

# **ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA**

## **TC1705.1**

### **Informe final**

COORDINACIÓN DE TRATAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA  
SUBCOORDINACIÓN DE HIDROBIOLOGÍA Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

Participantes:

Marco Antonio Mijangos Carro

Luis Alberto Bravo Inclán

José Javier Sánchez Chávez

Ernesto Aguilar Garduño

Pablo Gallardo Almanza

Rebeca González Villela

Perla Edith Alonso Eguía Lis

Rubén Antelmo Morales Pérez

**Jiutepec, Mor., a 29 de diciembre de 2017**

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página I	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## ÍNDICE GENERAL

### I. Resumen Ejecutivo

Capítulo 1 Evaluación de la calidad del agua en siete subcuencas de la Ciudad de México.

Capítulo 2 Hidrología superficial en la Cuenca Metropolitana del Valle de México.

Capítulo 3 Hidrología subterránea en la Cuenca Metropolitana del Valle de México.

Capítulo 4 Indicadores biológicos en la Cuenca Metropolitana del Valle de México.

Capítulo 5 Cambio Climático en la Cuenca Metropolitana del Valle de México.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página II</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## I. Resumen ejecutivo

A partir de los años ochenta la seguridad hídrica se ha transformado a nivel general en un modelo en el cual los propósitos primordiales de la labor del agua, asentando la naturaleza de los retos que procede deducir que la seguridad hídrica radica en tener: i) una provisión de agua que sea adecuada para el abastecimiento humano, los usos de sostenimiento, el respaldo de los ecosistemas y la producción; ii) la posibilidad para acceder y beneficiar dicha agua de forma sustentable y operar, de manera sensata, las interrelaciones entre los diferentes sectores; y iii) un nivel admisible de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía, relacionados al agua. El análisis surge de distinguir los desafíos que debe solventar el manejo del agua para alcanzar una organizada seguridad hídrica. Expuestos desafíos se encadenan con las urgentes variaciones sociales, económicas y políticas que reconocen las naciones. Las áreas prioritarias en las que la seguridad hídrica forma un elemento opinión para el progreso socioeconómico son: i) el sentido de la población a niveles organizados de agua potable y saneamiento; ii) la disponibilidad de agua para garantizar un crecimiento favorable sostenible y retener la conflictividad asociada; iii) la conservación de cuerpos de agua en un momento viable con la ayuda de la salud y el medioambiente; y iv) la limitación de los inseguridades vinculados con la exceso de agua, en especial en las zonas urbanas y en las perturbadas por huracanes.

El estado de presión sobre el medio hídrico o estrés hídrico se transporta en estimaciones del agua para obtener un primer cálculo pronto del nivel de presión que consigue la sociedad sobre este recurso. El estrés hídrico puntual se adapta como una conexión en la que las extracciones de agua predominan el 40 por ciento de los recursos renovables. Se observa que en cuanto más altos estén los niveles de estrés hídrico más posible será que se provoquen períodos de carencia de agua. El índice relativo al estrés hídrico (Relative Water Stress Index, RWSI, por sus siglas en inglés) se puede expresar como una similitud entre el uso del agua y los recursos del agua, es señalar, el resultado entre el volumen total de agua concesionada para la Ciudad de México (4 mil 015 hectómetros al año) y la disponibilidad natural media de agua (3 mil 485 hectómetros cúbicos al año), multiplicado por 100. El estrés hídrico causa daño de los recursos hídricos en fases de cantidad y calidad.

La ecohidrología es ciencia cuyo nombre surge de la fusión de los términos "hidrología" y "ecología", que plantea esencialmente una nueva metodología de visión para una gestión sustentable y de largo plazo de los recursos hídricos. Se basa en la diligencia de los sucesivos elementos: a) reintegrar y conservar los procesos evolutivos de tránsito del agua, nutrientes y energía a escala de cuenca, b) incrementar la capacidad de carga (solidez) de los ecosistemas frente a la presión antrópica, y c) emplear las propiedades de los ecosistemas como instrumentos de gestión del agua (ingeniería ecológica).

Su aplicación implica una regulación dual de los ecosistemas mediante la cual: la hidrología puede ser empleada para regular la biota; la manipulación de la biota puede convertirse en un

F.CO.2.03.01

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página III</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

instrumento para la regulación de los procesos hidrológicos; y a su vez, ambas regulaciones se integran en una nueva ingeniería ecológica (“blanda”) que permita alcanzar finalmente una gestión sustentable de los recursos hídricos y el mantenimiento de los servicios ambientales provistos por los ecosistemas.

La cuenca, desde la ecohidrología, es considerada como un “macrosistema ecológico” en el cual se establecen mutuas interacciones (ecológicas, hidrológicas y sociales) y cuya fisiología debe ser razonada como la de un sistema complejo, sujeto al conocimiento de la dinámica de los “hidrosistemas” y sus relaciones con el clima, la hidroquímica, la hidrobiología, la ecotoxicología, la biología, la geología, la física, así como los procesos biológicos y sociales que tienen lugar en ella como el uso del territorio entre otros. Bajo estos indicios, el reto de emplear el enfoque ecohidrológico requiere pensar en términos interdisciplinarios, orientando el proceso de toma de decisiones en base a evidencia científica proveniente de ambos campos disciplinarios, complementado con las ciencias sociales y del comportamiento.

La Región Hidrológica Administrativa XIII Aguas del Valle de México, para fines de planeación, se divide en dos subcuencas, Valle de México y Tula. La subcuenca Valle de México está conformada por las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal y 69 municipios (50 del Estado de México, 15 de Hidalgo y cuatro de Tlaxcala). Por su parte, la subregión Tula está conformada por 36 municipios (12 del Estado de México y 24 de Hidalgo).

La cobertura de agua potable en zonas urbanas es casi igual o superior a la media regional; en el ámbito rural es donde se tienen los mayores rezagos, siendo el Distrito Federal la zona de menor cobertura debido a sus escasas zonas de este tipo. En cuanto a la disposición de agua potable, a nivel de zona rural, se tiene el más bajo porcentaje de población con agua en el interior de su vivienda, además de que la población que recibe agua por acarreos es casi de 7 por ciento.

En esta Región Hidrológica Administrativa XIII, casi el 68% del agua de lluvia se evapora y retorna a la atmósfera, el excedente circula por los ríos o arroyos o se penetra al subsuelo y sobrecarga los acuíferos. Las importaciones de otras cuencas se refieren al volumen de agua que procede del Sistema Cutzamala y del Sistema Lerma. Las exportaciones se refieren al volumen de agua que finalmente se va al río Pánuco, de la cuenca del Valle de México se exporta a la de Tula el orden de 883 hectómetros cúbicos. La precipitación media anual en la región es de 598 milímetros, menor a la media anual nacional que es de 779 milímetros (1941-2011). El periodo de lluvias en la región está identificado entre los meses de junio a septiembre, se incrementa hacia los meses de julio y agosto, y reduce a finales de septiembre, aunque en los últimos años se han registrado desajustes en estos parámetros. La distribución mensual de la precipitación acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, pues el 68% de la precipitación baja entre los meses de junio a septiembre.

Uno de los indicadores más empleados en la tierra para encontrar posibles problemas de agua es el que se refiere a la disponibilidad natural media per cápita. Este indicador considera

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página IV</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

únicamente el agua renovable, es decir, de lluvia que se transforma en escurrimiento superficial y en recarga de acuíferos y sólo se utiliza para fines de referencia.

En Región Hidrológica Administrativa XII, la disponibilidad natural media se evalúa en 160 m<sup>3</sup>/hab/año. En cuanto a las subcuencas de planeación, existe un contraste en relación con este indicador, ya que mientras en Tula se tiene una disponibilidad de mil 155 m<sup>3</sup>/hab/año, en el Valle de México es de tan sólo 101 m<sup>3</sup>/hab/año, valor que resulta ser el menor a nivel nacional; este indicador para el país fue de 4 mil 090 m<sup>3</sup>/hab/año de acuerdo al censo de 2010.

El crecimiento desordenado de la población en la región XIII ha tenido como consecuencia la necesidad de extraer mayores volúmenes de agua, así como la importación de agua de otras cuencas del subsuelo. Actualmente en la región se estima que se aprovecha un volumen anual de 4 mil 949 HM<sup>3</sup>, es decir, aproximadamente 145 m<sup>3</sup>/seg.

La integridad ecológica se ha convertido en una manifestación mundial y está sólidamente establecido en la estructura reguladora del derecho ambiental principalmente en algunos países anglosajones. El resultado de la integridad ecológica necesita la ayuda de sus tres elementos: integridad física, química y biológica. En países como Estados Unidos (EU) y la Comunidad Europea (CE), las medidas de integridad química se implementaron primero en los programas de monitoreo y fueron efectivas en la reducción de las cargas de contaminantes en las aguas superficiales de esas naciones. Debido a que las comunidades biológicas integran los efectos de diferentes factores estresantes como reducción de oxígeno, exceso de nutrientes, químicos tóxicos, aumento de temperatura, carga excesiva de sedimentos y degradación del hábitat, la llegada de la bioevaluación en los programas regulatorios ha proporcionado una estrategia de monitoreo y evaluación más completa y efectiva. Las medidas de integridad biológica claramente se han convertido en una prioridad en algunas naciones anglosajonas. El desarrollo de criterios biológicos dentro de los programas regulatorios para servir como umbrales por los cuales juzgar el logro de las condiciones de vida acuática designadas de las aguas superficiales es una base importante.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	 ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 5	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## CAPÍTULO 1

# Evaluación de la calidad del agua en siete subcuencas de la Ciudad de México

Participantes:

Luis Bravo Inclán

Javier Sánchez Chávez

Marco Mijangos Carro

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 6	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo .....</b>	<b>11</b>
1.2.1	Objetivos específicos .....	11
<b>1.3</b>	<b>Área de estudio.....</b>	<b>12</b>
<b>1.4</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>13</b>
1.4.1	Monitoreo de los ríos .....	13
1.4.2	Uso del Índice de Calidad del Agua (ICA) .....	16
<b>1.5</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>19</b>
1.5.1	Resultados en los ríos .....	19
1.5.1.1	Resultados de los parámetros de campo.....	19
1.5.1.1.1	Altitud de las estaciones.....	21
1.5.1.1.2	Temperatura del agua.....	22
1.5.1.1.3	Potencial de hidrógeno (pH).....	23
1.5.1.1.4	Conductividad eléctrica (CE) .....	24
1.5.1.1.5	Oxígeno disuelto (OD) .....	25
1.5.1.1.6	Potencial Redox (Redox u ORP).....	26
1.5.1.1.7	Disco de Secchi.....	27
1.5.1.2	Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de toxicidad.....	28
1.5.1.2.1	Sólidos suspendidos totales (SST) .....	30
1.5.1.2.2	Turbiedad .....	31
1.5.1.2.3	Carbono orgánico total (COT).....	32
1.5.1.2.4	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).....	33
1.5.1.2.5	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	34
1.5.1.2.6	Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) .....	36
1.5.1.2.7	Grasas y aceites (G y A).....	37
1.5.1.2.8	Nutrientes .....	38
1.5.1.2.9	Coliformes totales.....	43
1.5.1.2.10	Coliformes fecales.....	44
1.5.1.2.11	Toxicidad .....	45
1.5.1.3	Resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA).....	45
1.5.2	Integración de los resultados .....	47
<b>1.6</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>52</b>
<b>1.7</b>	<b>Literatura citada.....</b>	<b>53</b>
<b>1.8</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>55</b>

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 7</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

1.8.1 Anexo Fotográfico .....	55
1.8.1.1 Fotografías de las estaciones de muestreo .....	55
1.8.1.2 Fotografías del muestreo.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Localización de las estaciones de monitoreo en siete cuencas de la CDMX .....	13
Tabla 1.2 Parámetros fisicoquímicos y biológicos de calidad del agua (volúmenes, preservación y recipientes de muestreo utilizados).....	15
Tabla 1.3 Parámetros, unidades y coeficientes de ponderación utilizados en el cálculo del ICA .....	18
Tabla 1.4 Clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo al ICA según el uso .....	18
Tabla 1.5 Resultados de los parámetros de campo de las estaciones ubicadas en siete cuencas, primera parte (muestreos del 11 al 14 de septiembre y del 20 al 24 de noviembre de 2017) .....	19
Tabla 1.6 Resultados de los parámetros de campo de las estaciones ubicadas en siete cuencas, segunda parte (muestreos del 11 al 14 de septiembre y del 20 al 24 de noviembre de 2017) .....	20
Tabla 1.7 Resultados de los parámetros de campo de las estaciones ubicadas en siete cuencas, primera parte (muestreos del 11 al 14 de septiembre y del 20 al 24 de noviembre de 2017).....	28
Tabla 1.8 Resultados de los parámetros de campo de las estaciones ubicadas en siete cuencas, segunda parte (muestreos del 11 al 14 de septiembre y del 20 al 24 de noviembre de 2017) .....	29
Tabla 1.9 Resultados finales de los parámetros de campo de las 15 estaciones en la CDMX. Los valores son una evaluación cualitativa, donde: 5 = Excelente; 4 = Aceptable; 3 = Contaminado leve; 2 = Contaminado; 1 = Contaminación excesiva.....	47
Tabla 1.10 Resultados cualitativos finales de la tabla previa, ordenados de mayor a menor calificación, de los parámetros de campo de las 15 estaciones en la CDMX.....	48
Tabla 1.11 Resultados finales de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las 15 estaciones en la CDMX. Los valores son una evaluación cualitativa, donde: 5 = Excelente; 4 = Aceptable; 3 = Contaminado leve; 2 = Contaminado; 1 = Contaminación excesiva. ....	49
Tabla 1.12 Resultados cualitativos finales ordenados de mayor a menor calificación, de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las 15 estaciones en la CDMX.....	50

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 8	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estaciones de muestreo en la CDMX, Por claridad, el norte se ubicó ligeramente a la izquierda.....	15
Figura 1.2 Comportamiento de la altitud de las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	21
Figura 1.3 Comportamiento de la Temperatura del agua en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	22
Figura 1.4 Comportamiento del pH en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	23
Figura 1.5 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	24
Figura 1.6 Comportamiento del Oxígeno Disuelto en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	25
Figura 1.7 Comportamiento de Potencial Redox en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	26
Figura 1.8 Comportamiento del disco de Secchi (m) en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	27
Figura 1.9 Sólidos suspendidos totales en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	30
Figura 1.10 Comportamiento de Turbiedad en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	31
Figura 1.11 Carbono orgánico total en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	32
Figura 1.12 DBO5 en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	33
Figura 1.13 DQO en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	35
Figura 1.14 SAAM en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	36
Figura 1.15 Grasas y Aceites en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	37
Figura 1.16 Fosfatos totales en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	38
Figura 1.17 Fósforo Total en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	39
Figura 1.18 Nitrógeno Amoniacal en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	40
Figura 1.19 Nitrógeno de nitratos en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	41
Figura 1.20 Nitrógeno Total en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	42
Figura 1.21 Coliformes totales en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	43
Figura 1.22 Coliformes fecales en las estaciones de siete cuencas de la CDMX.....	45
Figura 1.23 Resultados del ICA para los meses de septiembre y noviembre de 2017 y ordenados de mayor a menor valor promedio del ICA, para las siete cuencas de la CDMX.....	46
Figura 1.24 Resultados integrados de varias fuentes: a) ICA promedio; b) Suma cualitativa de los parámetros de campo; c) Suma cualitativa de los parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos; y d) Suma de a, b y c dividido entre dos, para las siete cuencas de la CDM.....	51

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 9</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 Monte Alegre .....	55
Fotografía 1.2 Monte Alegre .....	56
Fotografía 1.3 La Cascada.....	56
Fotografía 1.4 La Cascada.....	57
Fotografía 1.5 Cieneguillas.....	57
Fotografía 1.6 Cieneguillas.....	58
Fotografía 1.7 La Cañada .....	58
Fotografía 1.8 La Cañada .....	59
Fotografía 1.9 Santa Teresa, en época de lluvias (izquierda) y en secas (derecha) .....	59
Fotografía 1.10 Santa Teresa, en época de lluvias (izquierda) y en secas (derecha).....	60
Fotografía 1.11 Santa Rosa Alto .....	60
Fotografía 1.12 Santa Rosa Alto .....	61
Fotografía 1.13 Convento .....	61
Fotografía 1.14 Convento .....	62
Fotografía 1.15 Manantial.....	62
Fotografía 1.16 Manantial.....	63
Fotografía 1.17 San Luis .....	63
Fotografía 1.18 San Luis .....	64
Fotografía 1.19 Santa Catalina.....	64
Fotografía 1.20 Santa Catalina.....	65
Fotografía 1.21 Molino de Flores.....	65
Fotografía 1.22 Molino de Flores.....	66
Fotografía 1.23 La Compañía.....	66
Fotografía 1.24 La Compañía.....	67
Fotografía 1.25 Agua Dulce.....	67
Fotografía 1.26 Agua Dulce.....	68
Fotografía 1.27 UAM, en época de lluvias (izquierda) y en secas (derecha).....	68
Fotografía 1.28 UAM.....	69
Fotografía 1.29 Castañeda .....	69
Fotografía 1.30 Castañeda .....	70
Fotografía 1.31 Medición con equipo multiparamétrico, hieleras .....	71
Fotografía 1.32 Colecta de diatomeas.....	71
Fotografía 1.33 Colecta de muestras de parámetros fisicoquímicos.....	72
Fotografía 1.34 Frascos y garrafones de muestreo.....	72
Fotografía 1.35 Disco de Secchi para ríos .....	73

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 10</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## 1.1 Introducción

México es un país de contrastes y disparidades desde los puntos de vista económicos, sociales, ambientales y culturales. A lo largo del tiempo, las desigualdades económicas y sociales se han convertido cada vez más extremas entre las regiones. Mientras existen personas con acceso a la educación, salud, agua, electricidad, carreteras, infraestructura de servicios, etc., existen muchas otras que carecen de acceso aún de los servicios más básicos (Tortajada, 2006).

Durante la evolución de lo que ahora es la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCD), los lagos y ríos han sido transformados en drenajes o convertidos en cloacas en la cercanía de las avenidas modernas, y las vías rápidas transitan ahora sobre vías de agua residual entubada. De los 45 ríos de esta región, la mayoría han sido entubados para evitar las inundaciones y condiciones insalubres. De los ríos aún existentes las cuencas de los ríos Magdalena y Eslava, aún representan la fuente de agua superficial más importante para uso humano en la ciudad de México (Mazari-Hiriart *et al.*, 2014).

De acuerdo con Ecurra y Mazari-Hiriart, 1996, la CDMX una de las más grandes megalópolis en el mundo, sirve como un punto de examen de la cuestión de la sostenibilidad ambiental; en la ciudad de México está realizándose un experimento. Las conclusiones finales sobre la sostenibilidad y factibilidad económica de dicho proceso aún están por definirse.

De modo claro para muchos investigadores, se vislumbra una situación de crisis en la CDMX, que casi seguramente se generará por la falta de un abastecimiento de agua, la degradación del aire, el azolvamiento del sistema de drenaje y las inundaciones, que resultan del proceso de deforestación creciente (Ecurra y Mazari-Hiriart, 1996).

De acuerdo con Martínez *et al.*, 2015, la cobertura agua para abastecimiento humano en la CDMX y a cargo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), ha ido decreciendo constantemente desde el año del 2000; de modo que mucha gente recibe agua en sus casas de modo intermitente, tal es el caso para más de 900 000 personas en el la zona de Iztapalapa solamente. Mientras tanto, la zona metropolitana sigue creciendo en su periferia (o cinturón de pobreza) y se estima por el Banco Mundial (2013, en; Martínez *et al.*, 2015), que la población para el año 2030 alcance los 29 millones.

El presente informe pretende revisar la calidad y cantidad del agua, en 15 estaciones ubicadas principalmente en la parte alta y media de siete cuencas ubicadas en los dos tercios de la zona sur de la CDMX, este trabajo abarca los resultados de campo y análisis de laboratorio obtenidos de septiembre y noviembre de 2017.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 11</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## 1.2 Objetivo

En el presente capítulo plantea el siguiente objetivo:

Evaluar la respuesta de calidad del agua en una cuenca con alta presión hídrica y cambios de uso del suelo. Este objetivo se realizó en ríos y arroyos de siete cuencas ubicados en las zonas sur, sur-poniente y sur-oriente de la CDMX, se realizaron dos muestreos, tanto en época de lluvias (septiembre), como de secas (en noviembre).

### 1.2.1 Objetivos específicos

- Evaluar un total de 15 estaciones con respecto a su cantidad y calidad del agua; se incluyeron los siguientes parámetros: gasto del río, parámetros físicos (turbiedad y sólidos suspendidos totales (SST)) químicos (carbono orgánico total (COT) nutrientes (tales como fósforo total, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, etc.), microbiológicos (coliformes totales y coliformes fecales) y toxicidad con el uso del organismo *Daphnia magna*.
- Realizar *in situ* la evaluación de parámetros de campo, altitud, ubicación por GPS y gasto de ríos y arroyos en siete cuencas de la CDMX, los parámetros a realizar fueron: medición del caudal por medio de la medición de una sección transversal, temperatura del agua, potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), y potencial de Oxido-Reducción (Redox). Asimismo, obtener los datos de profundidad total en el sitio y del disco de Secchi.
- En los ríos considerados más impactados por su ubicación y la cercanía con la zona urbana, se realizó el análisis de parámetros “especiales”, tales como: Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) y grasas y aceites.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 12</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

### 1.3 Área de estudio

El área metropolitana de la ciudad de México (CDMX) tiene una población de más de 22 millones de habitantes, con densidades de población que exceden las 13 500 personas/km<sup>2</sup>. Las industrias, servicios y actividades comerciales de la zona generan el 33.2% del producto interno bruto, por lo que el área juega un rol importante en el país, tanto desde el punto de vista económico como político. Sin embargo, se enfrenta con demandas cada vez más altas de servicios básicos, tales como: sanidad, electricidad, educación y salud, entre otras (Tortajada, 2006; Mazari-Hiriart *et al.*, 2014).

La Cuenca de México tiene un área de 9 600 km<sup>2</sup>: está situada en el borde sur de la Mesa Central y ocupa la porción más baja de la Región Hidrológica Núm. 26, conocida como la cuenca del río Pánuco. El Distrito Federal y los estados de México, Tlaxcala y Puebla tienen jurisdicción en esta zona (Bravo-Inclán, 1995).

Desde el punto de vista hidrológico, en la Cuenca de México se presenta lo siguiente: por una parte, para evitar las inundaciones que año con año ocurren, se construyeron grandes obras de desagüe para expulsar los excedentes de agua fuera de la Cuenca y, por la otra, se han edificado gigantescas obras de captación y conducción de agua a otras cuencas. Paralelamente, se ha incrementado la perforación de pozos y la extracción de agua, tanto por el sector público como el privado, que ha originado la sobreexplotación de los acuíferos en la zona (Cruickshank, 1984).

## 1.4 Metodología

De acuerdo con estudios previos y la revisión de estaciones de muestreo utilizadas por la SACM, se establecieron quince estaciones de muestreo ríos y arroyos, de modo tal que se tuviera información sobre cuencas y fuentes superficiales de importancia para la posible restauración y cuidado en el abastecimiento de agua para consumo humano. Dichas estaciones se describen en la Tabla 1.1 y en la Figura 1.1.

### 1.4.1 Monitoreo de los ríos

La metodología de muestreo de los ríos estudiados está en cumplimiento con la norma NMX-AA-014-1980 (cuerpos receptores – muestreo). Estos procedimientos están basados en la metodología de evaluación de la eutroficación de lagos cálidos tropicales y la evaluación de la cuenca de captación (Castagnino, 1992 y Salas y Martino, 1991). La mayoría de las muestras fueron tomadas en envases de plástico o vidrio que fueron previamente enjuagados dos veces con el agua de muestreo y, posteriormente, se mantuvieron a 4°C durante el transporte al laboratorio; si así lo requería algunas muestras fueron fijadas con ácido u otro preservador.

Tabla 1.1 Localización de las estaciones de monitoreo en siete cuencas de la CDMX

Subcuenca / Poblado cercano	Estación	Descripción	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud (msnm)
Las Regaderas	Monte Alegre	Parte alta de la cuenca, zona muy cercana al parteaguas, río junto a un camino de terracería	19° 13' 51,0"	-99° 17' 31,6"	3,377
Río Eslava	La Cascada	Parte media-alta de la cuenca, sitio justo debajo de una gran cascada, zona con bardas a ambos lados.	19° 15' 19,3"	-99° 15' 01,8"	2,883
Río Magdalena Contreras	Cieneguillas	Parte alta de la cuenca, zona muy cercana al parteaguas, río con varias represas en su cauce.	19° 15' 55,8"	-99° 18' 59,9"	3,421
Río Magdalena Contreras	La Cañada	Parte media de la cuenca, ubicado entre el tercer Dínamo y el poblado del mismo nombre	19° 17' 55,2"	-99° 15' 11,4"	2,556
Río Magdalena Contreras	Santa Teresa	Parte media-baja de la cuenca, ubicado en la zona urbana, a 0.6 km antes del periférico. Zona perturbada.	19° 18' 36,9"	-99° 13' 29,9"	2,408
Desierto de los Leones	Santa Rosa Alto	Parte alta de la cuenca, muy cercano a la carretera de la zona.	19° 17' 58,7"	-99° 18' 58,5"	3,060
Desierto de los Leones	Convento	Parte alta de la cuenca, junto al Convento del mismo nombre, sitio ubicado después de un lago y su represa.	19° 18' 41,6"	-99° 18' 32,6"	2,909
Río Tlalnepantla	Manantial	Parte alta de la cuenca, arriba de la zona de truchas (Truchero Manzano), nacimiento de agua limpia	19° 29' 20,9"	-99° 23' 42,2"	2,990
Río Tlalnepantla	San Luis	Parte media de la cuenca, pasando por el poblado San Luis Ayucán.	19° 29' 39,3"	-99° 20' 47,9"	2,591

Subcuenca / Poblado cercano	Estación	Descripción	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud (msnm)
Coaxcacoaco	Santa Catalina	Parte alta de la cuenca, la muestra se tomó junto a una pared de roca, y caída de agua	19° 28' 25,0"	-98° 46' 18,0"	2,246
Coaxcacoaco	Molino de Flores	Parte media de la cuenca, se muestreó en un parque con dicho nombre, zona perturbada, semiurbana y con basura.	19° 30' 47,0"	-98° 50' 10,2"	2,288
Río San Rafael Tlalmanalco	La Compañía	Parte alta de la cuenca, punto tomado dentro del Parque Ecoturístico Dos Aguas, es el arroyo del margen derecho.	19° 12' 40,2"	-98° 43' 22,4"	2,906
Río San Rafael Tlalmanalco	Agua dulce	Parte alta de la cuenca, punto tomado dentro del Parque Ecoturístico Dos Aguas, es el arroyo del margen izquierdo	19° 12' 14,4"	-98° 44' 00,8"	2,751
Río San Rafael Tlalmanalco	UAM	Parte media de la cuenca, abajo del poblado de San Rafael, en frente de las instalaciones de la UAM.	19° 12' 29,7"	-98° 47' 01,1"	2,430
Amecameca	Castañeda	Parte alta de la cuenca, tomado antes de una serie de pequeñas represas.	19° 08' 21,7"	-98° 43' 41,9"	2,660

En cada estación, se realizaron las siguientes actividades: la lectura de la profundidad de visión del disco de Secchi (DS), medición del gasto y la toma de muestras de las muestras de agua.

En cada estación de muestreo, el tipo de lecturas y parámetros que se incluyeron en la presente evaluación fueron:

- Mediciones de campo *in situ*.- Disco de Secchi, así como los parámetros de temperatura (°C), conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sólidos disueltos totales (mg/L), pH, Potencial de óxido-reducción o Eh (mV) y oxígeno disuelto (mg/L), por medio de una sonda multiparamétrica marca YSI modelo 6600-D, previa calibración con estándares vigentes y de marca.
- Parámetros fisicoquímicos enlistados en la Tabla 1.2.
- Parámetro biológico.- Obtención de clorofila  $\alpha$  (Tabla 1.2).

Las muestras mencionadas en la Tabla 1.2 fueron analizadas por el laboratorio de Calidad del Agua del IMTA.

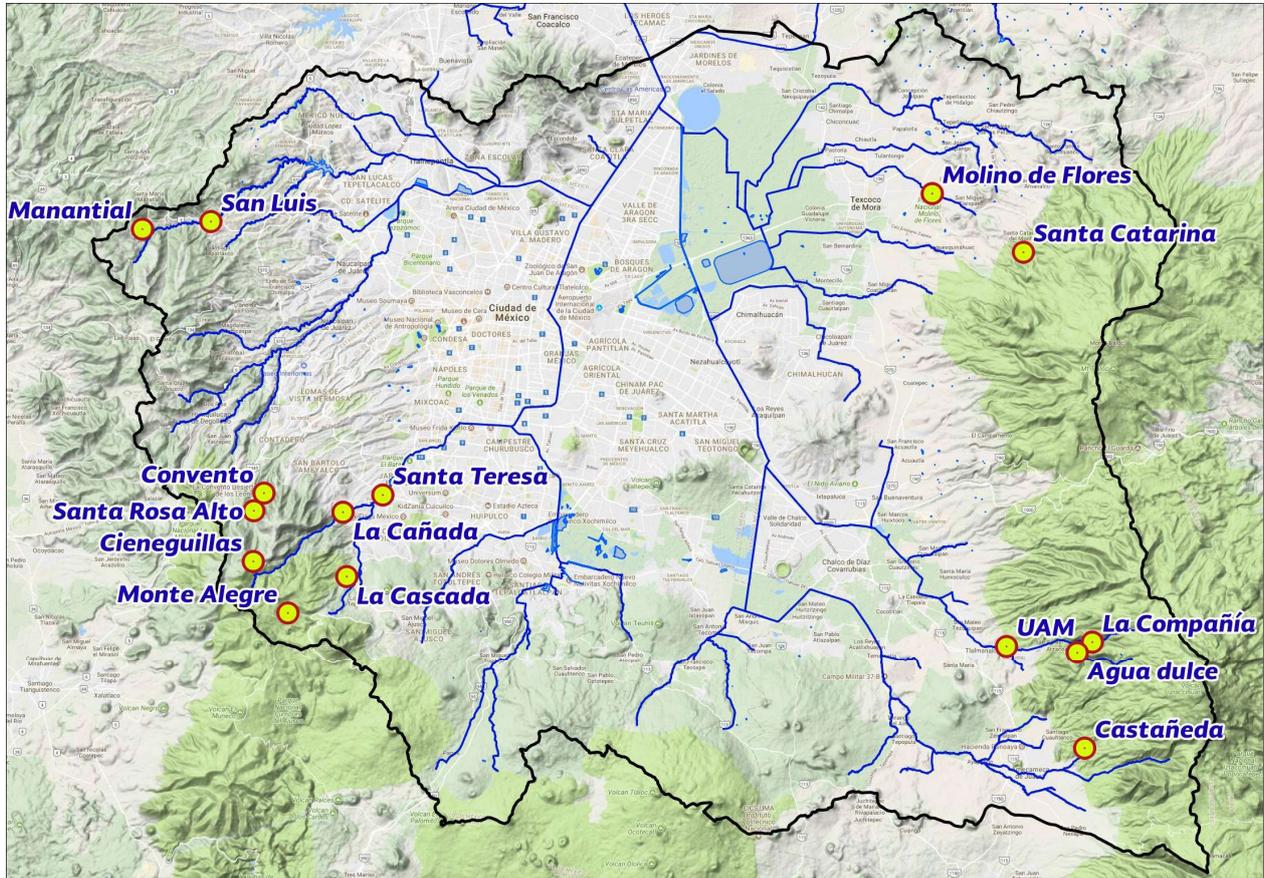


Figura 1.1 Estaciones de muestreo en la CDMX, Por claridad, el norte se ubicó ligeramente a la izquierda

Tabla 1.2 Parámetros fisicoquímicos y biológicos de calidad del agua (volúmenes, preservación y recipientes de muestreo utilizados)

Parámetro	Volumen (mL)	Recipiente	Preservación	Caducidad (días)
SST	1000	Plástico	Refrigeración	5
Turbiedad	200	Plástico	Refrigeración	1 a 2
DBO <sub>5</sub>	1000	Plástico	Refrigeración	1
DQO	100	Vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, refrigeración	28
SAAM	500	Plástico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, refrigeración	7
Grasas y aceites	1000	Vidrio, boca ancha	HCl pH<2, refrigeración	28

Parámetro	Volumen (mL)	Recipiente	Preservación	Caducidad (días)
Fósforo total (P-total) y fosfatos totales	1000	Plástico o vidrio	Refrigeración	28
Nitrógeno amoniacal, nitrógeno total	200	Plástico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, refrigeración	7
Nitrógeno de nitratos (N-NO <sub>3</sub> ) y nitritos (N-NO <sub>2</sub> )	200	Plástico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, refrigeración	30
Nitrógeno total	250	Plástico o vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, refrigeración	28
Carbono orgánico total (COT)	250	Vidrio ámbar	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, refrigeración	30
Coliformes fecales y totales	300	Bolsa o frasco de vidrio estéril	Refrigeración	1
Toxicidad con <i>Daphnia magna</i>	1000	Plástico	Refrigeración	5

#### 1.4.2 Uso del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para la determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA), se empleó la adaptación que en el IMTA (León, 1991) se realizó para la Comisión Nacional del Agua a partir de un modelo norteamericano (Guzmán, 1997). A diferencia del ICA propuesto por León (1991), que incluye 15 parámetros, el nuevo índice utilizado está constituido por 18 parámetros a los cuales se les imparte un valor relativo de importancia y límites. Por medio de una fórmula se obtiene un valor, en una escala de 0 a 100 para cada parámetro, a partir de los cuales se construye el índice. Este índice fue utilizado por la Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua de la CNA (Conagua, 2005). El índice califica en escala de 0 a 100 la calidad de un agua, siendo el cien el valor máximo de calidad.

Para obtener el ICA, primero se resuelven las ecuaciones ya definidas para el ICA individual ( $I_i$ ) de cada uno de los 18 parámetros seleccionados para conformar posteriormente el índice general, las ecuaciones son las siguientes:

- Potencial de hidrógeno (pH)
  - $I_{pH} = 10^{0.2335 \text{ pH} + 0.44}$  Si el pH es menor que 6.7
  - $I_{pH} = 100$  Si el pH está entre 6.7 y 7
  - $I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 \text{ pH}}$  Si el pH es mayor que 7
- Color  $I_C = 123 (C)^{-0.295}$
- Turbiedad  $I_T = 108 (T)^{-0.178}$

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 17	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

- Grasas y aceites  $I_{G y A} = 87.25 (G y A)^{-0.298}$
- Sólidos suspendidos  $I_{SS} = 266.5 (SS)^{-0.37}$
- Sólidos disueltos  $I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD)$
- Conductividad eléctrica  $I_{CE} = 540 (CE)^{-0.379}$
- Alcalinidad  $I_A = 105 (A)^{-0.186}$
- Dureza total  $I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174 (DT)}$
- Nitrógeno de nitratos  $I_{N-NO_3} = 162.2 (N-NO_3)^{-0.343}$
- Nitrógeno amoniacal  $I_{NH_3} = 45.8 (N-NH_3)^{-0.343}$
- Fosfatos totales  $I_{PO_4} = 34.215 (PO_4)^{-0.46}$
- Cloruros  $I_{Cl^-} = 121 (Cl)^{-0.223}$
- Oxígeno disuelto

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{Sat}} \times 100$$

Donde (OD).- Oxígeno disuelto en mg/L y a temperatura de campo (Tc)  
 (Oxígeno disuelto) sat.- mg/L de saturación  $T_{sat} = T_c$

- DBO  $I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673}$
- Coliformes totales  $I_{CT} = 97.5 (CT)^{-0.27}$
- Coliformes fecales  $I_{CF} = 97.5 [5 (CF)]^{-0.27}$
- Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)  
 $I_{SAAM} = 100 - 16.678(SAAM) + 0.1587(SAAM)^2$

La obtención del valor índice se lleva a cabo mediante técnicas multiplicativas y por la asignación de ponderaciones específicas. La evaluación numérica del índice es realizada de acuerdo con la siguiente ecuación: El cálculo del ICA se realiza aplicando la ecuación 1.

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad 1$$

Donde ICA = índice de calidad del agua global  
 $I_i$  = índice de calidad para el parámetro  $i$   
 $W_i$  = Coeficiente de ponderación del parámetro  $i$   
 $n$  = Número total de parámetros.

Finalmente, el ICA generado mediante la ecuación 1 es un número entre 0 y 100 que califica la calidad del agua, a partir del cual es posible estimar el nivel de contaminación del cuerpo de agua de acuerdo al uso que se le dé, o se le quiera dar, a esta (agua potable, agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreación).

En la Tabla 1.3 se muestran los parámetros, sus unidades y los coeficientes de ponderación unitaria ( $W_i$ ) utilizados para el cálculo del ICA (Guzmán, 1997). En el caso en que un parámetro no se determine, el factor de ponderación es reasignado con el fin de que el cálculo del ICA no se vea afectado (León, 1991). La Tabla 1.4 muestra la clasificación de los cuerpos de agua, según el uso al que se destina acorde al ICA.

Tabla 1.3 Parámetros, unidades y coeficientes de ponderación utilizados en el cálculo del ICA

Parámetro	Unidad	Coeficientes de ponderación ( $W_i$ )	Parámetros utilizados en este trabajo
Oxígeno disuelto	mg/L $\frac{1}{L}$	5.0	XXX
DBO <sub>5</sub>	mg/L	5.0	XXX
Cloruros	mg/L	0.5	---
Coliformes totales	NMP/100 mL	3.0	XXX
Coliformes fecales	NMP/100 mL	4.0	XXX
Conductividad eléctrica	$\mu$ S/cm	1.0	XXX
Dureza como CaCO <sub>3</sub>	mg/L	1.0	---
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	mg/L	0.5	---
Potencial de hidrógeno	unidades de pH	1.0	XXX
Grasas y aceites	mg/L	2.0	XXX
Sólidos suspendidos	mg/L	1.0	XXX
Sólidos disueltos	mg/L	0.5	---
SAAM	mg/L	3.0	XXX
Fosfatos	mg/L	2.0	XXX
Nitrógeno de nitratos	mg/L	2.0	XXX
Nitrógeno amoniacal	mg/L	2.0	XXX
Color	unidades Pt-Co	1.0	---
Turbiedad	UTN	0.5	XXX

$\frac{1}{L}$  Para estimar adecuadamente este parámetro, se requiere conocer la temperatura del agua *in situ*;  
 UTN.- Unidades de Turbidez Nefelométrica.

Tabla 1.4 Clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo al ICA según el uso

Clasificación	Consumo humano	Agricultura	Pesca	Industrial	Recreación
Excelente	100-90	100-90	100-70	100-90	100-70
Aceptable	90-80	90-70	70-60	90-70	70-50
Contaminación leve	80-70	70-50	60-50	70-50	50-40
Contaminada	70-50	50-30	50-40	50-30	40-30
Contaminación fuerte	50-40	30-20	40-30	30-20	30-20
Contaminación excesiva	40-0	20-0	30-0	20-0	20-0

Fuente: León, 1991.

## 1.5 Resultados

### 1.5.1 Resultados en los ríos

A continuación, se analizan los datos de campo, fisicoquímicos y biológicos de las estaciones realizadas en los meses de septiembre y noviembre, en las 15 estaciones de la CDMX.

#### 1.5.1.1 Resultados de los parámetros de campo

En las Tablas 1.5 y 1.6, se presentan los resultados de campo realizados en el primer (4 y 5 de septiembre) y segundo muestreos (15 de noviembre de 2017).

Tabla 1.5 Resultados de los parámetros de campo de las estaciones ubicadas en siete cuencas, primera parte (muestreos del 11 al 14 de septiembre y del 20 al 24 de noviembre de 2017)

Parámetro	Fecha	RE / Monte Alegre	RE / La Cascada	RM / Cieneguitas	RM / Cañada	RM / Sta Teresa	DL / Sta Rosa Alto	DL / Convento	RT / Manantial
Altitud (msnm)	--	3377	2883	3421	2556	2408	3060	2909	2990
Temperatura (°C)	Sept	12,8	12,3	12,0	12,9	14,0	9,5	9,2	11,8
	Nov	8,9	8,6	10,1	12,6	14,2	6,4	4,9	9,9
pH	Sept	7,20	6,91	7,37	6,88	6,93	6,74	7,24	6,87
	Nov	7,21	7,39	7,52	7,71	7,41	7,30	7,42	7,72
Oxígeno dis. (mg/L)	Sept	7,50	8,11	7,93	8,95	4,09	9,10	8,70	8,50
	Nov	7,61	8,17	7,94	8,56	3,28	8,18	8,89	8,00
Conductividad eléctrica (µS/cm)	Sept	41	58	94	74	99	65	71	86
	Nov	37	81	74	91	365	99	83	73
Pot. Redox (mV)	Sept	220,0	173,0	138,0	140,0	148,0	184,0	117,0	150,0
	Nov	231,0	262,0	211,0	229,0	263,0	205,0	111,0	217,0
Disco de Secchi (m)	Sept	1,20	0,72	1,20	0,81	0,41	1,20	1,20	1,20
	Nov	1,20	0,83	1,20	1,20	0,16	1,20	1,20	1,20

Tabla 1.6 Resultados de los parámetros de campo de las estaciones ubicadas en siete cuencas, segunda parte (muestreos del 11 al 14 de septiembre y del 20 al 24 de noviembre de 2017)

Parámetro	Fecha	RT / San Luis	Coa / Sta Catalina	Coa / Molino de Flores	RSF / La Compañía	RSF / Agua Dulce	RSF / UAM	Ame / Castañeda	Promedio
Altitud (msnm)	--	2591	2738	2288	2660	2751	2422	2906	2789,6
Temperatura (°C)	Sept	12,3	10,8	13,9	10,6	10,9	13,0	10,6	11,77
	Nov	11,2	7,7	11,3	6,1	6,7	10,4	4,7	8,91
pH	Sept	6,73	7,04	7,13	6,86	6,81	7,10	7,11	6,99
	Nov	7,84	7,90	7,39	7,85	7,78	7,60	7,53	7,57
Oxígeno dis. (mg/L)	Sept	8,60	8,68	5,10	8,08	7,99	7,23	8,26	7,79
	Nov	7,87	8,16	3,65	8,79	8,92	8,63	9,75	7,76
Conductiv. eléctrica (µS/cm)	Sept	68	75	475	121	110	143	103	112,2
	Nov	48	110	415	74	220	228	208	147,1
Pot. Redox (mV)	Sept	136,0	163,0	107,0	155,0	138,0	114,0	129,0	147,5
	Nov	223,0	81,0	71,0	229,0	227,0	239,0	223,0	201,5
Disco de Secchi (m)	Sept	0,91	1,20	0,30	0,63	1,20	0,15	0,93	0,88
	Nov	1,20	1,20	0,24	1,20	1,20	0,14	0,81	0,95

### 1.5.1.1.1 Altitud de las estaciones

La altitud de las estaciones se ubica en un ámbito de 2 288 a 3 421 msnm, en un amplio espectro de más de 1 100 m de diferencia. Los colores indican las 7 diferentes zonas o cuencas en donde se realizó el estudio, de modo que, por ejemplo en la cuenca del río Magdalena, se ubica una estación en la cuenca alta, y otras dos en la zona media y media baja de la zona Metropolitana (la CDMX se ubica a una altura media de 2 240 msnm).

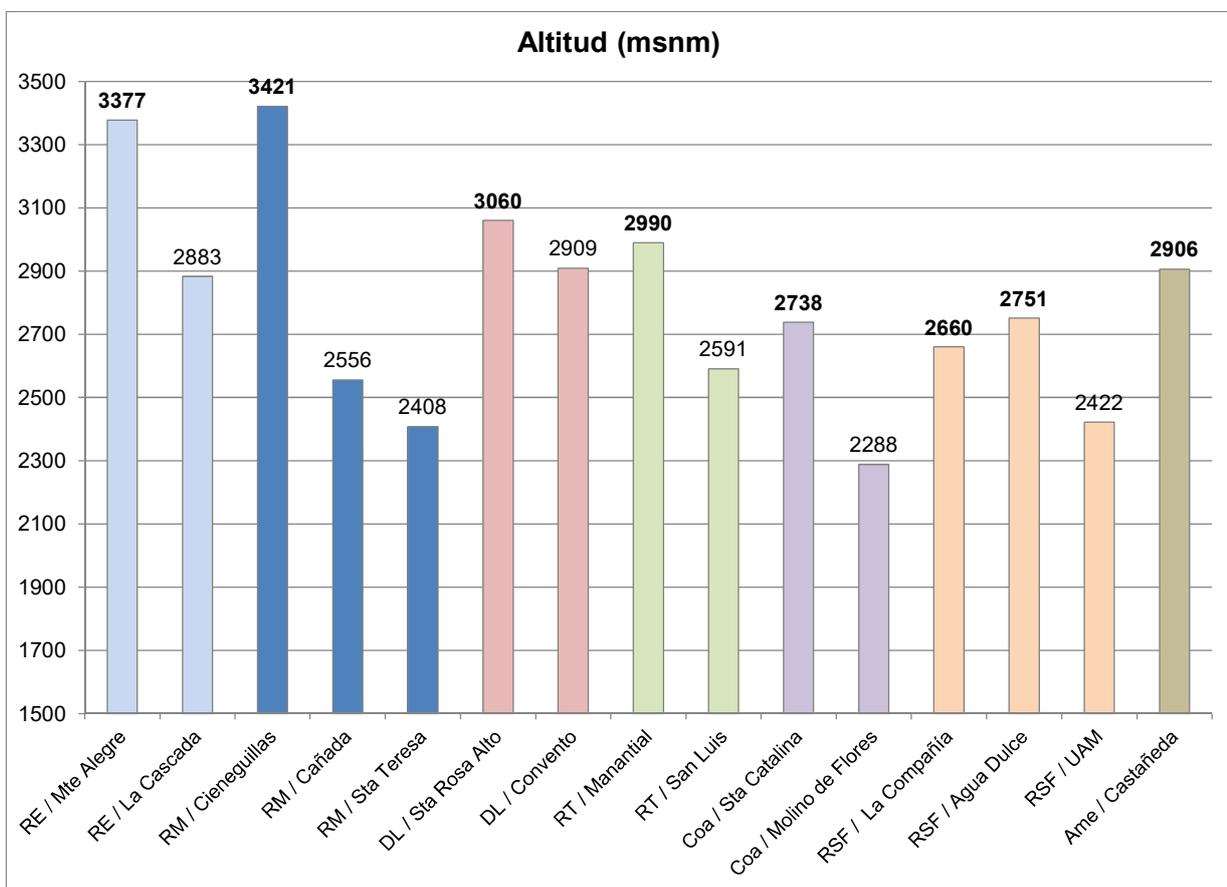


Figura 1.2 Comportamiento de la altitud de las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.1.2 Temperatura del agua

La Temperatura del agua en el mes de noviembre tuvo un ámbito más bajo, característico de un clima de otoño. En general, las temperaturas muestreadas fueron todas templadas y menores que los 14 °C, que es característico de zonas de altura y por la influencia de las cañadas en donde se ubican dichas estaciones.

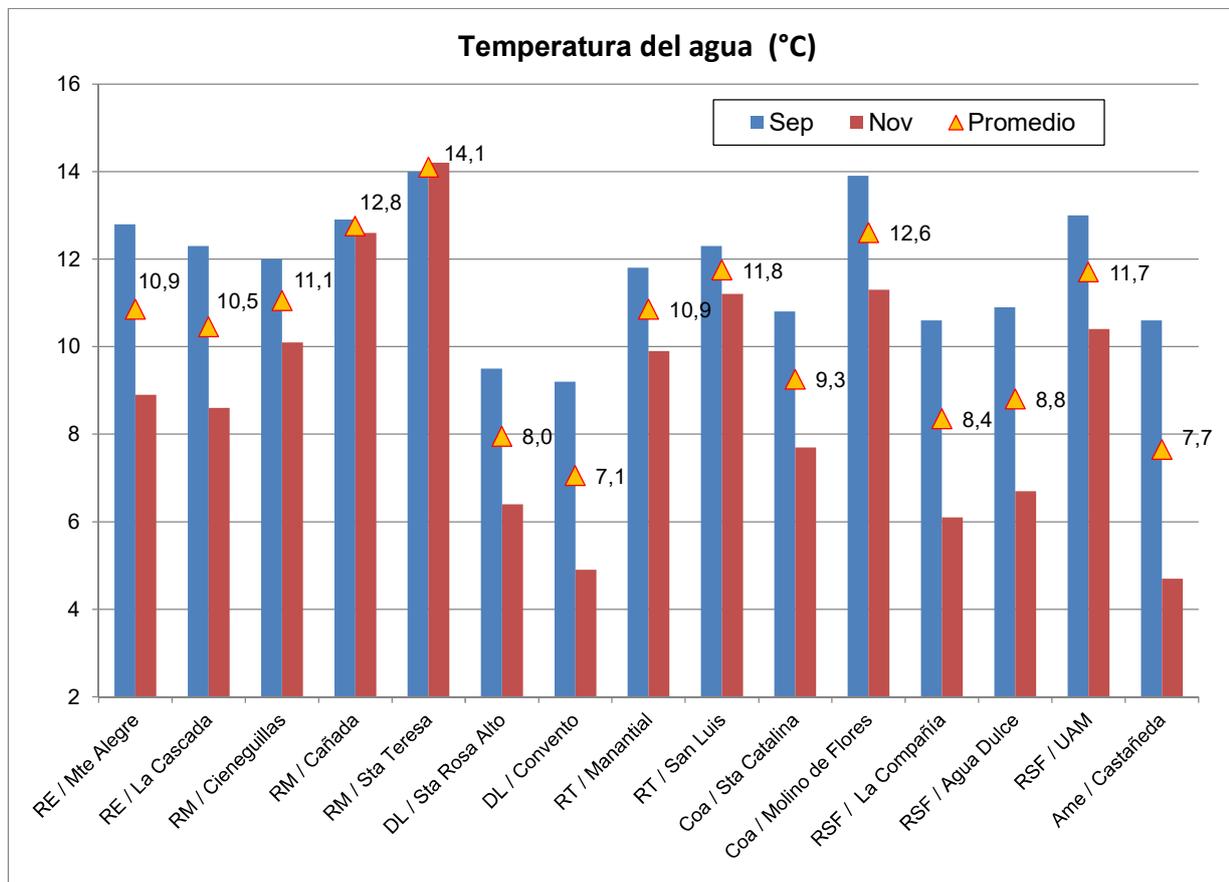


Figura 1.3 Comportamiento de la Temperatura del agua en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.1.3 Potencial de hidrógeno (pH)

En general, los valores de pH, fueron en promedio, ligeramente alcalinos y en una estrecha banda entre los 7 y los 7.47 unidades. Estos valores están en un ámbito adecuado para la protección a la vida acuática.

