNH*. 25-30 pp.
- Utrilla Sánchez B.S., 2007. Degradación de la red hidrográfica de la cuenca de Coatzacoacoche y alternativas de manejo. Tesis de Maestría en Ciencias en Limnología y Acuicultura. INIRENA-UMSNH. 115 pags.
- Vázquez Aguirre A. A., 2001. Fraccionamiento de Urbanización progresiva Lic. Víctor Manuel Tinóco Rubí. Tesis de Lic. Facultad de Arquitectura Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, 70 p.
- Vidal L.J., Valero G.M. y Rangel R.M., 1985. Frontera Acuícola. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Secretaria de Recursos Hidráulicos. México. 216 pp.
- Walter T.A., 1982. Use of secchi disc to measure attenuation of underwater Light for photosynthesis. *Journal of Applied Ecology*. 19, 539-544 pp.
- Walkley A. and Black I.A., 1934. An Examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification

of chromic acid titration method. Soil Sci. 37: pp. 29-28 in: Black C. A., Evans D.D., White J.L., Ensminger L.E., Clarck F.E., 1965. Methods of Soil Analysis Phisical and Mineralogical Properties, including Statics of Measurement and Sampling. Sponsored Jointly by the American Society of Agronomy and American Society for testing and Materials. Wisconsing, USA.

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

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Morelia, Michoacán.	27
Figura 2. Localización de la Presa de Umécuaro, Michoacán.	28
Figura 3. Localización de la Presa de Loma Caliente, Michoacán.	29
Figura 4. Localización de la Presa de Las Angustias, Michoacán.	30
Figura 5. Localización de la Presa de La Mintzita, Michoacán.	30
Figura 6. Fisiografía del Municipio de Morelia.	31
Figura 7. Clasificación del clima en el Municipio de Morelia).	37
Figura 8. Curva de calibración de fósforo total.	63
Figura 9. Curva de calibración de fósforo reactivo soluble.	63
Figura 10. Curva de calibración para estimar la concentración de nitritos.	64
Figura 11. Curva de calibración para estimar la concentración de nitratos.	64
Figura 12. Triángulo para la determinación de clases texturales.	67
Figura 13. Área delimitada Subcuenca de Morelia.	70
Figura 14. Área delimitada microcuencas.	72
Figura 15. Forma microcuenca Río Grande.	74
Figura 16. Forma microcuenca de Infiltración de mantos acuíferos.	75
Figura 17. Forma microcuenca Río Chiquito.	77
Figura 18. Comparación entre áreas de las presas de Municipio de Morelia.	78
Figura 19. Longitudes y anchos máximos de las presas en estudio.	79
Figura 20. Batimetría presa Umécuaro.	82
Figura 21. Batimetría presa Loma Caliente.	83
Figura 22. Batimetría presa La Mintzita.	84
Figura 23. Batimetría presa Las Angustias.	85
Figura 24. Perfiles presa Umécuaro.	86

Figura 25. Perfiles presa Loma Caliente.	87
Figura 27. Perfiles presa Las Angustias.	90
Figura 28. Modelo digital de las presas del municipio de Morelia.....	92
Figura 29. Modelo de Sombreado Presas Umécuaro y Loma Caliente.....	93
Figura 30. Modelo de Sombreado Presas La Mintzita y Las Angustias.....	93
Figura 31. Curva hipsográfica directa Presas.....	94
Figura 32. Curva hipsográfica porcentual Presas.....	95
Figura 33. Curva hipsográfica relativa Presas.	97
Figura 34. Temperatura promedio de las presas del municipio de Morelia.	99
Figura 35. Grafica Balance Hidráulico presas Umécuaro y Loma Caliente.	105
Figura 36. Grafica Balance Hidráulico presa La Mintzita.....	105
Figura 37. Grafica Balance Hidráulico presa Las Angustias.....	106
Figura 38. Grafica Rosa de vientos, frecuencia y dirección de vientos anual....	107
Figura 39. Movimientos hidrodinamicos Presa Umécuaro.	109
Figura 40. Movimientos hidrodinamicos Presa Loma Caliente.....	110
Figura 41. Movimientos hidrodinamicos Presa Las Angustias.....	111
Figura 42. Hidrodinamica en La Mintzita bloqueados por vegetación acuática.	112
Figura 43. Perfil de atenuación vertical de las presas y el manantial.	114
Figura 44. Perfil de atenuación vertical (%) y ubicación de	114
la zona eufótica de las presas y el manantial.....	114
Figura 45. Correlacion entre logaritmo natural de kd y profundidad	115
en las presas y el manantial del municipio de Morelia.	115
Figura 46. Relación entre kd y C de sistemas acuáticos en estudio.....	117
Figura 47. Relación de kd y c con el disco de Secchi	117
Figura 48. Relación de kd con clorofila-a y sólidos suspendidos.....	118

Figura 49. Análisis de closter entre la presas.....	121
Figura. 50. Análisis de componentes principales entre las variables fisicoquimicas del agua en las presas.....	122

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especies en peligro de extinción	45
Tabla 2. Clasificación de Pendientes según Klingebiel y Montgomery (1961)	50
Tabla 3 . Interpretación de la dureza de calcio (CaCO ₃).....	61
Tabla 4. Cantidad de materia orgánica	68
Tabla 5. Valores de Subcuenca de Morelia.....	71
Tabla 6. Valores de las microcuencas en la subcuenca de Morelia.	73
Tabla 7. Morfometría de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y La Mintzita.	81
Tabla 9. Temperatura de las presas del municipio de Morelia, Mich.....	99
Tabla 10. Precipitación de las presas del municipio de Morelia, Mich.....	100
Tabla 11. Evaporación en las presas del municipio de Morelia, Mich	100
Tabla 12. Retorno de lluvia para las presas de Umécuaro y.....	101
Loma Caliente desde 1991 a 2005.....	101
Tabla 13. Retorno de lluvia para La Mintzita desde 1991 a 2005.....	102
Tabla 14. Retorno de lluvia para la presa de Las Angustias (1991- 2005).....	103
Tabla 15. Valores ópticos de las presas del municipio de Morelia, Michoacán. ...	116
Tabla 16. Valores fisicoquímicos las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y el manantial de La Mintzita.	120
Tabla 17. Análisis de sedimentos de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y el manantial de La Mintzita.	123
Tabla 18. Comparativa de limites permisibles de calidad de agua de las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y el manantial La Mintzita.....	128