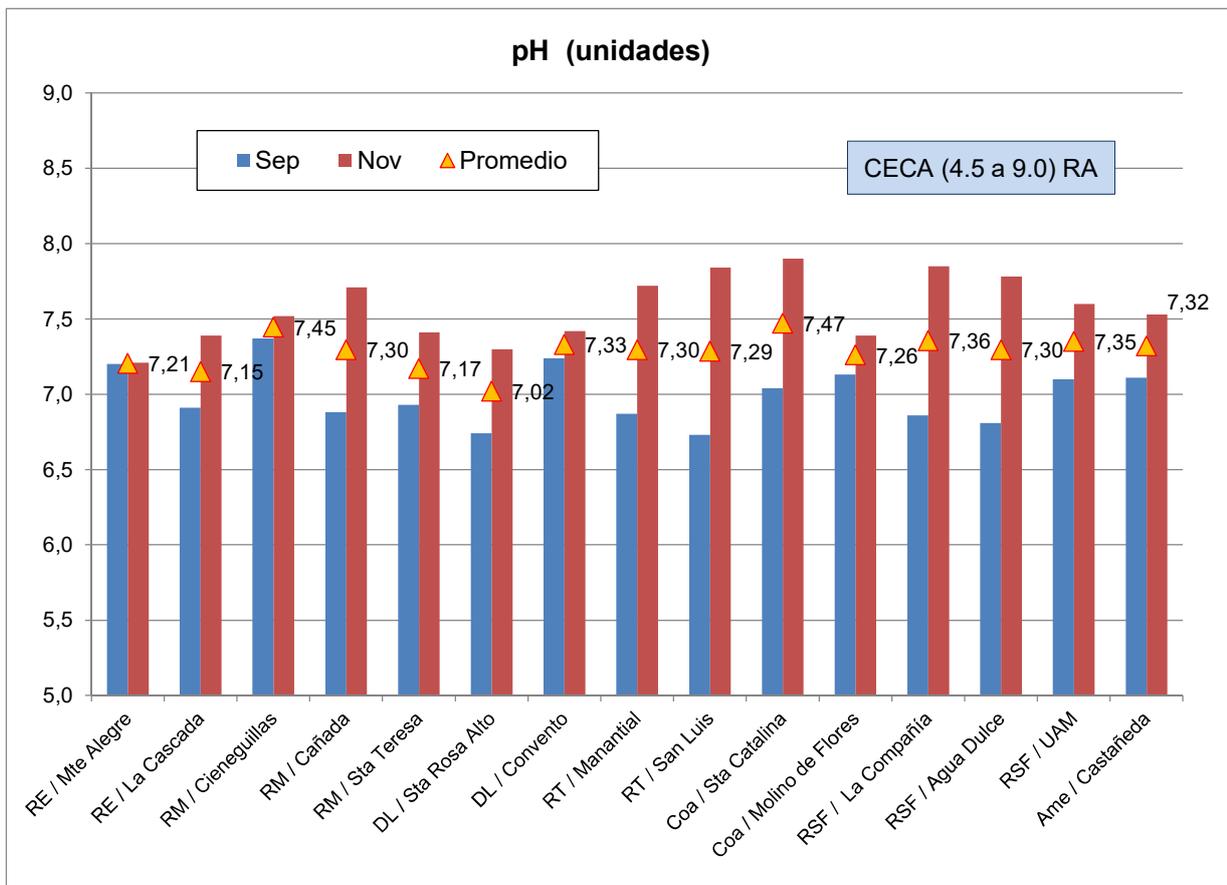


Figura 1.4 Comportamiento del pH en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

#### 1.5.1.1.4 Conductividad eléctrica (CE)

Los valores de CE corresponden a una medida integradora de la cantidad de sales o iones presentes en el agua; en general la mayoría de las muestras presentan una buena calidad del agua, y con valores de CE característicos de cuenca alta, con un ámbito promedio de 39 a 445  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sin estar demasiado altos los valores, se detectan dos promedios más altos que el resto de las estaciones en Molino de Flores y Santa Teresa, con un promedio de 445 y 232  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente.

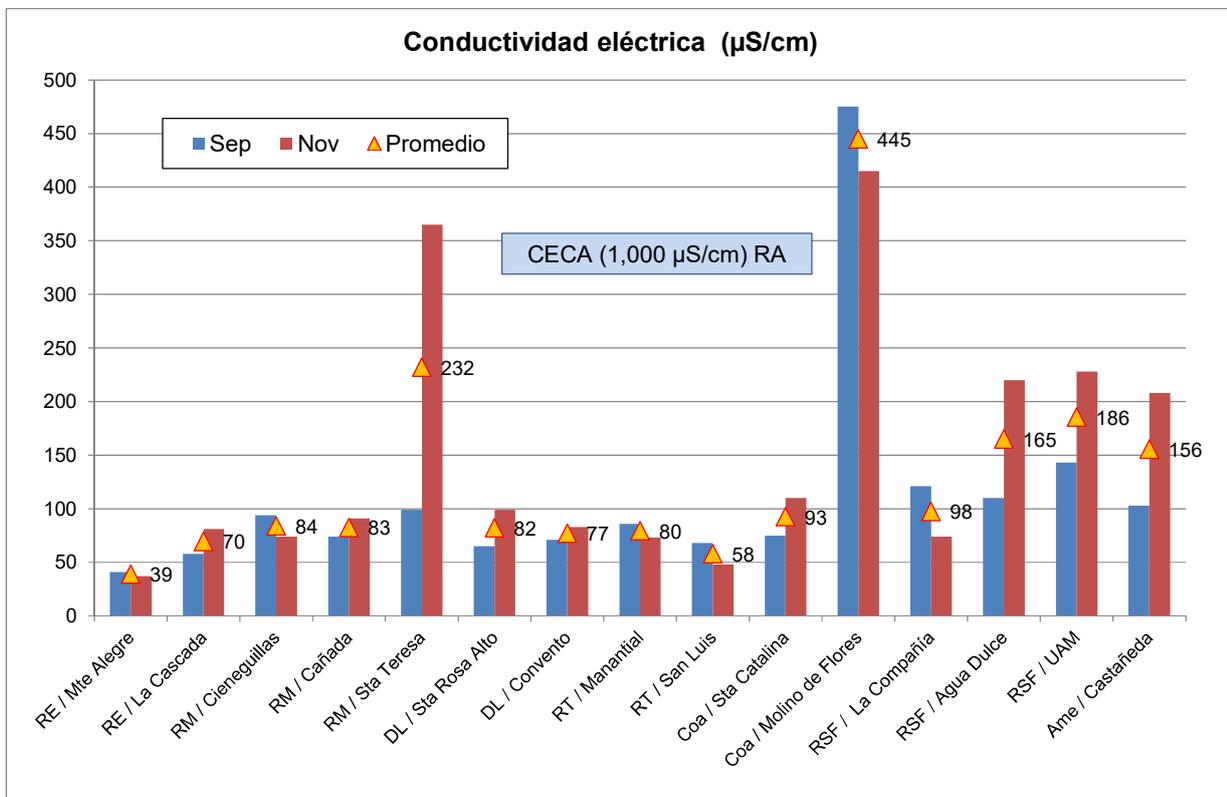


Figura 1.5 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.1.5 Oxígeno disuelto (OD)

El comportamiento del oxígeno disuelto presenta un claro declive en dos estaciones ya mencionadas, en Santa Teresa y Molino de las Flores, con un promedio de 3.69 y 4.38 mg/L y donde la concentración de OD, disminuye del límite de 5 mg/L, que denota cierto impacto para la Protección de la Vida Acuática (PVA), de acuerdo a los Criterios de Calidad del Agua 1989 (CECA, con un límite máximo permisible (LMP) de 5 mg/L). El resto de las estaciones presentan valores muy adecuados de OD, con un ámbito promedio de 7.56 a 9.01 mg/L, los valores más altos se obtuvieron en la estación Castañeda, cerca del poblado de Amecameca.

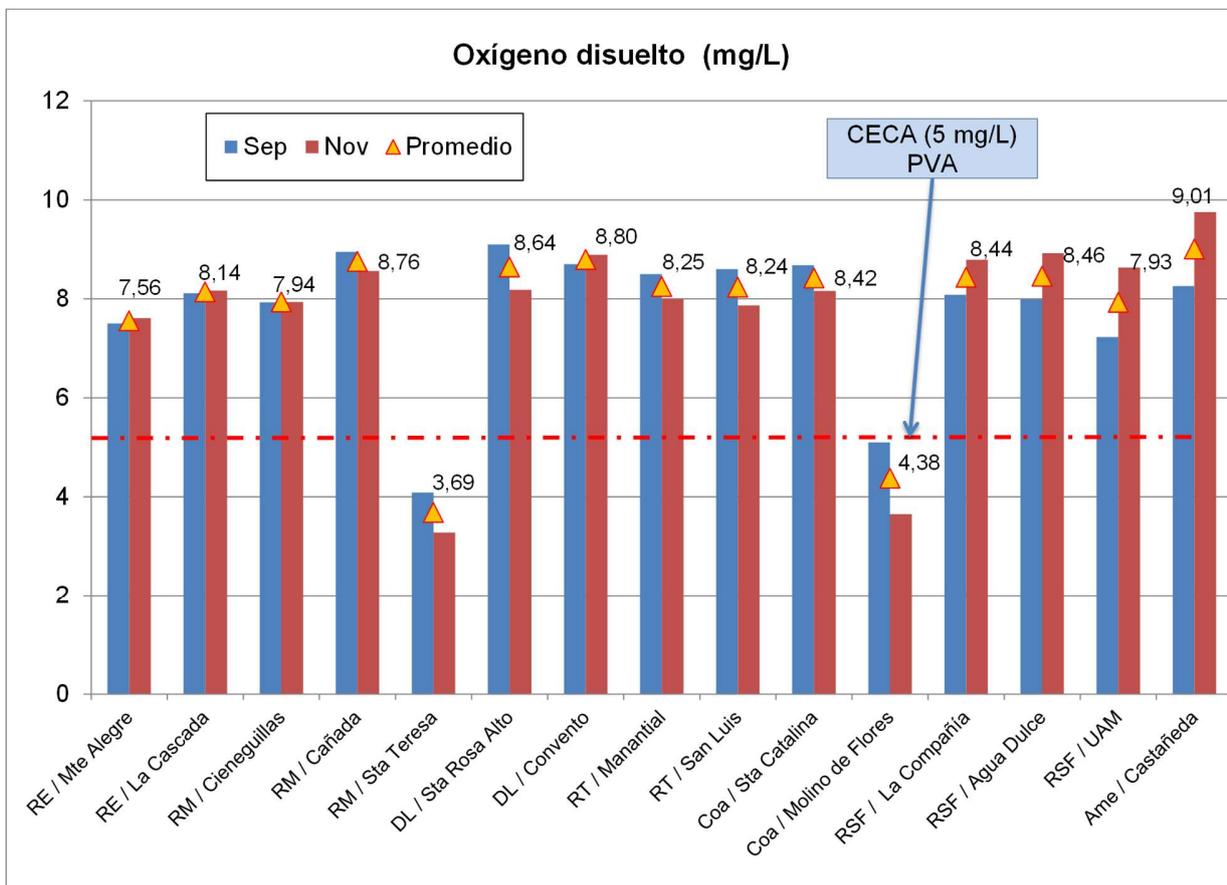


Figura 1.6 Comportamiento del Oxígeno Disuelto en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.1.6 Potencial Redox (Redox u ORP)

El comportamiento del Redox se presenta a continuación. Los valores son adecuados, ya que, en ningún momento, se obtienen valores negativos, que indicarían un proceso mayor de reducción. Se destaca cierta afectación de compuestos orgánicos en degradación, en las estaciones que tuvieron 89 y 114 mV y que corresponden a Molino de Flores y Convento (en esta última estación se detectó una descarga de aguas residuales proveniente de la zona del convento).

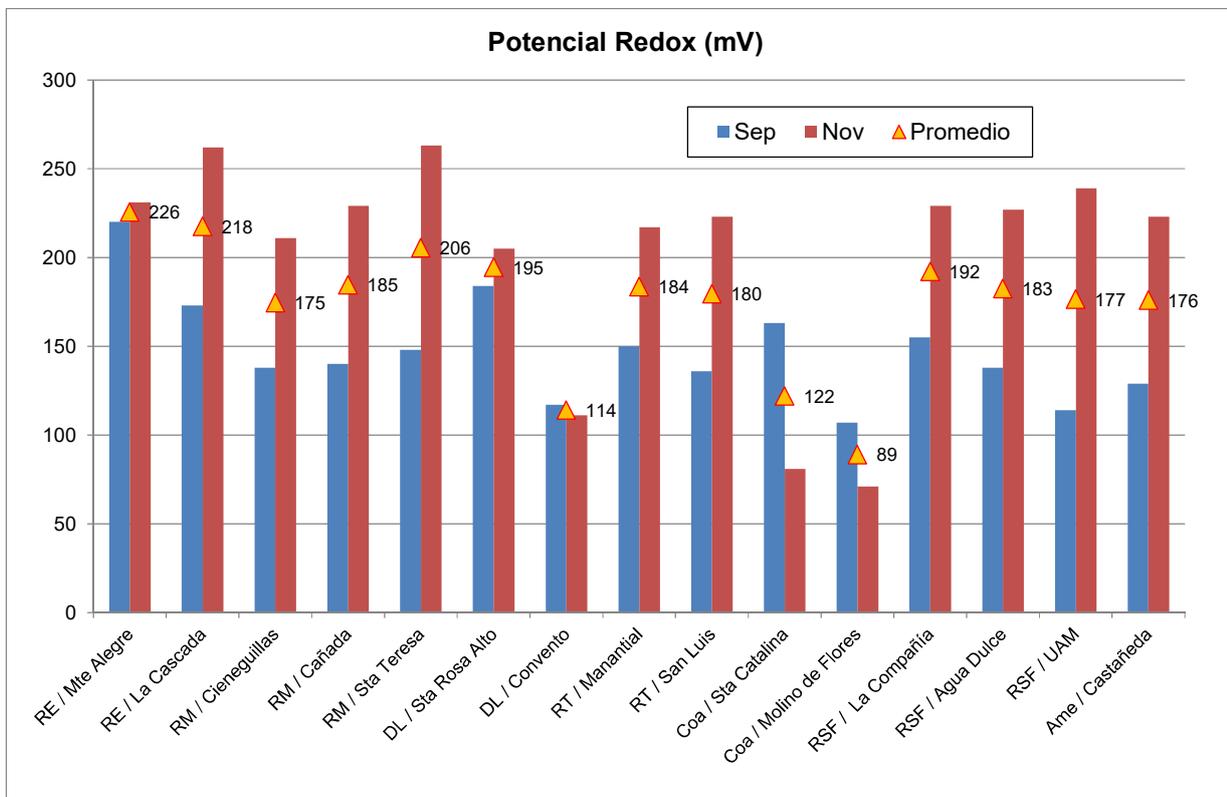


Figura 1.7 Comportamiento de Potencial Redox en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.1.7 Disco de Secchi

Los resultados del disco de Secchi indican de modo claro la cantidad de visión o de transparencia del agua, obtenida por el tubo de Secchi y detectada a simple vista. Los valores más bajos detectan una mayor perturbación, o la presencia de arcillas o limos en el agua.

Se destacan tres valores por debajo de los 30 cm de DS,, correspondientes a 0.15, 0.27 y 0.29 m, y que se relacionan con la estación UAM, molino de Flores y Santa Teresa, y que son estaciones que, a simple vista, denotan una baja calidad de agua y color pardo o pardogrisáceo.

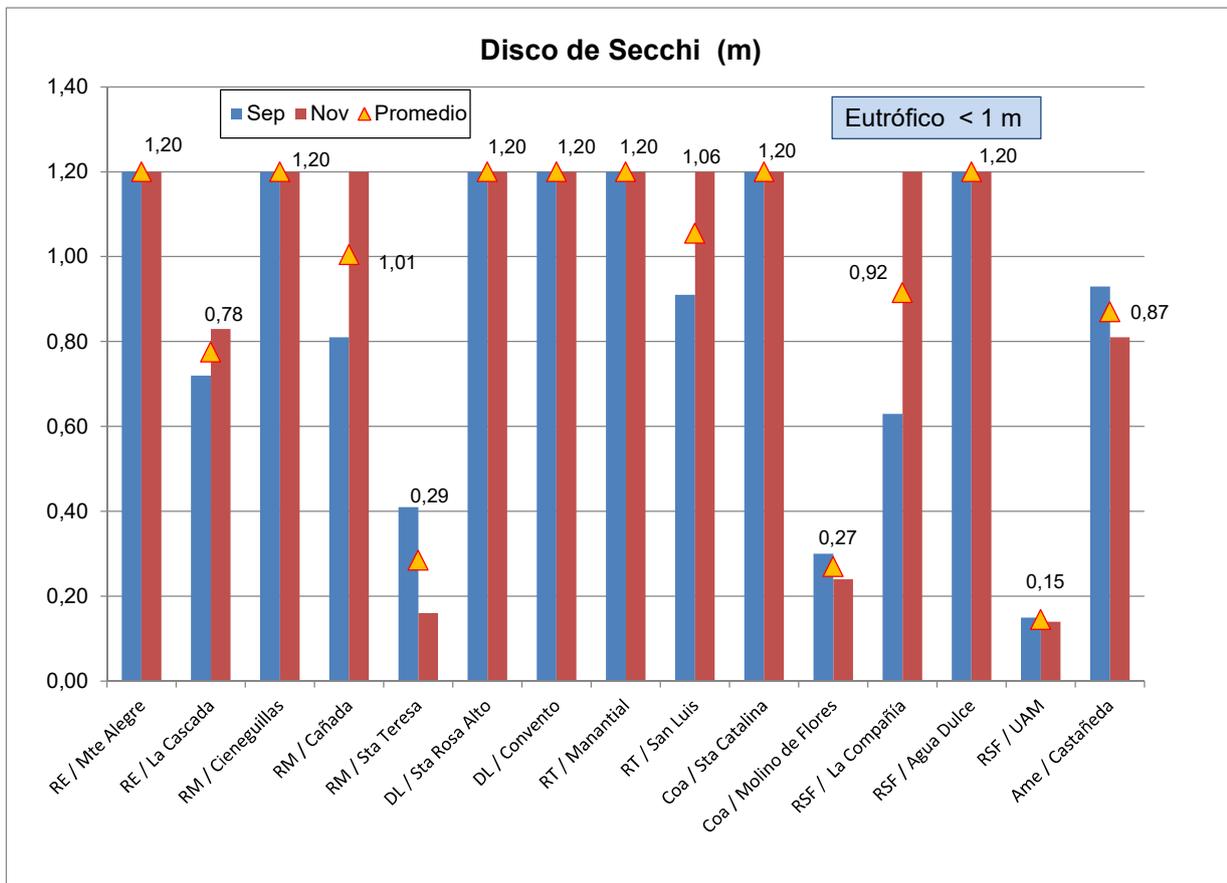


Figura 1.8 Comportamiento del disco de Secchi (m) en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.2 Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de toxicidad

Los resultados de los parámetros colectados y analizados en el laboratorio del IMTA, se presentan en las Tablas 1.7 y 1.8.

Tabla 1.7 Resultados de los parámetros de campo de las estaciones ubicadas en siete cuencas, primera parte (muestreos del 11 al 14 de septiembre y del 20 al 24 de noviembre de 2017).

Parámetro	Fecha	RE / Monte Alegre	RE / La Cascada	RM / Cieneguillas	RM / Cañada	RM / Sta Teresa	DL / Sta Rosa Alto	DL / Convento	RT / Manantial
SST (mg/L)	Sept	2,40	16,80	2,00	11,60	24,00	5,60	6,40	0,80
	Nov	0,80	7,20	5,20	2,00	12,00	0,40	4,93	3,20
Turbiedad (UTN)	Sept	0,5	4,2	0,7	2,5	1,5	1,3	2,2	0,1
	Nov	0,2	2,6	1,8	1,1	25,0	1,0	1,3	0,2
COT (mg/L)	Sept	1,02	2,05	1,45	1,76	4,35	1,34	1,83	0,87
	Nov	0,71	1,31	1,40	1,08	21,28	1,13	1,68	0,57
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Sept	0,87	0,84	0,17	0,40	4,40	0,20	0,47	0,67
	Nov	0,28	0,43	0,29	0,36	47,00	0,29	0,49	0,08
DQO (mg/L)	Sept				7,80	14,30		29,80	
	Nov				19,30	182,00		19,30	
SAAM (mg/L)	Sept	0,0224	0,0166	0,0224		0,2410		0,0163	
	Nov	0,0800	0,0180		0,0150	0,4360		0,0150	
G y A (mg/L)	Sept				4,8	7,8		5,6	
	Nov				4,6	38,5		4,5	
Fosfatos tot (mg/L)	Sept	0,31	0,120	0,310	0,340	1,040	0,090	0,060	0,120
	Nov	0,77	0,400	0,240	0,150	6,980	0,860	0,060	0,210
P-total (mg/L)	Sept	0,100	0,040	0,100	0,110	0,340	0,030	0,020	0,040
	Nov	0,250	0,140						0,070
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	Sept	0,040	0,016	0,016	0,016	0,476	0,016	0,016	0,016
	Nov	0,059	0,016	0,030	0,024	14,300	0,016	0,065	0,016
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	Sept	0,057	0,422	0,186	0,394	1,090	0,548	0,668	0,277
	Nov	0,172	0,507	0,162	0,294	2,390	0,456	0,481	0,206
N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	Sept	0,0023	0,0027	0,0026	0,0023	0,0294	0,0023	0,0024	0,0023
	Nov	0,0360	0,0410	0,0047	0,0046	0,0167	0,0042	0,0067	0,0023
N Total (mg/L)	Sept	0,365	0,425	1,120	0,534	2,620	0,548	1,110	0,365
	Nov	0,365	0,548	0,583	0,365	20,500	1,200	1,020	0,365
Colif. totales (NMP/100 mL)	Sept	2,00E+00	2,30E+01	2,30E+01	2,00E+01	2,40E+06	1,50E+04	2,00E+01	2,00E+00
	Nov	1,50E+01	4,30E+01	4,00E+00	4,30E+01	4,60E+06	9,00E+00	2,40E+03	2,00E+00
Colif. fecales (NMP/100 mL)	Sept	2,00E+00	2,30E+01	2,30E+01	3,00E+00	2,30E+05	4,00E+00	2,00E+00	2,00E+00
	Nov	2,00E+00	2,30E+01	2,00E+00	9,00E+00	2,40E+06	9,00E+00	4,60E+03	2,00E+00
Tox Daphnia (UT)	Sept	TND	TND	TND	TND	TND	TND	TND	TND
	Nov	TND	TND	TND	TND	TND	TND	TND	TND

1/ Valor menor que el límite de detección.  
 TND.- Toxicidad no detectada.

**Tabla 1.8 Resultados de los parámetros de campo de las estaciones ubicadas en siete cuencas, segunda parte (muestreos del 11 al 14 de septiembre y del 20 al 24 de noviembre de 2017)**

Parámetro	Fecha	RT / San Luis	Coa / Sta Catalina	Coa / Molino de Flores	RSF / La Compañía	RSF / Agua Dulce	RSF / UAM	Ame / Castañeda	Promedio
SST (mg/L)	Sept	18,40	1,60	14,40	81,50	5,20	76,00	18,00	18,98
	Nov	5,20	4,80	17,00	2,40	0,40	38,70	4,00	7,22
Turbiedad (UTN)	Sept	3,0	0,1	10,0	28,0	1,2	38,0	3,5	6,4
	Nov	1,6	0,5	16,0	1,1	0,4	36,0	1,9	6,0
COT (mg/L)	Sept	1,66	0,87	8,21	2,58	1,22	2,70	1,69	2,24
	Nov	1,55	0,57	25,81	1,49	0,91	11,38	1,42	4,82
DBOs (mg/L)	Sept	1,70	0,54	18,00	0,67	26,00	30,00	0,52	5,70
	Nov	2,30	0,25	42,00	1,20	0,98	39,00	1,10	9,07
DQO (mg/L)	Sept	7,80		56,40			86,70	31,30	33,44
	Nov	7,80		98,60			104,00		71,83
SAAM (mg/L)	Sept	0,0177		0,9080			0,2980		0,1928
	Nov	0,0430		0,2370					0,1206
G y A (mg/L)	Sept	7,7		9,1			15,3		8,4
	Nov	6,7		6,3			15,0		12,6
Fosfatos tot (mg/L)	Sept	0,240	0,370	5,970	1,100	0,520	2,660	0,490	0,916
	Nov	1,160	0,120	18,150	0,120	0,280	4,960	0,150	2,307
P-total (mg/L)	Sept	0,080	0,120	1,950	0,360	0,170	0,870	0,160	0,299
	Nov	0,380	0,040	5,930	0,040	0,090	1,620	0,050	0,861
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	Sept	0,025	0,016	8,130	0,063	0,069	1,180	0,069	0,678
	Nov	0,125	0,016	30,200	0,016	0,016	4,040	0,016	3,264
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	Sept	0,689	0,295	8,850	0,155	0,209	1,310	0,162	1,021
	Nov	0,729	0,206	0,116	0,099	0,198	0,080	0,136	0,415
N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	Sept	0,0113	0,0023	0,5079	0,0077	0,0042	0,0061	0,0050	0,0394
	Nov	0,0204	0,0023	0,0031	0,0056	0,0056	0,0800	0,1360	0,0246
N Total (mg/L)	Sept	1,480	0,671	19,700	0,884	1,060	4,450	0,919	2,417
	Nov	1,110	0,830	36,700	0,365	0,917	11,400	0,494	5,117
Coliformes totales (NMP/100 mL)	Sept	1,20E+03	7,00E+00	1,20E+05	1,50E+02	1,10E+01	1,20E+03	9,30E+01	1,69E+05
	Nov	4,30E+02	2,00E+00	9,00E+00	4,30E+01	9,00E+00	2,30E+06	2,30E+02	4,60E+05
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Sept	3,00E+00	2,00E+00	1,50E+01	2,30E+01	7,00E+00	4,30E+01	2,30E+01	1,53E+04
	Nov	4,30E+02	2,00E+00	9,00E+00	4,30E+01	9,00E+00	1,20E+06	2,30E+02	2,40E+05
Toxicidad Daphnia (UT)	Sept	TND	TND	TND	TND	TND	TND	TND	TND
	Nov	TND	TND	TND	TND	TND	TND	TND	TND

TND.- Toxicidad no detectada.

En las Figura 1.9 a la Figura 1.22, se ilustra gráficamente los resultados de los parámetros de calidad del agua en río y afluentes.

### 1.5.1.2.1 Sólidos suspendidos totales (SST)

Los SST son un parámetro que uso la Conagua como un buen indicador de la calidad del agua en cuerpos de agua, este indicador forma parte de los Criterios de Calidad del Agua de la Conagua. La mayoría de los datos se ubicaron en la zona de Excelente, con un ámbito de 0 a 25 mg/L de SST. Las dos estaciones que obtuvieron Buena calidad en su clasificación (de 25 a 75 mg/L), fueron las estaciones UAM y La Compañía, con un valor promedio de 54.7 y 42.0 mg/L de SST, respectivamente. Ni las estaciones Santa Teresa como Molino de las flores tuvieron valores relativamente altos para SST.

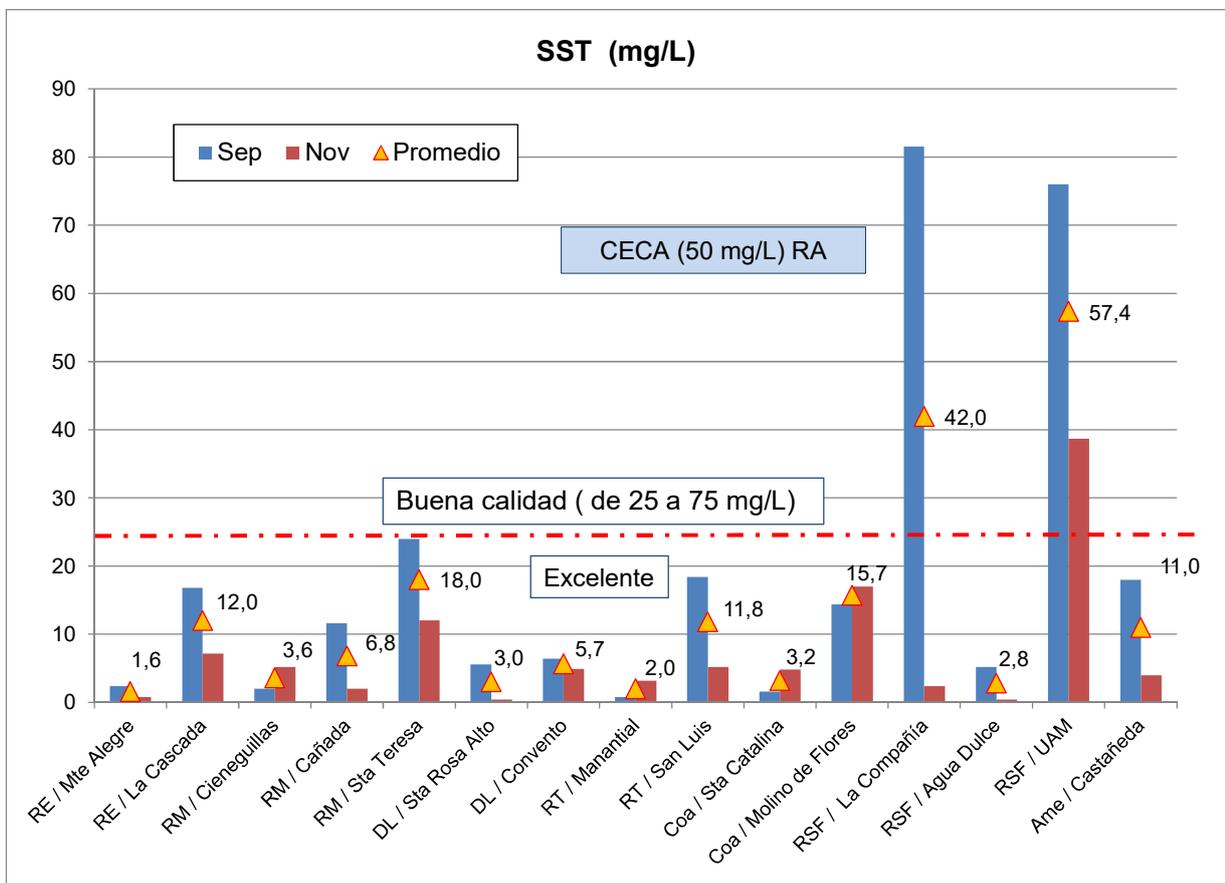


Figura 1.9 Sólidos suspendidos totales en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.2.2 Turbiedad

La Turbiedad es un parámetro que se puede relacionar con alteraciones antropogénicas de cuenca como erosión o deforestación, así como urbanización y pastoreo cercano al cauce del río. Tomando en cuenta los valores promedio, se observa un claro incremento en cuatro estaciones: UAM, La Compañía Santa Teresa y Molino de Flores, con 37.0, 14.6, 13.3 y 13.0 UTN. El resto de las estaciones denotan una excelente calidad de agua con valores que van de 0.1 a 3.4 UTN, el último dato corresponde a la estación La Cascada.

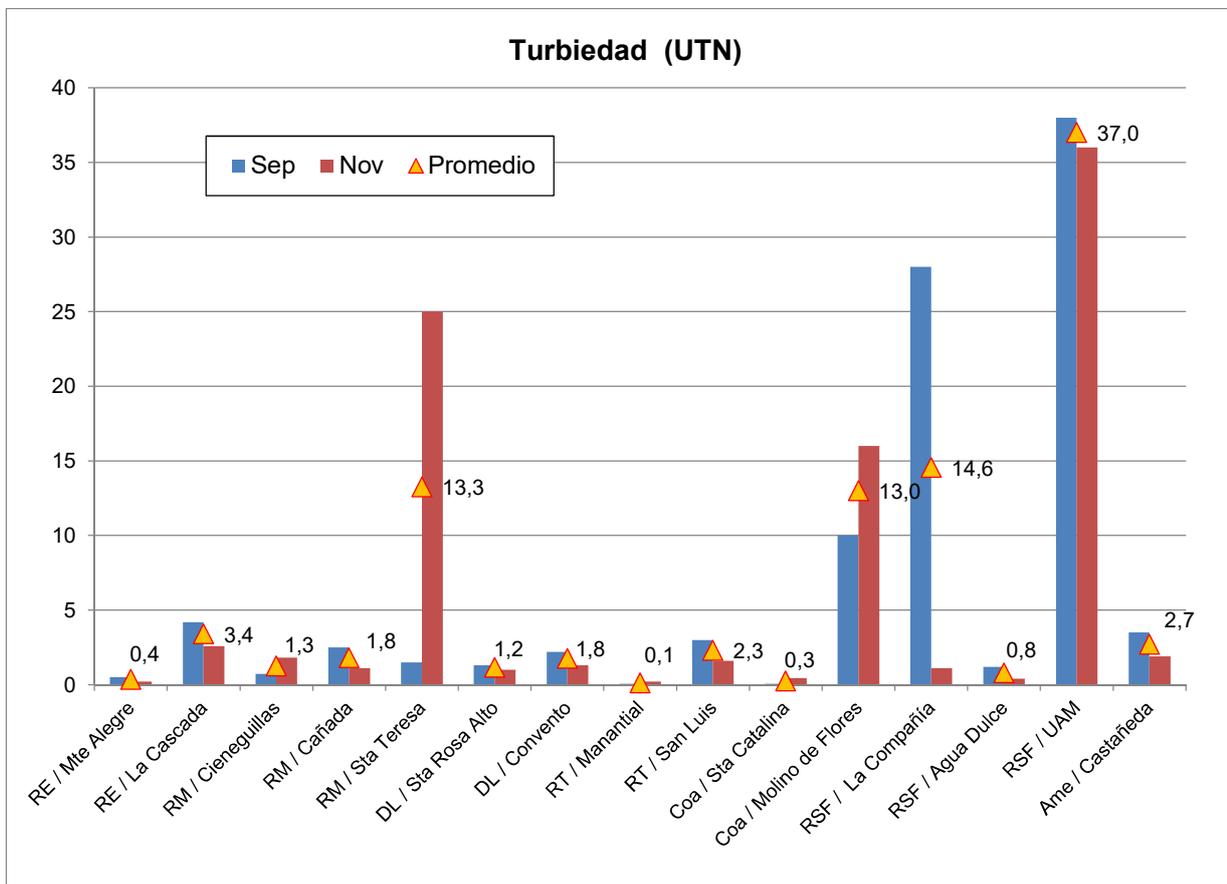


Figura 1.10 Comportamiento de Turbiedad en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.2.3 Carbono orgánico total (COT)

La determinación de COT se destaca como una manera precisa (y algo cara) de evaluar la cantidad de materia orgánica que se obtiene en el ambiente. Destacan claramente las estaciones de Molino de Flores, Santa Teresa y UAM, con valores promedio de 17.0, 12.8 y 7.0 mg/L de COT, respectivamente, el resto de las estaciones se mantiene en concentraciones muy bajas que van de un promedio de 0.7 a 2.0 mg/L, con el valor promedio más alto en la estación La Compañía; mientras que se detectan los valores más bajos en los ríos de cabecera, Manantial y Santa Catalina.

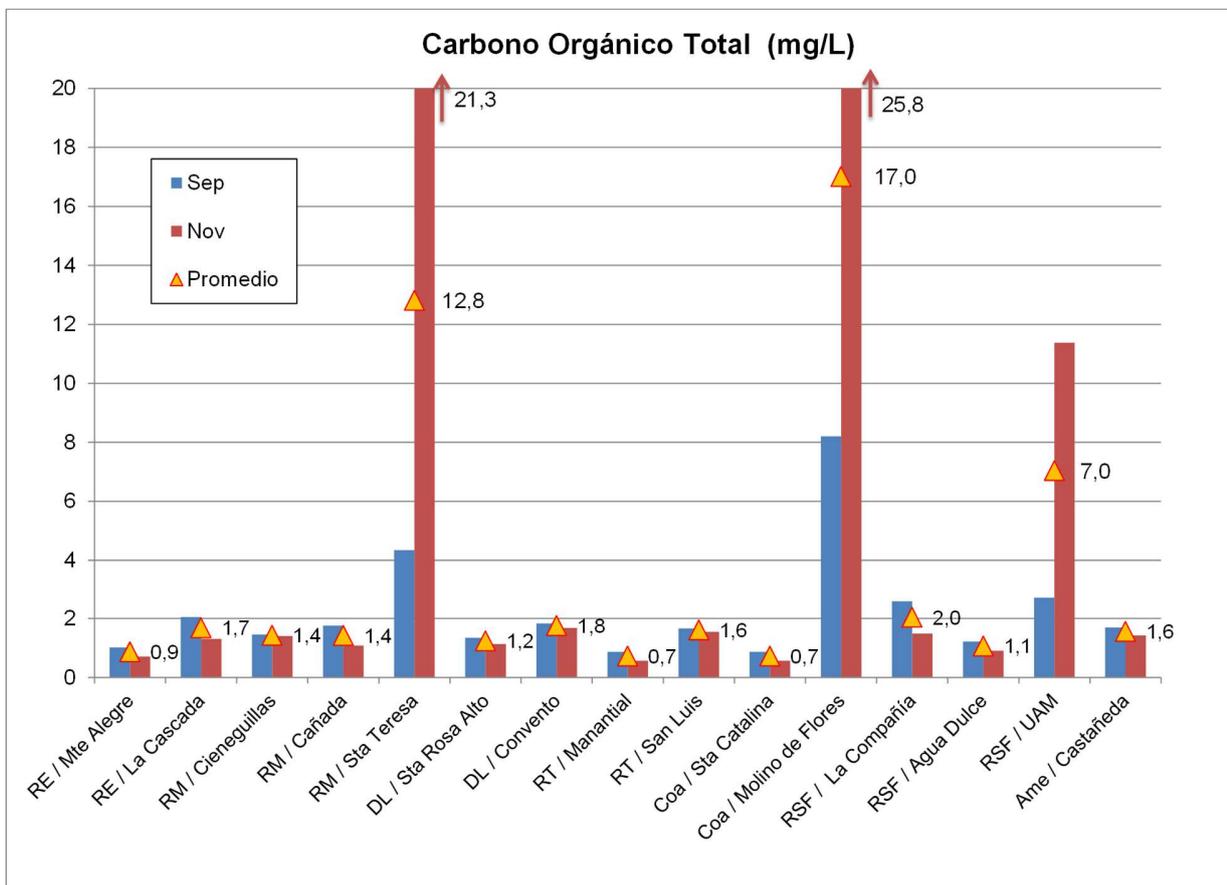


Figura 1.11 Carbono orgánico total en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

#### 1.5.1.2.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La DBO<sub>5</sub> es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en un período de cinco días. Su efecto es indirecto debido a que, para altas concentraciones (>20 mg/L), consumen el oxígeno disuelto disponible provocando un decaimiento del mismo (McNeely *et al.*, 1979; Jiménez, 2001)

La DBO<sub>5</sub> forma parte, junto con los SST y la DQO, de la terna de parámetros considerados en el llamado Criterios de Calidad del Agua de la Conagua. Junto con la DQO, este parámetro es importante para evaluar la materia orgánica en descomposición. La gran mayoría de las estaciones tuvieron una calidad que va de excelente a buena calidad; sin embargo, y sobre todo en el mes de noviembre, se destacan tres estaciones con valores muy elevados, que se catalogan de Contaminado fuerte (estación Santa Teresa, con 47.0 mg/L en noviembre) a Contaminado (estaciones UAM y Molino de Flores, con 42.0 y 39.0 mg/L de DBO<sub>5</sub> para el mismo mes, respectivamente).

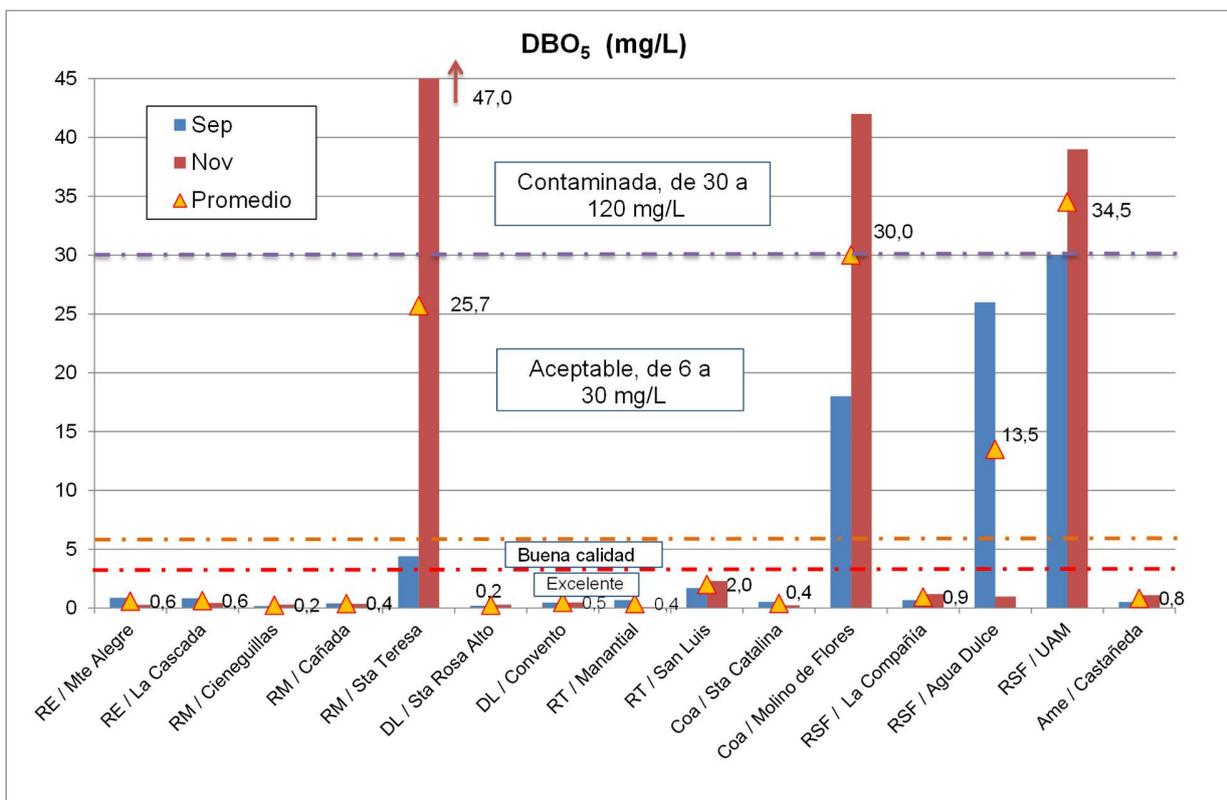


Figura 1.12 DBO<sub>5</sub> en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 34</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

#### 1.5.1.2.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Por otro lado, la DQO es una medida de la concentración de sustancias en el agua que pueden ser degradadas químicamente por un oxidante fuerte (dicromato de potasio). Bajo tales condiciones, se oxida toda la materia oxidable presente en la muestra, incluso aquella que los microorganismos no son capaces de degradar; por ello, la DQO es mayor que la DBO<sub>5</sub> (Arce et al., 2002). La DQO es un indicador de desechos principalmente industriales donde los compuestos orgánicos no biodegradables están presentes, tales como detergentes aniónicos, plaguicidas, plásticos, entre otros (McNeely et al., 1979).

De un modo muy similar al evaluado para la DBO<sub>5</sub>, la mayoría de las estaciones tuvieron valores de una calidad de agua que va de Excelente a Buena Calidad; con una calidad Aceptable, se encontró a las estaciones de Castañeda y Convento, con un valor promedio de 31.3 y 24.5 mg/L de DQO, respectivamente. Nuevamente resalta como la estación más contaminada y durante noviembre a Santa Teresa, con 182 mg/L. Clasificadas también en el ámbito de contaminadas (40 a 200 mg/L), se encontró en noviembre a las estaciones de UAM y Molino de Flores, con 104.0 y 98.6 mg/L, respectivamente.

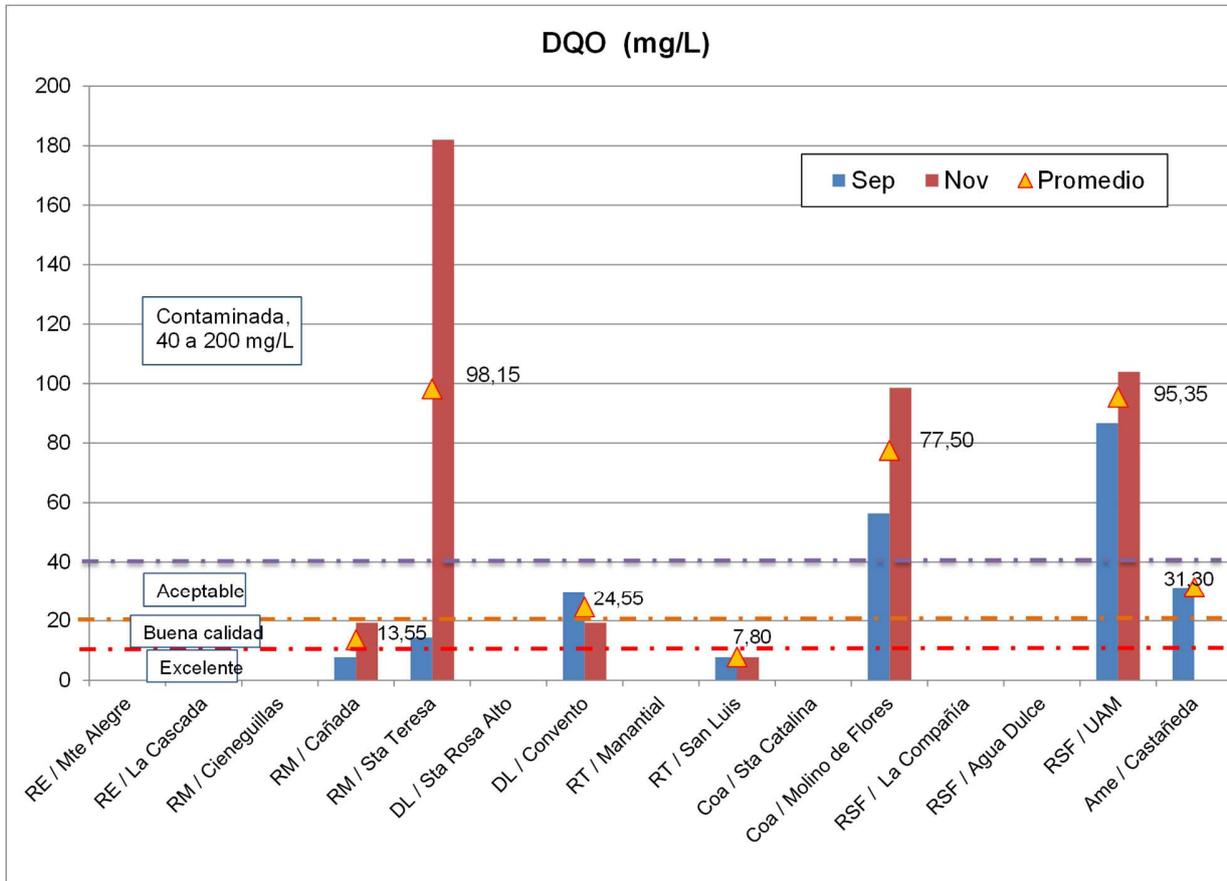


Figura 1.13 DQO en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.2.6 Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

Este parámetro es interesante de evaluar en el presente estudio, ya que permite evaluar la concentración de detergentes en agua.

Los límites que establecen los Criterios Ecológicos (CCE-CCA-001-1989) para SAAM con un uso de Protección de la Vida Acuática es de 0.1 mg/L. Por lo que, si tomamos en cuenta los valores promedio, de nuevo se destacan tres estaciones afectadas por el uso de detergentes en el tramo, y que fueron: Molino de Flores Santa Teresa y UAM, con 0.573, 0.339 y 0.298 mg/L de SAAM, respectivamente.

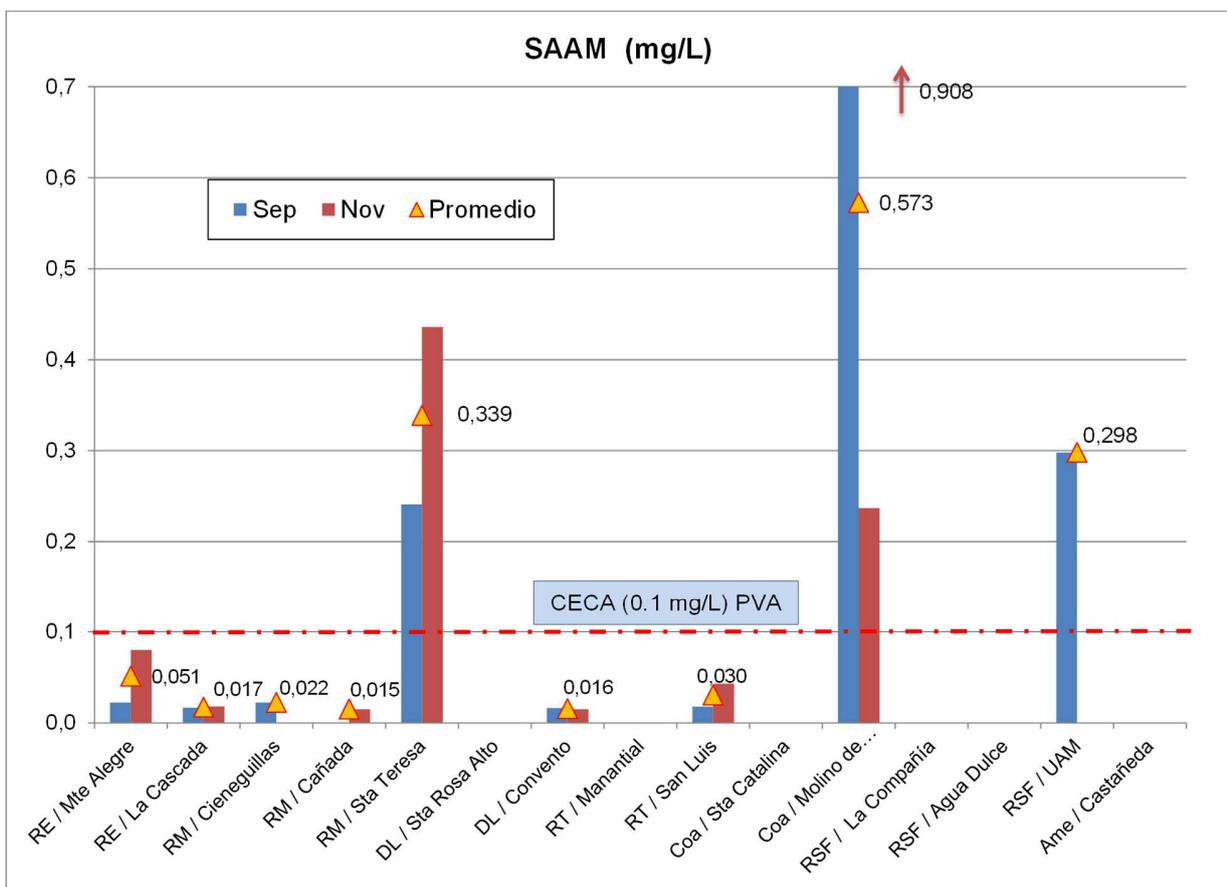


Figura 1.14 SAAM en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.2.7 Grasas y aceites (G y A)

Las Grasas y aceites (G y A) afectan la transferencia de gases en las interfaces agua–aire y sólidos– agua. En peces, interfieren con el intercambio de oxígeno en branquias causando sofocación y muerte: afecta los procesos fotosintéticos y, por lo tanto, la alimentación de herbívoros (McNeely *et al.*, 1979).

Las dos estaciones donde se observa un valor por encima de los 15 mg/L de GyA, fueron dos: Santa Teresa y UAM, con valores promedio de 23.15 y 15.15 mg/L, respectivamente. De nuevo se presenta el valor más alto de contaminación por GyA, en noviembre y para la estación Santa Teresa, y que alcanzo 38.5 mg/L de GyA.

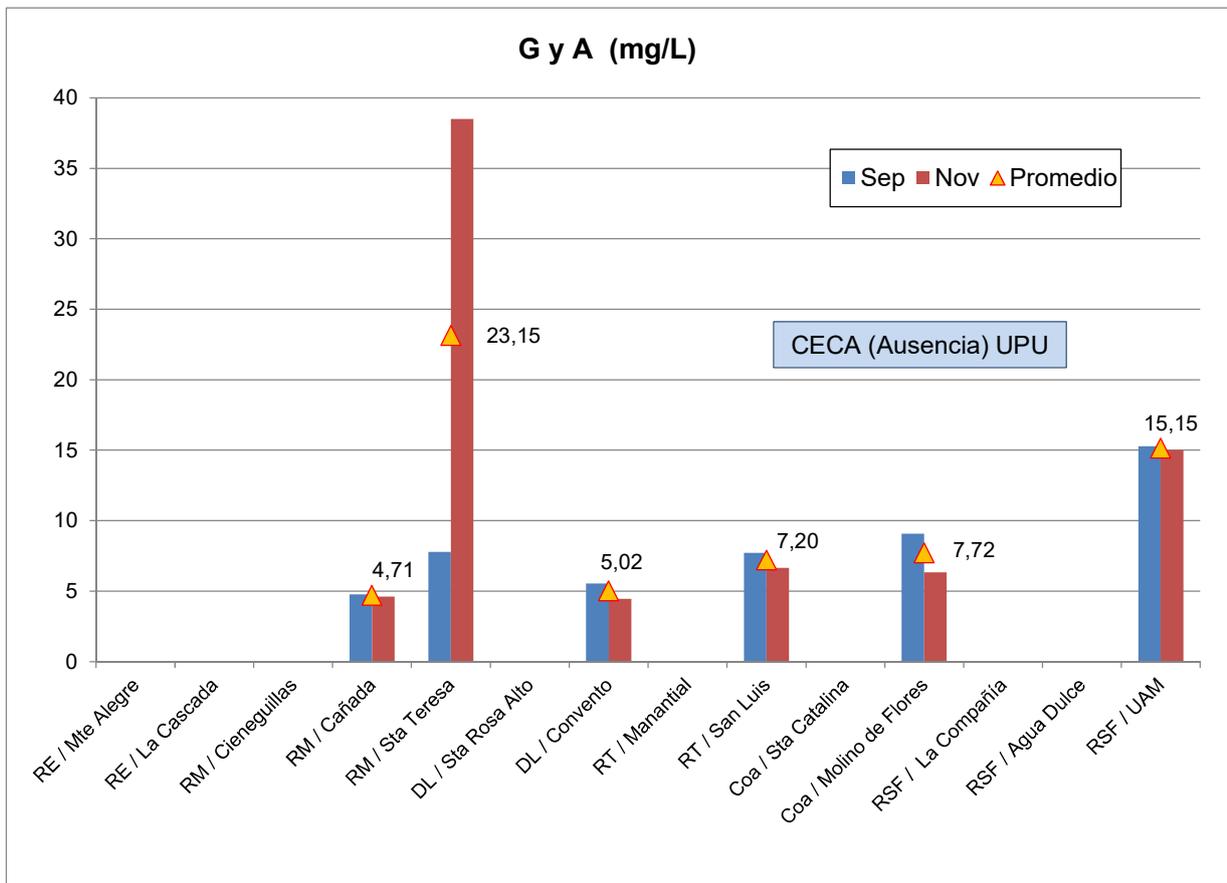


Figura 1.15 Grasas y Aceites en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.2.8 Nutrientes

El Fósforo y el Nitrógeno son los principales nutrientes involucrados en el crecimiento y desarrollo de la flora y fauna acuáticas. Altas concentraciones de nutrientes son un indicador de eutroficación (enriquecimiento de nutrientes en cuerpos de agua, tales como lagos y embalses). La alta productividad genera materia orgánica que, al descomponerse, provoca el abatimiento del OD (Jiménez, 2001).

Con respecto a los Fosfatos totales, los valores promedio más significativamente altos fueron, de nuevo, para las tres estaciones ya mencionadas previamente: Molino de Flores, Santa Teresa y UAM, con 12.06, 4.01 y 3.81 mg/L de fosfatos totales, respectivamente. La presencia de nutrientes en estas zonas indican posible contaminación difusa de la población urbana cercana a dichos cauces; otro problema que genere incremento puede ser: pastoreo intenso, erosión del suelo, deforestación, y por supuesto, descargas clandestinas de agua residual cruda y tratada.

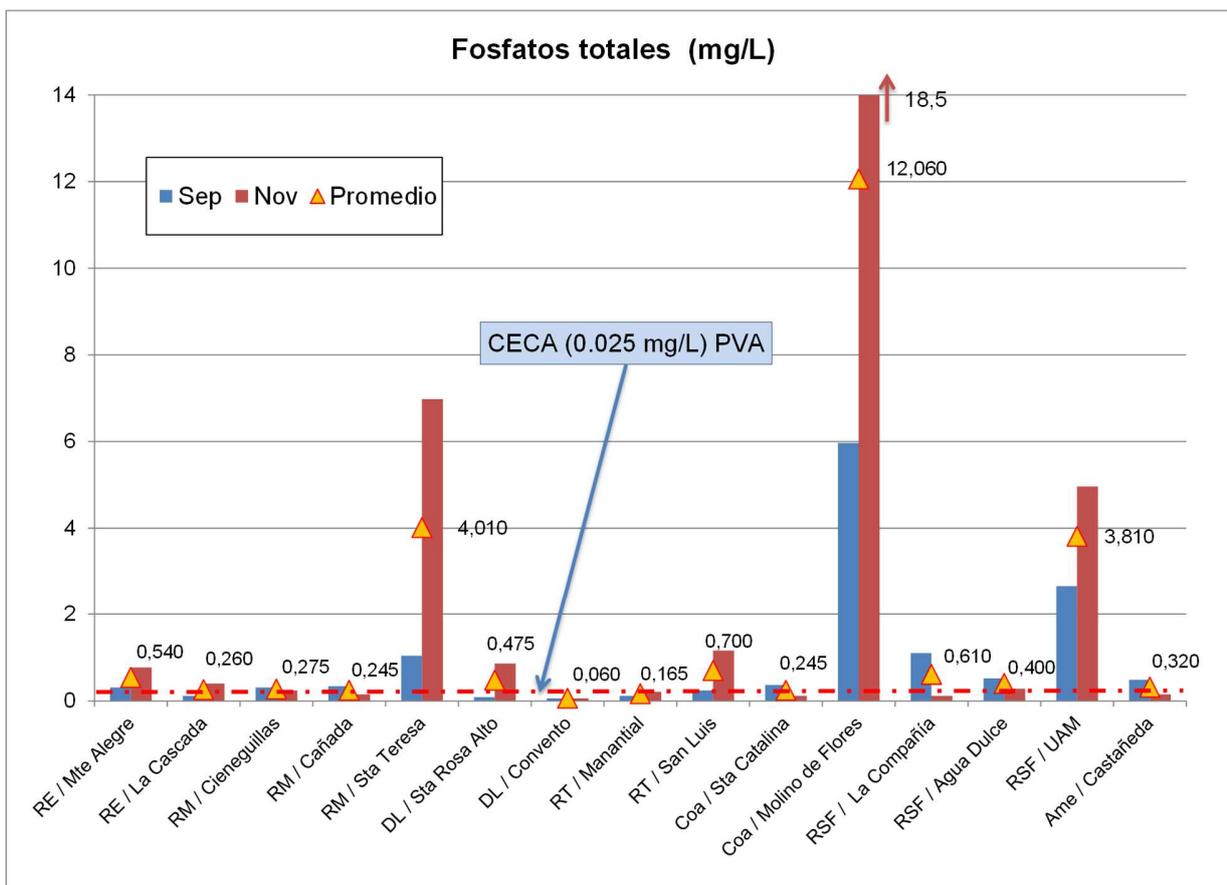


Figura 1.16 Fosfatos totales en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

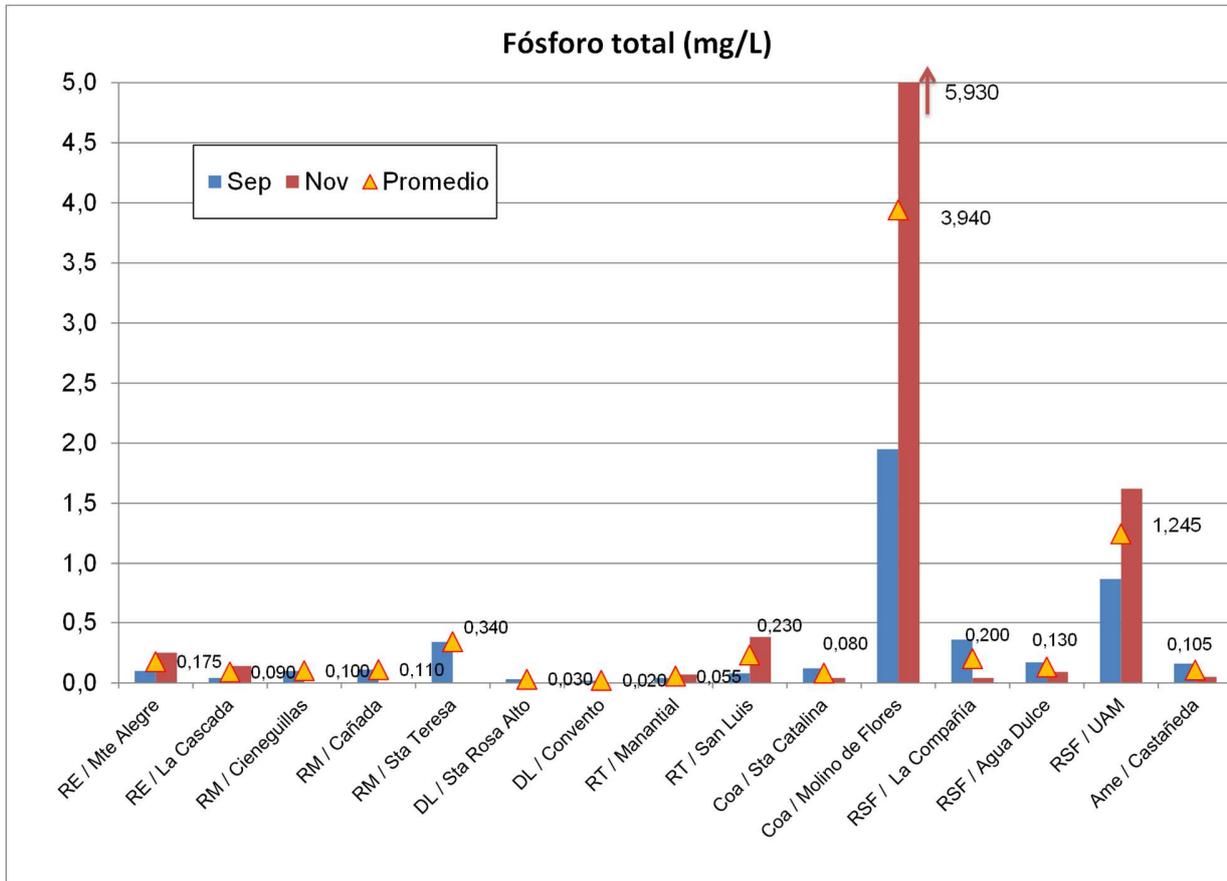


Figura 1.17 Fósforo Total en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

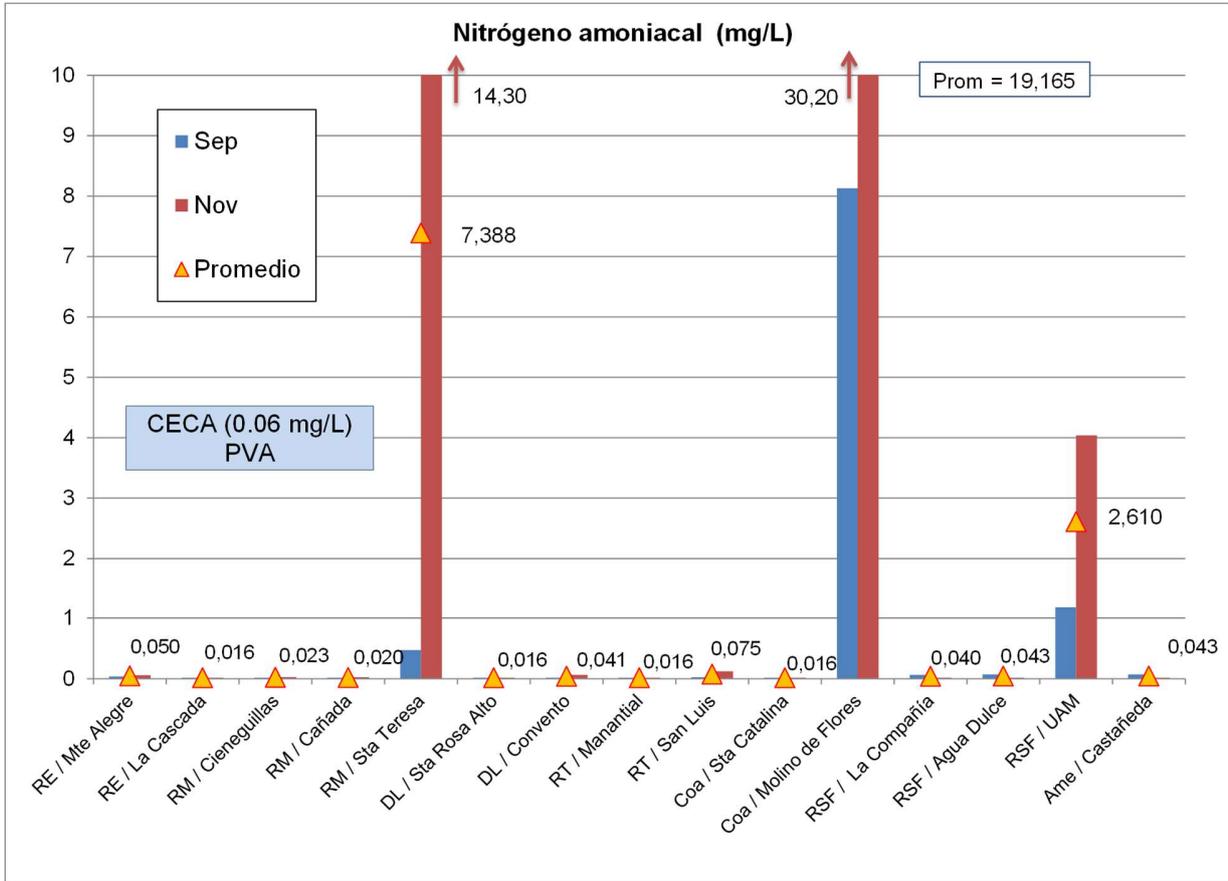


Figura 1.18 Nitrógeno Amoniaco en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

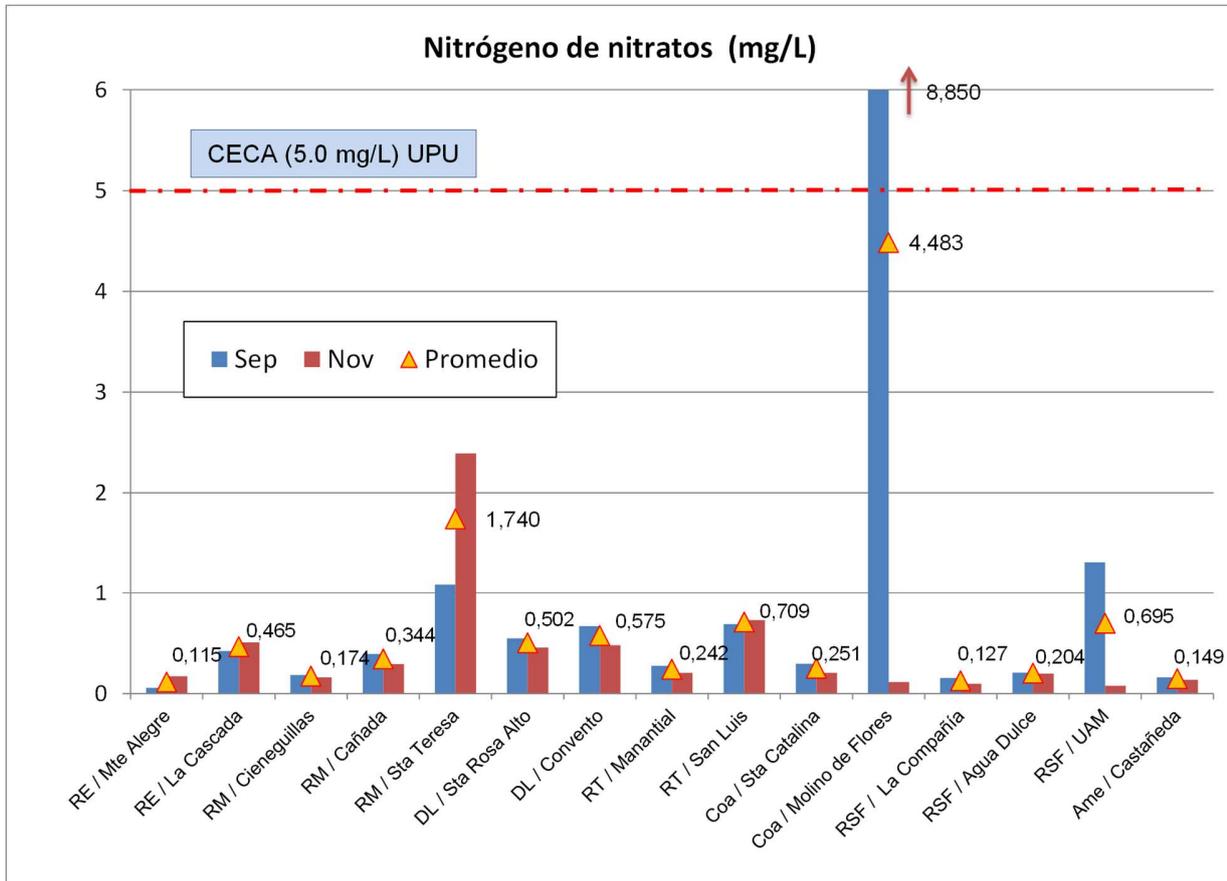


Figura 1.19 Nitrógeno de nitratos en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

Al igual que los fosfatos totales, el nitrógeno total es un parámetro indicador de alteraciones agropecuarias y urbanas en la cuenca receptora. El incremento promedio esta nuevamente definido como Molino de Flores, Santa Teresa y UAM, con valores promedio de 28.20, 11.56 y 7.92 mg/L de N-total, respectivamente.

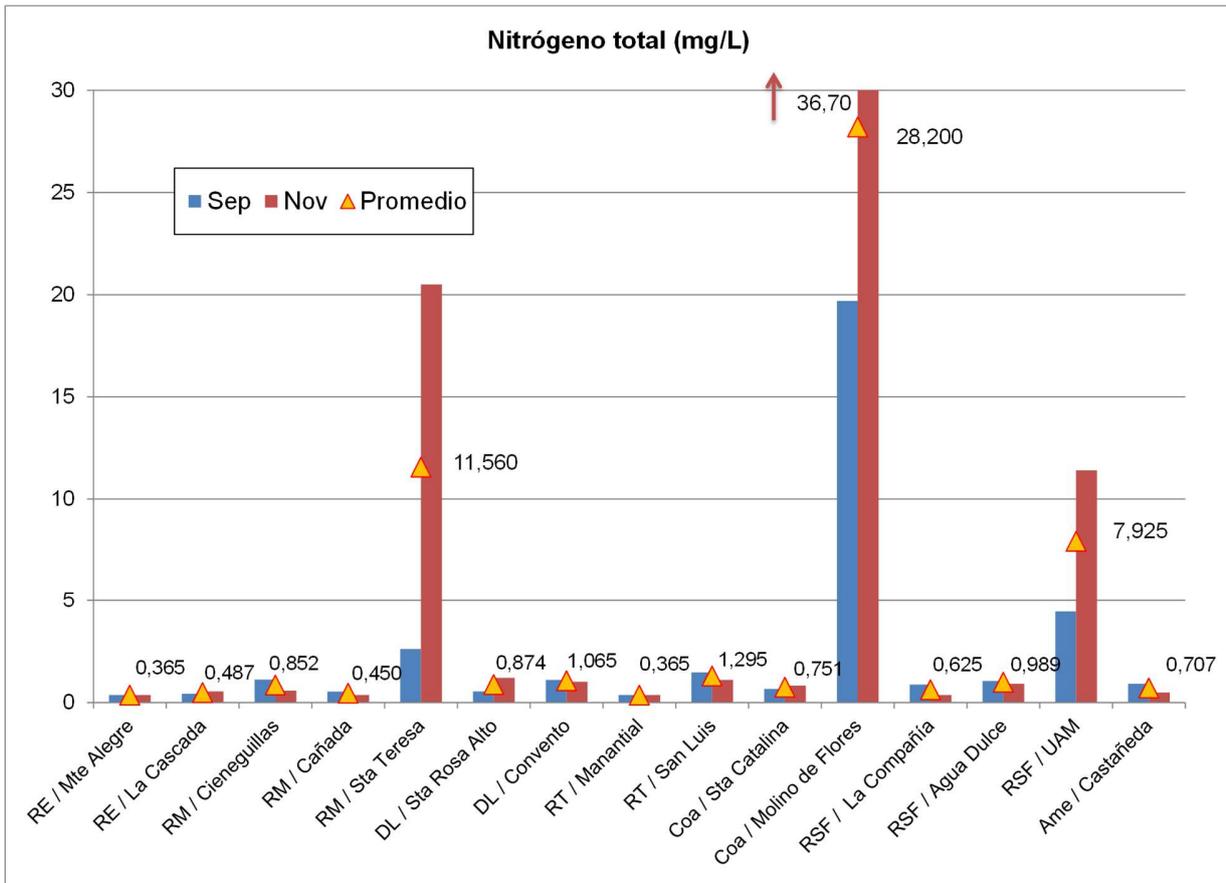


Figura 1.20 Nitrógeno Total en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

### 1.5.1.2.9 Coliformes totales

Al igual que los coliformes fecales, los coliformes totales son un grupo de bacterias indicadoras de contaminación bacteriológica y sus valores altos indican posible riesgo a la salud humana.

Es interesante ver que existe una contaminación incipiente en las estaciones de Castañeda, San Luis, el Convento y Santa Rosa Alto, con valores promedio de  $10^2$  y  $10^3$  NMP/100 mL. Un nivel arriba se ubica a la estación Molino de Flores, con  $6.0 \times 10^4$  NMP/100 mL. Por último las estaciones con contaminación alta fueron Santa Teresa y UAM, con  $3.5 \times 10^6$  y  $1.15 \times 10^6$  NMP/100 mL, respectivamente.

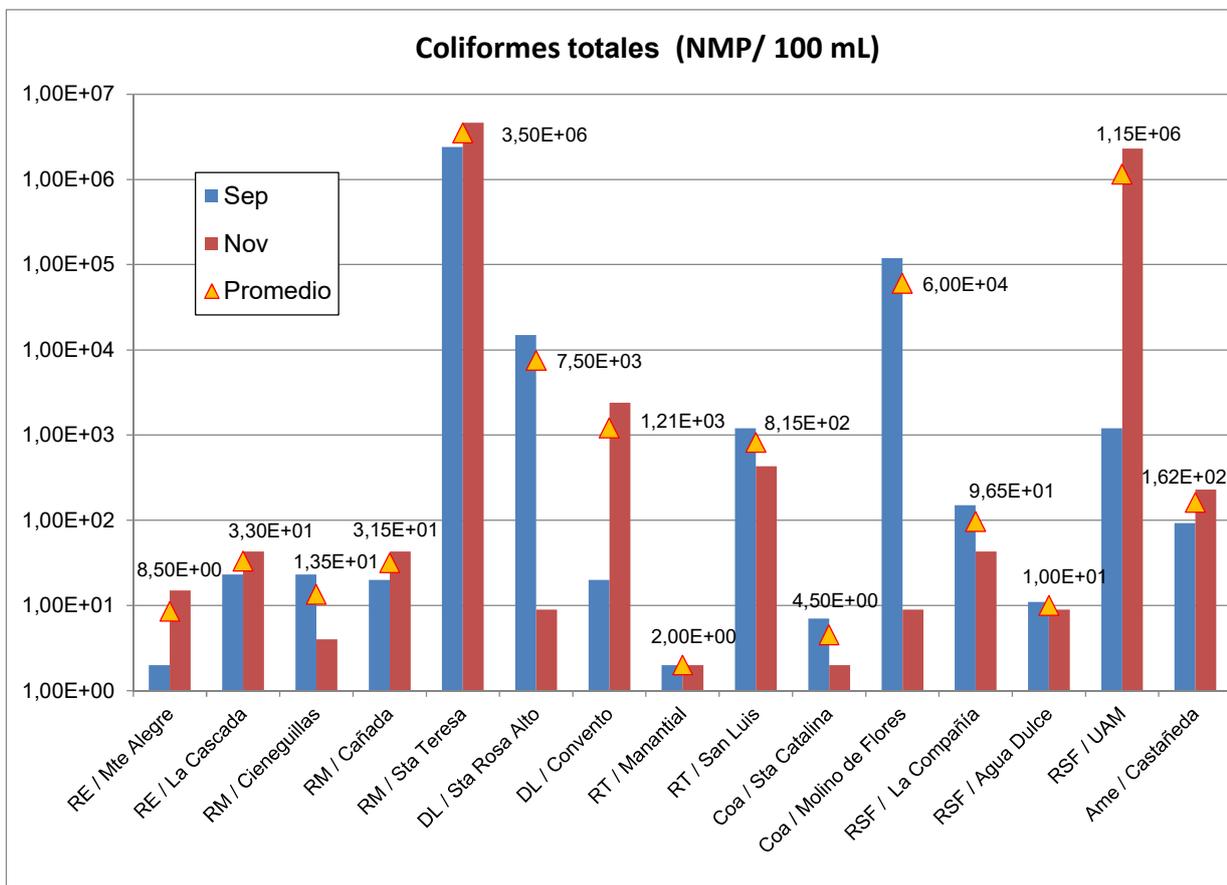


Figura 1.21 Coliformes totales en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 44	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

#### 1.5.1.2.10 Coliformes fecales

Los coliformes fecales son microorganismos indicadores de contaminación fecal reciente proveniente principalmente de aguas residuales municipales. Una alta contaminación fecal es indicativa de la presencia potencial de organismos patógenos (tales como, bacterias, protozoarios, enterovirus o helmintos), que pueden provocar enfermedades tales como gastroenteritis, diarrea, infecciones en los ojos y cólera, entre otras. Las descargas municipales o domésticas sin tratamiento que llegan directamente a los cuerpos receptores, son la principal causa de contaminación por patógenos de aguas superficiales. Otras fuentes significativas son los criaderos de animales de granja (Arce et al., 2002).

Resulta interesante que, aparte de las estaciones Santa Teresa y UAM, con valores altos de 106 y 105 NMP/100 MI, los siguientes tres lugares corresponden a las estaciones Convento, San Luis y Castañeda, con  $2.30 \times 10^3$ ,  $2.17 \times 10^2$  y  $1.27 \times 10^2$  NMP/100 mL, respectivamente. Las tres estaciones más contaminadas, rebasan el límite máximo permisible establecido por los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua, para un uso en Riego Agrícola y Uso Público Urbano (con un valor de 1,000 NMP/100 mL).

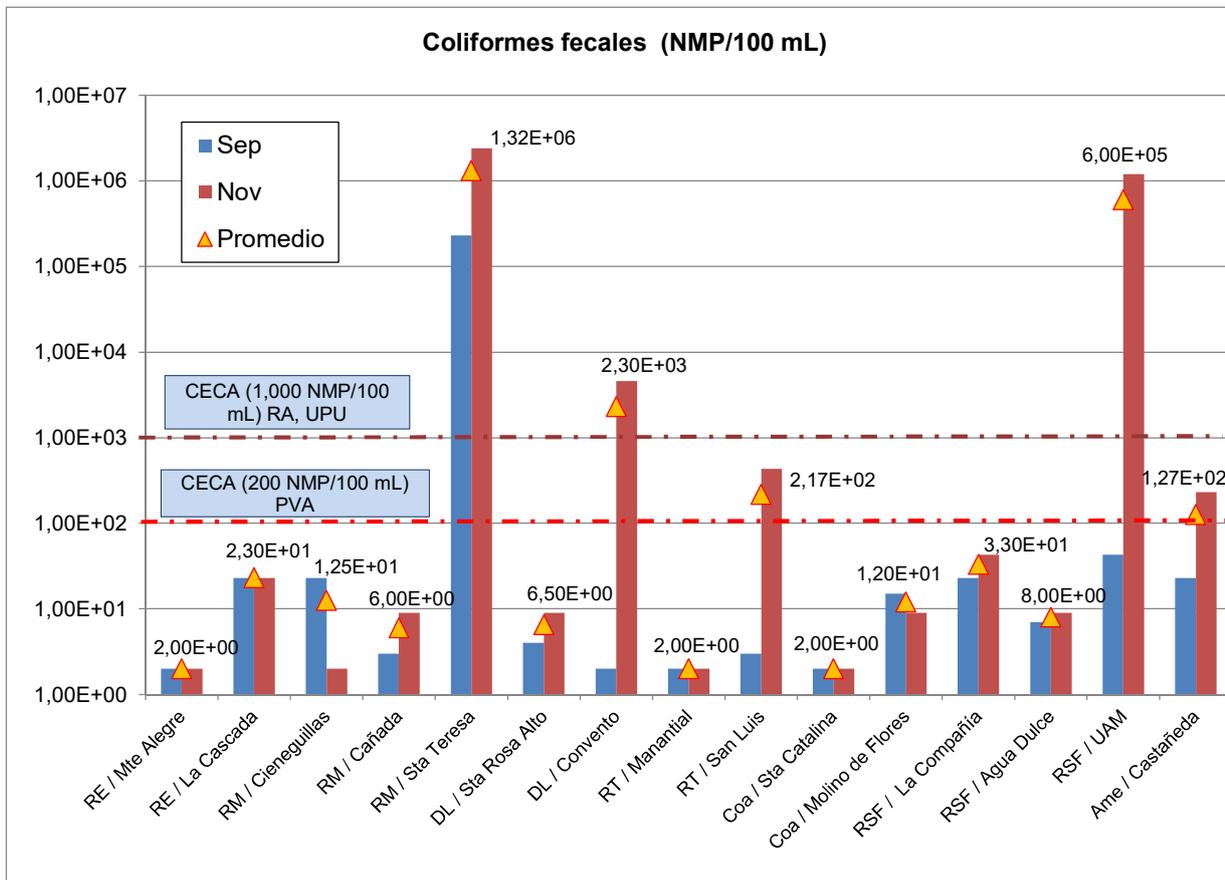


Figura 1.22 Coliformes fecales en las estaciones de siete cuencas de la CDMX

#### 1.5.1.2.11 Toxicidad

Los resultados de toxicidad en todas las estaciones presentaron valores nulos, o “Toxicidad no detectada” (TND), con la prueba del organismo *Daphnia magna*, este resultado indica la ausencia de agua con exceso de contaminación industrial, agropecuaria (plaguicidas), o incluso de contaminantes emergentes, como los desechos de medicinas y productos para el aseo, que están presentes en las aguas residuales de las zonas urbanas modernas.

#### 1.5.1.3 Resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA), para las quince estaciones y en dos épocas del año, se presentan en la Figura 23.

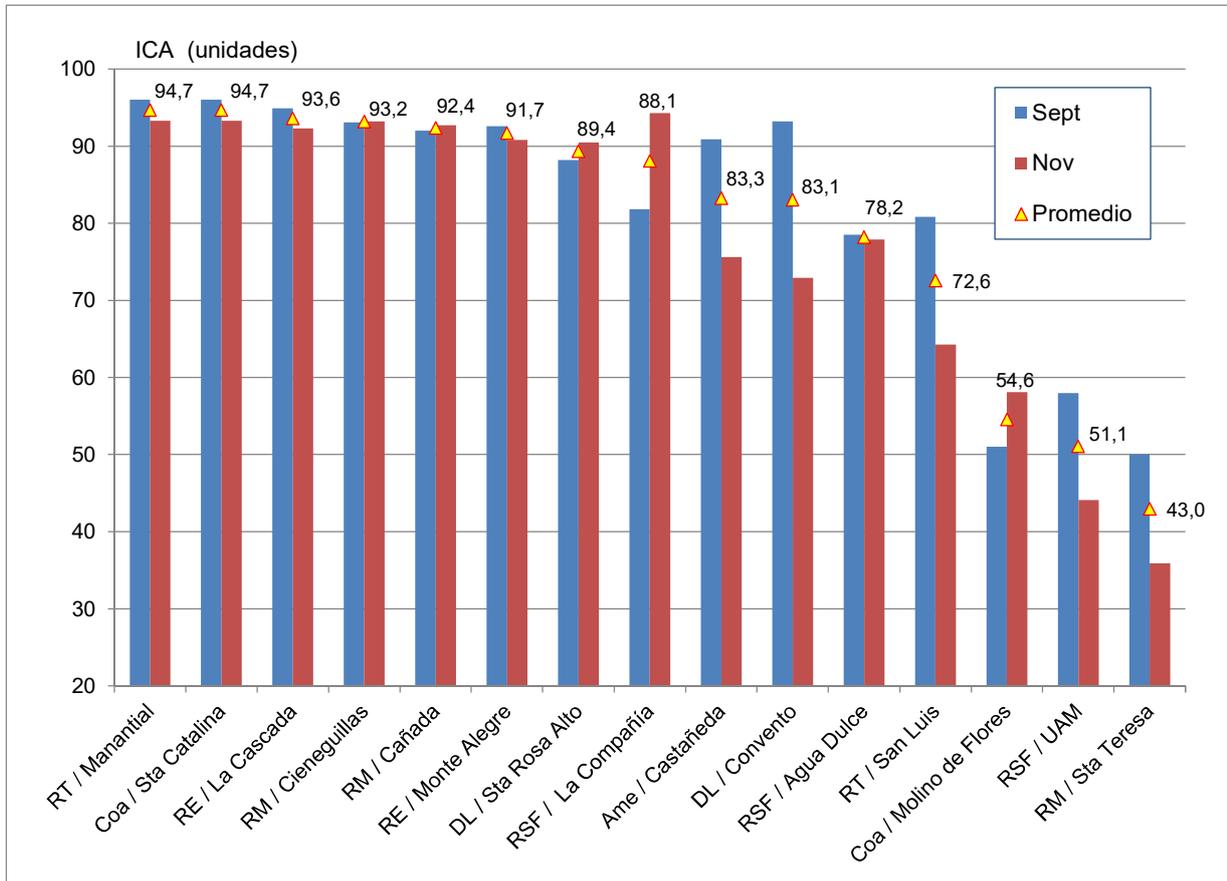


Figura 1.23 Resultados del ICA para los meses de septiembre y noviembre de 2017 y ordenados de mayor a menor valor promedio del ICA, para las siete cuencas de la CDMX

La información del ICA y tomando en cuenta un uso para consumo humano, indica la presencia de cuatro grupos de estaciones de acuerdo con su valor: a) Diez estaciones con una calidad del agua que va de Excelente (90 – 100 unidades) a Aceptable (80 – 90 unidades); b) Dos estaciones de transición y con una clasificación de Contaminada leve (70 – 80); c) Estaciones perturbadas por el entorno urbano con las clasificaciones que van de Contaminada (50 – 70) a Contaminada fuerte (40 – 50).

El ámbito de valores del ICA promedio osciló entre las 94.7 para la estación Manantial y los 43.0 unidades, para la estación Santa Teresa, respectivamente. El promedio global del ICA fue muy adecuado, con  $80.21 \pm 17.72$  unidades. Los resultados de la época de lluvias fueron levemente mejores que los de secas, con  $82.47 \pm 16.28$  y  $77.95 \pm 19.35$  unidades, respectivamente. Resulta lógico que la calidad del agua en el segundo muestreo disminuye, al bajar de modo importante el caudal de las estaciones, la excepción a esta tendencia se presentó en la estación

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 47	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

La Compañía con un valor de ICA de 81.8 en septiembre y una mejora de 94.3 en noviembre, respectivamente.

### 1.5.2 Integración de los resultados

En general, los parámetros ambientales reflejan una calidad del agua para las 15 estaciones de excelente a buena calidad, al hacer un análisis cualitativo de los resultados se obtuvo lo siguiente en las Tablas 1.9 y 1.10.

Tabla 1.9 Resultados finales de los parámetros de campo de las 15 estaciones en la CDMX. Los valores son una evaluación cualitativa, donde: 5 = Excelente; 4 = Aceptable; 3 = Contaminado leve; 2 = Contaminado; 1 = Contaminación excesiva

Estación	Altitud 1/	Temp	pH	CE	OD	Redox	DS	Evaluación final
RE / Monte Alegre	5	4	5	5	5	5	5	34
RE / La Cascada	4	4	5	5	5	5	3	31
RM / Cieneguillas	5	4	5	5	5	5	5	34
RM / Cañada	3	4	5	5	5	5	5	32
RM / Santa Teresa	3	4	5	4	3	5	2	26
DL / Sta. Rosa Alto	4	5	5	5	5	5	5	34
DL / Convento	4	5	5	5	5	4	5	33
RT / Manantial	4	4	5	5	5	5	5	33
RT / San Luis	3	4	5	5	5	5	5	32
Coa / Sta. Catalina	4	5	5	5	5	4	5	33
Coa / Molino de Flores	2	4	5	4	3	3	2	23
RSF / La Compañía	3	5	5	5	5	5	4	32
RSF / Agua Dulce	4	5	5	5	5	5	5	34
RSF / UAM	3	4	5	5	5	5	1	28
Ameca / Castañeda	4	5	5	5	5	5	5	34

1/ Se toma la altitud como un parámetro indicador de la contaminación (gran altitud = poca contaminación, debido a un bajo impacto antropogénico).

Tabla 1.10 Resultados cualitativos finales de la tabla previa, ordenados de mayor a menor calificación, de los parámetros de campo de las 15 estaciones en la CDMX

Estación	Evaluación Final
RE / Monte Alegre	34
RM / Cieneguillas	34
DL / Santa Rosa Alto	34
RSF / Agua Dulce	34
Ame / Castañeda	34
DL / Convento	33
RT / Manantial	33
Coa / Santa Catalina	33
RM / Cañada	32
RT / San Luis	32
RSF / La Compañía	32
RE / La Cascada	31
RSF / UAM	28
RM / Santa Teresa	26
Coa / Molino de Flores	23

En conclusión, todas las estaciones ubicadas a la cabecera de las siete cuencas, o en una zona de gran altitud tuvieron una excelente calidad de agua; con dicha clasificación se incluyen dos estaciones ubicadas en el Desierto de los Leones, las estaciones Santa Rosa El Alto y El Convento (con calificaciones de 34 y 33 puntos).

Un factor importante que puede afectar la calidad del agua consiste en la altitud de la estación, que se relaciona con la cercanía con la mancha urbana, esto se puede reflejar en las estaciones de: Molino de Flores, Santa Teresa, y UAM; en cambio, se detecta que en el río San Rafael, las estaciones de La Compañía y Agua dulce, se ubican a una altura media, sin embargo, es importante recalcar que estos dos sitios se encuentran protegidos dentro de un parque Ecológico.

Un parámetro importante para la evaluación de la calidad del agua consiste en el oxígeno disuelto, donde dos estaciones presentan valores bajos de OD, la estación Molino de Flores y Santa Teresa, con 4.36 y 3.69 mg/L, respectivamente.

La medición de la transparencia del agua, por medio del Disco de Secchi también resultó una ayuda en la clasificación cuantitativa de la calidad del agua, en el que predomina una baja calidad para las estaciones Santa Teresa y Molino de Flores, con 2 de puntuación para ambas

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 49	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

(0,29 y 0,27 m, respectivamente), y sobre todo para la UAM, con la mínima puntuación (1 punto, con sólo 0,15 m de DS).

Por otro lado, la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se presenta en las tablas 1.11 y 1.12.

Tabla 1.11 Resultados finales de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las 15 estaciones en la CDMX. Los valores son una evaluación cualitativa, donde: 5 = Excelente; 4 = Acceptable; 3 = Contaminado leve; 2 = Contaminado; 1 = Contaminación excesiva.

Estación	SST	Turbiedad	COT	DBO5	DQO	SAAM	GyA	P-Total	N-NH3	N-NO3	N-Total	Coli-Tot	Coli-Fec	Evaluación Final
RE / Monte Alegre	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	63
RE / La Cascada	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	63
RM / Cieneguillas	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	63
RM / Cañada	5	5	5	5	4	5	4	4	5	5	5	4	4	60
RM / Sta Teresa	5	4	3	3	2	5	2	3	2	2	1	1	1	34
DL / Sta Rosa Alto	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	2	4	60
DL / Convento	5	5	5	5	3	5	3	5	5	4	4	2	2	53
RT / Manantial	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	65
RT / San Luis	5	5	5	5	5	5	3	3	5	4	4	3	3	55
Coa / Sta Catalina	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	64
Coa / Molino de Flores	5	4	3	3	2	4	5	2	2	2	5	2	4	43
RSF / La Compañía	4	4	5	5	5	5	5	3	5	5	5	4	4	59
RSF / Agua Dulce	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	4	4	61
RSF / UAM	4	3	4	2	2	5	2	2	3	4	2	1	1	35
Ame / Castañeda	5	5	5	5	3	5	5	4	5	5	5	3	3	58

Tabla 1.12 Resultados cualitativos finales ordenados de mayor a menor calificación, de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las 15 estaciones en la CDMX.

Estación	Evaluación final
RT / Manantial	65
Coa / Santa Catalina	64
RE / Monte Alegre	63
RE / La Cascada	63
RM / Cieneguillas	63
RSF / Agua Dulce	61
RM / Cañada	60
DL / Santa Rosa Alto	60
RSF / La Compañía	59
Ame / Castañeda	58
RT / San Luis	55
DL / Convento	53
Coa / Molino de Flores	43
RSF / UAM	35
RM / Sta Teresa	34

De modo cualitativo y con respecto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se obtuvieron calificaciones altas y mayores a 60 puntos en prácticamente todas las estaciones de la cabecera de las siete cuencas estudiadas; resaltando que se incluyen a las dos estaciones del río Eslava, denominadas Monte Alegre y La Cascada, pero no se tuvo una buena calificación para la estación Amecameca Castañeda (con 58 puntos) y para las dos estaciones del Desierto de los Leones, denominadas Santa Rosa Alto y El Convento, con 60 y 52 puntos, respectivamente. Las dos estaciones que tuvieron los mejores puntajes correspondieron a Manantial y Santa Catalina, con 65 y 64 puntos, respectivamente.

Por último, destacan las tres estaciones con menor calidad del agua y que fueron Santa Teresa, UAM y Molino de Flores, con 34, 35 y 43 puntos, respectivamente. En dichas estaciones se encuentran problemas de DQO, Coliformes totales, Coliformes Fecales y nutrientes, tales como fósforo total, nitrógeno amoniacal y nitrógeno total, así como DBO<sub>5</sub>, principalmente.

Por último y para integrar los resultados previos con el ICA, se presenta abajo la Figura 1.24. Al juntar los tres datos ya evaluados y ponerlos de mayor a menor valor de acuerdo con el ICA promedio, resalta que la mayoría de las primeras estaciones (desde Manantial hasta San Luis) están muy semejantes entre sí y con una buena evaluación de su calidad del agua. En segundo término, existe otro grupo de tres estaciones, con una calidad de agua más baja. Los dos grupos se detectan bien al ver tanto los parámetros de campo, como los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

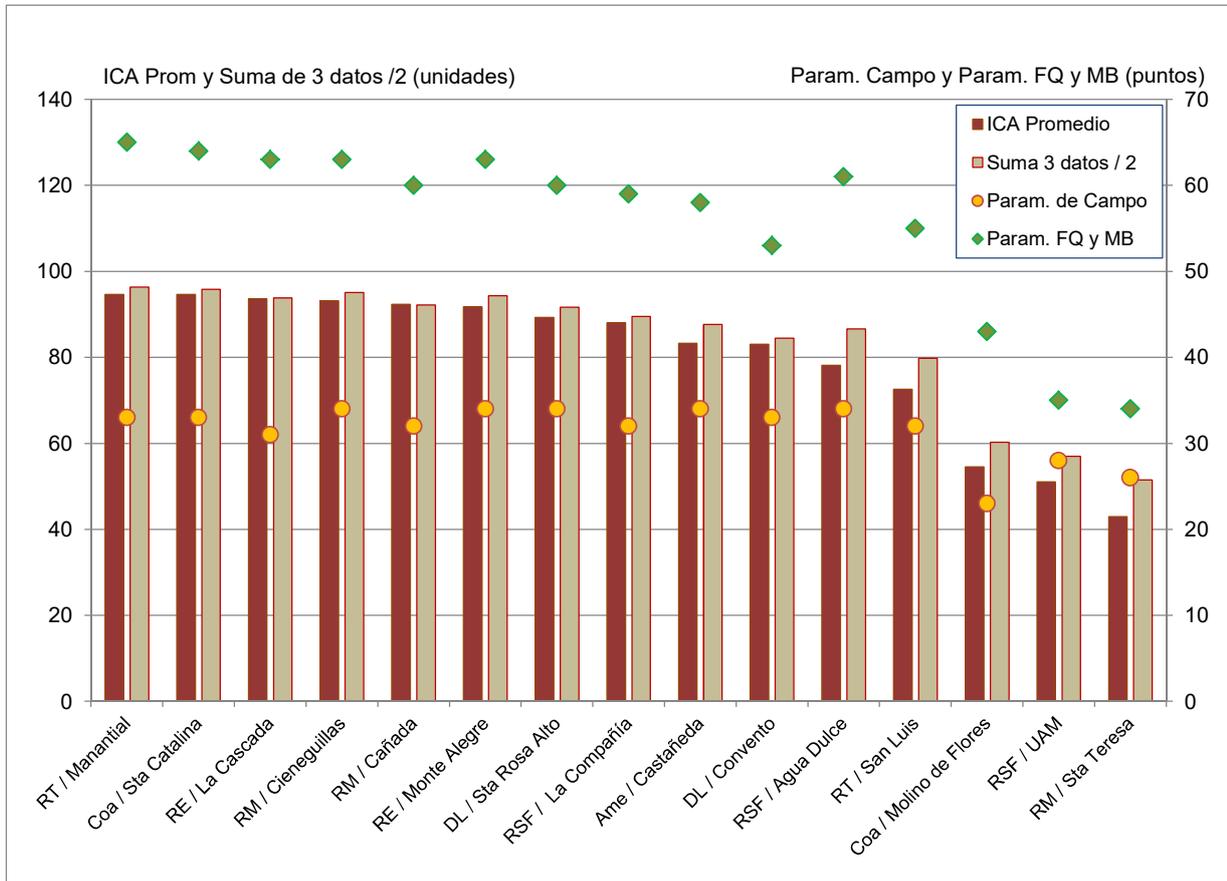


Figura 1.24 Resultados integrados de varias fuentes: a) ICA promedio; b) Suma cualitativa de los parámetros de campo; c) Suma cualitativa de los parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos; y d) Suma de a, b y c dividido entre dos, para las siete cuencas de la CDM

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 52</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## 1.6 Conclusiones

Se observa una afectación de la que podríamos denominar como “cuenca media”, en el que se impacta por la descarga de aguas residuales y posible erosión de las zonas altas. Las tres principales estaciones que muestran alteraciones muy claras en su calidad del agua son: Santa Teresa, UAM y Molino de Flores. Dichas estaciones presentan alteraciones en parámetros tales como coliformes fecales y totales, nutrientes, así como DBO<sub>5</sub> y DQO.

De acuerdo con el ICA, una gran proporción de las estaciones de altura evaluadas están catalogadas como de Excelente y Aceptable calidad de acuerdo a un uso de agua potable; dos estaciones –Agua Dulce y San Luis– se encuentran clasificadas como Contaminada leve (entre 70 – 80 unidades); las estaciones UAM y Molino de flores están Contaminadas (entre 50 – 70) y la estación con menos calidad del agua tuvo una clasificación de contaminada fuerte, Santa Teresa, con 43 unidades.

En las partes altas de la zona de estudio se detecta una buena calidad del agua en las cuencas del río Tlalnepantla, río Magdalena, río Eslava y río Coaxcacoaco; en contraste, se obtienen resultados no tan altos en las partes altas de las estaciones del Desierto de Los Leones, sobre todo en la estación Convento, en la cuenca del río San Rafael, sobre todo en la estación Agua Dulce, y en Amecameca, estación Castañeda.

De acuerdo con la evaluación realizada, se obtuvo la mejor calidad del agua en las estaciones Manantial, Santa Catalina, La Cascada y Cieneguillas, tres estaciones de la zona poniente y poniente sur, y una (estación Santa Catalina) proveniente de la zona oriente en Texcoco –cuenca Coaxcacoaco.

Se recomienda tomar atención a la protección y uso adecuado de las aguas superficiales en general, ya que de modo generalizado se contaminan rápidamente con descargas de aguas residuales.

Es importante tomar conciencia de la posibilidad de proteger y rehabilitar cauces de agua superficiales, de modo que la CDMX esté preparada para una posible afectación o crisis de abastecimiento de agua para consumo humano.

Se debe establecer un límite al crecimiento de la mancha urbana en las zonas de cabecera que se pueden utilizar para diferentes servicios ambientales, tales como la recarga de mantos subterráneos y el abastecimiento de agua potable y de reúso.

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 53	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## 1.7 Literatura citada

Arce-Velázquez, A. L.; Calderón-Mólgora, C. G., y Tomasini-Ortiz, A. C. (2002), “Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales”. Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 56 pp.

Bravo-Inclán, L. (1995), “Estudio limnológico de la presa Madín, Méx. con énfasis en su estado trófico y en el manejo de cuenca”. Tesis de Maestría en Ciencias, Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 103 pp.

Castagnino, W.A. (1982), “Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos tropicales”. Reporte técnico. World Health Organization (WHO)/Pan American Health Organization (PAHO)/Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Science (CEPIS). Perú, 27 pp.

CE-CCA-001-89. (1989), “Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua”. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT.

Conagua. (2005). Comunicación personal (Ing. Fernando Rosales-Cristerna) Subgerencia de Estudios de Calidad del Agua e Impacto Ambiental. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua.

Cruickshank, G. (1984), “Proyecto Texcoco”. En: Memorias del Congreso Nacional de la Sociedad de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Vol. 11. México, D.F., p. 680-4.

Escorra, E y Mazari-Hiriart, M. (1996). “Are megacities viable? A cautionary tale from Mexico City”, *Environment – Washington*. Publicación en línea. 9 pp.

Gutiérrez-López, E. (2014). “Determinación de la capacidad de asimilación de contaminantes en la presa Manuel Ávila Camacho, Puebla”. Tesis de Doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua. Posgrado del IMTA. Jiutepec, Morelos. 282 pp.

Guzmán, A.M. (1997), Programa de ordenamiento ecológico y territorial del estado de Jalisco. Marco físico. Las agua superficiales. Diagnóstico. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Instituto de Limnología. Chapala, Jalisco. p. 18-20.

Jiménez, C.B. (2001), “La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada”. Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA, México, D.F. 315 pp.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 54</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

León, V.L. (1991), “Índices de Calidad del Agua”. Subcoordinación de Hidráulica. Coordinación de Tecnología de Sistemas Hidráulicos. IMTA, SARH, Informe técnico Núm. SH-9101/01. México, D.F, 36 pp.

Martínez, S., Kralisch, S., Escolero O. y Perevochtchikova, M. (2015), Vulnerability of Mexico City’s water supply sources in the context of climate change. *Jour of Water and Climate Change*, 6(3), 18 pp. DOI: 10.2166/wcc.2015.083.

Mazari-Hiriart M., Pérez-Ortiz G., Orta-Ledesma M.T., Armas-Vargas F., Tapia M.A. (2014), “Final Opportunity to Rehabilitate an Urban River as a Water Source for Mexico City”. *PLoS ONE*, 9(7): e102081. doi:10.1371/journal.pone.0102081.

McNeely, R.N., Neimanis, V.P., and Dwyer, L. (1979), “Water Quality Sourcebook, A Guide to Water Quality Parameters”. Inland Waters Directorate, Water Quality Branch. Environment. Ottawa, Canada.

NORMA MEXICANA NMX-AA-014-1980, “Cuerpos receptores-Muestreo”, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México, D.F. 5 de septiembre de 1980.

Salas H. J. y Martino P. (1991), “A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes”. *Water Research*, 25(3), 341–350.

Tortajada, C. (2006). “Water Management in Mexico City Metropolitan Area”. *Water Resources Development*, 22(2), 353-376.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 55</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## 1.8 Anexos

### 1.8.1 Anexo Fotográfico

#### 1.8.1.1 Fotografías de las estaciones de muestreo



Fotografía 1.1 Monte Alegre



Fotografía 1.2 Monte Alegre



Fotografía 1.3 La Cascada



Fotografía 1.4 La Cascada



Fotografía 1.5 Cieneguillas



Fotografía 1.6 Cieneguillas



Fotografía 1.7 La Cañada



Fotografía 1.8 La Cañada



Fotografía 1.9 Santa Teresa, en época de lluvias (izquierda) y en secas (derecha)



Fotografía 1.10 Santa Teresa, en época de lluvias (izquierda) y en secas (derecha)



Fotografía 1.11 Santa Rosa Alto



Fotografía 1.12 Santa Rosa Alto



Fotografía 1.13 Convento



Fotografía 1.14 Convento



Fotografía 1.15 Manantial



Fotografía 1.16 Manantial



Fotografía 1.17 San Luis



Fotografía 1.18 San Luis



Fotografía 1.19 Santa Catalina



Fotografía 1.20 Santa Catalina



Fotografía 1.21 Molino de Flores



Fotografía 1.22 Molino de Flores



Fotografía 1.23 La Compañía



Fotografía 1.24 La Compañía



Fotografía 1.25 Agua Dulce



Fotografía 1.26 Agua Dulce



Fotografía 1.27 UAM, en época de lluvias (izquierda) y en secas (derecha)



Fotografía 1.28 UAM



Fotografía 1.29 Castañeda



Fotografía 1.30 Castañeda

### 1.8.1.2 Fotografías del muestreo



Fotografía 1.31 Medición con equipo multiparamétrico, hieleras



Fotografía 1.32 Colecta de diatomeas



Fotografía 1.33 Colecta de muestras de parámetros fisicoquímicos



Fotografía 1.34 Frascos y garrafones de muestreo



Fotografía 1.35 Disco de Secchi para ríos

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES		ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 74		Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## CAPÍTULO 2

# Hidrología Superficial en la Cuenca Metropolitana del Valle de México

Participante:

Ernesto Aguilar Garduño

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 75	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## INDICE

<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>74</b>
<b>2.1 Introducción .....</b>	<b>77</b>
<b>2.2 Objetivo .....</b>	<b>82</b>
2.2.1 Objetivos específicos.....	82
<b>2.3 Área de estudio.....</b>	<b>82</b>
<b>2.4 Metodología.....</b>	<b>84</b>
2.4.1 Descripción de la Disponibilidad.....	84
2.4.2 Balance en el Valle de México.....	87
<b>2.5 Resultados.....</b>	<b>93</b>
2.5.1 Resultados del balance en el Valle de México.....	93
2.5.1.1 Resultados de los parámetros de campo.....	93
<b>2.6 Conclusiones.....</b>	<b>97</b>
<b>2.7 Literatura citada .....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Valores del Balance, DOF 2015 .....	89
Tabla 2.2 Valores de la Disponibilidad de agua superficial, Balance, DOF 2015 .....	90
Tabla 2.3 Valores del Balance en la ZMCM, DOF 2015.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Regiones Hidrológicas Administrativas RHA XIII.....	78
Figura 2.2 RHA XIII “Valle de México” Cuenca hidrológica Valle de México .....	79
Figura 2.3 RHA 13 “Valle de México” Subcuencas oficiales .....	80
Figura 2.4 Subregión de la RHA 13 “Valle de México” acotada como zona de estudio.....	81
Figura 2.5 Fuentes de abastecimiento de agua potable para la zona metropolitana en la ciudad de México, Jujnovsky 2012 tomado de Sheinbaum (2008).....	83
Figura 2.6 Esquema de balance de aguas superficiales .....	85

 	<p align="center"><b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b></p>	 <p align="right"><b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p align="center">Página 76</p>	<p align="center">Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p align="center">Clave: F.CO.2.03.01</p>

Figura 2.7 Subcuencas oficiales interconectadas por el drenaje natural ..... 88

Figura 2.8 Fuentes de abastecimiento de agua potable para la zona metropolitana en la ciudad de México, Jujnovsky 2012 tomado de Sheinbaum (2008)..... 92

Figura 2.9 Estaciones climatológicas y puntos de muestreo ..... 94

Figura 2.10 Estación climatológica número 9019 ..... 95

Figura 2.11 Estación climatológica número 9067 ..... 95

Figura 2.12 Estación climatológica número 9002 ..... 96

Figura 2.13 Estación climatológica número 15095 ..... 96

Figura 2.14 Estación climatológica número 15242 ..... 97

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	
Página 77	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## 2.1 Introducción

Desde un punto de vista ambiental, México es un país que exhibe diversas condiciones las cuales tienden a exponer en general una situación que debe ser cada vez más preocupante. El caso particular de las grandes ciudades con una mayor necesidad del recurso hídrico y una menor oferta del mismo hace que las condiciones de estrés hídrico empeoren, como es de esperarse, el Valle de México presenta las peores condiciones de Integridad Hidroecológica, que hace pensar en una verdadera revisión de las condiciones de seguridad hídrica.

La seguridad hídrica consiste en revisar tres aspectos de grandes problemas del agua: La disponibilidad, la calidad del agua y los fenómenos meteorológicos extremos. El aspecto más estudiado en el tema de la seguridad hídrica está relacionado con los fenómenos meteorológicos extremos, principalmente con los extremos del lado de la abundancia, es por eso que esta vez se estudiarán los otros dos aspectos, en primer lugar el que está relacionado con la disponibilidad del recurso y consecuentemente con la calidad del mismo.

Las condiciones de estrés hídricos exhiben al Valle de México como la zona de peores condiciones, es por eso que será esta la zona de estudio. Para establecer el riesgo asociado con la disponibilidad, el primer paso consiste en revisar la publicación oficial de las condiciones de disponibilidad.

La cuenca o Valle de México pertenece a la región hidrológico-administrativa número trece (RHA XIII), en la figura 2.1 se presenta la ubicación de la RHA XIII, que es administrada por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM).



Figura 2.1 Regiones Hidrológicas Administrativas RHA XIII

En la figura 2.2 se aprecia además de la extensión de la RHAXIII, la subdivisión por subcuencas desde un punto de vista hidrológico que involucra solamente a la cuenca cerrada del Valle de México que tiene una ligera variación con respecto a los límites administrativos.

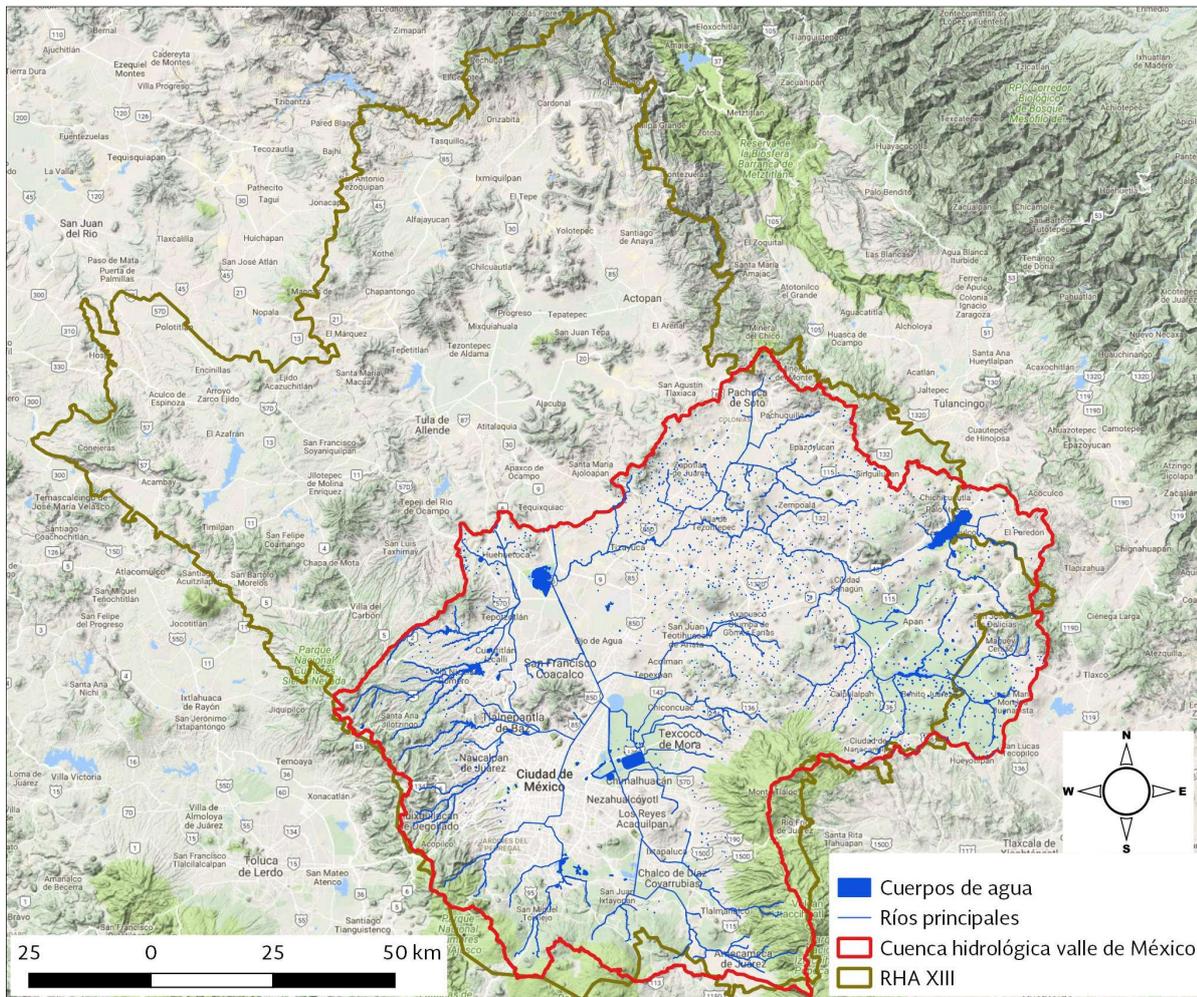


Figura 2.2 RHA XIII “Valle de México” Cuenca hidrológica Valle de México

La subdivisión por subcuencas mostrada en la figura 2.2, que representa una subdivisión natural que considera las redes de flujo superficiales y el límite del parteaguas de las cuencas de aportación es diferente a la subdivisión por “subcuencas oficiales” que son utilizadas también para la administración del agua y que son mostradas en la figura 2.3 que obedecen a una necesidad administrativa.

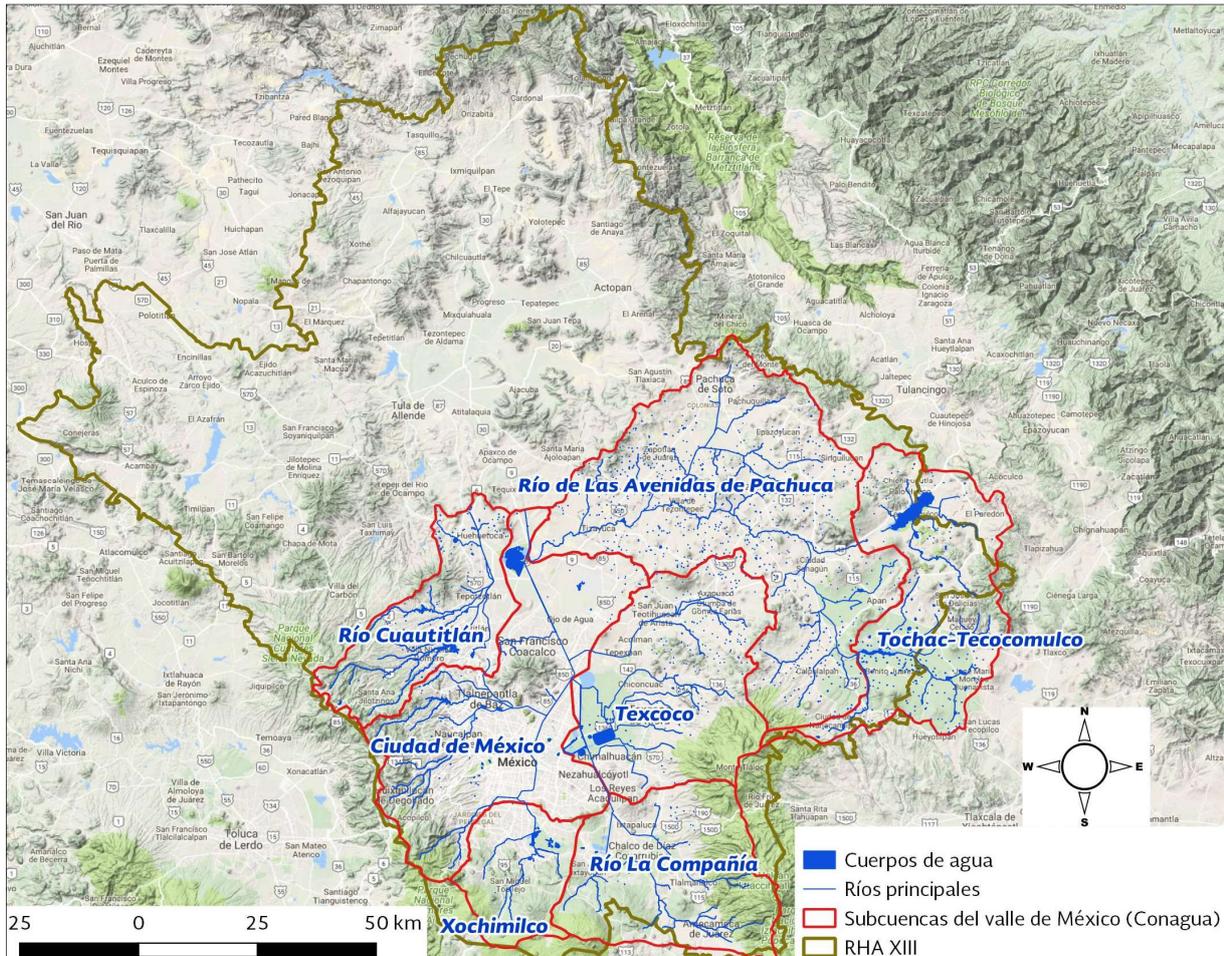


Figura 2.3 RHA 13 “Valle de México” Subcuencas oficiales

Como se describe más adelante, la zona de estudio se reduce aún más, el límite queda establecido considerando como criterio de mayor peso, el límite de la mancha urbana de la Ciudad de México, que es un criterio que coincide de manera oportuna con los tres acuíferos más sobreexplotados, por lo que la extensión de la zona de estudio se puede observar en la figura 2.4 en donde se aprecian las cuatro subcuencas “oficiales”, una de ellas recortada considerando la extensión ya mencionada de los tres acuíferos.

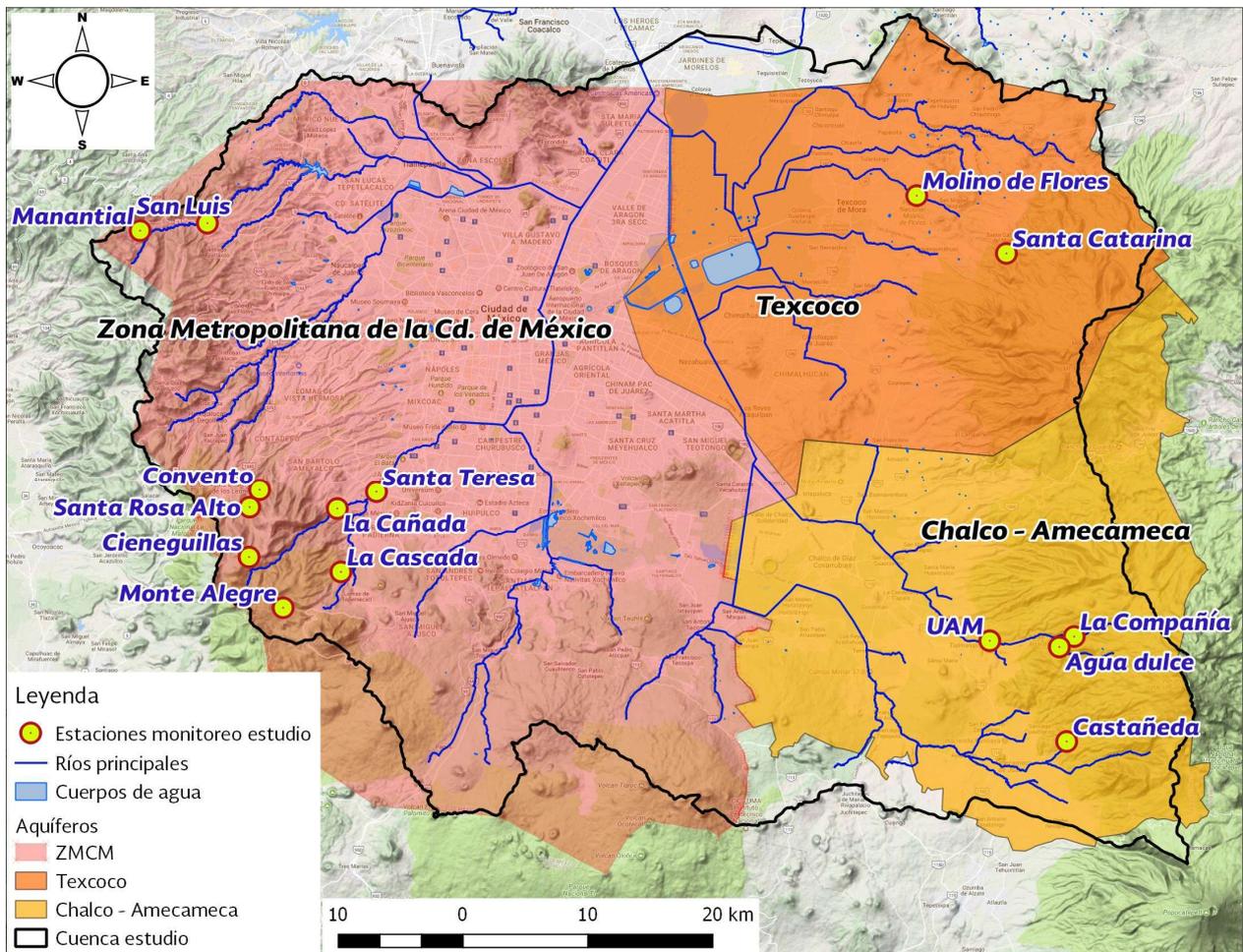


Figura 2.4 Subregión de la RHA 13 “Valle de México” acotada como zona de estudio

Como se observa en la figura 2.4, se muestra la zona de estudio, privilegiando la zona urbana de la Ciudad de México que coincide con los tres acuíferos (Zona metropolitana de la Cd de México, Texcoco y Chalco – Amecameca), también se muestran las cuatro subcuencas “oficiales” (Xochimilco, río de la Compañía, Texcoco y Ciudad de México) en donde se aprecia el recorte de las dos subcuencas ciudad de México y Texcoco, como ya se dijo dándole peso a la extensión de la mancha urbana y de los tres acuíferos mencionados.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 82</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

En éste informe se revisa la hidrología superficial enfocando la atención en la cantidad de agua que se produce y que está disponible para su uso desde un punto de vista de hidrología superficial.

## 2.2 Objetivo

El objetivo principal consiste en evaluar la cantidad de agua superficial disponible en la cuenca. Con el fin de establecer como punto de partida los resultados oficiales que se han tenido para este fin, el análisis inicia con el estudio de los resultados de la disponibilidad de agua en la cuenca publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF), se revisan los resultados de las variables del balance y se comparan con otras fuentes de información.

### 2.2.1 Objetivos específicos

- Evaluar la cantidad de agua en las subcuencas oficiales en el Valle de México, y cada una de las diversas variables aceptadas en la metodología oficial (NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

## 2.3 Área de estudio

Como ya se presentó en la introducción, en las figuras 2.1 y 2.2 se muestra la RHA XIII y dentro de ella la cuenca cerrada del Valle de México, de acuerdo con los resultados del balance publicados en el DOF el año 2015, en la cuenca se exhibieron resultados que muestran disponibilidad en cada una de las 7 subcuencas que conforman el Valle de México.

A pesar de esto, el personal del OCAVAM comento que el escurrimiento superficial en el Valle de México es aprovechado en un mínimo porcentaje, en las presentaciones de la Conagua y del SACMex, muestran que las fuentes que permiten abastecer la megalópolis son las presentadas en la Figura 2.5, ahí se observa en primer lugar que tanto las fuentes de agua superficial, como de agua subterránea no son solamente locales. La fuente principal de abastecimiento a la ZMCM es agua subterránea con un 70%, hay un 6% de reúso y el 24 por ciento restante es de fuentes superficiales. Lo que justifica plenamente la afirmación del mínimo porcentaje de aprovechamiento superficial es de la fuente local, solamente la suma entre Madín, Manantiales y río Magdalena suman 1.3 m<sup>3</sup>/s, que es solamente el 2% del total de agua utilizada en la SMCM.

En resumen, las fuentes de abastecimiento a la ZMCM son: 70% de agua subterránea, 6% de aguas de reúso, 22% de aguas superficiales importadas de otra cuenca y solamente el 2% de aguas superficiales de la cuenca propia.

Solamente para abundar un poco sobre la información hidrológica, el Valle de México produce en promedio aproximadamente 12.5 m<sup>3</sup>/s, de los cuales solo se utilizan los 1.3 m<sup>3</sup>/s que ya se mencionaron, y en efecto los 11.2 m<sup>3</sup>/s restante que casi equivalen al agua que se importa desde el Sistema Cutzamala, se van al drenaje.

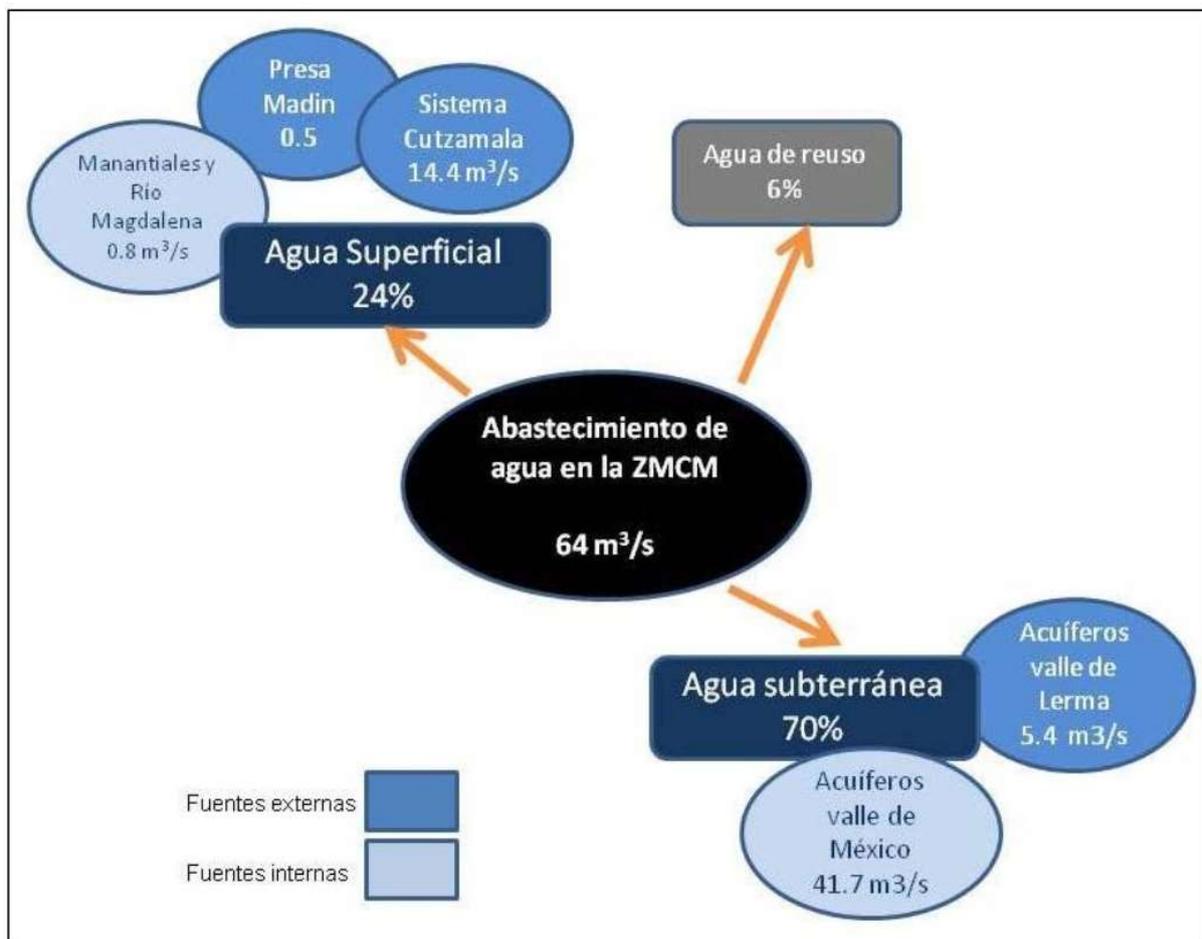


Figura 2.5 Fuentes de abastecimiento de agua potable para la zona metropolitana en la ciudad de México, Jujnovsky 2012 tomado de Sheinbaum (2008)

Es claro que no se podría dotar de toda la demanda de la ZMCM si no fuera por las importaciones y la sobreexplotación de los acuíferos del Valle de México y del Valle de Lerma, como se observa en la misma figura 2.5, la mayor sobreexplotación está en los acuíferos del Valle de México de los cuales se extrae más de tres veces el gasto promedio de agua superficial

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 84</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

que produce la cuenca, es por esto que la zona de estudio se acotó a la mostrada en la figura 2.4 donde se observa la extensión total de los tres acuíferos más sobreexplotados en el Valle de México que incluyen el total de las subcuencas Xochimilco y Río de la Compañía y parcialmente las subcuencas Ciudad de México y Texcoco en la parte que coincide con la mancha urbana de la Megalópolis.

## 2.4 Metodología

Para el balance de aguas superficiales se utiliza la “NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”, que está referenciada en la Ley de Aguas Nacionales y su correspondiente reglamento.

### 2.4.1 Descripción de la Disponibilidad

Una manera sencilla para describir la disponibilidad media anual de aguas superficiales, es considerar simplemente que es el volumen de agua que puede aprovecharse y concesionarse sin afectar a otros usuarios.

Es decir, si una cuenca produce 100 unidades de agua superficial en promedio anualmente y ya está concesionada una parte de esta agua, digamos 85 unidades, (aunque no es una concesión, el caudal ecológico es el primer usuario, así que el volumen que requiere la naturaleza debería de estar incluido en esa agua comprometida al inicio del balance), entonces restándole 85 a los 100 que produce en promedio la cuenca, solo restarían por utilizarse 15 unidades anualmente, esa es la cantidad disponible de agua que hay en la cuenca.

Lo descrito en los dos párrafos anteriores es una versión simplificada del concepto de disponibilidad de agua, la definición de la misma es mucho más complicado y solo se describirá de la manera más sencilla los conceptos que están más ampliamente descritos en la NOM-011.

Tomando como base la extensión territorial de una cuenca, la unidad de control para la aplicación del balance es mediante la definición de las subcuencas que conforman toda esa extensión de la cuenca. Cada subcuenca representa solo una parte del sistema, estará conectada de acuerdo con la configuración de las subcuencas, teniendo algunas subcuencas aguas arriba y generalmente una subcuenca aguas abajo, eventualmente una subcuenca no tiene área tributaria y por consiguiente no tiene subcuencas aguas arriba y a veces algunas subcuencas no tienen una subcuenca aguas abajo a la cual escurran sus excedentes.

El balance hidrológico en una cuenca, se obtiene al aplicar el balance en todas y cada una de las subcuencas que la conforman, por lo tanto, en cada una deben considerarse los volúmenes de ingreso y egreso así como la variación del volumen almacenado dentro de la subcuenca.

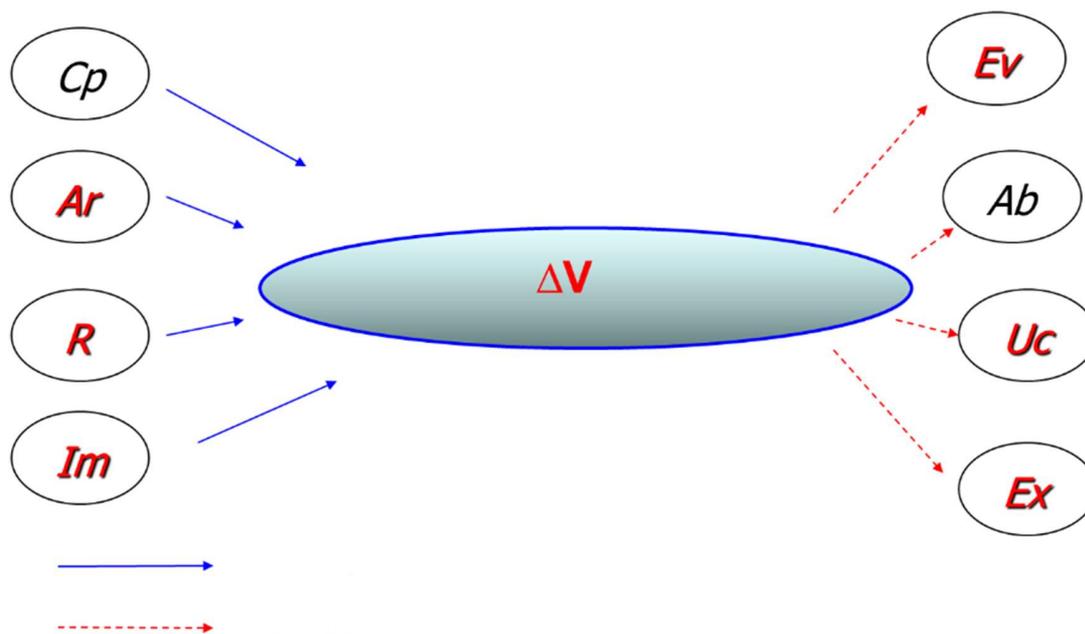


Figura 2.6 Esquema de balance de aguas superficiales

Como ya se dijo, en el balance deben considerarse los volúmenes de ingreso (línea azul en la figura 2.6) y los volúmenes de egreso (línea roja punteada en la figura 2.6) y la variación de volumen.

Los volúmenes de ingreso o entradas son; Cuenca propia “CP”, Aguas arriba “Ar”, Retornos “R”, e Importaciones “Im”.

Los volúmenes de egreso o salidas son; Evaporación “Ev”, Aguas abajo “Ab”, Usos “Uc”, y Exportaciones “Ex”.

La variación de volumen es la cantidad de agua que hay en el sistema y que es utilizada o que es guardada dentro de los vasos de almacenamiento, si el nivel de agua es inferior al final del ciclo, se dice que la variación de volumen fue negativa y se tomó agua de los almacenamientos, por el contrario, si el nivel de agua es superior al final del ciclo, entonces se guardó agua en los almacenamientos y la variación de volumen fue positiva.

La interacción de todas las variables mencionadas se plantea utilizando la ecuación de continuidad o conservación de masa:

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 86	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

$$\frac{dv}{dt} = Q_E - Q_S \quad (1)$$

donde:

- $v$  Volumen almacenado [ $L^3$ ]
- $t$  tiempo [T]
- $Q_E$  gasto de entrada [ $L^3/T$ ]
- $Q_S$  gasto de salida [ $L^3/T$ ]

Al obtener una solución de la ecuación de continuidad con diferencias finitas:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = Q_E - Q_S$$

Despejando la variación de volumen

$$\Delta v = (Q_E - Q_S)\Delta t$$

Integrando los gastos de entrada y de salida en el tiempo;

$$\Delta v = v_E - v_S \quad (2)$$

- donde
- $\Delta v$  es la variación del volumen en un intervalo de tiempo
  - $v_E$  es el volumen de entrada para en un intervalo de tiempo
  - $v_S$  es el volumen de salida para en un intervalo de tiempo

La variación del volumen en el tiempo es igual a la diferencia de los volúmenes de entrada menos los volúmenes de salida.

La ecuación (2) es la versión discreta de la ecuación de conservación de masa que es muy utilizada en la práctica.

Una versión más completa de la ecuación discreta de conservación de masa se obtiene describiendo con más detalle los volúmenes de entrada y salida obteniéndose la ecuación de balance como sigue:

$$\Delta v = (C_p + A_r + R + Im) - (E_v + A_b + U + Ex) \quad (3)$$

Que se ajusta al esquema mostrado en la figura 2.6 y contiene las variables ya mencionadas.

Es necesario aclarar que el retorno al sistema corresponde a una parte del volumen utilizado, por ejemplo: el usuario de generación de energía hidroeléctrica regresaría prácticamente el 100% del agua utilizada, mientras que otros usuarios principalmente de usos consuntivos regresan un menor porcentaje de agua a la cuenca. Despejando a  $C_p$  de la ecuación (3) se obtiene la ecuación (4);

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 87	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

$$C_p = (A_b + E_v + Ex + Usos) + \Delta v - (A_r + R + lm) \quad (4)$$

Ésta última versión de la ecuación de continuidad permite comprender el concepto de escurrimiento virgen o escurrimiento por cuenca propia  $C_p$ . esto se logra haciendo una serie de consideraciones simplificadoras.

La hipótesis principal, es que la cuenca es virgen, consecuentemente no hay actividades antropogénicas, en ese sentido la primer variable que desaparece de la expresión son los Usos y sus consecuentes Retornos ( $Usos, R$ ), por lo tanto no hay importaciones ni exportaciones ( $lm, Ex$ ), tampoco hay vasos ni forma de almacenamiento artificial, por lo que tampoco hay variación de volumen ni evaporación ( $\Delta v, E_v$ ), por lo que la ecuación (4) se reduce a la ecuación (5);

$$C_p = A_b - A_r \quad (5)$$

Esto es, si la cuenca es intermedia, el volumen de escurrimiento virgen o por cuenca propia, es igual al volumen medido a la salida de la subcuenca menos el volumen que le entra desde una o varias cuencas aguas arriba de ella, pero si se trata de una cuenca alta, a la que no le entran escurrimientos tributarios, la variable Aguas arriba ( $A_r$ ) sería nula, y precisamente el escurrimiento aguas abajo sería igual al escurrimiento virgen o por cuenca propia, ecuación (6).

$$C_p = A_b \quad (6)$$

#### 2.4.2 Balance en el Valle de México

Los resultados del balance publicados se calcularon de acuerdo con la NOM-011, los valores de las variables para cada subcuenca del Valle de México mostradas en la Figura 2.3 y con mejor detalle en la figura 2.7 siguieron la interconexión que se describe a continuación.

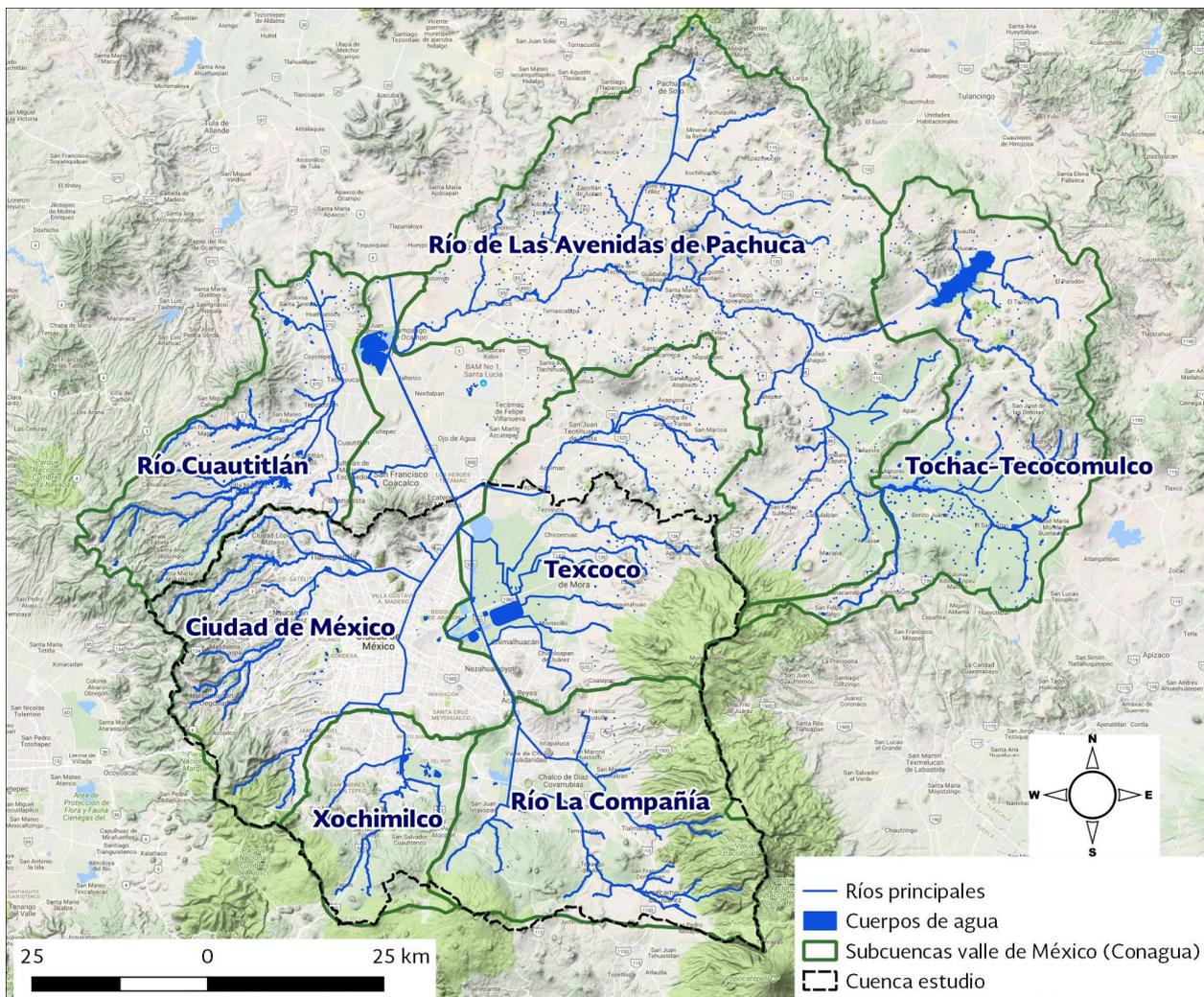


Figura 2.7 Subcuencas oficiales interconectadas por el drenaje natural

De acuerdo con la figura 2.7, en el Valle de México hay 7 subcuencas; LXV = Xochimilco, LXVI = Río la Compañía, LXVII = Tochar-Tecocomulco, LXVIII = Río de las Avenidas de Pachuca, LXIX = Texcoco, LXX = Ciudad de México, LXXI = Río Cuautitlán.

También se aprecia en la figura 2.7, la interconexión; la subcuenca Ciudad de México es la que escurre hacia afuera del Valle de México, a esta llegan 5 subcuencas; por el sur las subcuencas Xochimilco y Río de la Compañía, al oriente le aporta la subcuenca Texcoco, al norponiente le llega la subcuenca del Río Cuautitlán y al nororiente le llega la subcuenca Río de las avenidas de Pachuca la cual recibe el escurrimiento de la subcuenca Tochar – Tecocomulco. Los resultados publicados son los siguientes:

Tabla 2.1 Valores del Balance, DOF 2015

Cuenca	Entradas (Hm <sup>3</sup> )				Salidas (Hm <sup>3</sup> )				DV (Hm <sup>3</sup> )
	Cp	Ar	R	Im	Ev	Ab	Uc	Ex	
LXV	44.121	0.000	110.794	0.000	0.602	137.056	17.257	0.000	0.000
LXVI	78.111	0.000	98.473	0.000	0.000	167.469	9.115	0.000	0.000
LXVII	76.071	0.000	6.513	0.000	37.291	37.374	7.918	0.000	0.000
LXVIII	123.562	37.374	71.423	0.000	0.000	216.071	16.288	0.000	0.000
LXIX	83.172	0.000	43.447	0.000	13.125	99.917	13.578	0.000	0.000
LXX	190.136	620.513	941.279	484.063	27.397	1,523.128	641.559	43.907	0.000
LXXI	82.864	0.000	157.975	5.198	4.567	147.917	93.553	0.000	0.000
Totales	678.037		1,429.904	489.261	82.982	1,523.128	799.268	43.907	
Total m <sup>3</sup> /s	21.5004		45.34196	15.5144	2.6313	48.29807	25.3446	1.3923	

Los resultados del balance de la tabla 2.1 publicados en el Diario Oficial de la Federación el día 7 de julio de 2016 corresponden al año 2015 y se explican a continuación.

Los valores publicados están en hectómetros cúbicos (Hm<sup>3</sup> o millones de metros cúbicos), corresponden a casi todos los renglones de la tabla, excepto el último renglón que tiene unidades de caudal (m<sup>3</sup>/s) y que es una conversión de los resultados del penúltimo renglón.

La última columna (DV) representa el promedio de variación de volumen en los vasos de almacenamiento, no es extraño que sea igual a cero en todas las subcuencas porque es un promedio que tiende a cero, en algunos años es positivo, en otros años en particular es negativo y en promedio siempre se espera que tenga valores muy cercanos a cero.

Hay variables que están en función de la naturaleza, como es la evaporación que es una variable de salida de la cuenca y la cuenca propia que es una variable de entrada, es decir, en todas las subcuencas se genera un escurrimiento anual promedio de 678 Hm<sup>3</sup>, mientras que se pierden por evaporación casi 83 Hm<sup>3</sup>, digamos que entonces como entradas netas de acuerdo con la naturaleza, hay  $678 - 83 = 595$  Hm<sup>3</sup>.

La siguiente variable por analizar es entonces los usos, se tienen registrados usos del orden de 799 Hm<sup>3</sup>, cantidad mayor de lo que produce la naturaleza, por consiguiente se tiene la necesidad de importar agua de otras cuencas, por lo que se importa un total de 489 Hm<sup>3</sup>, pero se exportan casi 44 Hm<sup>3</sup>, por lo que se tiene una importación neta de  $489 - 44 = 445$  Hm<sup>3</sup>, que sumados con los 595 Hm<sup>3</sup> que produce la naturaleza, se tiene suficiente para abastecer la demanda de agua en el Valle de México.

Se debe recordar que los valores tabulados son producto de un balance de agua superficial, pero en el valle de México hay usuarios de aguas superficiales y aguas subterráneas, por lo que

el análisis anterior está verdaderamente simplificado e incompleto, la manera de completarlo sería con el balance de aguas subterráneas.

Continuando con el balance, y también con datos publicados en el DOF del balance de 2015, se tiene que si hay disponibilidad de aguas superficiales, esto de acuerdo con la siguiente tabla 2.2.

Tabla 2.2 Valores de la Disponibilidad de agua superficial, Balance, DOF 2015

Cuenca	Nombre y descripción	Ab	Rxy	Disponibilidad = Ab - Rxy
LXV	Xochimilco: Desde el nacimiento del Río San Buenaventura, hasta su confluencia con el Canal Nacional.	137.056	136.908	0.148
LXVI	Río la Compañía: Desde el nacimiento de los ríos San Francisco, San Rafael y Amecameca, hasta la zona del Ex-lago de Texcoco.	167.469	167.288	0.181
LXVII	Tochac-Tecocomulco: Desde el nacimiento de arroyos que bajan de los cerros Tultenango y Paila, hasta su confluencia con el Río de las Avenidas de Pachuca.	37.374	37.337	0.038
LXVIII	Río de las Avenidas de Pachuca: Desde el nacimiento del Río de las Avenidas de Pachuca, hasta su desembocadura en la Laguna de Zumpango.	216.071	215.837	0.233
LXIX	Texcoco: Desde el nacimiento de los ríos Coatepec, Santa Mónica, San Bernardino, Chapingo, Texcoco y San Juan Teotihuacán, entre otros, hasta la zona del Ex-lago de Texcoco.	99.917	99.809	0.108
LXX	Ciudad de México: Desde el nacimiento de los ríos Magdalena y Hondo o Los Remedios, hasta las cuencas hidrológicas Presa Endhó y Río Salado.	1,523.128	1520.711	2.416
LXXI	Río Cuautitlán: Desde el nacimiento de varios arroyos que conforman el Río Cuautitlán y su afluente el Río Tepotzotlán, hasta su confluencia con el Río Tula.	147.917	147.776	0.141

Al comentar los resultados de las tablas 2.1 y 2.2 con personal del OCVAM, ellos comentaron algo que ya conocíamos, pero que ahí lo reforzamos. El escurrimiento por cuenca propia de cada las cuencas urbanas no es aprovechado, una vez que el agua llega a la red de drenaje urbano, se convierte en aguas negras, la cual no cumple con los parámetros de calidad que se requiere para la mayoría de los usos, es por eso que el valor del reúso en las subcuencas del Valle de México es muy pequeño.

Lo descrito en el párrafo anterior invalida los resultados publicados en el DOF, el balance en el Valle de México es diferente por tener un mayor porcentaje de cuencas urbanas, para esto se regresa a la figura 2.5 y replantea la tabla 2.1 considerando solo las subcuencas urbanas, por lo que se obtiene la tabla 2.3 que incluye solo cuatro de las subcuencas del Valle de México que

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 91	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

precisamente es la definición de la zona de estudio de este proyecto la cual se aprecia en la figura 2.4 presentada en el tema 1.

Tabla 2.3 Valores del Balance en la ZMCM, DOF 2015

Cuenca	Nombre y descripción	Entradas (Hm <sup>3</sup> )				Salidas (Hm <sup>3</sup> )			
		Cp	Ar	R	Im	Ev	Ab	Uc	Ex
LXV	Xochimilco	44.121	0.000	110.794	0.000	0.602	137.056	17.257	0.000
LXVI	Río la Compañía	78.111	0.000	98.473	0.000	0.000	167.469	9.115	0.000
LXIX	Texcoco	83.172	0.000	43.447	0.000	13.125	99.917	13.578	0.000
LXX	Ciudad de México	190.136	620.513	941.279	484.063	27.397	1,523.128	641.559	43.907
Totales		395.540		1,193.993	484.063	41.124	1,927.570	681.509	43.907
Total m <sup>3</sup> /s		12.542		37.861	15.350	1.304	61.123	21.611	1.392

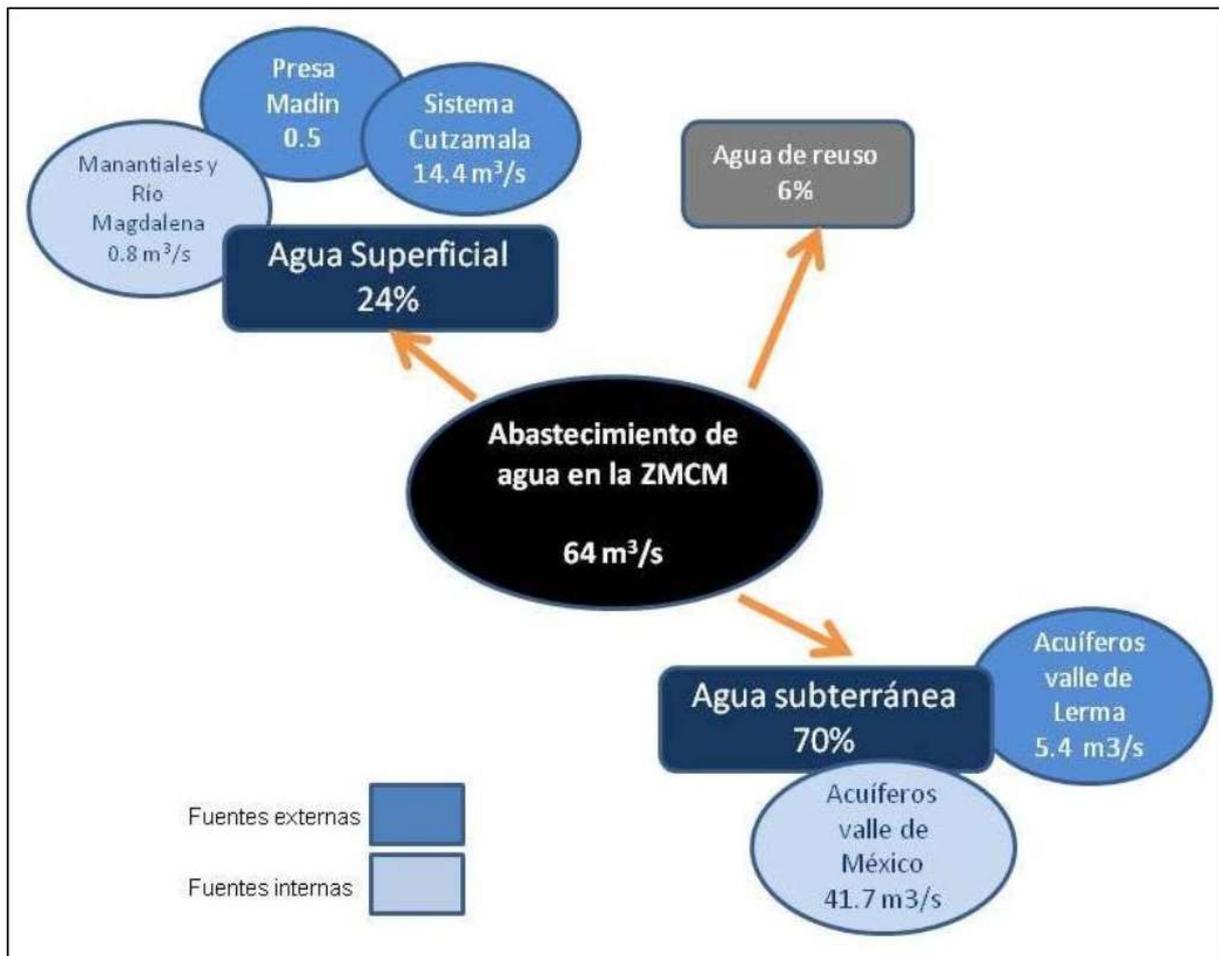


Figura 2.8 Fuentes de abastecimiento de agua potable para la zona metropolitana en la ciudad de México, Jujnovsky 2012 tomado de Sheinbaum (2008)

En este nuevo análisis, ahora se aprecia la ventaja de convertir las unidades de  $\text{Hm}^3$  anuales a  $\text{m}^3/\text{s}$ , esto se hace para comparar de manera práctica los datos publicados en las presentaciones de Conagua y de Sistema de Aguas de la CDMX (SACMex) mostradas en la figura 2.5. Es necesario recordar que la figura 2.5 involucra tanto variables del balance superficial y como del balance subterráneo.

Dicho lo anterior, se debe recordar nuevamente que en la figura 2.5 se plantea un abastecimiento a la ZMCM con agua subterránea por un 70% y con fuentes propias del valle de México como fuentes externas como lo es el valle de Lerma, un 6% de reúso y el 24 % restante de fuentes superficiales, también las fuentes superficiales son de fuentes propias (solo  $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$  que provienen de Madin, manantiales y río Magdalena) y fuentes externas (sistema Cutzamala)

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 93	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

Precisamente esto último es relevante, en el balance de aguas superficiales publicado en el DOF Tabla 2.3, se tiene una producción por cuenca propia de 395.540 Hm<sup>3</sup>, que equivalen a 12.542 m<sup>3</sup>/s, de los cuales solo se utiliza 1.3 de Madín, manantiales y río Magdalena. Y el resto, que aunque en las presentaciones de las fuentes de abastecimiento se dice que son de aguas superficiales, en el valle de México son importaciones de acuerdo a lo publicado por el DOF que reporta 484.063 Hm<sup>3</sup> o dicho de otra forma, 15.35 m<sup>3</sup>/s.

Esto es lo que termina de justificar la invalidación del balance de aguas superficiales publicado por el DOF y hace necesario hacer un nuevo balance estableciendo claramente cuáles son las fuentes de abastecimiento.

Por lo anterior y regresando al objetivo de este proyecto, se hace necesario establecer el nivel de integridad hidrológica en las cuatro cuencas mostradas en la figura 2.4 que coinciden con los tres acuíferos mencionados.

El nuevo planteamiento en la zona de estudio es investigar la calidad del agua en la cuenca, para esto se establecieron puntos de muestreo que también pueden apreciarse en la figura 2.4 y desde un punto de vista de hidrología superficial solamente se establece la necesidad estudiar el ciclo del agua para conocer el inicio y terminación de la época de lluvias y consecuentes escurrimientos superficiales.

## 2.5 Resultados

### 2.5.1 Resultados del balance en el Valle de México

Como ya se explicó en el tema anterior ahora el objetivo es definir el intervalo de tiempo en el que se presentan las precipitaciones en el valle de México, para esto se definieron diversos puntos de muestreo y alrededor de ellos se estudiaron las estaciones climatológicas correspondientes.

#### 2.5.1.1 Resultados de los parámetros de campo

Las estaciones climatológicas seleccionadas son: 9002, 9019, 9067, 15242, 15085, 15101, 15210, 15106, 15007, 15103, 15015, 15018 y 15095 (ver figura 2.9).

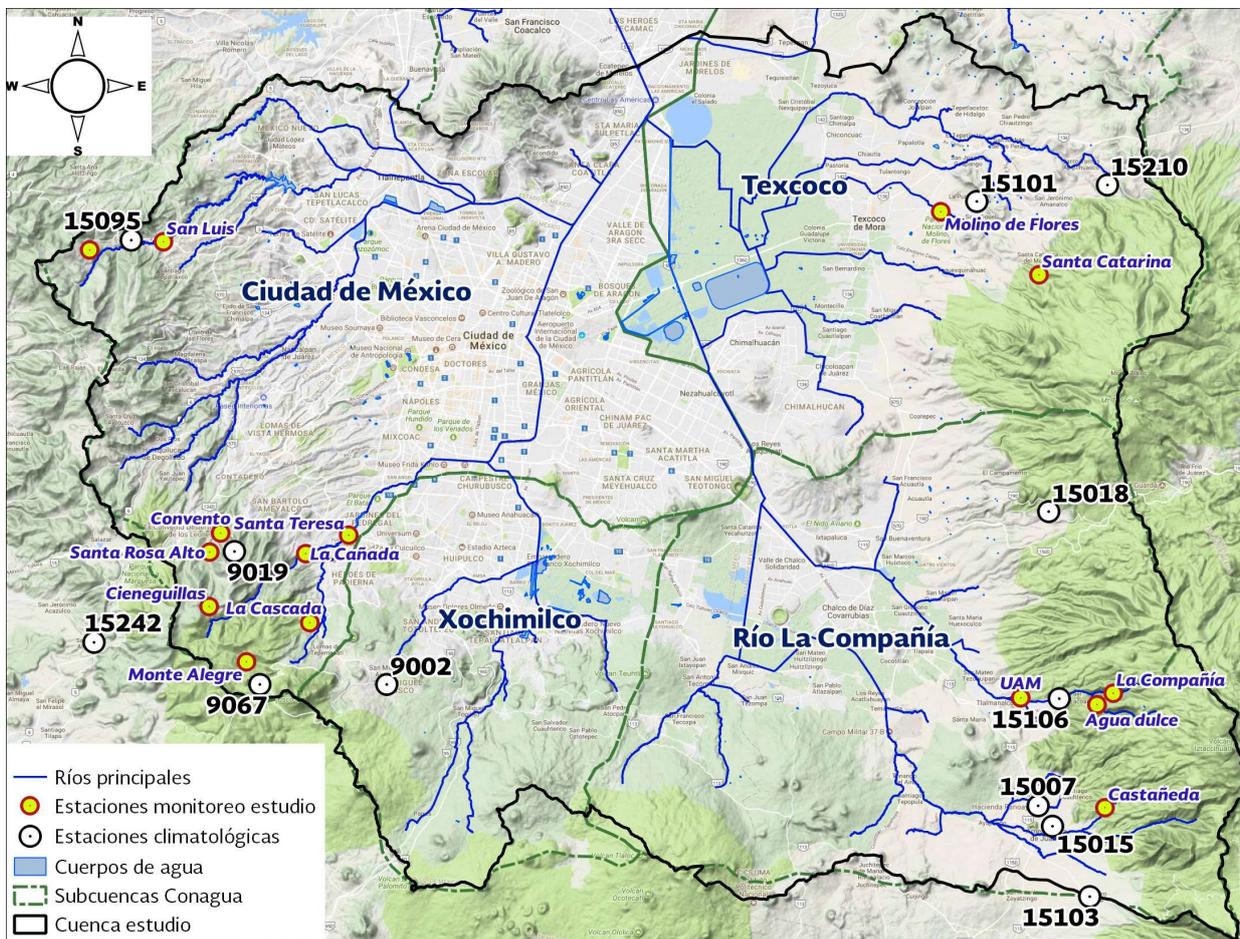


Figura 2.9 Estaciones climatológicas y puntos de muestreo

Se realizó la recopilación de información pluvial de dichas estaciones y se graficaron las curvas masa acumuladas en porcentaje, con el fin de establecer el inicio y final de la época de lluvias, se encontraron resultados relativamente similares en todas las estaciones, los cuales se pueden observar en las figuras 2.10 a la 2.14.

Los valores de la precipitación están en porcentaje para observar mejor el inicio y terminación sin importar la cantidad de lluvia, se sabe que el poniente del Valle de México es más lluvioso que el oriente, se graficaron con días julianos para encimar los diferentes años de registro y observar el valor acumulado de la lluvia con respecto al día juliano de un año cualquiera.

Se aprecia que el inicio en promedio de la época de lluvia es del orden del día juliano 150 (aproximadamente a finales de mayo) y la terminación en promedio el día 300 (aproximadamente a finales de octubre).

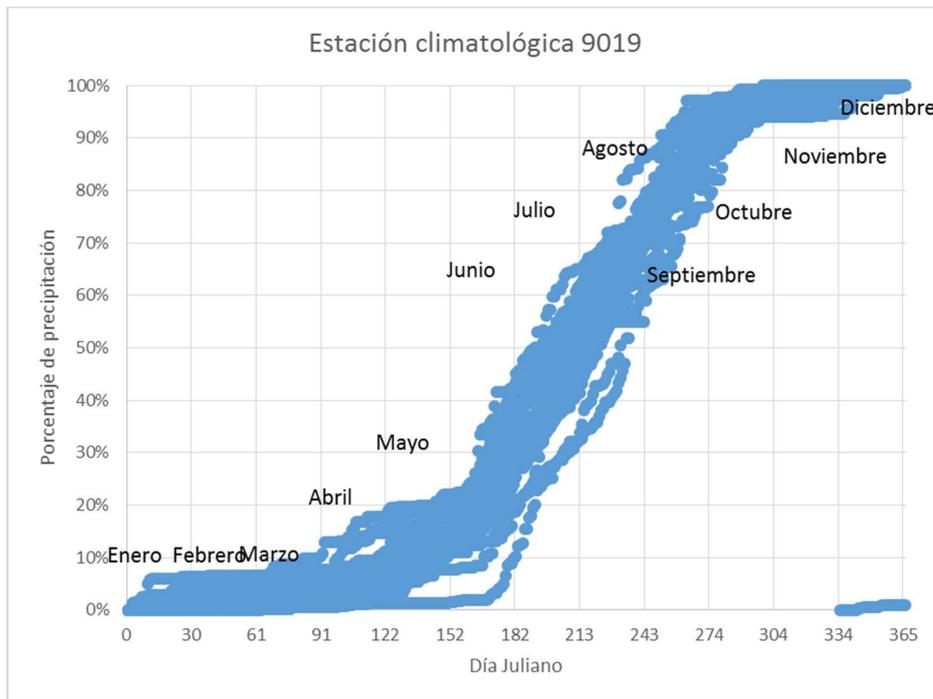


Figura 2.10 Estación climatológica número 9019

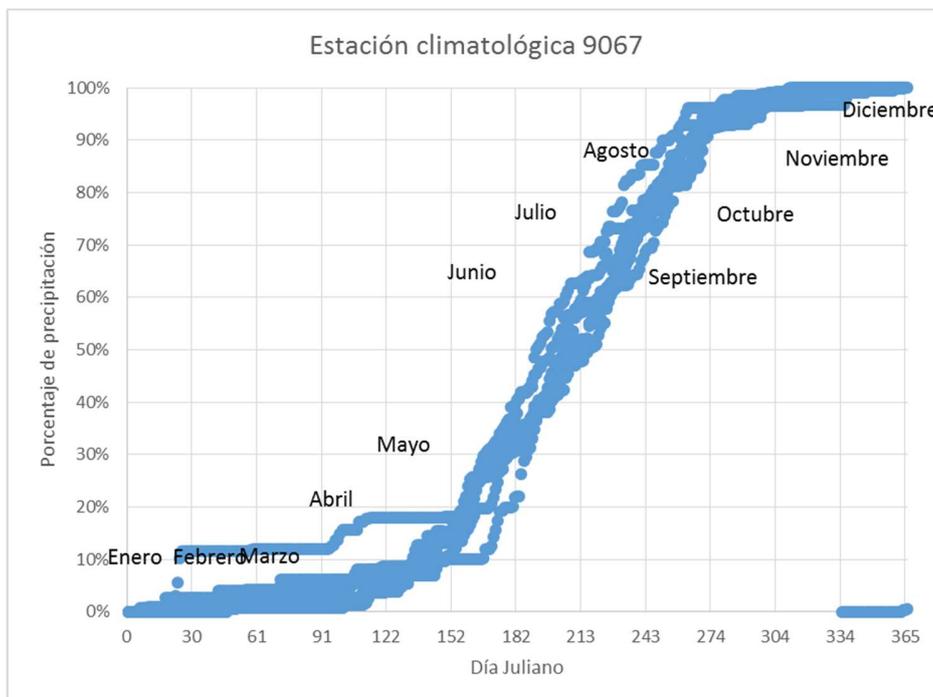


Figura 2.11 Estación climatológica número 9067

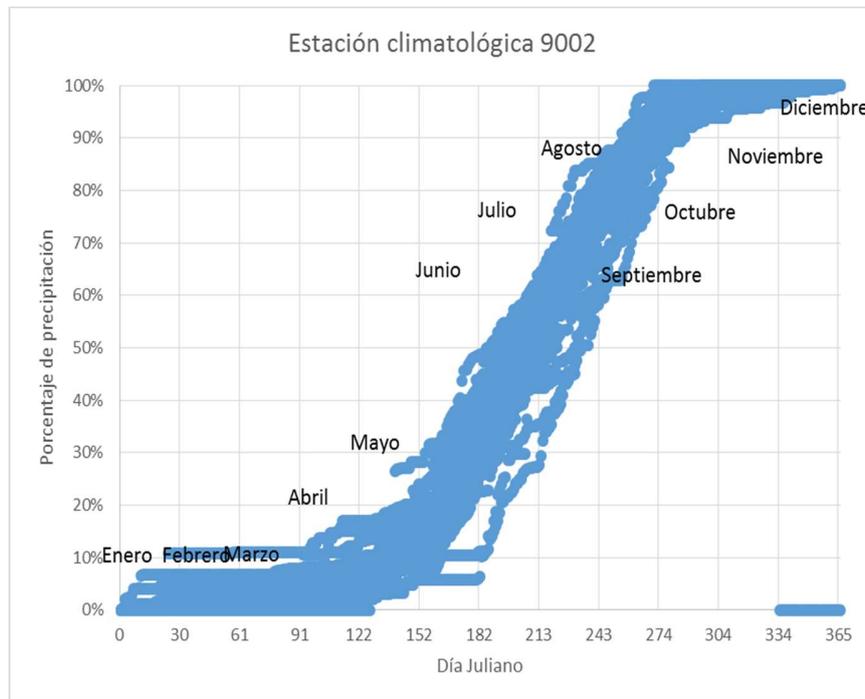


Figura 2.12 Estación climatológica número 9002

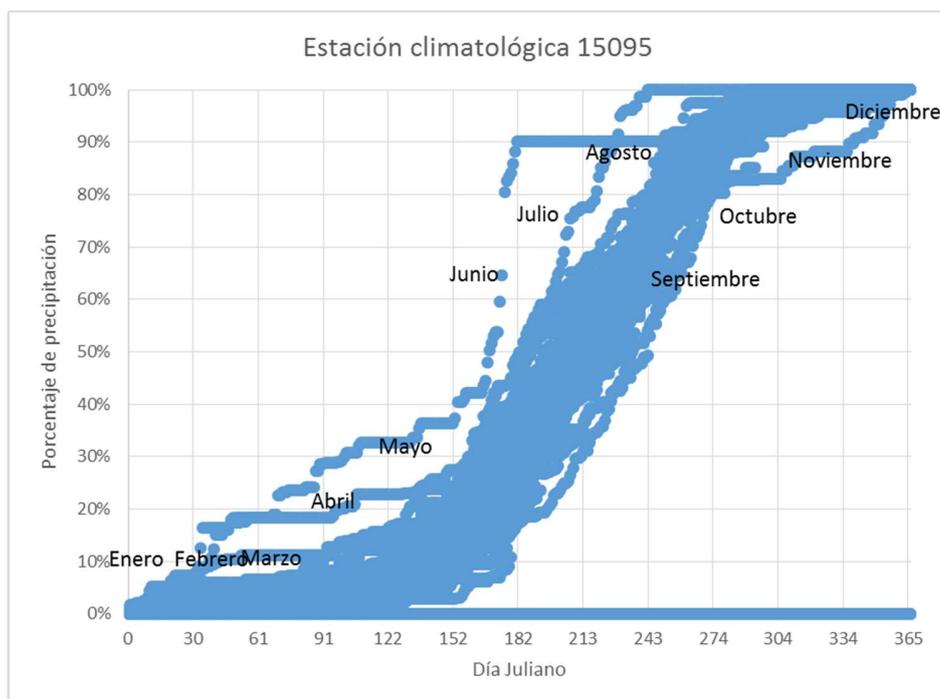


Figura 2.13 Estación climatológica número 15095

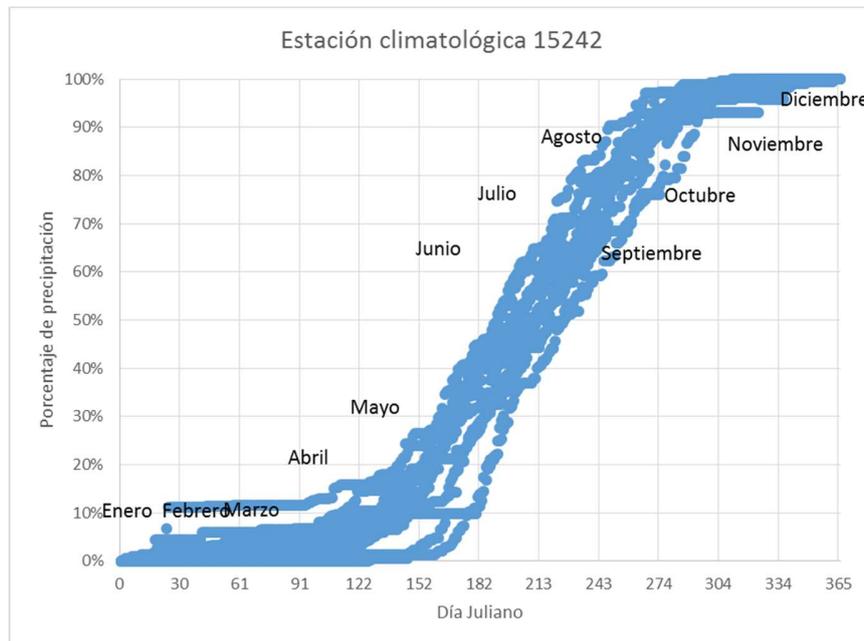


Figura 2.14 Estación climatológica número 15242

En una siguiente etapa del estudio, se pretende establecer la correlación entre la cantidad de agua, la calidad de la misma y la posibilidad de aprovecharla de acuerdo con la oportunidad relacionada con los diversos escurrimientos en las partes altas de la cuenca.

## 2.6 Conclusiones

El objetivo original apuntaba a estudiar todo el Valle de México, al observar los primeros resultados desde un punto de vista de balance de agua, superficial y subterránea, se precisó estudiar solamente las cuencas urbanas del Valle de México, dichas cuencas establecen condiciones únicas por tener un gran porcentaje de zona urbana.

El crecimiento de la mancha urbana ha invadido también la cuenca alta, aunque hay muchos lugares que aún pueden rescatarse para ser utilizados como zonas de producción de agua útil a las ciudades, para esto se debe establecer y vigilar el crecimiento de la mancha urbana en la cuenca alta, además de vigilar esas zonas construir drenajes marginales que eviten que las aguas limpias en donde aún tiene esas condiciones sean contaminadas con las aguas residuales urbanas.

En lo posible una vez que se tenga el control del crecimiento de la mancha urbana y que se tengan medidas de mitigación de la contaminación de las corrientes superficiales, generar acciones para que los ríos que aún están a cielo abierto, puedan conducir aguas

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 98</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

limpias y colaborar con el mejor paisaje urbano estableciendo una nueva cultura en las ciudades más importantes del país.

## 2.7 Literatura citada

Aparicio, M. F.J. 1992 Fundamentos de hidrología de superficie, Ed. Limusa, Primera reimpresión: ISBN 968-18-3014-8.

Chow, V.T. 2004. Open-Channel Hydraulics. McGraw –Hill. ISBN: 07-010776-9

Jujnovsky, O.J. 2012, Propuesta para la evaluación del servicio ecosistémico de provisión de agua: el caso de la cuenca del río Magdalena, México. D.F. Tesis de Doctorado. UNAM. 122 p.

Ley de Aguas Nacionales, última reforma publicada en el DOF 11-08-2014

Norma Oficial Mexicana NOM-011. 2015. Conservación del recurso agua Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales2 Publicada en el DOF 27-03-2015. SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Publicado en el DOF 07-07-2016 (Balance 2015)

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, Reforma publicada DOF 25-08-2014.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 99</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

### CAPÍTULO 3

# Hidrología subterránea en la Cuenca Metropolitana del Valle de México

Participante:  
Pablo Gallardo Almanza

## INDICE

<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>99</b>
<b>3.1 Introducción .....</b>	<b>101</b>
<b>3.2 Objetivo .....</b>	<b>101</b>
<b>3.3 Antecedentes.....</b>	<b>101</b>
<b>3.4 Metodología.....</b>	<b>102</b>
<b>3.5 Resultados.....</b>	<b>104</b>
3.5.1 Acuífero Zona Metropolitana de la Cd. De México (0901), Distrito Federal .....	104
3.5.1.1 Hidrometría.....	105
3.5.2 Acuífero Chalco–Amecameca (1506), Estado de México.....	106
3.5.2.1 Hidrometría.....	107
3.5.3 Acuífero Texcoco (1507), Estado de México.....	108
3.5.3.1 Hidrometría.....	109
<b>3.6 Conclusiones.....</b>	<b>110</b>
<b>3.7 Literatura citada .....</b>	<b>110</b>

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Disponibilidad de agua subterránea acuífero ZMCM .....	104
Tabla 3.2 Acuífero ZMCM, extracción por uso .....	106
Tabla 3.3 Disponibilidad de agua subterránea acuífero Chalco-Amecameca.....	106
Tabla 3.4 Acuífero Chalco-Amecameca, extracción por uso.....	108
Tabla 3.5 Disponibilidad de agua subterránea acuífero Texcoco.....	108
Tabla 3.6 Acuífero Texcoco, extracción por uso.....	110

### ÍNDICE DE FIGURA

Figura 3.1 Identificación de los acuíferos con déficit hídrico.....	103
---	-----

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 101	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.04.01

### 3.1 Introducción

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (Conagua) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana (NOM), NOM-011-CONAGUA-2015 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la Conagua.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitiría una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en *acuíferos con disponibilidad de agua subterránea*. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La disponibilidad de agua subterránea no es más que el volumen medio anual de agua que puede ser extraído de un acuífero para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas.

### 3.2 Objetivo

Definir la disponibilidad de aguas subterráneas por acuífero.

### 3.3 Antecedentes

La Cuenca de México es una cuenca endorreica de carácter lacustre, donde la corteza ha sufrido grandes esfuerzos, produciéndose un intenso fracturamiento. Está circundada por montañas y cubierta en diferentes puntos por áreas lacustres producto de lagos que existieron al final de la época glacial. Al cerrarse la Cuenca en el Cuaternario Superior, las aguas pluviales quedaron encajonadas, formando un conjunto de lagos someros. Hacia el centro del valle se encuentra el

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	  <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 102	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.04.01

Lago de México, al este el lago de Texcoco, al sur los lagos de Xochimilco y Chalco, que formaban uno solo y al norte el de Zumpango.

El fondo de la Cuenca es una planicie lacustre de 1,431 km<sup>2</sup>, a una altitud de entre 2,230 y 2,240 msnm, que se mantiene seca artificialmente. El parteaguas de la cuenca se extiende por la zona montañosa circundante, la que frecuentemente se eleva sobre los 3,000 msnm.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México se encuentra limitada por elevaciones topográficas de origen volcánico como son la Sierra de Guadalupe al norte, la Sierra de Las Cruces al poniente, La Sierra Chichinautzin al sur, el volcán del Ajusco al suroeste y la Sierra Nevada al oriente. Dentro de este valle existen algunos aparatos volcánicos aislados, siendo los principales los que forman la Sierra de Santa Catarina y existiendo algunos otros que aparecen en forma aislada como son el Peñón del Marqués, el Peñón de los Baños y el Cerro de La Estrella.

Lo que ahora constituye el Valle de México, antiguamente drenaba hacia el sur. Las corrientes superficiales que circulaban en dicha dirección fueron interrumpidas por las salidas de productos volcánicos a través de conos que dieron origen a la Sierra de Chichinautzin, dejando el área del Valle de México sin drenaje al exterior, razón por lo que se acumuló agua en la parte central dando origen a los lagos de Zumpango, Texcoco, Xochimilco y Tláhuac.

Los materiales que constituyen el subsuelo corresponden a intercalaciones de productos volcánicos tales como lavas, tobas y cenizas que incluyen materiales granulares transportados por ríos y arroyos provenientes de las partes topográficamente altas que circularon hacia los valles. Cubriendo a dichos materiales y en espesores variables, se encuentran arcillas y arenas finas que son el producto del sedimento de los antiguos lagos.

### 3.4 Metodología

Se seleccionó la subcuenca del Valle de México por encontrarse con presión hídrica y se identificaron los acuíferos que se encuentran dentro del área de estudio, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

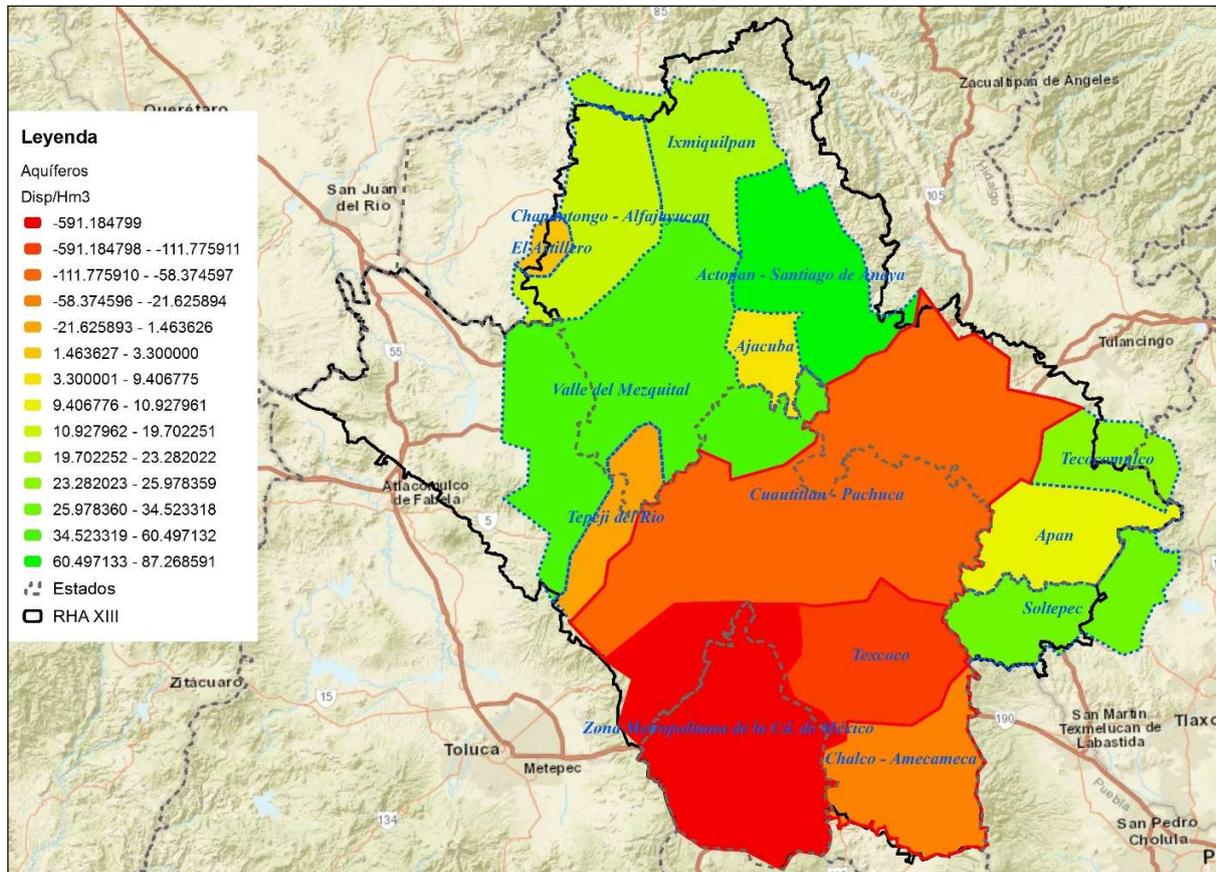


Figura 3.1 Identificación de los acuíferos con déficit hídrico

Se realiza un análisis de los documentos de disponibilidad publicados en el Diario Oficial de la Federación y emitidos por la Conagua con la información más reciente, que contiene los valores de disponibilidad, descarga natural comprometida y recarga.

Con la información obtenida y de forma tabular se muestran los volúmenes de agua subterránea extraída para los diferentes usos dentro de cada acuífero.

### 3.5 Resultados

#### 3.5.1 Acuífero Zona Metropolitana de la Cd. De México (0901), Distrito Federal

El acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se encuentra ubicado en el sur poniente de la Cuenca del Valle de México, ocupa el 17% de la superficie de la cuenca endorreica. La Ciudad de México y su área conurbada dependen fundamentalmente para el abastecimiento de agua potable del suministro del acuífero. El acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México presenta un déficit *-591.184799 millones de metros cúbicos anuales* reportados en el documento de actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 20 de abril de 2015, (Conagua, 2015).

La disponibilidad media anual de agua subterránea, Tabla 3.1, corresponde a una fecha de corte en el *Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014*.

Tabla 3.1 Disponibilidad de agua subterránea acuífero ZMCM

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
0901	ZONA METROPOLITANA DE LA CD. DE MÉXICO	512.8	0.0	1,103.984799	623.8	0.0	-591.184799

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

Debido a que el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México presenta de manera irregular material arcilloso que le sirve como confinante o semiconfinante el acuífero se clasifica como semiconfinado.

El contenedor impermeable del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México lo constituyen rocas volcánicas y calizas, en tanto que el paquete sedimentario da origen a un sistema acuífero complejo formado por tres grandes cuerpos: en la parte superior, un paquete arcilloso de alta porosidad, baja permeabilidad y gran heterogeneidad en su constitución, que forma un acuitardo de espesor variable y que actúa como semiconfinante en el centro de la cuenca. Bajo este paquete se encuentra el acuífero actualmente en explotación, formado por material granular más grueso que el del acuitardo, esto es, piroclastos y conglomerados de origen volcánico. Su espesor es variable (generalmente mayor de 200 m) así como sus propiedades hidráulicas. Le subyacen rocas volcánicas fracturadas, cuya base llega a estar a los 2,000 m en el centro disminuyendo hacia las márgenes de la Cuenca.

Las tres unidades presentan un amplio rango en sus parámetros hidrodinámicos (permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, transmisividad) (Lesser, 1984). Están

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 105</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.04.01</p>

comunicadas hidráulicamente sobre todo las dos últimas (rocas volcánicas y material granular). La interrelación de la primera (paquetes arcillosos) con la segunda (material granular) ha quedado demostrada por la subsidencia que afecta la Ciudad de México.

Este acuífero es recargado por infiltraciones de la precipitación, actuando como áreas de recargas más importantes las sierras circundantes. La precipitación media anual varía de 400 a 600 mm en la parte baja de la cuenca, en los lomeríos circundantes la precipitación está entre 700 y 1,000 mm y en las sierras que limitan la cuenca las precipitaciones son mayores de 1,000 mm anuales. La extracción de agua subterránea en la cuenca de la Ciudad de México es del orden de 50 m<sup>3</sup>/s, a través de obras hidráulicas, predominando pozos con profundidades superiores a 100 m. La extracción de agua subterránea de la cuenca representa cerca del 70% del abastecimiento.

El acuífero presenta dos decretos de veda:

Según el decreto de la Veda de la Cuenca del Valle de México del 19 de agosto de 1954, fecha de su publicación en el Diario Oficial. Los municipios considerados dentro de este acuífero que se encuentran vedados de manera total son: Atizapán de Zaragoza y Tlalnepantla, parcialmente está vedado el Municipio de Huixquilucan.

Según el Decreto de Veda en el Valle de Toluca desde el 23 de septiembre de 1965, los Municipios de Jilotzingo y Lerma están vedados totalmente y los Municipios de Naucalpan (antes Naucalpan de Juárez) y Xonacatlán (antes San Francisco Xonacatlán) se encuentran vedados parcialmente.

#### 3.5.1.1 Hidrometría

De acuerdo al censo de 830 aprovechamientos, realizado en 1990 por GRAVAMEX y a los volúmenes de extracción del censo, el agua que se extrae del acuífero se utiliza principalmente para uso Público-Urbano, con un total de 448.499 Mm<sup>3</sup> anuales, el segundo volumen más importante de extracción es para uso Industrial con 49.419 Mm<sup>3</sup> anuales y el tercer uso en importancia es el uso Comercial con 6.540 Mm<sup>3</sup> anuales. De las 13 delegaciones que se incluyen dentro del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en la Delegación de Coyoacán es donde se reporta el mayor volumen de extracción con 120.289 Mm<sup>3</sup> anuales y de los siete municipios contemplados en el acuífero el volumen de extracción se presenta en el Municipio de Naucalpan con una extracción de 32.530 Mm<sup>3</sup> anuales. El volumen total de extracción para el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México es de 507.364 Mm<sup>3</sup> anuales, Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Acuífero ZMCM, extracción por uso

ACUÍFERO ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO										
EXTRACCIONES POR USO EN M <sup>3</sup> ANUALES										
	MUNICIPIO	AGRÍCOLA	DOMÉSTICO	INDUSTRIAL	PÚBLICO URBANO	PECUARIO	RECREATIVO	COMERCIAL O SERVICIOS	GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	TOTAL
DF	ALVARO OBREGÓN		16,871	495,258	19,305,750			80,025	227,976	20,125,880
DF	AZCAPOTZALCO			11,656,668	27,260,577			251,030		39,168,275
DF	BENITO JUÁREZ			1,215,166	20,449,601		34,560	351,658		22,050,985
DF	COYOACÁN		131,425	2,920,493	116,865,139		144,910	227,976		120,289,943
DF	CUAJIMALPA DE MORELOS			126,653	536,112					662,765
DF	CUAUHTEMOC			3,361,880	2,829,088		77,760	2,564,540		8,833,268
DF	GUSTAVO A. MADERO		252,288	1,482,513	788,440			401,691		2,924,932
DF	IZTACALCO		114,343	1,509,023	4,320,432		30,000	104,716		6,078,514
DF	MAGDALENA CONTRERAS		80,676		3,201,783		756,864			4,039,323
DF	MIGUEL HIDALGO		63,267	9,004,474	28,333,601		13,176	1,054,973		38,469,491
DF	TLALPAN			993,613	86,722,576			494,166		88,210,355
DF	VENUSTIANO CARRANZA			872,704	1,579,075			132,685		2,584,464
DF	XOCHIMILCO			407,886	87,555,925					87,963,811
MEX	ATIZAPÁN DE ZARAGOZA	51,372	3,717	345,556	9,554,684	10,854		4,320		9,970,503
MEX	HUIXQUILUCAN				1,038,796	114,343				1,153,139
MEX	NAUCALPAN	10,512		2,902,689	29,016,544		344,112	256,794		32,530,651
MEX	TLANEPANTLA	425,736		12,125,342	9,141,554			615,839		22,308,471
MEX	JILOTZINGO									0.00
MEX	LÉRMA									0.00
MEX	XONACATLÁN									0.00
	TOTAL	487,620	662,587	49,419,918	448,499,677	125,197	1,401,382	6,540,413	227,976	507,364,770

### 3.5.2 Acuífero Chalco–Amecameca (1506), Estado de México

La Subcuenca de Chalco se localiza al sur de la Cuenca de México y de la zona urbana de la Ciudad de México. Queda limitada al norte por las estribaciones de la Sierra de Santa Catarina. Al sur por la Sierra Chichinautzin en la parte este se localiza la Sierra de Río Frío con orientación N-S. Hacia el sur la Sierra Nevada con estructuras importantes como el volcán Popocatepetl e Iztaccíhuatl. Hacia el límite oeste se ubica el área chinampera de Tláhuac y en la porción central se ubica el área del ex-lago de Chalco. El acuífero Chalco–Amecameca presenta un déficit - 21.625894 millones de metros cúbicos anuales reportados en el documento de actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 20 de abril de 2015, (Conagua, 2015a).

La disponibilidad media anual de agua subterránea, Tabla 3.3, corresponde a una fecha de corte en el Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.

Tabla 3.3 Disponibilidad de agua subterránea acuífero Chalco-Amecameca

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
1506	CHALCO-AMECAMECA	79.3	3.3	97.625894	128.4	0.0	-21.625894

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 107</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.04.01</p>

El sistema acuífero Chalco-Amecameca está constituido por una formación arcillosa de baja permeabilidad (acuitardo) que actúa como un acuífero semiconfinado (Rodríguez, 1986) el cual sobreyace a un acuífero confinado en la parte central y libre hacia los márgenes. Este sistema presenta estratificación en la mineralización del agua subterránea. El primer paquete contiene agua con mineralización mayor o igual a 1,100 mg/l, en tanto que en el segundo ésta es del orden de 200-300 mg/l. La presencia de estos cuerpos de agua ha sido explicada en términos de la composición geológica del acuitardo, ya que está constituido por depósitos lacustres y formaciones arcillosas de baja permeabilidad (Rodríguez, 1987).

En la parte central de esta subcuenca se encontraba el antiguo Lago de Chalco, que corresponde a una planicie lacustre a donde llegaba el Río de Ameca, que nace en la parte sur del Iztaccíhuatl y el Río de la Compañía.

El acuífero actualmente en explotación puede presentar entre 300 y 400 metros de espesor en sus partes más profundas. Los pozos de explotación ubicados en él son diseñados con ademe ciego en su parte superior y ranurados en la parte inferior, para evitar afectar el cuerpo de agua mineralizada.

El sistema acuífero local está constituido por un acuitardo y un acuífero confinado, cambiando su carácter hidráulico en los márgenes de la cuenca, donde actúa como libre.

El acuífero presenta un decreto de veda:

Las delegaciones de Milpa Alta y Tláhuac se encuentran vedadas de manera total desde 1954. Los municipios considerados dentro de este acuífero que se encuentran vedados de manera total son: Ayapango, Cocotitlán, Chalco, Temamatla y Tenango del Aire; parcialmente están vedados los municipios de Amecameca, Ixtapaluca, Juchitepec y Tlalmanalco; los municipios antes mencionados del Estado de México se encuentran vedados según el decreto de la Veda de la Cuenca del Valle de México del 19 de agosto de 1954, fecha de su publicación en el Diario Oficial.

### 3.5.2.1 Hidrometría

De acuerdo al censo de 194 aprovechamientos, realizado en 1990 por GRAVAMEX y a los volúmenes de extracción del censo, el agua que se extrae del acuífero Chalco-Amecameca, se utiliza principalmente para uso Público-Urbano, con un total de 107.484 Mm<sup>3</sup> anuales el segundo volumen más importante de extracción es para uso Agrícola con 16.290 Mm<sup>3</sup> anuales y el tercer uso en importancia es el uso Industrial con 3.678 Mm<sup>3</sup> anuales. De las dos delegaciones que se incluyen dentro del acuífero Chalco-Amecameca, en la Delegación Tláhuac es donde se reporta el mayor volumen de extracción con 47.762 Mm<sup>3</sup> anuales, el uso para este volumen de agua es Público-Urbano y de los diez municipios contemplados en el acuífero el mayor volumen de extracción se da en el Municipio de Ixtapaluca con una extracción de 27.208

Mm<sup>3</sup> anuales. El volumen total de extracción para el acuífero Chalco-Amecameca es de 128.379 Mm<sup>3</sup> anuales, Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Acuífero Chalco-Amecameca, extracción por uso

ACUÍFERO CHALCO-AMECAMECA									
EXTRACCIONES POR USO EN M <sup>3</sup> ANUALES									
ESTADO	MUNICIPIO	AGRÍCOLA	DOMÉSTICO	INDUSTRIAL	PÚBLICO URBANO	PECUARIO	RECREATIVO	COMERCIAL O SERVICIOS	TOTAL
DF	MILPA ALTA				22,295,952				22,295,952
DF	TLAHUAC				47,762,839				47,762,839
MEX	COCOTITLAN	69,120	12,960		1,357,339	35,478			1,474,897
MEX	CHALCO	4,108,397	4,545	27,432	17,525,608	44,172	7,523		21,717,677
MEX	IXTAPALUCA	11,932,773	1,080	2,769,393	11,738,164			766,716	27,208,126
MEX	TEMAMATLA	180,576			433,620	53,493			667,689
MEX	TENENGO DEL AIRE				4,784,011				4,784,011
MEX	TLALMANALCO			881,280	1,586,892				2,468,172
MEX	AMECAMECA								0.00
MEX	ATLAUTLA								0.00
MEX	AYAPANGO								0.00
MEX	JUCHITEPEC								0.00
	TOTAL	16,290,866	18,585	3,678,105	107,484,425	133,143	7,523	766,716	128,379,363

### 3.5.3 Acuífero Texcoco (1507), Estado de México

La división entre los acuíferos Ciudad de México y Texcoco se trazó tomando en cuenta las redes de flujo, de donde se marcó un parteaguas subterráneo que va de la sierra de Santa Catarina con dirección al noreste, pasando por el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y posteriormente, siguiendo rumbo al norte por la elevación topográfica de la sierra de Guadalupe.

El acuífero Texcoco se delimitó mediante un polígono que colinda con los acuíferos Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Chalco, Cuautitlán-Tizayuca-Pachuca y Apan.

El acuífero Texcoco presenta un déficit *-111.775911 millones de metros cúbicos anuales* reportados en el documento de actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 20 de abril de 2015, (Conagua, 2015b).

La disponibilidad media anual de agua subterránea, Tabla 3.5, corresponde a una fecha de corte en el *Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014*.

Tabla 3.5 Disponibilidad de agua subterránea acuífero Texcoco

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
1507	TEXCOCO	145.1	10.4	246.475911	183.1	0.0	-111.775911

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 109	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.04.01

El acuífero presenta un decreto de veda:

Dentro del acuífero Texcoco se considera la Delegación de Iztapalapa y 12 municipios del Estado de México, los municipios y la delegación están considerados en veda total según el decreto de Veda del Valle de México de 1954. El Decreto de Veda es el del Valle de México publicado en el Diario Oficial el 19 de agosto de 1954.

El acuífero Texcoco se considera semiconfinado debido a que se encuentra un acuitardo formado por material arcilloso con espesor superior a 60 metros en la parte central del lago de Texcoco y dicho espesor se adelgaza hacia las estribaciones de las sierras que limitan dicho acuífero.

Según los trabajos de perforación que la Conagua tiene operando en la parte baja de la cuenca del Lago de Texcoco se considera que el agua se está explotando a más de 150 metros de profundidad, debido a que el agua de los estratos superiores a 200 metros presenta alto contenido salino, así como altas concentraciones de sosa cáustica, por lo que el acuífero aprovechable es el que se encuentra entre 200 y 500 metros de profundidad.

### 3.5.3.1 Hidrometría

De acuerdo al censo 1,393 aprovechamientos, realizado en 1990 por GRAVAMEX y a los volúmenes de extracción del censo, el agua que se extrae del acuífero se utiliza principalmente para uso Público-Urbano, con un total de 376.92 Mm<sup>3</sup> anuales el segundo volumen más importante de extracción es para uso Agrícola con 43.60 Mm<sup>3</sup> anuales y el tercer uso en importancia es el uso Industrial con 37.84 Mm<sup>3</sup> anuales. La delegación Iztapalapa que se incluye dentro de este acuífero tiene el mayor volumen de extracción para uso Público Urbano con 80.57 Mm<sup>3</sup> anuales y de los 12 municipios contemplados en el acuífero el mayor volumen de extracción se da en el Municipio de Ecatepec con una extracción de 230.50 Mm<sup>3</sup> anuales. Y el principal uso para este municipio es Público Urbano. Observándose en la tabla que en el acuífero Texcoco solo se utiliza para uso recreativo 0.65 Mm<sup>3</sup> anuales, este volumen de extracción se da en el Municipio de Texcoco, Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Acuífero Texcoco, extracción por uso

ACUÍFERO TEXCOCO									
EXTRACCIONES POR USO EN M <sup>3</sup> ANUALES									
	MUNICIPIO	AGRÍCOLA	DOMÉSTICO	INDUSTRIAL	PÚBLICO URBANO	PECUARIO	RECREATIVO	COMERCIAL O SERVICIOS	TOTAL
MEX	IZTAPALAPA			533,392	80,565,970			30,067	81,129,429
MEX	ATENCO	6,904,527			1,704,657				8,609,184
MEX	CHIAUTLA	1,572,282	27,979	105,196	2,133,854				3,839,311
MEX	CHICOLOAPAN	2,534,647	83,864	37,525	2,329,406	102,657		164,394	5,252,493
MEX	CHICONCUAC	114,343	524,045		1,742,837				2,381,225
MEX	CHIMALHUACÁN	2,211,676		66,427	16,407,689	118,913		296,058	19,100,763
MEX	ECATEPEC	66,402	486,797	28,799,181	199,320,583	115,654		1,709,241	230,497,858
MEX	LA PAZ	17,625	2,777	3,551,313	31,235,627			5,256	34,812,598
MEX	NEZAHUALCÓYOTL				26,638,775				26,638,775
MEX	PAPALOTLA	786,252			126,144				912,396
MEX	TEPETLAOXTOC	1,009,789	346,721	141,350	1,190,484	16,323			2,704,667
MEX	TEXCOCO	28,381,807	445,581	4,607,712	13,523,503	910,704	64,800	1,544,895	49,479,002
	TOTAL	43,599,350	1,917,764	37,842,096	376,919,529	1,264,251	64,800	3,749,911	465,357,701

### 3.6 Conclusiones

Los acuíferos de la zona de estudio dentro del Valle de México se encuentran en un estado grave de sobreexplotación, al no existir disponibilidad de agua, y en su lugar, cada acuífero presenta un gran déficit hídrico.

Se requieren obras de captación, retención e infiltración para realizar actividades de recarga artificial. A través de estas acciones se pueden implementar proyectos para la construcción de presas de gaviones, lagunas de infiltración y recuperación de pozos abandonados para adaptarlos a pozos de inyección y así realizar la recarga artificial de los acuíferos.

### 3.7 Literatura citada

Conagua (2015). "Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zona Metropolitana de la Cd. De México (0901), Distrito Federal". Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. Distrito Federal. 31 pp.

Conagua (2015a). "Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Chalco-Amecameca (1506), Estado de México". Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. Distrito Federal. 28 pp.

Conagua (2015b). "Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Texcoco (1507), Estado de México". Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. Distrito Federal. 29 pp.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	
<p>Página 111</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.04.01</p>

Semarnat (2015). “Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación de 27 de marzo de 2015. Distrito Federal. 19 pp.

LESSER (1984). “Actividades Geohidrológicas y Geoquímicas en el Valle de México”, elaboradas para el Departamento del Distrito Federal. 1984.

Rodríguez, R. (1987). “Consideraciones preliminares, basadas en resultados geofísicos, sobre la interface agua mineralizada-agua dulce en el área de Sta. Catarina Yecahuitzol, Distrito Federal, México”. Geofísica Internacional, 26(4):573-583. México, D. F.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	 ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 112	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.C0.2.04.01

## CAPÍTULO 4

# Indicadores biológicos en la Cuenca Metropolitana del Valle de México

Participantes:

Marco Mijangos Carro

Perla Alonso Eguía Lis

Rubén Morales Pérez

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 113	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>112</b>
<b>4.1 Introducción .....</b>	<b>116</b>
<b>4.2 Objetivos .....</b>	<b>118</b>
<b>4.3 Área de estudio.....</b>	<b>118</b>
<b>4.4 Metodología.....</b>	<b>123</b>
<b>4.5 Resultados.....</b>	<b>126</b>
4.5.1.1 Monte Alegre .....	131
4.5.1.2 Cascada Eslava .....	132
4.5.1.3 Río Magdalena Cieneguilla (Chautitle Alto) .....	133
4.5.1.4 Río Magdalena La Cañada.....	134
4.5.1.5 Río Magdalena Santa Teresa .....	135
4.5.1.6 Desierto de los Leones Santa Rosa (Alto) .....	136
4.5.1.7 Desierto de los Leones Convento .....	137
4.5.1.8 Río Tlalnepantla Manantial (Alto) .....	138
4.5.1.9 Río Tlalnepantla San Luis (Ayucán).....	139
4.5.1.10 Santa Catarina.....	140
4.5.1.11 Molino de Flores .....	141
4.5.1.12 Río San Rafael Tlalmanalco Agua Dulce.....	142
4.5.1.13 Río San Rafael Tlalmanalco La Compañía .....	143
4.5.1.14 Río San Rafael Tlalmanalco UAM.....	144
4.5.1.15 La Castañeda .....	145
<b>4.6 Conclusiones.....</b>	<b>146</b>
<b>4.7 Literatura citada .....</b>	<b>146</b>
<b>4.8 Anexos .....</b>	<b>148</b>
4.8.1 Anexo Fotográfico.....	148

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 114</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Vegetación y uso de suelo de la zona estudio Cuenca Metropolitana del Valle de México.....	121
Tabla 4.2 Listado de los sitios de colecta de diatomeas en la cuenca valle de México.....	123
Tabla 4.3 Riqueza, diversidad y equitatividad por sitio.....	127
Tabla 4.4 Valor indicador de las especies por grupo de sitios.....	129

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Mapa de la Cuenca estudio, Cuenca de México y Región Hidrológico Administrativa XIII.....	119
Figura 4.2 Distribución espacial de la población total de la Cuenca de estudio de acuerdo al censo de 2010 de INEGI.....	120
Figura 4.3 Mapa de uso de suelo y vegetación de la Cuenca Metropolitana del Valle de México.....	122
Figura 4.4 Clúster de Ascendencia Jerárquica de los sitios de la Cuenca Metropolitana del Valle de México, ordenados por la abundancia relativa de las especies de diatomeas. MA= Monte Alegre; ChA= Cieneguillas; Cñ= La Cañada; ST= Santa Teresa; SRA= Santa Rosa; CDL= Convento del Desierto de los Leones; TLA= Tlalnepantla Manantial; SLA= Tlalnepantla San Luis; SC= Santa Catarina; MF= Molino de Flores; AD= Agua Dulce; LC= La Compañía; UAM= Estación UAM; Cst= Castañeda.....	128

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 4.1 Zona Poniente: Estación Monte Alegre.....	148
Fotografía 4.2 Zona Poniente: Estación río Eslava, La Cascada.....	149
Fotografía 4.3 Zona Poniente: Estación río Magdalena, Cieneguillas.....	149
Fotografía 4.4 Zona Poniente: Estación río Magdalena, La Cañada.....	150
Fotografía 4.5 Zona Poniente: Estación río Magdalena, Santa Teresa.....	150
Fotografía 4.6 Zona Poniente: Estación Desierto de los Leones, Santa Rosa.....	151
Fotografía 4.7 Zona Poniente: Estación Desierto de los Leones, Convento.....	151
Fotografía 4.8 Zona Poniente: Estación río Tlalnepantla, Manantiales.....	152
Fotografía 4.9 Zona Poniente: Estación río Tlalnepantla, San Luis.....	152
Fotografía 4.10 Zona Oriente: Estación Texcoco, Santa Catarina.....	153
Fotografía 4.11 Zona Oriente: Estación Texcoco, Molino de Flores.....	153

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	 ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 115	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.C0.2.03.01

Fotografía 4.12 Zona Oriente: Estación San Rafael Tlalmanalco, Castañeda ..... 154

Fotografía 4.13 Zona Oriente: Estación San Rafael Tlalmanalco, Agua Dulce ..... 154

Fotografía 4.14 Zona Oriente: Estación San Rafael Tlalmanalco, UAM ..... 155

Fotografía 4.15 Zona Oriente: Estación Amecameca, La Compañía ..... 155

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 116</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## 4.1 Introducción

La integridad ecológica se ha convertido en una manifestación mundial y está sólidamente establecido en la estructura reguladora del derecho ambiental principalmente en algunos países anglosajones. El resultado de la integridad ecológica necesita la ayuda de sus tres elementos: integridad física, química y biológica. En países como Estados Unidos (EU) y la Comunidad Europea (CE), las medidas de integridad química se implementaron primero en los programas de monitoreo y fueron efectivas en la reducción de las cargas de contaminantes en las aguas superficiales de esas naciones. Debido a que las comunidades biológicas integran los efectos de diferentes factores estresantes como reducción de oxígeno, exceso de nutrientes, químicos tóxicos, aumento de temperatura, carga excesiva de sedimentos y degradación del hábitat, la llegada de la bioevaluación en los programas regulatorios ha proporcionado una estrategia de monitoreo y evaluación más completa y efectiva. Las medidas de integridad biológica claramente se han convertido en una prioridad en algunas naciones anglosajonas. El desarrollo de criterios biológicos dentro de los programas regulatorios para servir como umbrales por los cuales juzgar el logro de las condiciones de vida acuática designadas de las aguas superficiales es una base importante. La consecuencia de condiciones de referencia para las aguas superficiales de cada país (es decir, arroyos, ríos, lagos, humedales, estuarios y aguas marinas) en diferentes regiones fisiográficas es un elemento crítico en el diseño de biocriterios y actualmente es una decisión primaria en naciones anglosajonas. Algunas agencias de recursos hídricos han desarrollado enfoques de bioevaluación para las corrientes de arroyos requieren evaluación en cada país. El desarrollo de bioevaluación para otros tipos de cuerpos de agua no es tan avanzado hasta la fecha. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) y la Directiva Marco del Agua (DMA), han creado guías técnicas para desarrollar programas efectivos de bioevaluación; incluyen elementos cruciales como definir objetivos, clasificar cuerpos de agua según los atributos biológicos esperados, derivar la condición de referencia de las clases de sitios, desarrollar protocolos estandarizados para muestreo y análisis de datos e implementar un plan de garantía de calidad. Los enfoques de la bioevaluación. Siguen un diseño básico que incorpora varios atributos de los elementos y procesos de la comunidad acuática, que es una agregación en un índice multimétrico o una serie de análisis multivariados que utilizan los atributos como variables de entrada. Las legislaciones de agua obligan a mantener, restaurar y proteger la integridad ecológica de las aguas superficiales. Mediante el uso de robustas bioevaluaciones y otras medidas de integridad ecológica, Países como EU y CE, han desarrollado planes estratégicos para constituir prioridades y lograr este objetivo.

Las diatomeas Basillariophyta son un grupo de organismos unicelulares, fotosintéticos pertenecientes a la a la división Heterokonphyta, distinguidas por su pared celular transparente compuesta por óxido de sílice  $\text{SiO}_2$  que se encuentra dividida en dos mitades (valvas) que encajan una en la otra como una caja de Petri.

El ciclo de vida comprende dos fases principales, una prolongada fase vegetativa en la cual la célula se divide mitóticamente y reduce gradualmente sus tallas debido a que la valva desde la cual se comienza a formar la nueva célula ya posee un tamaño definido y no puede cambiar su

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 117</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

forma ni tamaño, esta variación de talla normalmente va acompañado de cambios en la forma de la valva y menos frecuente del patrón de ornamentación (Stoermer y Ladewski 1982). La segunda fase es asexual y comprende un periodo más corto que comienza cuando se presentan las condiciones ambientales favorables para el organismo. En esta fase el organismo recobra el tamaño original por la formación de una célula especial llamada auxospora, que encuentra poco salificada con bandas que le confieren.

Estos organismos desempeñan un papel importante en todos los ecosistemas acuáticos, se distribuyen en una diversidad de hábitats, desde océanos hasta pequeños charcos o paredes húmedas, Funcionan como la base de la cadena alimenticia y principalmente como productores primarios (Wetzel 1983). En los ambientes acuáticos continentales las poblaciones no son plantónicas, incluyen organismos que crecen sobre plantas (epifíticas), rocas (epilíticas), arena (episámbricas) o sobre sedimento (epipélicas), generalmente constituyen un grupo dominante en estos ambientes, acompañados de otros grupos de algas (Round 1993).

Los ríos son sistemas muy heterogéneos espacial y temporalmente, donde la velocidad de corriente, asociada a las fuerzas físicas que esta representa, es el factor ambiental más importante que afecta la forma, tamaño, distribución y abundancia de las poblaciones (Allan 1996). Además de erosionar el sustrato y mantener en movimiento los nutrientes, acarrea materia orgánica e incorpora altas concentraciones de oxígeno disuelto al sistema (Hauer y Lamberti 1996).

Las diatomeas son el grupo más heterogéneo de las microalgas bentónicas; suelen constituir el 80–90% de la comunidad del perifiton. Son cosmopolitas y sus requerimientos ecológicos son conocidos para muchas de sus especies, y son los mismos en diferentes regiones geográficas. Tienen como ventaja adicional la buena manipulación y conservación de las muestras, lo que se debe, en parte al esqueleto de sílice el frústulo de elevada resistencia y cuyas características morfológicas son la base de la identificación de las especies.

En los ríos los factores más notables que afectan a la composición y abundancia de las diatomeas son los nutrientes principalmente fósforo y nitrógeno y la salinidad. Otros factores como la luz, la temperatura, el pH, la velocidad de la corriente y la naturaleza del sustrato pueden también causar variaciones en las comunidades de diatomeas.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 118</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## 4.2 Objetivos

**Objetivo General:** Caracterizar la variabilidad de las poblaciones de diatomeas, identificar y plantear el establecimiento del estado ecológico de las aguas superficiales, especificar los criterios para el muestreo y análisis de las diatomeas en la Cuenca Metropolitana de la Ciudad de México.

**Objetivo específico:** Determinar la variabilidad de las poblaciones de diatomeas, describir las características autoecológicas de los taxa de diatomeas colectadas en 15 sitios de muestreo, establecer la distribución de los taxones de diatomeas a partir de la delimitación de las especies y sus preferencias ambientales en los ríos colectados en la Cuenca metropolitana del valle de México.

## 4.3 Área de estudio

Conforme a la entonces Dirección de Hidrología en los años sesentas la Secretaria de Recursos Hidráulicos (SAR) quien definió la división de las regiones hidrológicas del país y la actualización permanente de estas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), menciona que la Cuenca de México pertenece a la Región Hidrológica Número 26 río Pánuco (RH26), Cuenca Río Moctezuma (D): la cual está dividida en siete subcuencas; río Cuautitlán (Dn), río Tepozotlán (Do), Lagos de Texcoco y Zumpango (Dp), río Tezontepec (Dt), y Lagos de Tochac y Tecocomulco (Du), comprende una superficie de 9,600 km<sup>2</sup>. De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (Conagua), la zona corresponde administrativamente a la Región Hidrológico Administrativa XIII (RHA XIII) y se subdivide en dos subcuencas: Subcuenca Valle de México y Subcuenca Tula.

El área de estudio comprende la Zona Metropolitana del Valle de México, con una superficie de 3,747 km<sup>2</sup> corresponde a un 39% de la superficie total de la Cuenca de México (Figura 4.1).

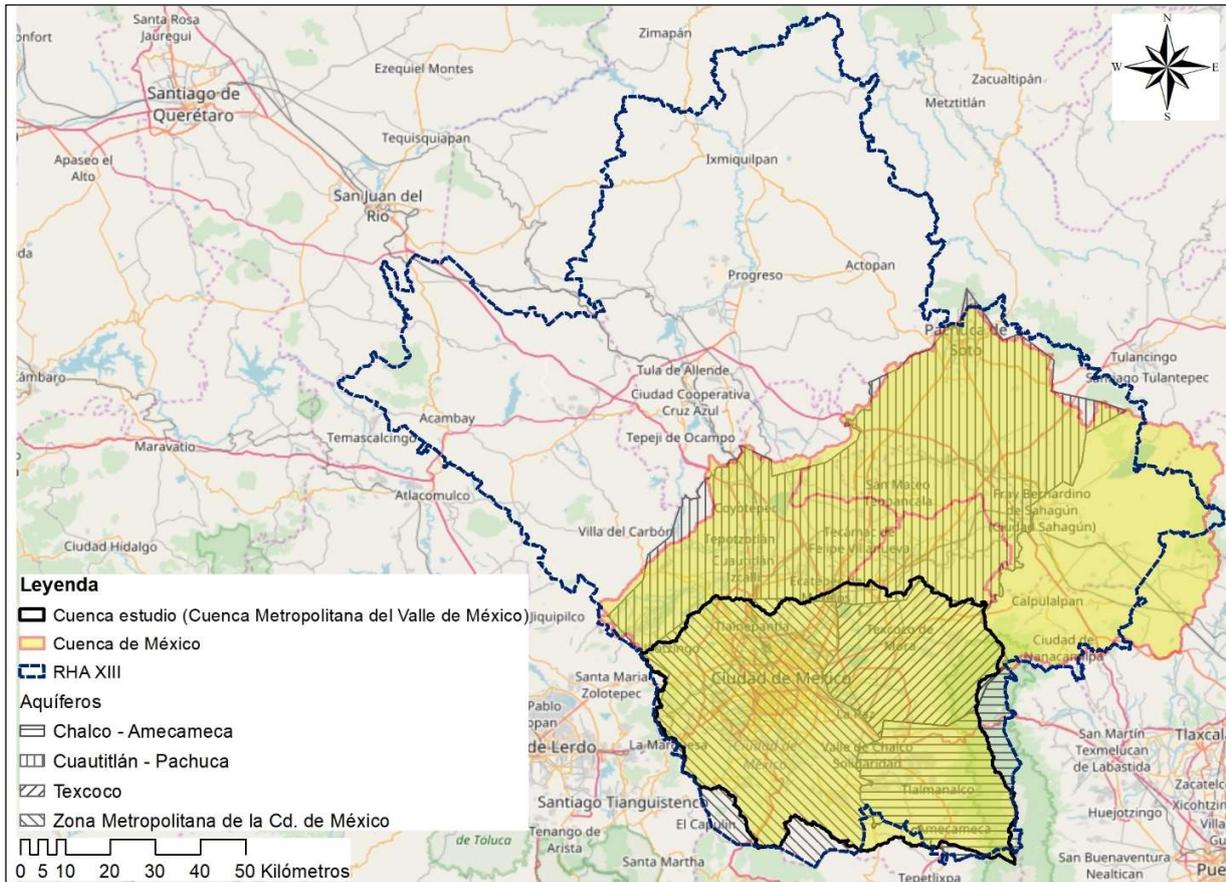


Figura 4.1 Mapa de la Cuenca estudio, Cuenca de México y Región Hidrológico Administrativa XIII

Conforme al censo de 2010 realizado por el INEGI, el área de estudio de la Cuenca Metropolitana del Valle de México posee una población total de 14'905,240 millones de habitantes, compuesta por una población rural de 327,158 habitantes siendo el 2.19%, la población mixta rural con 248,935 habitantes estando con 1.67%, la población mixta urbana con 216,579 habitantes quedando con 1.45%, y por último la población urbana con 14'112,568 habitantes teniendo un 94.68%, esta densidad urbana la población exceden las 13,500 personas/km<sup>2</sup>. Los sectores productivos secundario y terciario de la zona componen el 33.2% del producto interno bruto (PIB), por lo que el área juega un papel significativo en el país, a partir del criterio social, económico y político. No obstante, se enfrenta con reclamos de servicios fundamentales, tales como: saneamiento, energía eléctrica, educación y salud, entre otras muchas más. (Figura 4.2).

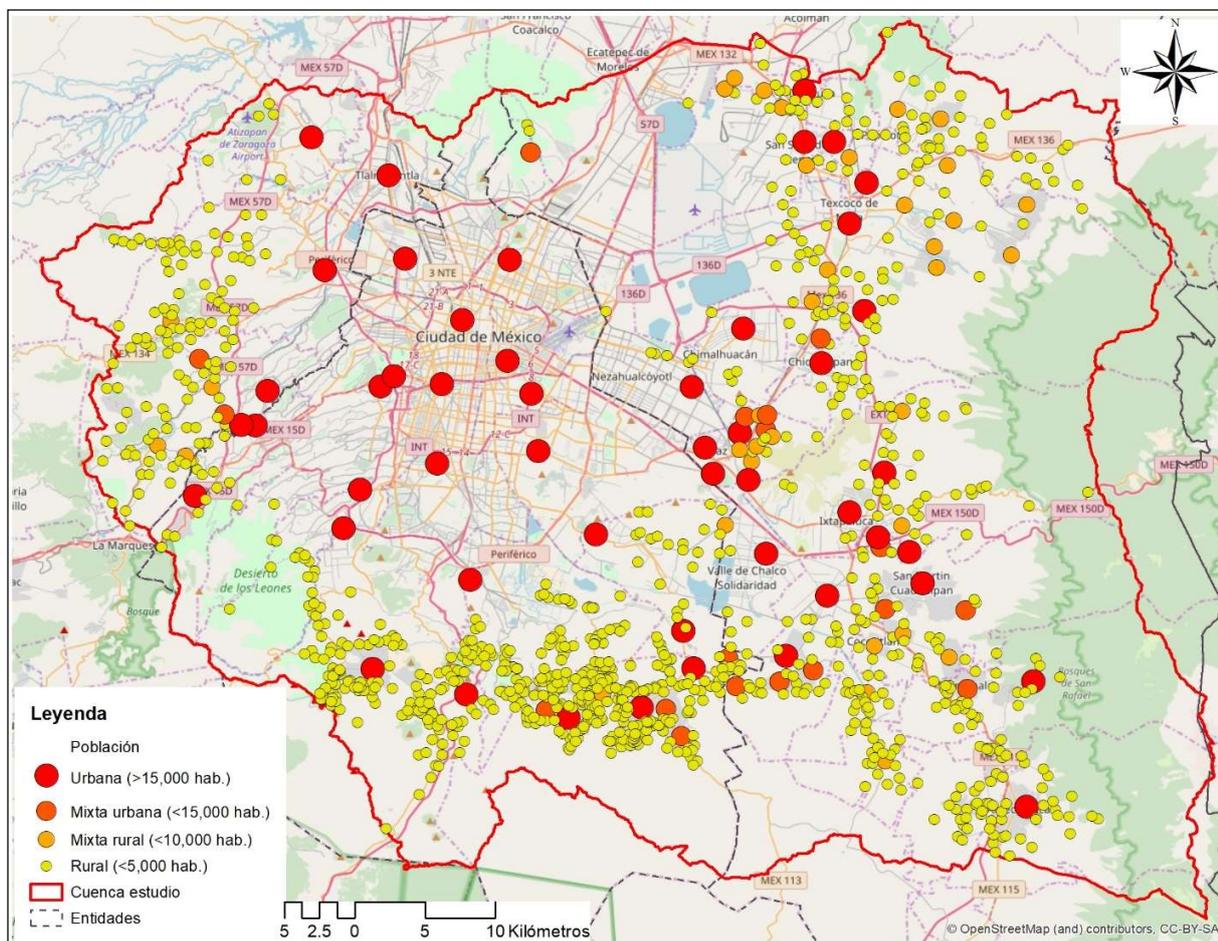


Figura 4.2 Distribución espacial de la población total de la Cuenca de estudio de acuerdo al censo de 2010 de INEGI

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 121	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

Acorde a la Comisión Nacional Forestal (Conafor) 2012, la vegetación y uso del suelo para la zona de estudio predominan principalmente bosques templados y matorrales con 979 km<sup>2</sup> siendo el 26%. El uso de suelo en el área de estudio prevalecen: la zona urbana con 1,462 km<sup>2</sup> quedando con el 39%, la agricultura de temporal y pastizales con 1,204 km<sup>2</sup> quedando con un 32%, los cuerpos de agua con 20 km<sup>2</sup> anticipando un 0.5%, y los espacios sin vegetación aparente con 81 km<sup>2</sup> constando con un 2%. (Tabla 4.1 y Figura 4.3)

Tabla 4.1 Vegetación y uso de suelo de la zona estudio Cuenca Metropolitana del Valle de México

Vegetación y uso de suelo	Sup. (ha)	Km <sup>2</sup>	Porc. (%)
Agricultura de temporal	80,792.51	807.93	21.56
Bosque cultivado	11,789.78	117.90	3.15
Bosque de ayarín	2.88	0.03	0.001
Bosque de encino	26,424.87	264.25	7.05
Bosque de encino pino	6,015.00	60.15	1.61
Bosque de oyamel	18,361.16	183.61	4.90
Bosque de pino	34,745.78	347.46	9.27
Bosque de pino encino	4,647.37	46.47	1.24
Bosque de táscate	110.13	1.10	0.03
Cuerpo de agua	2,002.80	20.03	0.53
Matorral crasicaule	4,546.59	45.47	1.21
Matorral sarcocaulé	362.56	3.63	0.10
Pastizal cultivado	131.38	1.31	0.04
Pastizal halófilo	12,483.41	124.83	3.33
Pastizal inducido	15,281.29	152.81	4.08
Pradera de alta montaña	2,640.34	26.40	0.70
Sin vegetación aparente	8,112.98	81.13	2.17
Vegetación halófila hidrófila	48.83	0.49	0.01
Zona urbana	146,202.14	1,462.02	39.02
Total	374,701.80	3,747.02	100

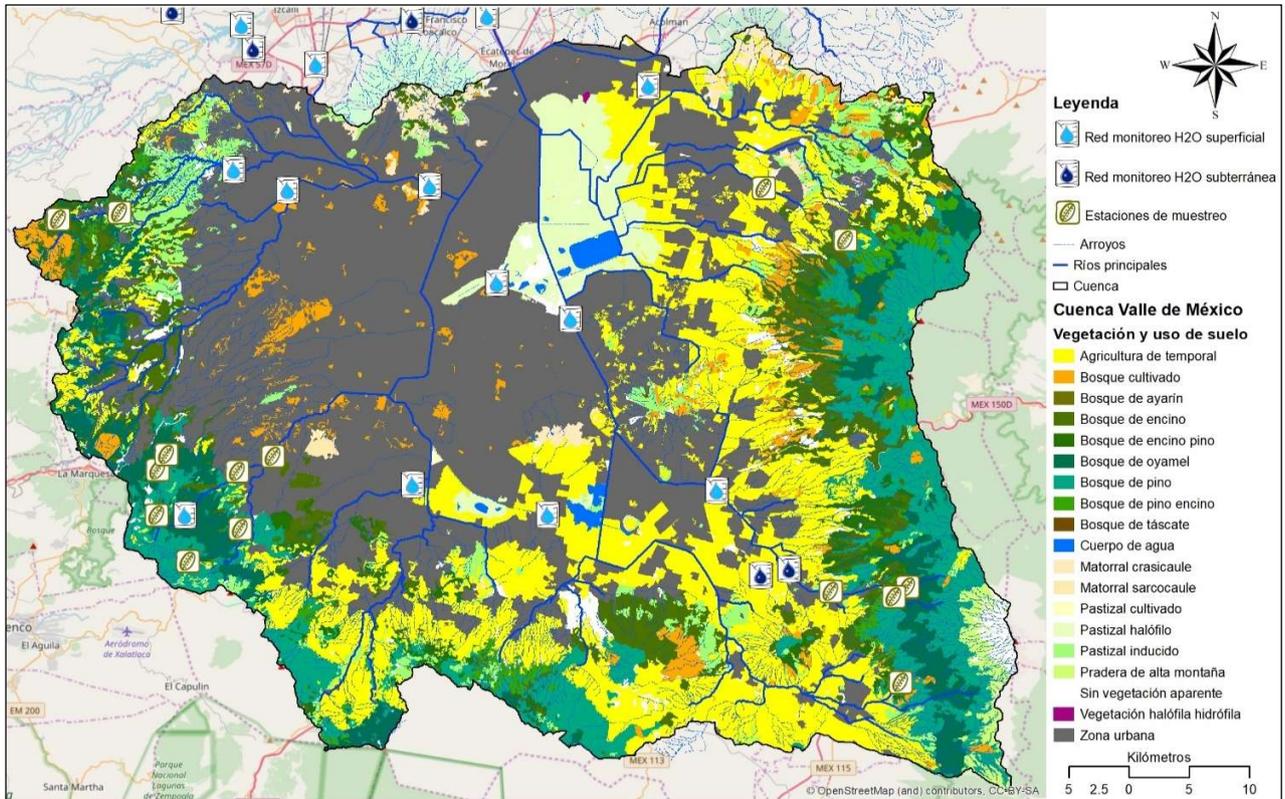


Figura 4.3 Mapa de uso de suelo y vegetación de la Cuenca Metropolitana del Valle de México

#### 4.4 Metodología

Se colectaron las diatomeas en 15 sitios de la cuenca del valle de México (Tabla 4.2), en el período del 11 al 14 de septiembre y del 20 al 24 de noviembre de 2017. La selección de los sitios de muestreo tratando de incluir zonas conservadas, semi conservadas e inicios de contaminación, parte alta, media y baja de los efluentes.

Tabla 4.2 Listado de los sitios de colecta de diatomeas en la cuenca valle de México

Subcuenca	Estación	Descripción	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud
Las Regaderas	Monte Alegre	Parte alta de la cuenca, zona muy cercana al parteaguas, río junto a un camino de terracería	19° 13' 51,0"	-99° 17' 31,6"	3,377
Río Eslava	La Cascada	Parte media-alta de la cuenca, sitio justo debajo de una gran cascada, zona con bardas a ambos lados.	19° 15' 19,3"	-99° 15' 01,8"	2,883
Río Magdalena	Cieneguillas	Parte alta de la cuenca, zona muy cercana al parteaguas, río con varias represas en su cauce.	19° 15' 55,8"	-99° 18' 59,9"	3,421
Río Magdalena	La Cañada	Parte media de la cuenca, ubicado entre el tercer Dínamo y el poblado del mismo nombre	19° 17' 55,2"	-99° 15' 11,4"	2,556
Río Magdalena	Santa Teresa	Parte media-baja de la cuenca, ubicado en la zona urbana, a 0.6 km antes del periférico. Zona perturbada.	19° 18' 36,9"	-99° 13' 29,9"	2,408
Desierto de los Leones	Santa Rosa Alto	Parte alta de la cuenca, muy cercano a la carretera de la zona.	19° 17' 58,7"	-99° 18' 58,5"	3,060
Desierto de los Leones	Convento	Parte alta de la cuenca, junto al Convento del mismo nombre, sitio ubicado después de un lago y su represa.	19° 18' 41,6"	-99° 18' 32,6"	2,909
Río Tlalnepantla	Manantial	Parte alta de la cuenca, arriba de la zona de truchas (Truchero Manzano), nacimiento de agua limpia	19° 29' 20,9"	-99° 23' 42,2"	2,990

Subcuenca	Estación	Descripción	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud
Río Tlalnepantla	San Luis	Parte media de la cuenca, pasando por el poblado San Luis Ayucan.	19° 29' 39,3"	-99° 20' 47,9"	2,591
Coaxcacoaco	Santa Catalina	Parte alta de la cuenca, la muestra se tomó junto a una pared de roca, y caída de agua	19° 28' 25,0"	-98° 46' 18,0"	2,246
Coaxcacoaco	Molino de Flores	Parte media de la cuenca, se muestreó en un parque con dicho nombre, zona perturbada, semiurbana y con basura.	19° 30' 47,0"	-98° 50' 10,2"	2,288
Río San Rafael Tlalmanalco	La Compañía	Parte alta de la cuenca, punto tomado dentro del Parque Ecoturístico Dos Aguas, es el arroyo del margen derecho.	19° 12' 40,2"	98° 43' 22,4"	2,906
Río San Rafael Tlalmanalco	Agua dulce	Parte alta de la cuenca, punto tomado dentro del Parque Ecoturístico Dos Aguas, es el arroyo del margen izquierdo	19° 12' 14,4"	-98° 44' 00,8"	2,751
Río San Rafael Tlalmanalco	UAM	Parte media de la cuenca, abajo del poblado de San Rafael, en frente de las instalaciones de la UAM.	19° 12' 29,7"	98° 47' 01,1"	2,430
Amecameca	Castañeda	Parte alta de la cuenca, tomado antes de una serie de pequeñas represas.	19° 08' 21,7"	-98° 43' 41,9"	2,660

La caracterización ambiental se obtuvo a través de los siguientes parámetros fisicoquímicos del agua: temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), conductividad eléctrica (uS/cm), iones de Hidrógeno (pH), y potencial redox (Mv), operando sonda multiparamétrica portátil marca YSI modelo 6600-D, con anticipada calibración de estándares vigentes misma marca. La velocidad de corriente ( $m/s^{-1}$ ) se realizó con un flujómetro portátil marca Flo-Mate modelo 2000. Los sitios de muestreo fueron georreferenciados con GPS marca Magellan.

El método de muestreo de los ríos seleccionados cumplen con la norma NMX-AA-014-1980. La mayoría de las muestras fueron tomadas en envases de plástico o vidrio que fueron previamente enjuagados dos veces con agua del sitio y, posteriormente, se mantuvieron a 4°C durante el transporte al laboratorio; algunas muestras fueron fijadas con ácido u otro preservador.

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 125</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

Las diatomeas se colectaron en cada sitio a lo largo de un transecto de 10 m sobre el cauce del río, tomando tres muestras (al principio, medio y final) de acuerdo a Kelly et al. (2001): i.) Las muestras se colectaron lo más lejano posible una de otra, de rocas libres de crecimiento de algas filamentosas, del centro del flujo principal del río en tramos sombreados. ii.) Los sustratos naturales no debieron estar expuestos al aire en ningún momento. iii.) Las muestras se colectaron del mismo tipo de sustrato para minimizar el efecto que tiene el sustrato en la estructura de la comunidad. iv.) Se tomó nota de las condiciones prevalecientes en el mismo sitio para una posterior interpretación de los datos.

En cada roca se cepilló (cepillo de dientes) una superficie de 10 cm para colectar las diatomeas epilíticas. Las diatomeas se preservaron tal cual se colectaron para poder ser revisadas.

Los análisis químicos se determinaron en el Laboratorio de Calidad del Agua del IMTA, SST, DBO<sub>5</sub>, DQO, SAAM, Grasas y aceites, Fósforo total (P- total) y fosfatos totales, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno de nitratos (N-NO<sub>3</sub>) y nitritos (N-NO<sub>2</sub>) Nitrógeno total, y Carbono orgánico total (COT) todos en mg/L, Turbiedad en UNT, Coliformes fecales y Coliformes totales en NMP/100ml, y Toxicidad con *Daphnia magna*.

La limpieza de las diatomeas se hizo de acuerdo con el método del peróxido caliente (Kelly et al. 2001), se colocaron las muestras en vasos de precipitado de 250 ml, se calentaron en parrilla eléctrica a una temperatura de 80 °C, hasta que su volumen fuese de 10 ml, se añadió Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al % (20 ml ó más en caso de ser necesario), calentándose a 100°C hasta terminar el proceso de digestión y finalmente se añade 10 gotas de Ácido Clorhídrico (HCL) al 10% para eliminar los carbonatos restantes. Posteriormente del proceso de digestión se realizaron lavados con agua destilada para eliminar el peróxido de las muestras, aforadas a 12 ml von agua destilada y centrifugado a 1500 r.p.m. durante 15 minutos, este proceso se repite seis veces o más, hasta eliminar el Peróxido de Hidrógeno. Las muestras se conservaron en 2 ml.

De cada muestra se realizaron tres submuestras, para la preparación de láminas permanentes se colocó una alícuota de 200 µl de la suspensión limpia sobre un cubreobjetos redondo con gota de agua destilada (200 µl), colocada previamente para distribuir homogéneamente la muestra, dejando evaporar a temperatura ambiente durante 24 horas. Estas láminas fueron utilizadas para el análisis de ensamblaje de las diatomeas por tal razón fue importante que la suspensión final tuviera densidad baja, permitiendo la fácil identificación y el conteo, si la densidad de valvas fue muy alta o con demasiado sedimento, se hicieron dos o tres diluciones (1:10 ó 1:100). Las submuestras se montaron con resina Naphrax (R.I.=1.74), y fueron etiquetado con los datos del sitio y la dilución respectiva.

Las observaciones se hicieron con microscopio óptico Olympus BX51 con contraste interferencial. Para la identificación de las especies se consideró la longitud de los ejes apical y transapical y la densidad de estrías de µm, además de características como la forma de la valva,

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 126</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

de los ápices, del área axial y central, el tipo de valva y de rafe. El número de valvas medidas por taxón (n) es mostrado.

Para la determinación de las abundancias relativas se contabilizó un mínimo de 400 valvas por lamina en recorridos transversales completos por triplicado por sitio (Pan, 2006), lo que resultó en un mínimo de 1200 valvas por sitio.

Cada taxón quedó reunido que incluye: los caracteres morfológicos; formas de la valva; forma del ápice; área axial; área central; estructura del rafe; fíbulas/10  $\mu\text{m}$ ; estrías/10  $\mu\text{m}$ ; puntos/10  $\mu\text{m}$ ), ciertas observaciones de la distribución en la cuenca del valle de México, así como la afinidad ambiental. También la abundancia haciendo referencia a la localidad distinta del resto a las condiciones ambientales.

El análisis de datos se realizó en primer lugar de acuerdo a la riqueza y diversidad obtenida por sitio de colecta y/o subcuenca: a) se realizó la riqueza específica (S) en cada sitio de colecta y por grupos taxonómicos en la cuenca. b) se analizaron los valores de diversidad de Shannon Wiener (H') y dominancia (J') por sitio).

El análisis estadístico: 1) se calculó el coeficiente de variación para determinar la importancia de las variables fisicoquímicas relacionadas con la heterogeneidad de condiciones ambientales en la cuenca del valle de México. 2) se realizó un análisis de Ascendencia Jerárquica (CAJ) para determinar la afinidad entre las características fisicoquímicas y ambientales de los sitios de colecta. 3) se realizó un análisis de Ascendencia Jerárquica (CAJ) para determinar la afinidad entre las abundancias de especie de los sitios de colecta. 4) se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) para determinar la correlación entre especies, los sitios de colecta y las variables fisicoquímicas y ambientales.

La distribución: i) se realizó el número de especies frecuentes en la cuenca del valle de México contra los taxones exclusivos de un solo sitio de colecta. ii) se realizó el número de taxones abundantes en la cuenca del valle de México. iii) se analizaron los ensambles de las comunidades de diatomeas en cada subcuenca.

## 4.5 Resultados

Diatomeas como bioindicadores en la Cuenca Metropolitana del Valle de México.

En la tabla 4.3 se presentan los resultados de los valores de riqueza de especies por sitio, así como los valores del índice de diversidad de Shannon Wiener y de equitatividad de Pielou. Los valores de riqueza de especies y diversidad se encuentran en función de las 400 valvas contadas en cada sitio.

Las comunidades de diatomeas estudiadas dividieron a los sitios en cuatro grupos de acuerdo con la abundancia relativa de las especies presentadas en el análisis de ascendencia jerárquica

F.CO.2.03.01

(Fig. 4.4), encontrando en el grupo 1 los sitios de Monte Alegre, Cieneguillas, La Cañada y Santa Rosa, todos estos corresponden a las partes altas de los ríos con buena calidad. En el grupo 2 se encuentran los sitios Santa Catarina, Convento del Desierto de los Leones, Cascada Eslava y San Luis Ayucán, representando localidades en tramos intermedios de los ríos con calidad intermedia. En el grupo 3 se encuentran los sitios Santa Teresa, Estación UAM y Molino de Flores, correspondiendo a las localidades de las partes bajas de los ríos con la peor calidad. Finalmente, en el grupo 4 se encuentran los sitios Agua Dulce, La Compañía, La Castañeda y Tlalnepantla Manantial, correspondiendo a sitios de buena calidad, aunque con condiciones del medio diferentes a las del grupo 1, típicas de esta región de la Cuenca Metropolitana del Valle de México.

Tabla 4.3 Riqueza, diversidad y equitatividad por sitio

Sitio	Fecha	Riqueza (S)	Diversidad (H')	Equitatividad (J')
Monte Alegre	11/09/17	21	2.00	0.65
La Cascada Eslava	11/09/17	25	2.30	0.71
Magdalena Cieneguillas	12/09/17	26	1.96	0.60
Magdalena La Cañada	12/09/17	13	1.05	0.39
Magdalena Santa Teresa	11/09/17	37	2.80	0.77
D.L. Santa. Rosa	12/09/17	28	1.70	0.51
D.L: Convento	12/09/17	24	2.00	0.63
Tlalnepantla Manantial	13/09/17	20	2.30	0.77
Tlalnepantla San Luis	13/09/17	31	2.60	0.76
Santa Catarina	13/09/17	24	2.60	0.82
Molino de Flores	13/09/17	10	1.60	0.69
San Rafael Agua Dulce	14/09/17	18	1.90	0.66
San Rafael La Compañía	14/09/17	27	2.00	0.61
San Rafael UAM	14/09/17	31	2.10	0.61
La Castañeda	14/09/17	23	1.80	0.57

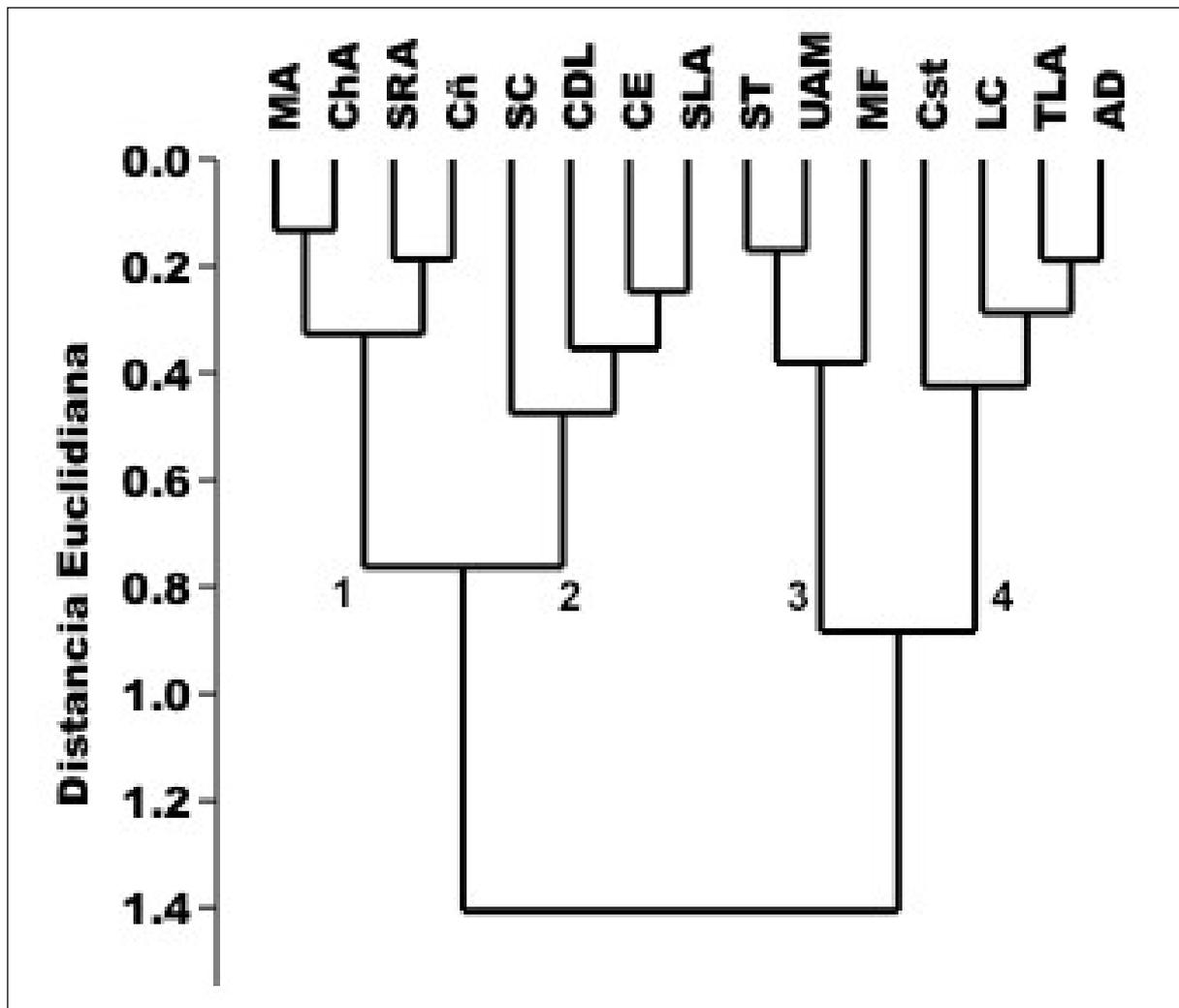


Figura 4.4 Clúster de Ascendencia Jerárquica de los sitios de la Cuenca Metropolitana del Valle de México, ordenados por la abundancia relativa de las especies de diatomeas. MA= Monte Alegre; ChA= Cieneguillas; Cñ= La Cañada; ST= Santa Teresa; SRA= Santa Rosa; CDL= Convento del Desierto de los Leones; TLA= Tlalnepantla Manantial; SLA= Tlalnepantla San Luis; SC= Santa Catarina; MF= Molino de Flores; AD= Agua Dulce; LC= La Compañía; UAM= Estación UAM; Cst= Castañeda.

Con la división anterior de los sitios, se realizó un análisis del valor indicador de las especies (Deufrêne & Legendre 1997), los valores de las especies ordenados por grupos se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Valor indicador de las especies por grupo de sitios

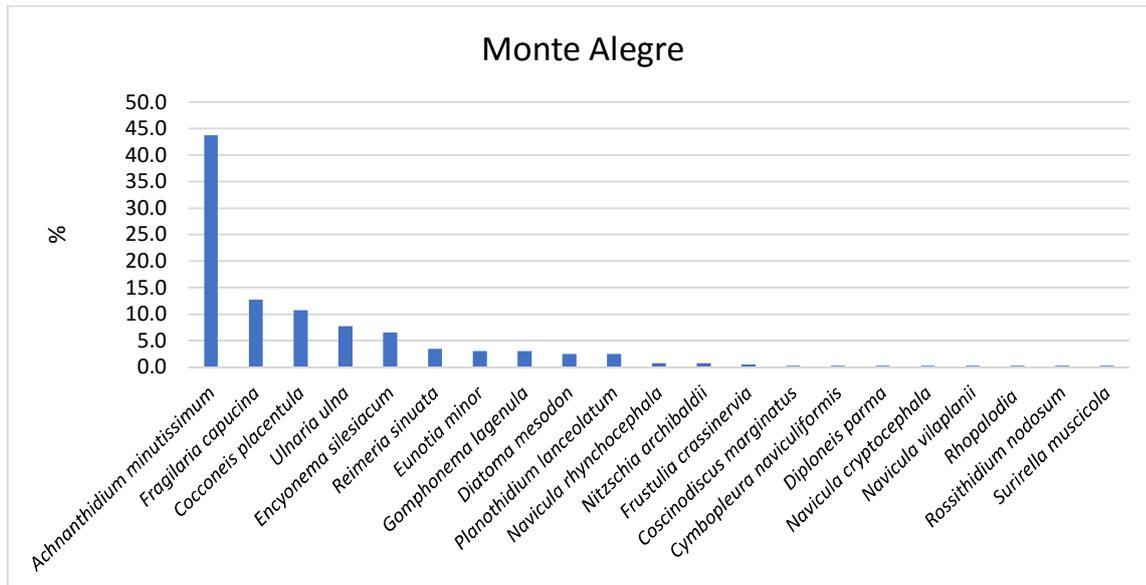
Taxa/Grupo	IndVal (%)			
	1	2	3	4
<i>Ulnaria ulna</i>	67.0	2.0	0.0	0.6
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	61.1	25.3	4.0	7.6
<i>Fragilaria capucina</i>	53.5	7.6	10.1	1.7
<i>Navicula rhynchocephala</i>	40.6	23.0	0.0	0.0
<i>Gomphonema lagenula</i>	40.1	5.0	0.0	0.0
<i>Encyonema silesiacum</i>	38.5	19.9	2.5	0.3
<i>Reimeria sinuata</i>	33.8	21.5	4.8	15.2
<i>Nitzschia paleacea</i>	31.2	4.3	6.8	0.0
<i>Nitzschia linearis</i>	28.4	19.4	7.7	0.0
<i>Eunotia minor</i>	25.0	0.0	0.0	0.0
<i>Nitzschia perminuta</i>	25.0	0.0	0.0	0.0
<i>Nitzschia dissipata</i>	17.6	0.5	9.1	0.0
<i>Nitzschia incognita</i>	17.2	0.0	10.4	0.0
<i>Nitzschia solgensis</i>	2.4	69.1	5.5	1.2
<i>Sellaphora seminulum</i>	0.0	61.8	15.6	0.5
<i>Cocconeis placentula</i>	29.7	36.8	3.3	28.5
<i>Amphora pediculus</i>	0.0	35.8	0.0	14.2
<i>Gomphonema parvulum</i>	0.7	34.3	28.8	0.0
<i>Navicula cryptotenella</i>	7.5	33.2	13.5	31.5
<i>Diatoma mesodon</i>	9.1	32.9	8.6	1.6
<i>Eolimna minima</i>	1.9	32.5	4.6	12.9
<i>Achnantheidium exiguum</i>	4.8	26.7	14.2	7.8
<i>Cocconeis pediculus</i>	0.0	25.0	0.0	0.0
<i>Navicula gregaria</i>	24.4	22.2	16.2	10.2
<i>Encyonema minutum</i>	3.3	21.7	0.0	0.0
<i>Caloneis bacillum</i>	3.8	19.3	0.0	1.9
<i>Nupela sp.</i>	0.0	13.3	2.7	9.7
<i>Nitzschia palea</i>	0.0	7.5	90.0	0.0
<i>Sellaphora cosmopolitana</i>	0.1	9.6	86.8	0.0
<i>Nitzschia communis</i>	0.0	2.5	60.1	0.0
<i>Halamphora montana</i>	0.0	2.5	60.1	0.0
<i>Fistulifera saprophila</i>	0.0	22.2	55.6	0.0
<i>Humidophila contenta</i>	0.0	22.3	36.9	0.0
<i>Mayamaea atomus</i>	0.0	0.0	33.3	0.0
<i>Nitzschia capitellata</i>	0.0	0.0	33.3	0.0

Taxa/Grupo	IndVal (%)			
	1	2	3	4
<i>Sellaphora pupula</i>	0.0	0.0	33.3	0.0
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	0.0	0.0	33.3	0.0
<i>Ulnaria acus</i>	0.0	0.0	33.3	0.0
<i>Craticula subminuscula</i>	0.0	3.8	28.3	0.0
<i>Navicula veneta</i>	0.0	7.2	23.7	0.0
<i>Nitzschia soratensis</i>	16.0	16.3	23.5	0.0
<i>Nitzschia pusilla</i>	0.0	10.1	14.5	8.0
<i>Mayamaea lacunolaciniata</i>	0.0	0.0	0.0	100.0
<i>Nitzschia inconspicua</i>	0.0	3.6	0.0	85.8
<i>Planothidium lanceolatum</i>	7.7	9.9	5.5	74.1
<i>Adlafia minuscula</i>	0.0	8.1	0.0	67.7
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	3.6	19.1	6.0	64.7
<i>Adlafia tridentula</i>	0.0	0.0	8.0	57.1
<i>Planothidium frequentissimum</i>	4.0	12.4	29.8	30.7
<i>Cavinula pseudoscutiformis</i>	0.0	0.0	0.0	25.0
<i>Nitzschia sp.</i>	0.0	0.0	0.0	25.0
<i>Geissleria acceptata</i>	4.6	0.0	0.0	20.4

A continuación, se presenta un resumen de la estructura de las comunidades de los sitios analizados.

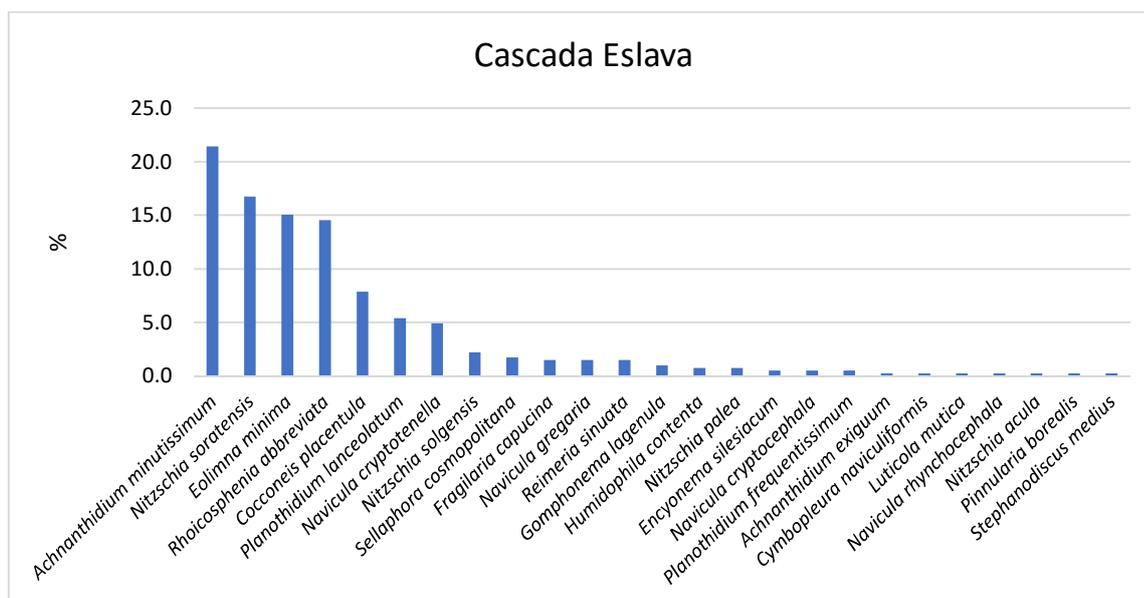
#### 4.5.1.1 Monte Alegre

En esta localidad las especies dominantes fueron *Achnanthydium minutissimum* y *Fragilaria capucina*, típicas de ríos de montaña con buena calidad.



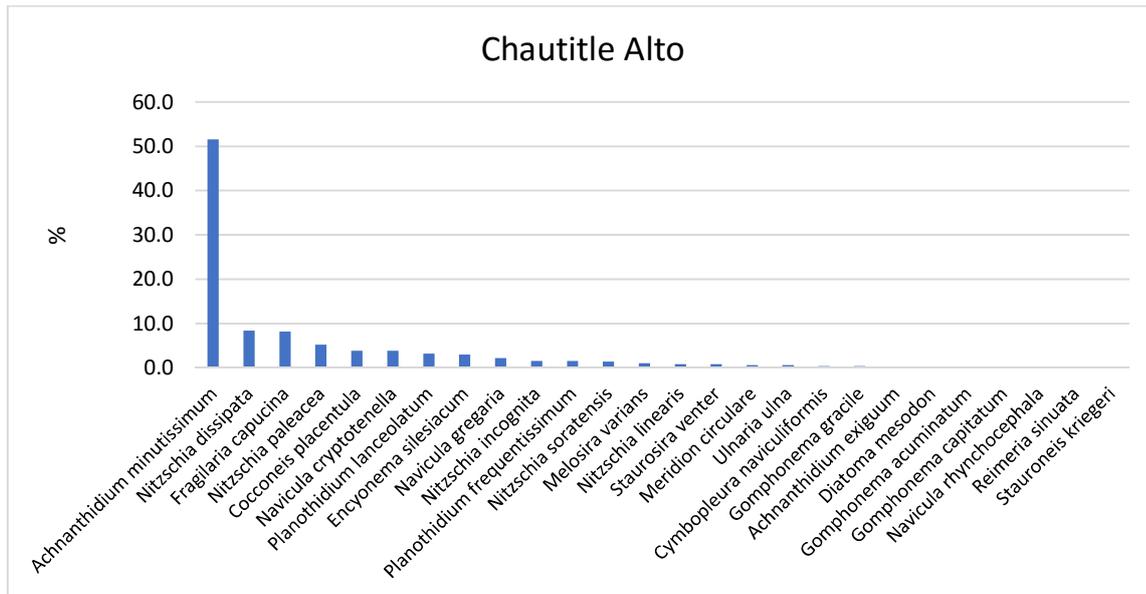
#### 4.5.1.2 Cascada Eslava

En esta localidad de entre las especies abundantes destacan *Achnanthydium minutissimum* y *Rhoicosphenia abbreviata* como indicadoras de buena calidad, así como *Nitzschia soratensis* y *Eolimna minima* como indicadoras de calidad intermedia.



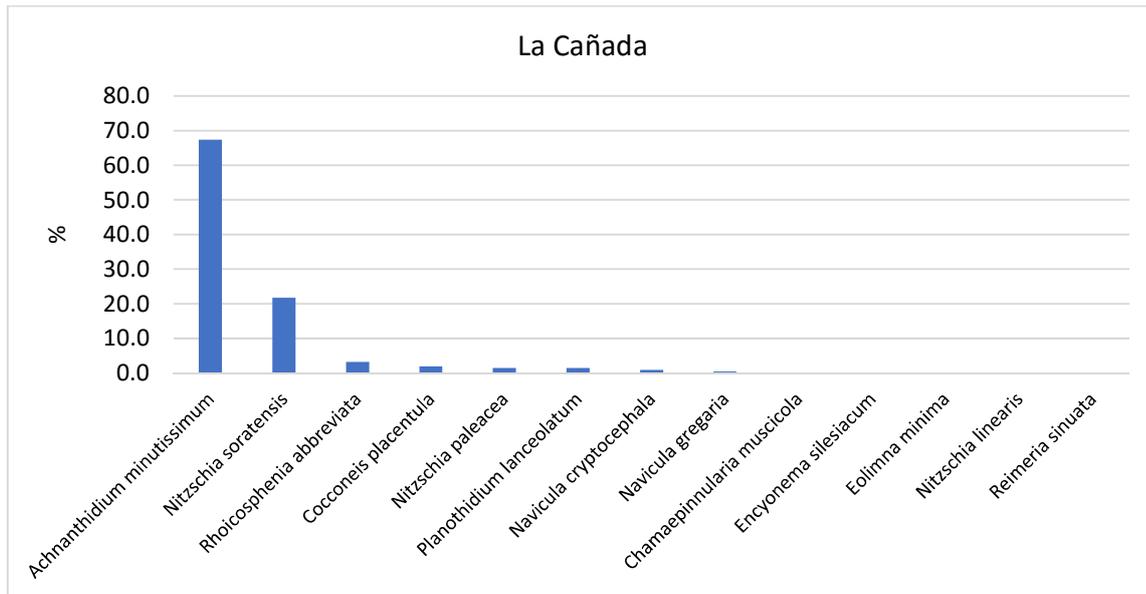
#### 4.5.1.3 Río Magdalena Cieneguilla (Chautitle Alto)

En esta localidad la especie dominante fue *Achnanthydium minutissimum*, indicadora de buena calidad.



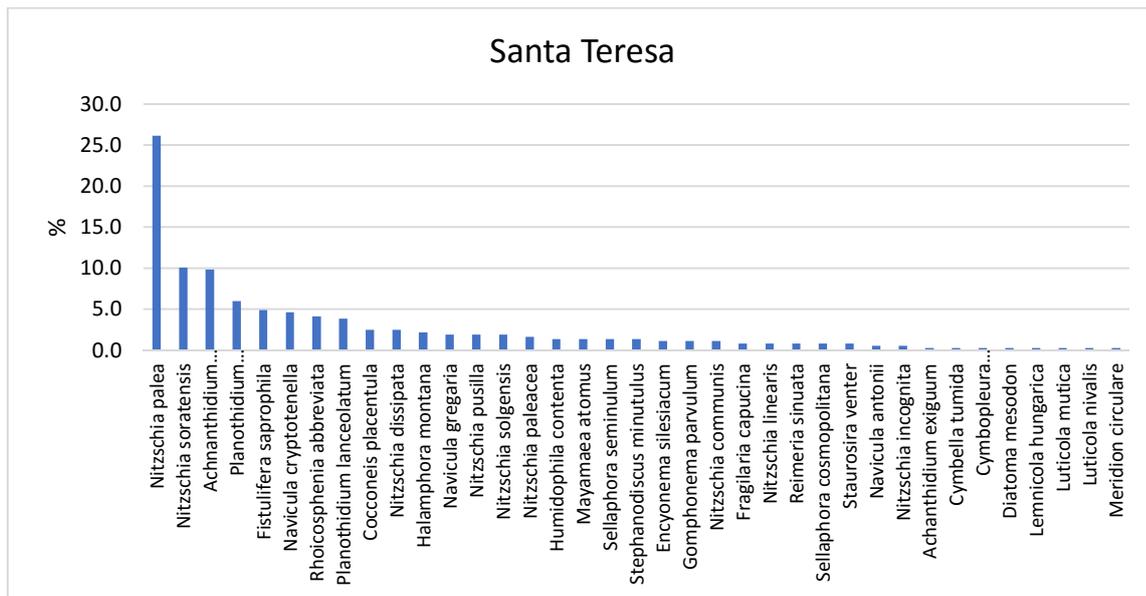
#### 4.5.1.4 Río Magdalena La Cañada

En esta localidad las especies dominantes fueron *Achnanthydium minutissimum*, indicadora de buena calidad, y *Nitzschia soratensis*, indicadora de calidad intermedia.



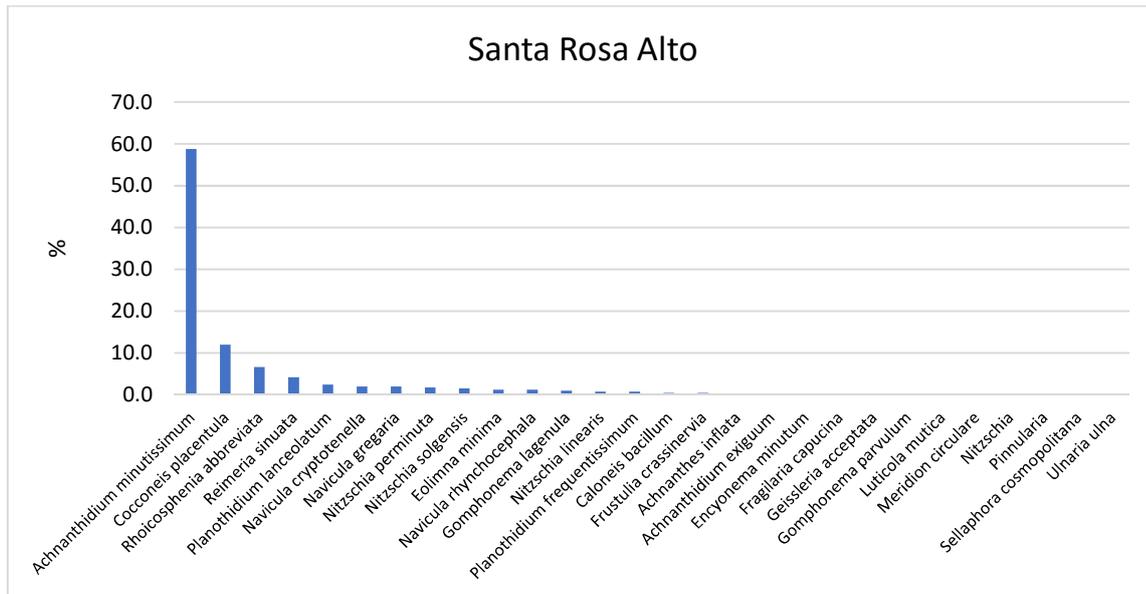
#### 4.5.1.5 Río Magdalena Santa Teresa

En esta localidad las especies dominantes fueron *Nitzschia palea*, indicadora de mala calidad, *N. soratensis*, indicadora de calidad intermedia y *Achnanthisdium minutissimum*, indicadora de buena calidad.



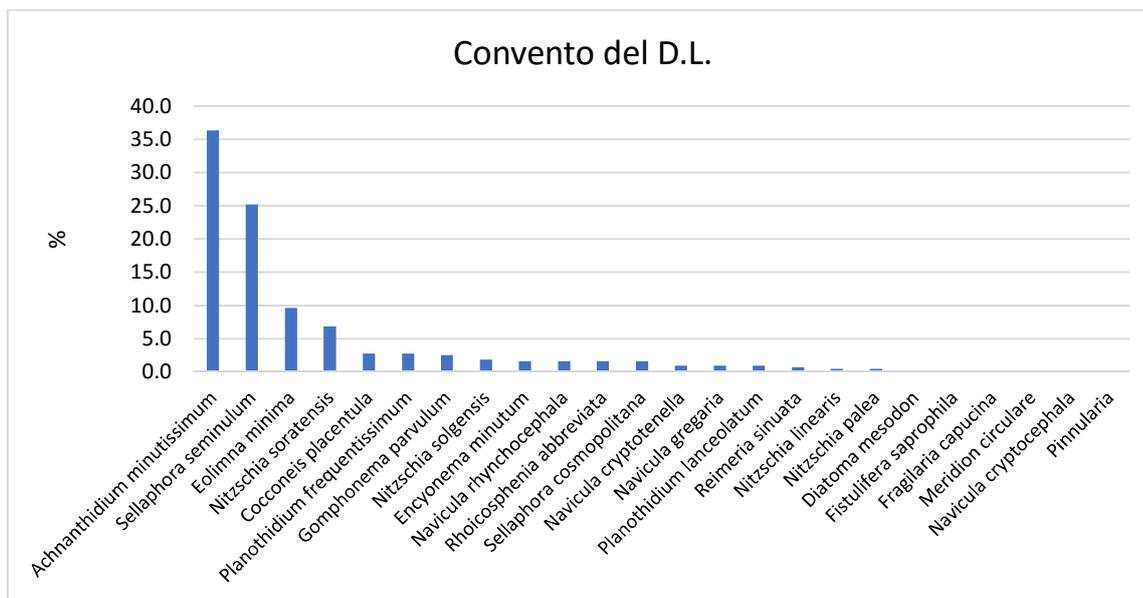
#### 4.5.1.6 Desierto de los Leones Santa Rosa (Alto)

En esta localidad la especie dominante fue *Achnanthydium minutissimum*, indicadora de buena calidad.



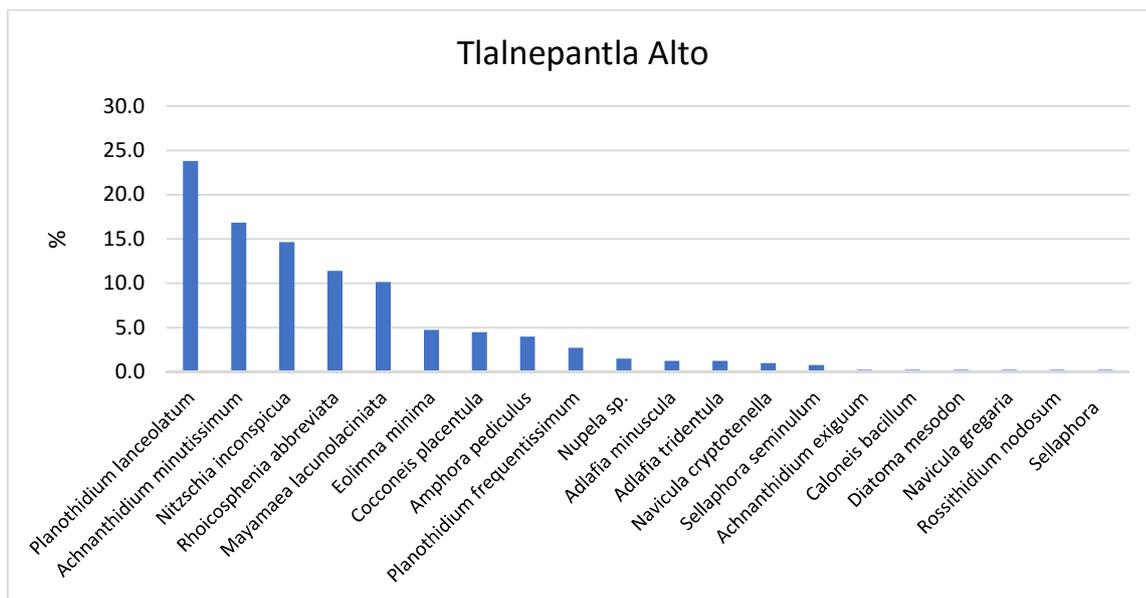
#### 4.5.1.7 Desierto de los Leones Convento

En esta localidad las especies dominantes fueron *Achnanthydium minutissimum*, indicadora de buena calidad, *Sellaphora seminulum*, *Eolimna minima* y *Nitzschia soratensis*, todas indicadoras de calidad intermedia.



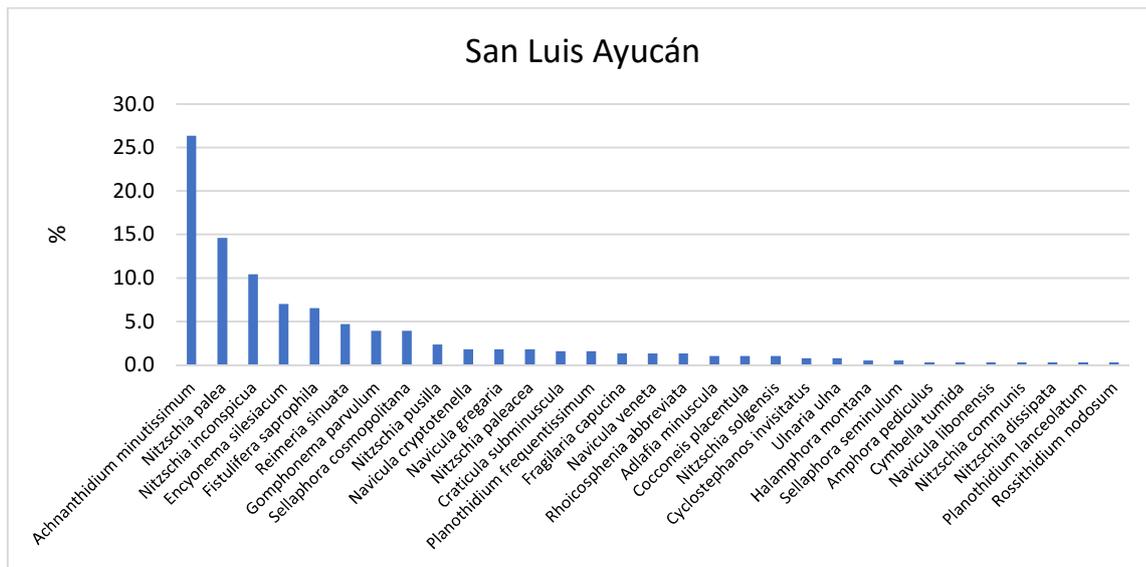
#### 4.5.1.8 Río Tlalnepantla Manantial (Alto)

En esta localidad las especies dominantes fueron *Planothidium lanceolatum*, *Achnanthyidium minutissimum*, *Rhoicosphenia abbreviata* y *Mayamaea lacunolaciniata*, todas indicadoras de buena calidad, y *Nitzschia inconspicua*, indicadora de calidad intermedia.



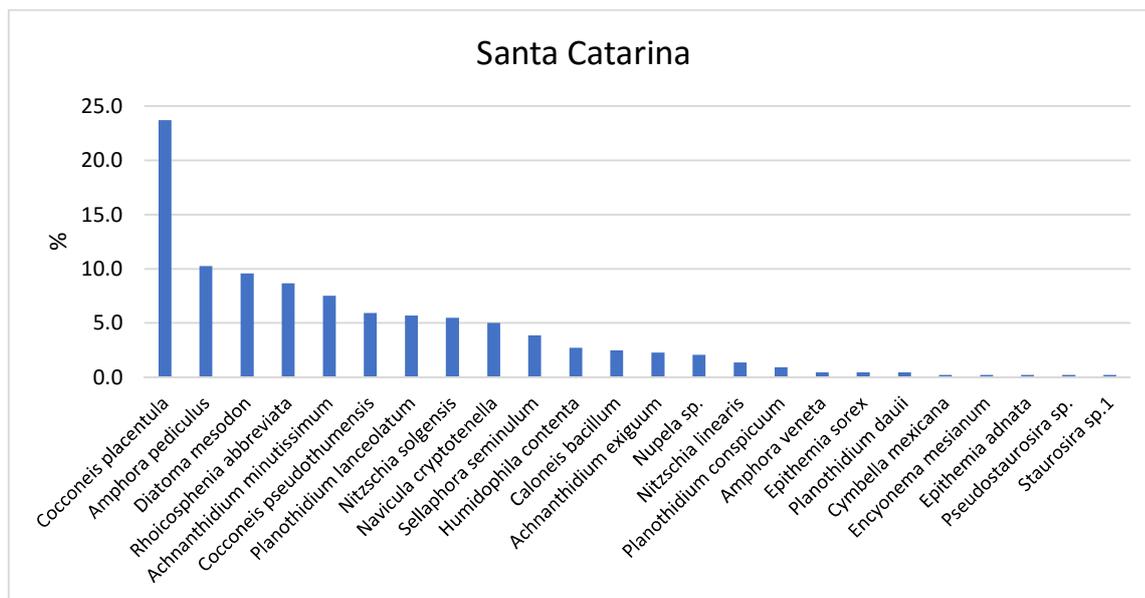
#### 4.5.1.9 Río Tlalnepantla San Luis (Ayucán)

En esta localidad las especies dominantes fueron *Achnanthydium minutissimum*, indicadora de buena calidad, *Nitzschia palea*, indicadora de mala calidad y *Nitzschia intermedia*, indicadora de calidad intermedia.



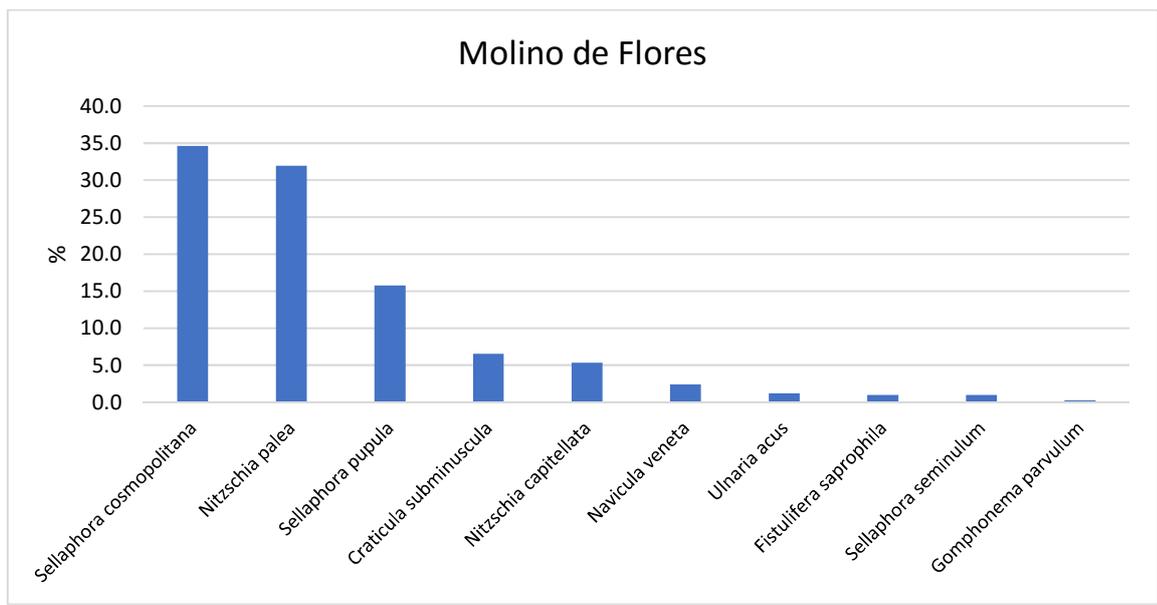
#### 4.5.1.10 Santa Catarina

En esta localidad las especies dominantes fueron *Cocconeis placentula*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Achnanthydium minutissimum*, indicadores de buena calidad, *Amphora pediculus*, *Diatoma mesodon* y *Cocconeis pseudothumensis*, indicadores de calidad intermedia.



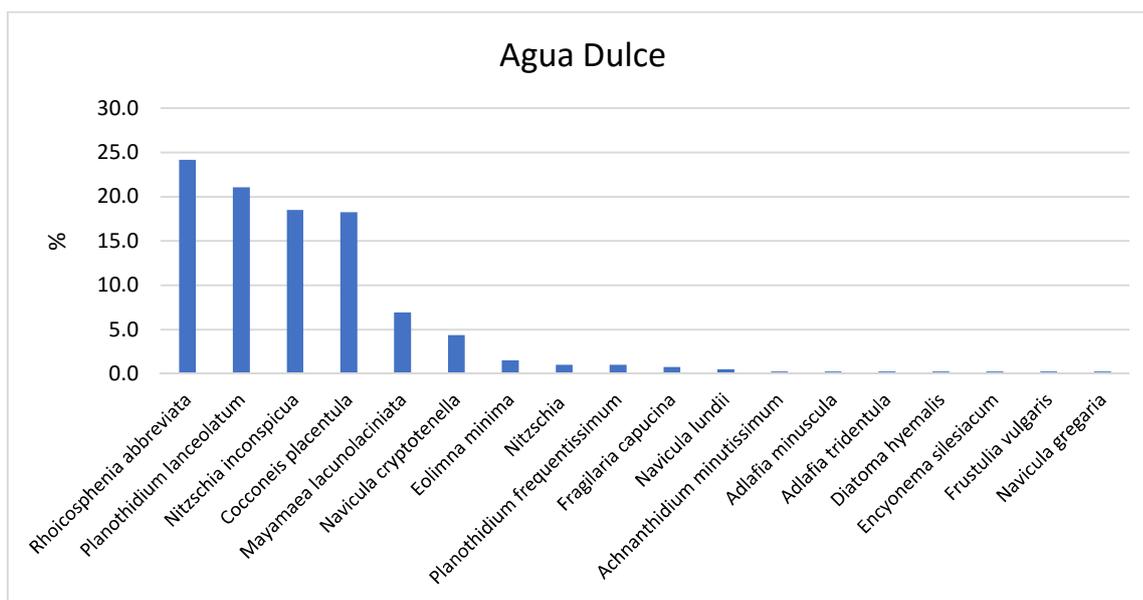
#### 4.5.1.11 Molino de Flores

En esta localidad las especies dominantes fueron *Sellaphora cosmopolitana*, *S. pupula* y *Nitzschia palea*, todas indicadoras de mala calidad.



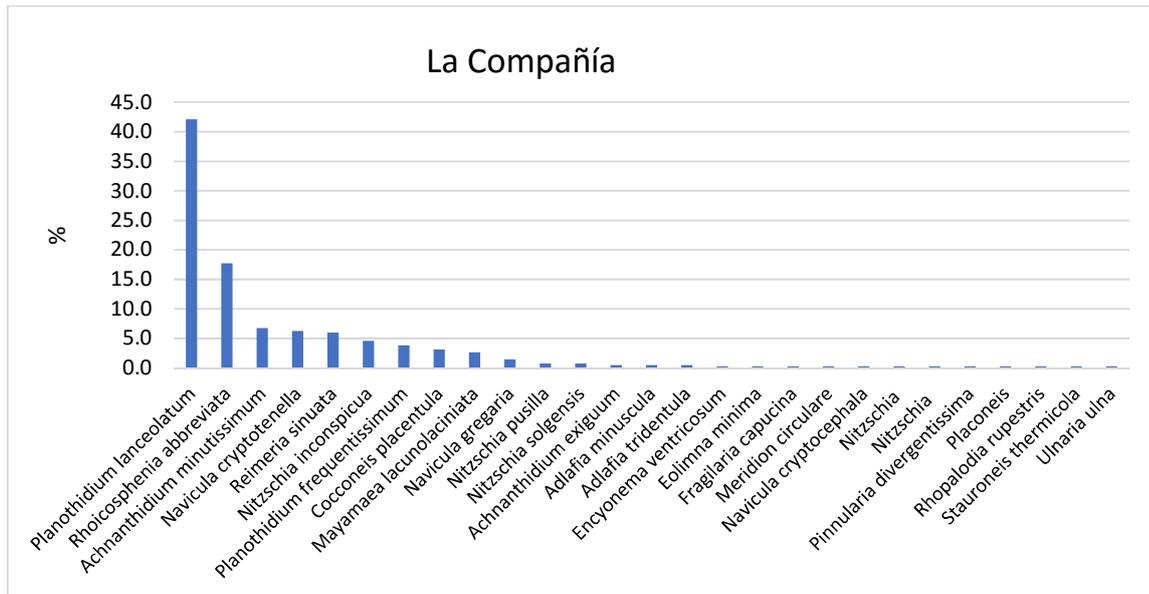
#### 4.5.1.12 Río San Rafael Tlalmanalco Agua Dulce

En esta localidad las especies dominantes fueron *Rhicosphenia abbreviata*, *Planothidium lanceolatum*, *Cocconeis placentula*, indicadoras de buena calidad, y *Nitzschia inconspicua*, indicadora de calidad intermedia.



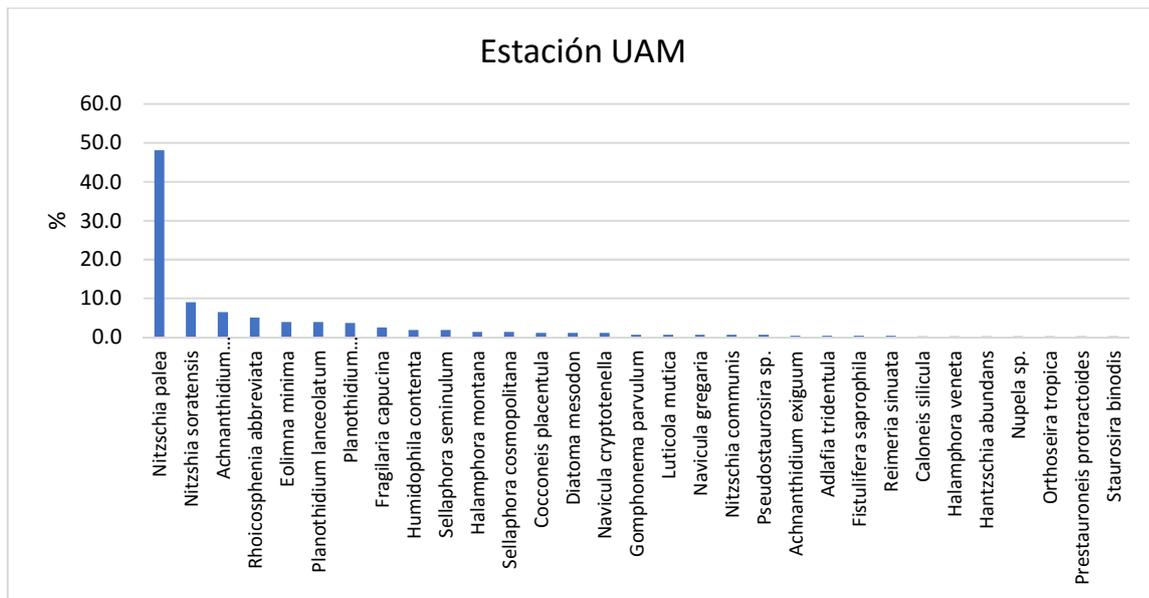
#### 4.5.1.13 Río San Rafael Tlalmanalco La Compañía

En esta localidad las especies dominantes fueron *Planothidium lanceolatum* y *Rhoicosphenia abbreviata*, ambas indicadoras de buena calidad.



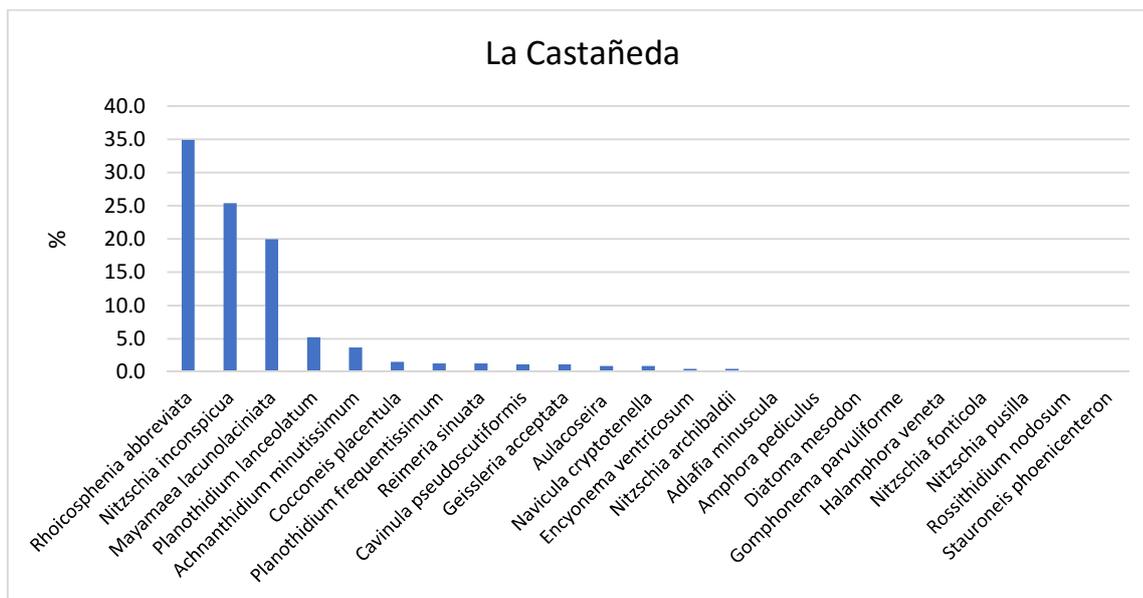
#### 4.5.1.14 Río San Rafael Tlalmanalco UAM

En esta localidad la especie dominante fue *Nitzschia palea*, indicadora de mala calidad.



#### 4.5.1.15 La Castañeda

En esta localidad las especies dominantes fueron *Rhoicosphenia abbreviata*, *Mayamaea lacunolaciniata*, indicadoras de buena calidad, y *Nitzschia inconspicua*, indicadora de calidad intermedia.



 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 146	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## 4.6 Conclusiones

Las comunidades de diatomeas de los 15 sitios analizados permitieron la distinción de 4 grupos de sitios, la autoecología de las especies de los grupos encontrados permitió el reconocimiento de la calidad del ecosistema en los sitios. Los sitios Agua Dulce, La Compañía, Tlalnepantla Manantial y La Castañeda presentando una buena calidad del ecosistema de acuerdo con la autoecología de las especies del grupo 4. Los sitios Monte Alegre, Cieneguillas, La Cañada y Santa Rosa presentaron comunidades típicas de buena a intermedia calidad del ecosistema de acuerdo con la autoecología de las especies del grupo 1. Los sitios Santa Catarina, Tlalnepantla San Luis, Cascada Eslava y el Convento del Desierto de los Leones presentaron comunidades típicas de ecosistemas de calidad intermedia por la autoecología de las especies del grupo 2. Finalmente, los sitios Santa Teresa, Estación UAM y Molino de Flores presentaron una mala calidad del ecosistema debido a la autoecología de las especies del grupo 3.

## 4.7 Literatura citada

- Bey, M. & Ector, L. (2013). *Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes*. Tome 1-6. Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes. France.
- Hofmann, G., Lange-Bertalot, H. & Werum, M. (2013). *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. Bestimmungsflora Kieselalgen für die ökologische Praxis Über 700 der häufigsten Arten und ihre Ökologie*. (Ed.) Lange-Bertalot, H. Koeltz Scientific Books. Königstein. Germany.
- Kelly, M.G., Penny, C.J. & Whitton, B.A. (1995). A comparative performance of benthic diatom indices used to assess river water quality. *Hydrobiologia*, 302, 179-188.
- Krammer, K. (2000). *Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. The genus Pinnularia. Vol. 1*. Koeltz scientific Books, Koenigstein, Germany.
- Lange-Bertalot, H. (2001). *Navicula sensu stricto, 10 Genera separated from Navicula sensu lato, Frustulia*. In Lange-Bertalot, H. (Ed.) *Diatoms of Europe*, 2. A.R.G. Gantner Verlag, K.G., Ruggell.
- Lange-Bertalot, H., Cavacini, P., Tagliaventi, N. & Alfinito, S. (2003). *Diatoms of Sardinia. Rare and 76 new species in rock pools and other ephemeral waters*. *Iconographia Diatomologica* 12. Koeltz scientific Books, Koenigstein, Germany.

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 
Página 147	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. (1998). *Tropical diatoms of South America I*. Iconographia Diatomologica 5. Koeltz scientific Books, Koenigstein, Germany.
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. (2007). *Tropical Diatoms of South America II. Special remarks on biogeography disjunction*. Iconographia Diatomologica 18. Koeltz scientific Books, Koenigstein, Germany.
- Rumrich, U., Lange-Bertalot, H. & Rumrich, M. (2000). *Diatoms of the Andes: From Venezuela to Patagonia/Tierra del fuego and two additional contributions*. Iconographia Diatomológica, Volume 9. Koeltz scientific Books, Koenigstein, Germany.
- Salinas-Camarillo, V.H. (2015). *Taxonomía y distribución de las diatomeas epilíticas de ríos en la Cuenca de México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Werum, M. & Lange-Bertalot, H. (2004). *Diatoms in springs from central Europe and elsewhere under the influence of hydrogeology and anthropogenic impacts*. Iconographia Diatomologica 13. Koeltz scientific Books, Koenigstein, Germany.
- Dufrêne, M. & Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*. 67(3), 345-366.

## 4.8 Anexos

### 4.8.1 Anexo Fotográfico



Fotografía 4.1 Zona Poniente: Estación Monte Alegre



Fotografía 4.2 Zona Poniente: Estación río Eslava, La Cascada



Fotografía 4.3 Zona Poniente: Estación río Magdalena, Cieneguillas



Fotografía 4.4 Zona Poniente: Estación río Magdalena, La Cañada



Fotografía 4.5 Zona Poniente: Estación río Magdalena, Santa Teresa



Fotografía 4.6 Zona Poniente: Estación Desierto de los Leones, Santa Rosa



Fotografía 4.7 Zona Poniente: Estación Desierto de los Leones, Convento



Fotografía 4.8 Zona Poniente: Estación río Tlalnepantla, Manantiales



Fotografía 4.9 Zona Poniente: Estación río Tlalnepantla, San Luis



Fotografía 4.10 Zona Oriente: Estación Texcoco, Santa Catarina



Fotografía 4.11 Zona Oriente: Estación Texcoco, Molino de Flores



Fotografía 4.12 Zona Oriente: Estación San Rafael Tlalmanalco, Castañeda



Fotografía 4.13 Zona Oriente: Estación San Rafael Tlalmanalco, Agua Dulce



Fotografía 4.14 Zona Oriente: Estación San Rafael Tlalmanalco, UAM



Fotografía 4.15 Zona Oriente: Estación Amecameca, La Compañía

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 156</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.C0.2.03.01</p>

## CAPÍTULO 5

# Cambio Climático en la Cuenca Metropolitana del Valle de México

Participante:  
Rebeca González Villela

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 157	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>156</b>
<b>5.1 Introducción .....</b>	<b>161</b>
<b>5.2 Objetivo .....</b>	<b>161</b>
<b>5.3 Área de estudio.....</b>	<b>161</b>
<b>5.4 Metodología .....</b>	<b>162</b>
<b>5.5 Resultados.....</b>	<b>164</b>
5.5.1 Temperatura y Precipitación promedio mensual de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el Valle de México.....	164
5.5.2 Prueba de “t” aplicada a los datos de PP de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el Valle de México. ....	166
5.5.2.1 Estación Aquiles Serdán .....	166
5.5.2.1.1 Precipitación .....	166
5.5.2.1.2 Temperatura.....	168
5.5.2.2 Estación Pedregal.....	170
5.5.2.2.1 Precipitación .....	170
5.5.2.2.2 Temperatura.....	171
5.5.2.3 Estación Gran Canal.....	173
5.5.2.3.1 Precipitación .....	173
5.5.2.3.2 Temperatura.....	174
5.5.2.4 Estación Moyoguardia .....	176
5.5.2.4.1 Precipitación .....	176
5.5.2.4.2 Temperatura.....	177
5.5.2.5 Estación El Manantial .....	179
5.5.2.5.1 Precipitación .....	179
5.5.2.5.2 Temperatura.....	180
5.5.2.6 Estación Amecameca.....	182
5.5.2.6.1 Precipitación .....	182
5.5.2.6.2 Temperatura.....	183
5.5.2.7 Estación Lerma Santiago.....	185
5.5.2.7.1 Precipitación .....	185
5.5.2.7.2 Temperatura.....	186
5.5.2.8 Estación Chapingo .....	188
5.5.2.8.1 Precipitación .....	188
5.5.2.8.2 Temperatura.....	189
5.5.2.9 Estación Atlatlahuacan.....	191
5.5.2.9.1 Precipitación .....	191
5.5.2.9.2 Temperatura.....	192
5.5.2.10 Estación Mazapa.....	194
5.5.2.10.1 Precipitación .....	194

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
Página 158	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

5.5.2.10.2 Temperatura..... 195

**5.6 Conclusiones.....197**

**5.7 Referencias.....197**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1 Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de la precipitación y la temperatura en el Valle de México..... 164

Tabla 5.2 Precipitación promedio mensual (mm) de las estaciones meteorológicas del Valle de México..... 164

Tabla 5.3 Temperatura Observada promedio mensual (oC) de la estaciones meteorológicas del Valle de México..... 165

Tabla 5.4 Prueba de “t” para la precipitación en la estación AQUILES SERDÁN (9003)..... 167

Tabla 5.5 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación AQUILES SERDÁN (9003)..... 167

Tabla 5.6 Prueba de “t” para la temperatura en la estación AQUILES SERDÁN (9003)..... 168

Tabla 5.7 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación AQUILES SERDÁN (9003)..... 169

Tabla 5.8 Prueba de “t” para la PP en la estación PEDREGAL (9020)..... 170

Tabla 5.9 Promedios para los periodos inicial y reciente de precipitación en la estación PEDREGAL (9020)..... 170

Tabla 5.10 Prueba de “t” para la temperatura en la estación PEDREGAL (9020)..... 171

Tabla 5.11 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación PEDREGAL (9020)..... 172

Tabla 5.12 Prueba de “t” para la precipitación en la estación GRAN CANAL (9029) ..... 173

Tabla 5.13 Promedios para los periodos inicial y reciente de la PP en la estación GRAN CANAL (9029)..... 173

Tabla 5.14 Promedios para los periodos inicial y reciente de la PP en la estación GRAN CANAL (9029)..... 174

Tabla 5.15 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación GRAN CANAL (9029) ..... 175

Tabla 5.16 Prueba de “t” para la PP en la estación MOYOGUARDIA (9034) ..... 176

Tabla 5.17 Prueba de “t” para la temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034)..... 176

Tabla 5.18 Prueba de “t” para la temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034)..... 177

Tabla 5.19 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034)..... 178

Tabla 5.20 Prueba de “t” para la PP en la estación EL MANANTIAL (13008)..... 179

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 159	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

Tabla 5.21 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación EL MANANTIAL (13008).....	179
Tabla 5.22 Prueba de “t” para la temperatura en la estación EL MANANTIAL (13008).....	180
Tabla 5.23 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación EL MANANTIAL (13008).....	181
Tabla 5.24 Prueba de “t” para la PP en la estación AMECAMECA (15007).....	182
Tabla 5.25 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación AMECAMECA (15007).....	182
Tabla 5.26 Prueba de “t” para la temperatura en la estación AMECAMECA (15007).....	183
Tabla 5.27 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación AMECAMECA (15007).....	184
Tabla 5.28 Prueba de “t” para la PP en la estación LERMA (15049).....	185
Tabla 5.29 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación LERMA (15049).....	185
Tabla 5.30 Prueba de “t” para la temperatura en la estación LERMA (15049).....	186
Tabla 5.31 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación LERMA (15049).....	187
Tabla 5.32 Prueba de “t” para los periodos inicial y reciente de PP en la estación CHAPINGO (15170).....	188
Tabla 5.33 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación CHAPINGO	188
Tabla 5.34 Prueba de “t” para la temperatura en la estación CHAPINGO (15170).....	189
Tabla 5.35 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación CHAPINGO.....	190
Tabla 5.36 Prueba de “t” para los periodos inicial y reciente de PP en la estación ATLATLAHUACAN (10).....	191
Tabla 5.37 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación ATLATLAHUACAN.....	191
Tabla 5.38 Prueba de “t” para la temperatura en la estación ATLATLAHUACAN (17001)	192
Tabla 5.39 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación ATLALTLAHUACAN.....	193
Tabla 5.40 Prueba de “t” para los periodos inicial y reciente de PP en la estación MAZAPA	194
Tabla 5.41 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación MAZAPA.....	194
Tabla 5.42 Prueba de “t” para la temperatura en la estación MAZAPA (29015).....	195
Tabla 5.43 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación MAZAPA.....	196

 	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 160	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1 Subcuencas del Valle de México y ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio .....	162
Figura 5.2 PP promedio mensual de las estaciones meteorológicas del Valle de México.....	165
Figura 5.3 Temperatura promedio mensual de las estaciones meteorológicas del VM.....	166
Figura 5.10 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034). .....	177
Figura 5.11 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034).....	178
Figura 5.12 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación EL MANANTIAL (13008). .....	180
Figura 5.13 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación EL MANANTIAL (13008). .....	181
Figura 5.14 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación AMECAMECA (15007). .....	183
Figura 5.15 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación AMECAMECA (15007).....	184
Figura 5.16 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación LERMA (15049). .....	186
Figura 5.17 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación LERMA .....	187
Figura 5.18 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación CHAPINGO	189
Figura 5.19 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación CHAPINGO .....	190
Figura 5.20 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación ATLATLAHUACAN.....	192
Figura 5.21 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación ATLATLAHUACAN.....	193
Figura 5.22 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación MAZAPA....	195
Figura 5.23 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación Mazapa.....	196

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 161	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

## 5.1 Introducción

El cambio climático tiene implicaciones en el manejo de los ecosistemas de agua dulce. La adaptación al cambio climático requiere de la determinación del cambio en la disponibilidad de agua para las cuencas a través de la precipitación con la finalidad de poder cuantificar la disponibilidad de agua para los ríos, y para establecer el cambio en el consumo de agua para la población, actividades agropecuarias, industria, generación de energía eléctrica entre otras, con la finalidad de compensar las variaciones en las tasas de precipitación anual en la planeación del recurso hídrico a través de diferentes acciones (traslado de industrias a regiones de mayor humedad, o cambio en la morfología de las ciudades para compensar las inundaciones, disponibilidad de agua para la irrigación, control de inundaciones). Estos cambios tienen consecuencias importantes en las actividades económicas, salud de la población y el ecosistema (biodiversidad). En este sentido existe la necesidad de generar y utilizar las herramientas que pueden ser aplicables para el análisis ecológico, socioeconómico y político para lograr el uso racional de los recursos acuáticos (Brown & King, 2003). En el presente estudio se efectúa el estudio comparativo de la variación de la precipitación para dos periodos (inicial y reciente) con la finalidad de determinar el cambio en la disponibilidad de agua en el ecosistema.

## 5.2 Objetivo

Cuantificar el porcentaje de precipitación en los periodos inicial y reciente por efecto del cambio de la temperatura o del cambio climático.

## 5.3 Área de estudio

Del área de estudio la Ciudad de México ocupa un mayor porcentaje del territorio. En cuanto a la superficie territorial de representa el 0.1% del territorio nacional, que lo ubica como entidad con menor extensión del país. La Ciudad de México limita al Norte, Este y Oeste con el estado de México y al Sur, con Morelos. La entidad está integrada por 16 delegaciones. El 20.5% de la población vive en la delegación Iztapalapa, mientras que en Milpa Alta, el 1.5%. La máxima elevación en el territorio de la entidad es el Cerro la Cruz del Marqués (Ajusco) con 3,930 msnm. Los principales ríos de la entidad son: Mixcoac, Magdalena, La Piedad, San Angel Inn y Borracho. Los lagos son: San Pedro Tlahuac y el Japón. Las 16 delegaciones en 2012 contaban con servicio de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. 532 tomas de agua en operación para abastecimiento público el 96.6% eran de pozo. 177 puntos de descarga de aguas residuales se localizaron de los cuales 39 de estos descargan en un gran colector. El clima es templado subhúmedo con una temperatura media anual de 16 oC. La precipitación anual en la región seca es de 600 mm y en la parte templada húmeda (Ajusco) de 1,200 mm (INEGI, 2015).

Así mismo señala INEGI (2015), que el 18.4% de la superficie de la CDMX (27,275 ha) está cubierta de vegetación natural, distribuida en bosque (11.6%), pastizal (6.3%) y matorral

xerófilo (0.5%). El 81.6% corresponde a terrenos para la agricultura, zonas urbanas, áreas sin vegetación, cuerpos de agua y vegetación secundaria, producto de la alteración antrópica y acontecimientos naturales Figura 5.1.

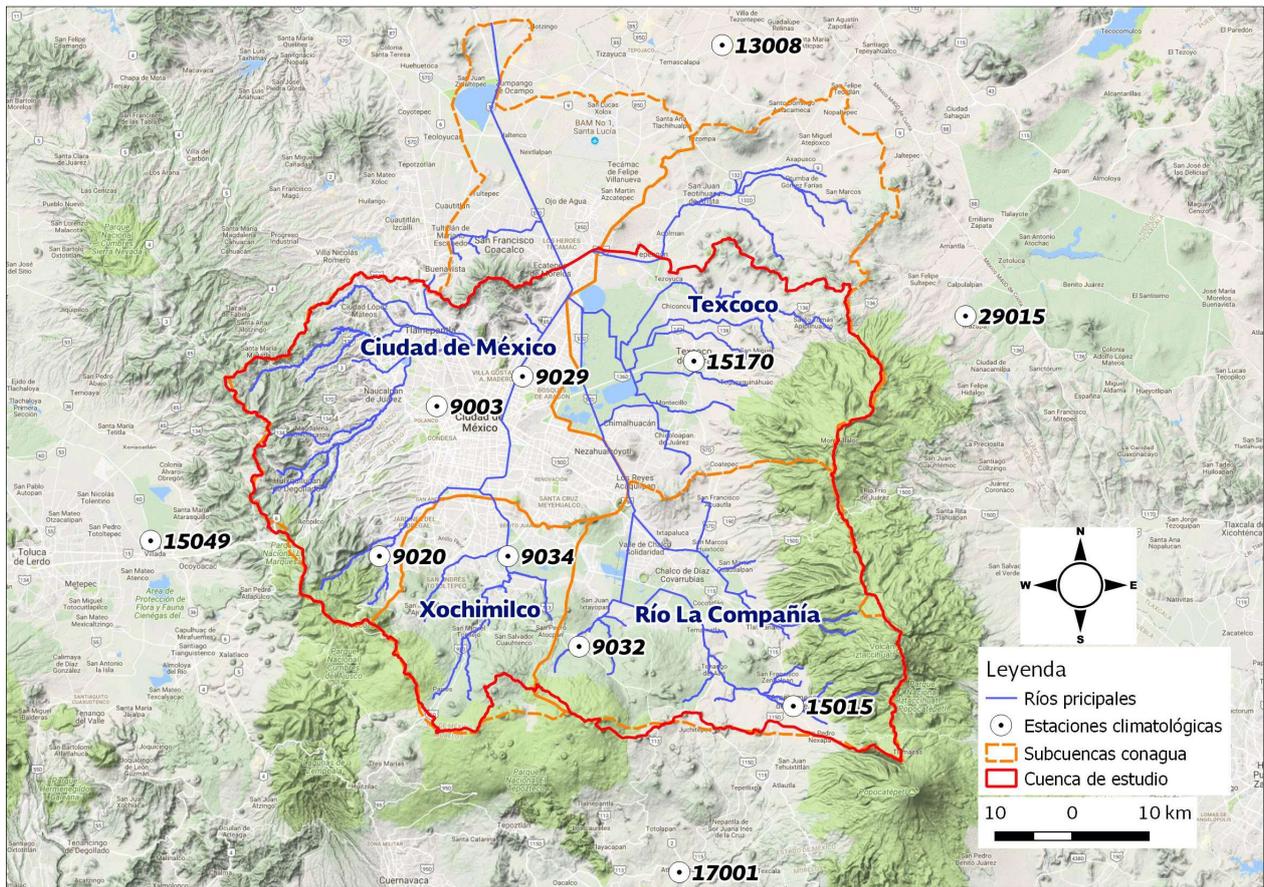


Figura 5.1 Subcuencas del Valle de México y ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio

### 5.4 Metodología

Para el análisis de la variación porcentual de la precipitación y temperatura de los periodos inicial y reciente en las subcuencas del Valle de México, se utilizó la base de datos climatológica en malla creada por el CICESE. Obtenida a partir de la base de datos climatológica oficial del SMN, que comprende en su totalidad más de 5000 estaciones y esta almacenada en el sistema CLICOM (CLimatological COMPUTing). A través del sistema ERIC III. Versión 2.0 (Extractor Rápido de Información Climatológica del IMTA,) que comprendió 9 estaciones meteorológicas. La ubicación de las estaciones meteorológicas se señala en la Figura 5.1. Las diez estaciones meteorológicas se seleccionaron considerando un periodo lo suficientemente grande como para poder incluir un periodo inicial y reciente, lo suficientemente grande que va de 24 a 80 años. Esto con la intención

 	<b>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</b>	 <b>IMTA</b> INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 163	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

de hacer coincidir el periodo de inicio y reciente con 1959, de esta forma el periodo reciente puede contener una amplitud de 11 a 49 años para ser comparados con la variación de la precipitación y la temperatura del periodo reciente de 18 a 40 años, según la cantidad de registros de cada estación meteorológica.

Los análisis grafico-estadísticos no paramétricos y paramétricos se realizaron utilizando los software Statística (Mycrosoft Corporation 2004), V7 IHA (TNC, 2006). Los análisis de Regresión y Correlación lineal para la precipitación ( $\pm 0.5$  mm), evaporación (mm  $\pm 0.5$ ), temperatura observada, mínima y máxima ( $^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ ) del periodo inicial y reciente, acorde con el comportamiento de las series de tiempo y los rangos de variabilidad dados por los percentiles 25% to 75% serán aplicados. La prueba de "t" de Student, análisis de regresión and correlación para probar la hipótesis de que no existen diferencias entre las medianas y los coeficientes de regresión para cada una de las variables meteorológicas analizadas entre los periodos inicial y reciente ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$  and  $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ ).

El estudio comparativo del clima acorde con la clasificación de Köppen, se efectuó utilizando la información citada por García (1973) para el periodo inicial y para el reciente con base en la temperatura observada ( $^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ ) y la precipitación (mm  $\pm 0.5$ ). Metodología que utiliza fórmulas empíricas y valores derivados de las variaciones de ciertos elementos climáticos para delimitar y describir cinco grandes grupos de clima y las subdivisiones correspondientes, que en conjunto constituyen once tipos climáticos fundamentales. Dichas fórmulas y valores son calculados y escogidos por encontrarse en relación con importantes características de clima que determinan la distribución sobre la Tierra de las principales agrupaciones de plantas superiores y de otros seres vivientes, por lo tanto se requiere de los siguientes datos para poder definir un determinado clima de una región.

- 1) Para cada mes del año se tienen que analizar la precipitación media (mm) y la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) de todos los datos o registros de Temperatura y precipitación de la estación meteorológica de interés.
- 2) Se tiene que tener el dato de precipitación total anual (mm) de interés.
- 3) Se requiere del dato de la temperatura media anual ( $^{\circ}\text{C}$ ) de la estación meteorológica de interés
- 4) Se calcula la precipitación del mes más lluvioso para esa estación meteorológica.
- 5) Se registra el mes más lluvioso.
- 6) Se tiene que cuantificar la precipitación del mes más seco (mm).
- 7) Se tiene que tener en consideración el mes más seco.
- 8) Se tiene que obtener el % de lluvia invernal respecto a la total anual.
- 9) Se tiene que tener la información del mes más caliente del año.
- 10) Se requiere de la información de la temperatura del mes más frío del año.
- 11) Se tiene que analizar el mes más frío del año.
- 12) Se tiene que tener información del número de meses con temperatura mayor de 10 oC
- 13) Y se tiene que calcular la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales.
- 14) Se tiene que calcular el índice de Lang.

Una vez que se tiene toda esta información para cada estación meteorológica de interés, se tiene que recurrir al libro intitulado “Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen” para analizar bajo el criterio del autor que tipo de clima pertenece la estación meteorológica analizada utilizando los 14 puntos arriba enlistados.

**Tabla 5.1 Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de la precipitación y la temperatura en el Valle de México**

EDO.	Clave	Nombre	Longitud	Latitud	Altitud	Primer registro	Ultimo registro	Años	Periodo Inicial	Periodo Reciente
CDMX	9003	Aquiles Serdán 46 /AZCA)	-99.183	19.45		1933	1988	55	37	18
CDMX	9020	Desv. Alta al Pedregal	-99.25	19.283	2918	1952	2009	57	17	39
CDMX	9029	Gran Canal	-99.083	19.483	2240	1952	2008	56	18	38
CDMX	9032	Milpa Alta,	-99.017	19.183	2420	1929	2009	80	41	39
CDMX	9034	Moyoguarda (Xochimilco)	-99.10	19.283		1921	1988	67	49	18
HGO	13008	El Manantial, Tizayuca	-98.85	19.85		1959	1999	40	11	29
EDO.MX	15015	Amecameca de Juárez (SMN)	-98.767	19.117	2470	1943	1967	24	24	40
EDO.MX	15049	Lerma, Lerma	-99.517	19.3	2597	1942	2007	65	28	37
EDO.MX	15170	Chapingo, Texcoco	-98.883	19.5	2250	1952	2009	57	18	39
MORELOS	17001	Atlatlahuacan	-98.900	18.933	1656	1924	2012	88	36	52
TLAXCALA	29015	Mazapa, Calpulalpan	-98.566	19.55	2714	1936	1983	47	24	23

## 5.5 Resultados

### 5.5.1 Temperatura y Precipitación promedio mensual de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el Valle de México

Los resultados de los promedios mensuales para la precipitación de las estaciones meteorológicas de la cuenca del Valle de México señalan el periodo de lluvias de junio a septiembre con el máximo de 214 mm en el mes de agosto en la estación Pedregal (9020), ubicada a una altitud de 2918 msnm y el mínimo de 5.2 mm en la estación Pedregal (9020). La temperatura observada registró el máximo de 15.2 (°C) en el mes de junio en la en la estación Gran Canal (9029) ubicada a una altitud de 2240 msnm y el mínimo de 3 °C) en la estación Lerma (15049) ubicada a una altitud de 1942 msnm (Tabla 5.2 y 5.3 y Figuras 5.2 y 5.3).

**Tabla 5.2 Precipitación promedio mensual (mm) de las estaciones meteorológicas del Valle de México**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
9003	8.8	5.4	11.2	27.1	55.7	122.6	139.1	143.9	115.9	50.8	9.1	6.8
9020	11	5.4	10.3	25.2	73.7	163	215	214.1	195.6	85.6	15.3	5.2
9029	9.1	5.8	10	24.1	48.8	106.1	119.6	117.5	96.5	48.9	13.6	5.3
9032	14	6.4	14.5	29	63.1	125.6	145.3	151.4	126.4	52.7	13	9.2
9034	8.9	6.4	8.9	27.6	67.8	131.3	164.2	149.9	145.8	64	15	7.4
13008	10.3	7.7	16.2	29.1	54.5	81.7	86.1	94	83	46	10.7	6.8
15049	13.6	5.8	12.8	27.3	77.1	176.5	195.1	193	145.8	57.5	19.3	7.3

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
15170	11.8	6.2	14.5	30.5	53.8	105.7	123.3	114	99	46.8	12.3	5.8
15015	14.1	6.9	6.4	29.1	77.2	141.1	178.9	175	175.1	68.6	21.4	6.9

PP (mm) Estaciones Meteorológicas VM

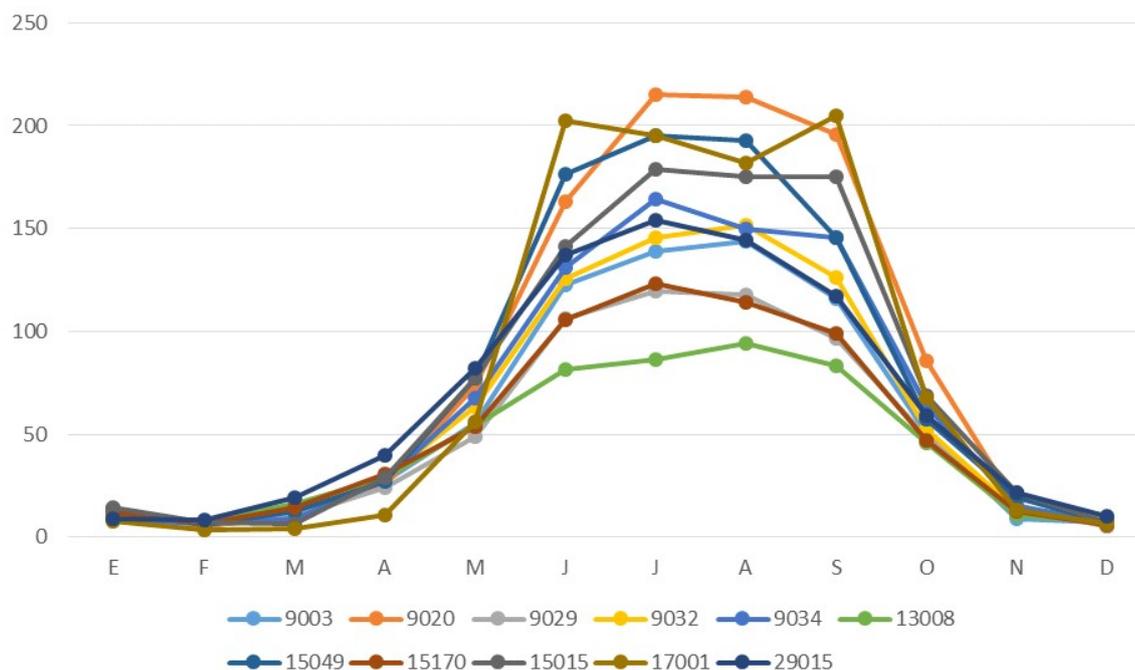


Figura 5.2 PP promedio mensual de las estaciones meteorológicas del Valle de México.

Tabla 5.3 Temperatura Observada promedio mensual (oC) de la estaciones meteorológicas del Valle de México

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
9003	6.1	7.3	10.2	12.7	14.4	14.9	13.8	13.5	13.2	11.4	8.8	7.2
9020	7.1	8	10.1	11.8	12.9	13.1	12.4	12.3	12.5	11.3	9.2	7.7
9029	5.5	7.2	10.4	13.1	14.7	15.2	14.2	13.9	13.5	11.5	8.8	6.6
9032	8.1	9.3	11.8	13.5	14.1	13.8	13	12.7	12.5	11.5	10.1	8.9
9034	6.3	7.1	9.9	12.3	13.9	14.6	13.7	13.5	13.6	11.8	9.4	7.5
13008	4.2	5.5	8.5	11.8	13.5	14.1	13.3	13	12.5	10.3	7.6	5.4
15049	2.1	2.5	4.6	7.3	10	11.9	11.4	11	11	8.7	5.3	3
15170	5	6.5	10.2	12.9	14.5	15	14	13.7	13.2	11	8.1	5.9
15015	5.5	7.1	10.9	13.4	14	13.1	12	12.7	12.4	11.1	9.7	6.2

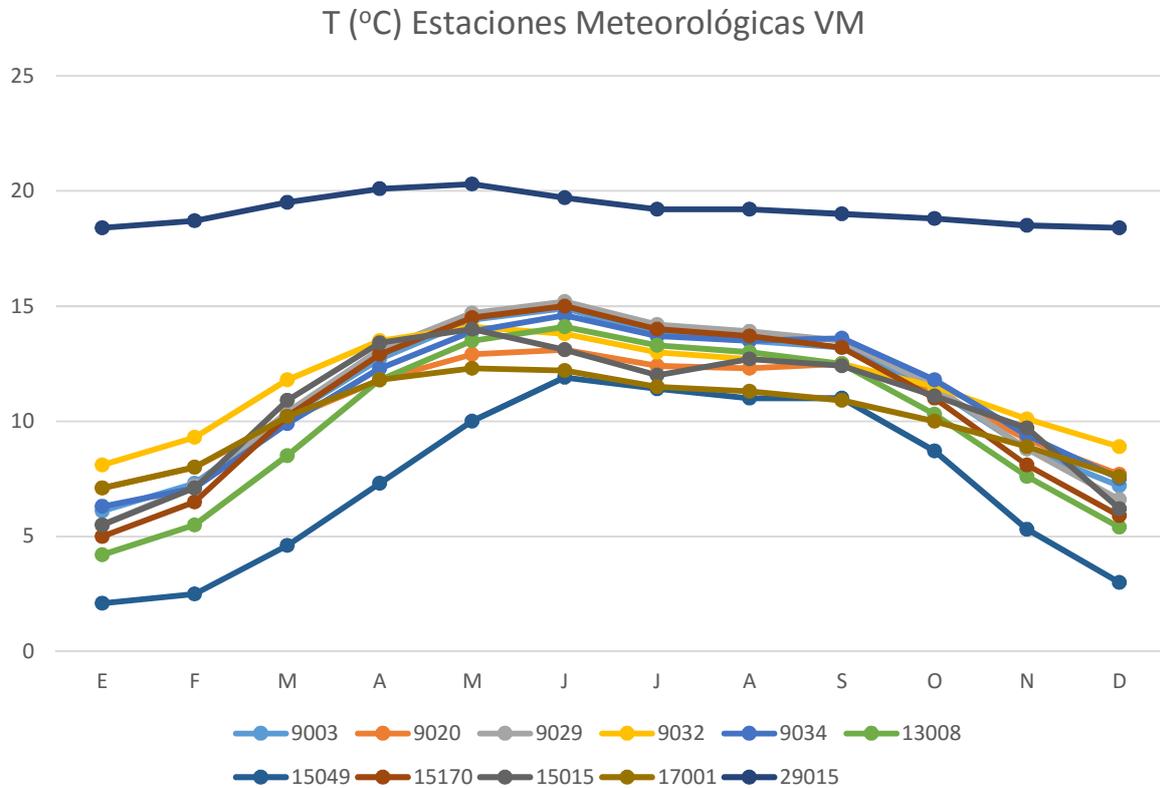


Figura 5.3 Temperatura promedio mensual de las estaciones meteorológicas del VM

### 5.5.2 Prueba de “t” aplicada a los datos de PP de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el Valle de México.

Los resultados de la prueba de “t” aplicada a los promedios mensuales de los periodos de inicial y reciente para la precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas de la cuenca del Valle de México se muestran en las Tablas de la 5.4 a la 5.43.

#### 5.5.2.1 Estación Aquiles Serdán

##### 5.5.2.1.1 Precipitación

En la Estación Aquiles Serdán (9003) se observan incrementos significativos en la precipitación para los meses de junio (3.64 y 4.92 mm), julio (4.03 a 5.35 mm) y octubre (1.45 a 2.04 mm), entre el periodo inicial (1933 – 1970) y el reciente (1971 – 1998). Tabla 5.4 y 5.5, Figura 5.4.

Tabla 5.4 Prueba de “t” para la precipitación en la estación AQUILES SERDÁN (9003)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.30	0.28	0.185234	1548	0.853070	1023	527	2.019	1.759	1.318	0.000353
F	0.16	0.27	-1.80209	1439	0.071740	960	481	1.012	1.375	1.843	0.000000
M	0.38	0.34	0.368421	1610	0.712608	1054	558	1.726	2.137	1.532	0.000000
A	0.85	1.04	-1.01666	1528	0.309476	1020	510	2.842	4.326	2.317	0.000000
M	1.71	1.98	-1.26939	1608	0.204485	1053	557	3.707	4.427	1.426	0.000001
J	<b>3.64</b>	<b>4.92</b>	<b>-3.31349</b>	<b>1558</b>	<b>0.000943</b>	<b>1020</b>	<b>540</b>	<b>6.383</b>	<b>8.629</b>	<b>1.828</b>	<b>0.000000</b>
J	<b>4.03</b>	<b>5.35</b>	<b>-3.70425</b>	<b>1579</b>	<b>0.000219</b>	<b>1023</b>	<b>558</b>	<b>5.667</b>	<b>8.464</b>	<b>2.231</b>	<b>0.000000</b>
A	4.41	5.15	-1.78322	1579	0.074743	1054	527	6.522	9.645	2.187	0.000000
S	3.88	3.81	0.201148	1528	0.840610	1020	510	6.015	7.907	1.728	0.000000
O	<b>1.45</b>	<b>2.04</b>	<b>-2.36261</b>	<b>1608</b>	<b>0.018265</b>	<b>1052</b>	<b>558</b>	<b>4.052</b>	<b>5.994</b>	<b>2.188</b>	<b>0.000000</b>
N	0.34	0.24	1.213973	1558	0.224942	1020	540	1.553	1.570	1.022	0.766928
D	0.23	0.22	0.196699	1605	0.844088	1049	558	1.229	1.457	1.405	0.000003

Se observa un incremento significativo en la precipitación para los periodos inicial (1933-1970) y reciente (1970-1988) en los meses iniciales y finales del periodo de lluvias (junio, julio y octubre) en los promedios para la estación Aquiles Serdán. En rojo los meses con valores significativos (Tabla 5.5 y en la Figura 5.4).

Tabla 5.5 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación AQUILES SERDÁN (9003)

Periodo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1933-1970	0.30	0.16	0.38	0.85	1.71	<b>3.64</b>	<b>4.03</b>	4.41	3.88	<b>1.45</b>	0.34	0.23
1970-1988	0.28	0.27	0.34	1.04	1.98	<b>4.92</b>	<b>5.35</b>	5.15	3.81	<b>2.04</b>	0.24	0.22

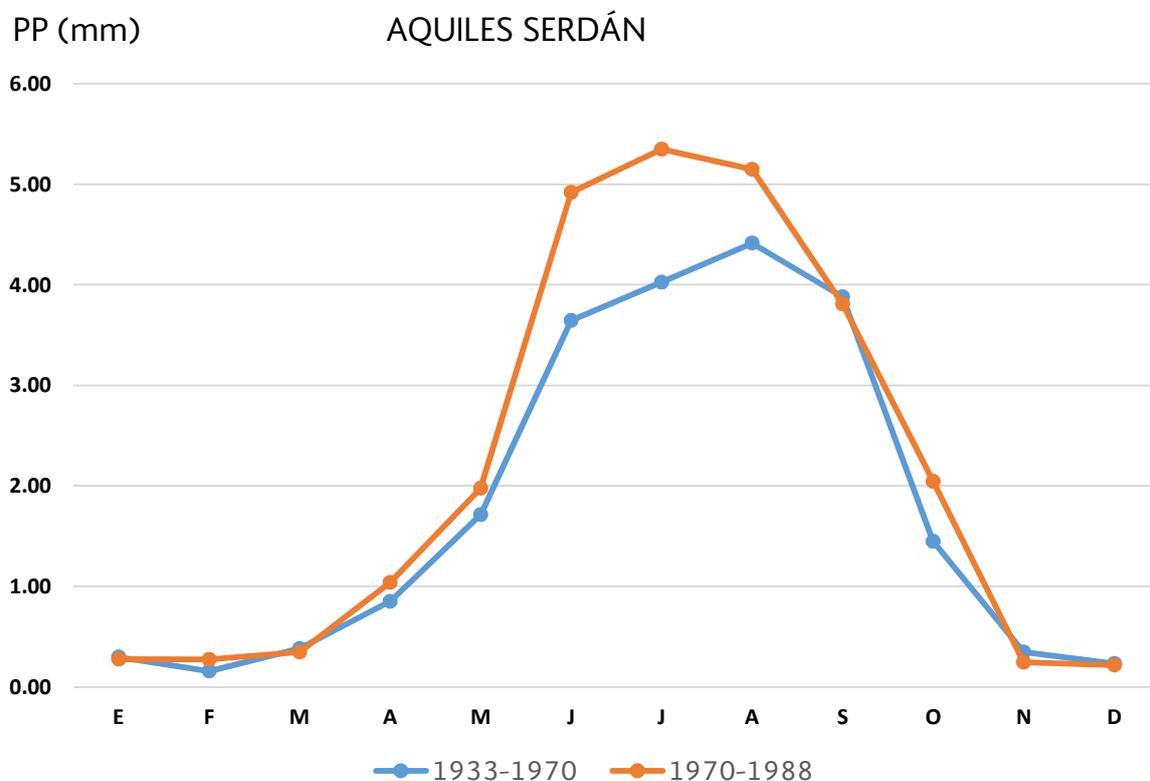


Figura 5.4 Promedios para los periodos inicial y reciente de la PP en la estación AQUILES SERDÁN (9003)

### 5.5.2.1.2 Temperatura

Los resultados de la prueba de “t” aplicada a los promedios mensuales de los periodos de inicial y reciente para la temperatura de la estación meteorológica Estación Aquiles Serdán (9003) observan incrementos significativos en todos los meses entre el periodo inicial (1933 – 1970) y el reciente (1971 – 1998), como puede observarse en la Tabla 5.6, 5.7 y Figura 5.5.

Tabla 5.6 Prueba de “t” para la temperatura en la estación AQUILES SERDÁN (9003)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de “t”	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	4.71	7.08	-15.6341	982	0.00	426	558	2.573	2.174	1.401	0.000196
F	6.08	8.32	-13.9286	903	0.00	396	509	2.477	2.341	1.120	0.230108
M	8.87	11.16	-15.1553	1021	0.00	434	589	2.380	2.392	1.010	0.911596
A	11.42	13.70	-16.5552	958	0.00	420	540	1.980	2.229	1.267	0.010903
M	13.30	15.27	-16.8972	1020	0.00	433	589	1.825	1.854	1.032	0.731750

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
J	14.33	15.36	-11.4548	988	0.00	420	570	1.396	1.407	1.015	0.875576
J	13.21	14.23	-14.2690	1021	0.00	434	589	1.134	1.122	1.021	0.817134
A	12.90	14.08	-16.9561	1021	0.00	465	558	1.190	1.039	1.311	0.002256
S	12.63	13.77	-13.1910	988	0.00	450	540	1.418	1.299	1.191	0.052255
O	10.45	12.19	-12.9827	1051	0.00	464	589	2.584	1.736	2.216	0.000000
N	7.67	9.65	-13.1213	1018	0.00	450	570	2.572	2.245	1.312	0.002216
D	6.04	8.12	-14.0545	1037	0.00	450	589	2.669	2.113	1.595	0.000000

Los promedios mensuales para la temperatura observan un incremento significativo en la temperatura para los periodos inicial (1933-1970) y reciente (1970-1988) en todos los. En rojo los meses con valores significativos (Tabla 5.7 y Figura 5.5).

Tabla 5.7 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación AQUILES SERDÁN (9003)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1933-1970	4.71	6.08	8.87	11.42	13.30	14.33	13.21	12.90	12.63	10.45	7.67	6.04
1970-1988	7.08	8.32	11.16	13.70	15.27	15.36	14.23	14.08	13.77	12.19	9.65	8.12

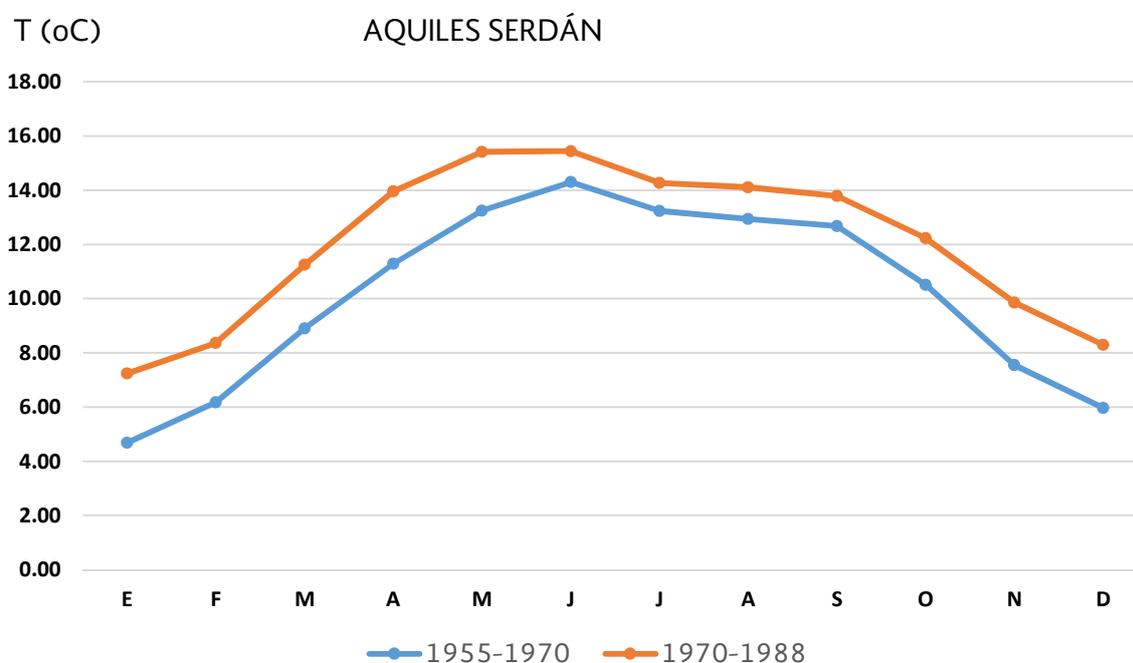


Figura 5.5 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación AQUILES SERDÁN (9003).

## 5.5.2.2 Estación Pedregal

### 5.5.2.2.1 Precipitación

En la Estación Pedregal (9020) solo el mes de noviembre presenta decrementos significativos en la precipitación entre el periodo inicial (1955 – 1970) y el reciente (1970 – 1998) en los promedios (Tabla 5.8, 5.9 y Figura 5.6).

Tabla 5.8 Prueba de “t” para la PP en la estación PEDREGAL (9020)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.48	0.31	1.24	1778	0.213989	589	1191	3.069	2.527	1.475	0.000000
F	0.13	0.22	-1.34	1589	0.179081	536	1055	1.124	1.319	1.378	0.000029
M	0.23	0.38	-1.52	1766	0.127532	589	1179	1.832	2.019	1.215	0.007171
A	0.96	0.78	1.20	1703	0.232057	562	1143	3.791	2.500	2.300	0.00
M	2.30	2.43	-0.47	1676	0.638484	589	1089	5.363	5.197	1.065	0.378825
J	2.30	2.43	-0.47	1676	0.638484	589	1089	5.363	5.197	1.065	0.378825
J	6.99	6.93	0.11	1730	0.913201	589	1143	9.693	9.589	1.022	0.757208
A	7.37	6.81	1.09	1741	0.277156	589	1154	10.790	9.667	1.246	0.001885
S	6.42	6.67	-0.42	1691	0.677405	570	1123	10.748	11.932	1.232	0.004687
O	2.64	2.84	-0.57	1726	0.570216	589	1139	6.902	6.847	1.016	0.817891
N	0.75	0.39	2.34	1676	0.019290	570	1108	4.362	2.014	4.691	0.00
D	0.22	0.13	1.52	1598	0.128269	589	1011	1.218	1.119	1.184	0.020388

Tabla 5.9 Promedios para los periodos inicial y reciente de precipitación en la estación PEDREGAL (9020)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1955-1970	0.48	0.13	0.23	0.96	2.30	2.30	6.99	7.37	6.42	2.64	0.75	0.22
1970-1988	0.31	0.22	0.38	0.78	2.43	2.43	6.93	6.81	6.67	2.84	0.39	0.13

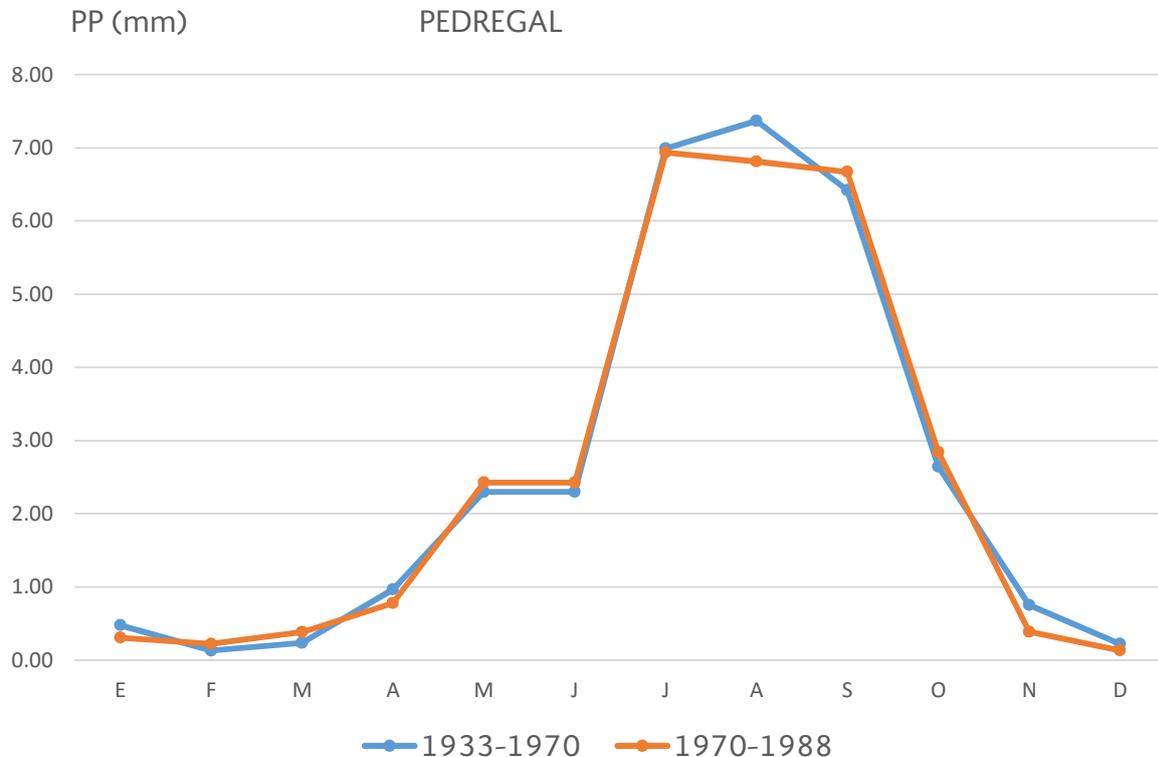


Figura 5.6 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación PEDREGAL (9020).

### 5.5.2.2.2 Temperatura

Para la temperatura observada los meses de marzo, mayo, junio, julio y septiembre con decrementos significativos; noviembre con un incremento significativo en la precipitación entre el periodo inicial (1955 – 1970) y el reciente (1970 – 1988) en los promedios (Tabla 5.10, 5.11 y Figura 5.7; en rojo los incrementos y en azul los decrementos).

Tabla 5.10 Prueba de “t” para la temperatura en la estación PEDREGAL (9020)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	5.50	7.00	-1.17394	14	0.260005	2	14	0.707	1.743	6.077	0.616815
F	8.75	10.00	-0.411345	4	0.701904	4	2	3.227	4.243	1.728	0.560262
M	11.50	9.03	2.147725	22	0.043008	9	15	2.411	2.888	1.435	0.621034
A	11.86	13.25	-1.53262	19	0.141851	7	14	1.651	2.092	1.605	0.581348
M	13.38	12.74	3.202319	1204	0.001399	124	1082	2.384	2.042	1.362	0.015299
J	14.19	13.01	7.171930	1226	0.000000	120	1108	1.542	1.733	1.263	0.104889
J	13.28	12.25	7.228217	1269	0.000000	124	1147	1.188	1.536	1.672	0.000403

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
A	12.42	12.32	0.837458	1321	0.402487	155	1168	1.617	1.502	1.159	0.203480
S	12.82	12.43	2.637540	1258	0.008454	120	1140	1.200	1.578	1.729	0.000218
O	11.07	11.31	-1.17651	1268	0.239614	124	1146	2.177	2.172	1.005	0.943054
N	8.68	9.28	-2.30566	1203	0.021299	120	1085	2.384	2.722	1.304	0.066232
D	8.03	7.70	1.207701	1080	0.227427	124	958	2.734	2.852	1.088	0.559948

Tabla 5.11 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación PEDREGAL (9020)

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5.50	8.75	11.50	11.86	13.38	14.19	13.28	12.42	12.82	11.07	8.68	8.03
7.00	10.00	9.03	13.25	12.74	13.01	12.25	12.32	12.43	11.31	9.28	7.70

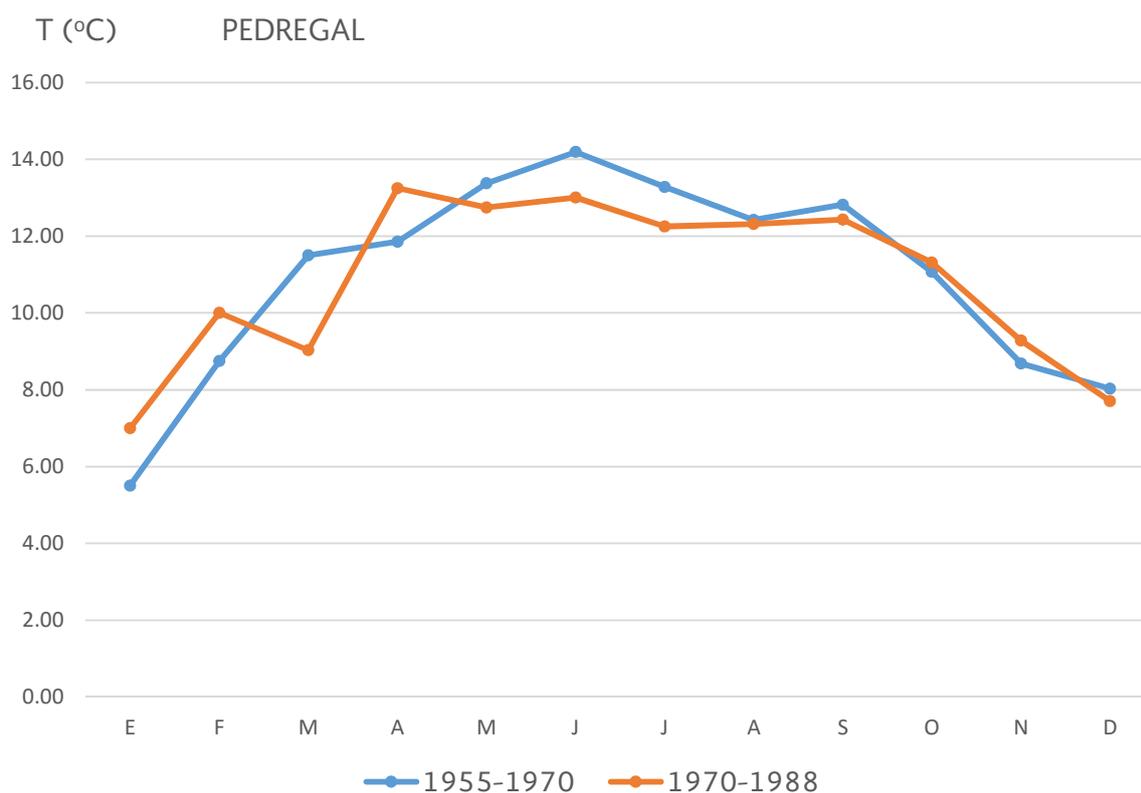


Figura 5.7 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación PEDREGAL (9020).

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 173	Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017	Clave: F.CO.2.03.01

### 5.5.2.3 Estación Gran Canal

#### 5.5.2.3.1 Precipitación

Se observan incrementos significativos en la precipitación para los meses de mayo (0.22 y 0.38 mm), julio (3.43 a 4.08 mm), agosto (3.76 y 3.82 mm) y octubre (1.41 a 1.67 mm), entre el periodo inicial (1952 – 1970) y el reciente (1970 – 2008). Por el contrario enero con un decremento de 0.44 a 0.21 mm (Tabla 5.12, 5.13 y Figura 5.8).

Tabla 5.12 Prueba de “t” para la precipitación en la estación GRAN CANAL (9029)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.44	0.21	2.263447	1721	0.023732	588	1135	2.785	1.429	3.800	0.00
F	0.15	0.23	-1.12120	1549	0.262377	507	1044	1.249	1.220	1.048	0.532799
M	0.22	0.38	-1.59358	1762	0.111210	588	1176	1.684	2.076	1.520	0.000000
A	0.83	0.79	0.268148	1675	0.788618	568	1109	3.025	2.411	1.574	0.000000
M	1.66	1.53	0.595169	1729	0.551808	589	1142	4.235	4.060	1.088	0.235439
J	3.33	3.65	-0.825670	1706	0.409107	569	1139	7.084	7.605	1.153	0.053591
J	3.43	4.08	-1.90869	1763	0.056464	589	1176	6.135	7.071	1.328	0.000097
A	3.76	3.82	-0.158461	1731	0.874112	589	1144	7.499	6.956	1.162	0.034241
S	3.20	3.23	-0.093867	1705	0.925226	570	1137	6.375	6.644	1.086	0.261546
O	1.41	1.67	-1.04487	1732	0.296228	589	1145	4.463	5.172	1.343	0.000056
N	0.54	0.41	1.005150	1646	0.314972	540	1108	2.577	2.308	1.248	0.002525
D	0.17	0.17	-0.033652	1715	0.973159	589	1128	0.934	1.284	1.889	0.000000

Tabla 5.13 Promedios para los periodos inicial y reciente de la PP en la estación GRAN CANAL (9029)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1952-1970	0.44	0.15	0.22	0.83	1.66	3.33	3.43	3.76	3.20	1.41	0.54	0.17
1970-2008	0.21	0.23	0.38	0.79	1.53	3.65	4.08	3.82	3.23	1.67	0.41	0.17

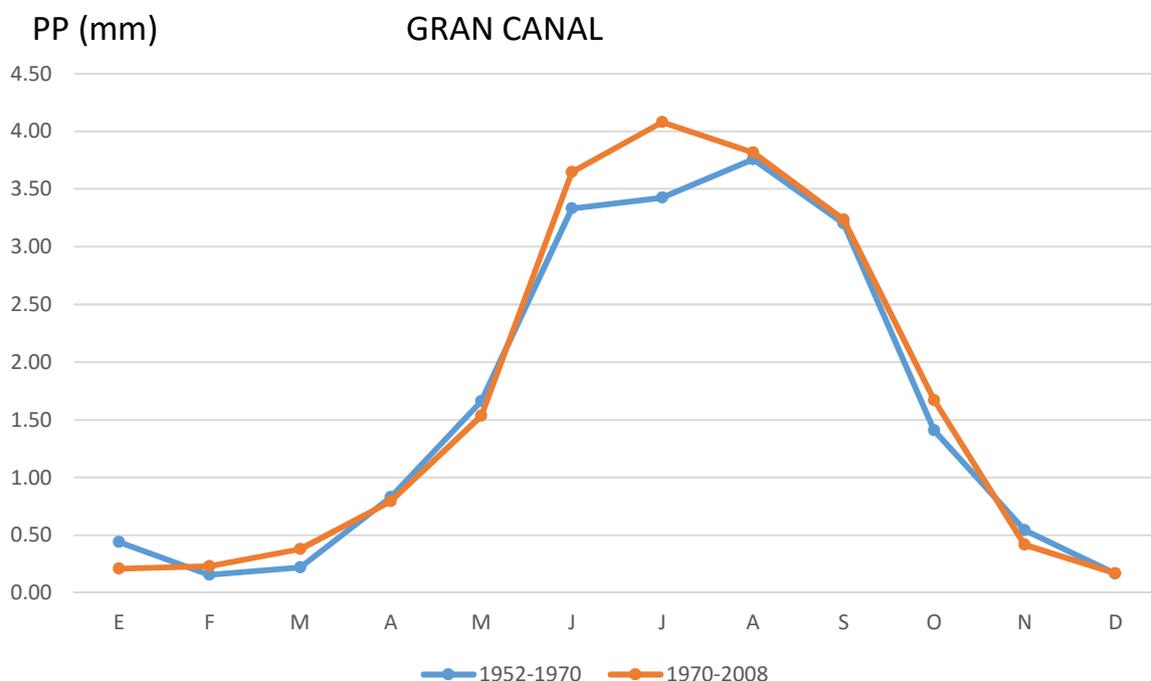


Figura 5.8 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación GRAN CANAL (9029).

### 5.5.2.3.2 Temperatura

Para la temperatura los meses de la época de secas señalan incrementos significativos (febrero, marzo, noviembre y diciembre), y con decrementos significativos los meses de lluvias (marzo, junio, julio, agosto y septiembre) entre el periodo inicial (1952 – 1970) y el reciente (1970 – 2008) en los promedios mensuales (Tabla 5.14, 5.15 y Figura 5.9; en rojo los incrementos y en azul los decrementos).

Tabla 5.14 Promedios para los periodos inicial y reciente de la PP en la estación GRAN CANAL (9029)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	4.64	4.64	0.00	1424	1.000000	713	713	2.60	2.60	1.00	1.000000
F	6.15	7.90	-12.9481	1551	0.00	621	932	2.66	2.57	1.07	0.363630
M	9.98	10.61	-4.97396	1765	0.000001	713	1054	2.57	2.61	1.03	0.659457
A	13.22	13.05	1.545950	1678	0.122305	690	990	2.21	2.20	1.02	0.826049
M	15.04	14.46	5.711046	1732	0.000000	712	1022	1.94	2.18	1.26	0.000937

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
J	15.72	14.78	10.75189	1707	0.000000	689	1020	1.68	1.84	1.21	0.007799
J	14.65	13.83	11.34441	1765	0.000000	713	1054	1.42	1.52	1.14	0.052323
A	14.34	13.63	11.11021	1734	0.000000	713	1023	1.27	1.34	1.11	0.121346
S	13.78	13.39	4.752895	1708	0.000002	690	1020	1.57	1.71	1.19	0.014493
O	11.44	11.61	-1.36510	1734	0.172399	713	1023	2.81	2.37	1.41	0.000001
N	8.28	9.18	-6.26149	1647	0.000000	660	989	3.06	2.68	1.30	0.000186
D	5.89	7.09	-9.39633	1721	0.000000	712	1011	2.70	2.52	1.15	0.049019

Tabla 5.15 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación GRAN CANAL (9029)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1952-1970	4.64	6.15	9.98	13.22	15.04	15.72	14.65	14.34	13.78	11.44	8.28	5.89
1970-2008	4.64	7.90	10.61	13.05	14.46	14.78	13.83	13.63	13.39	11.61	9.18	7.09

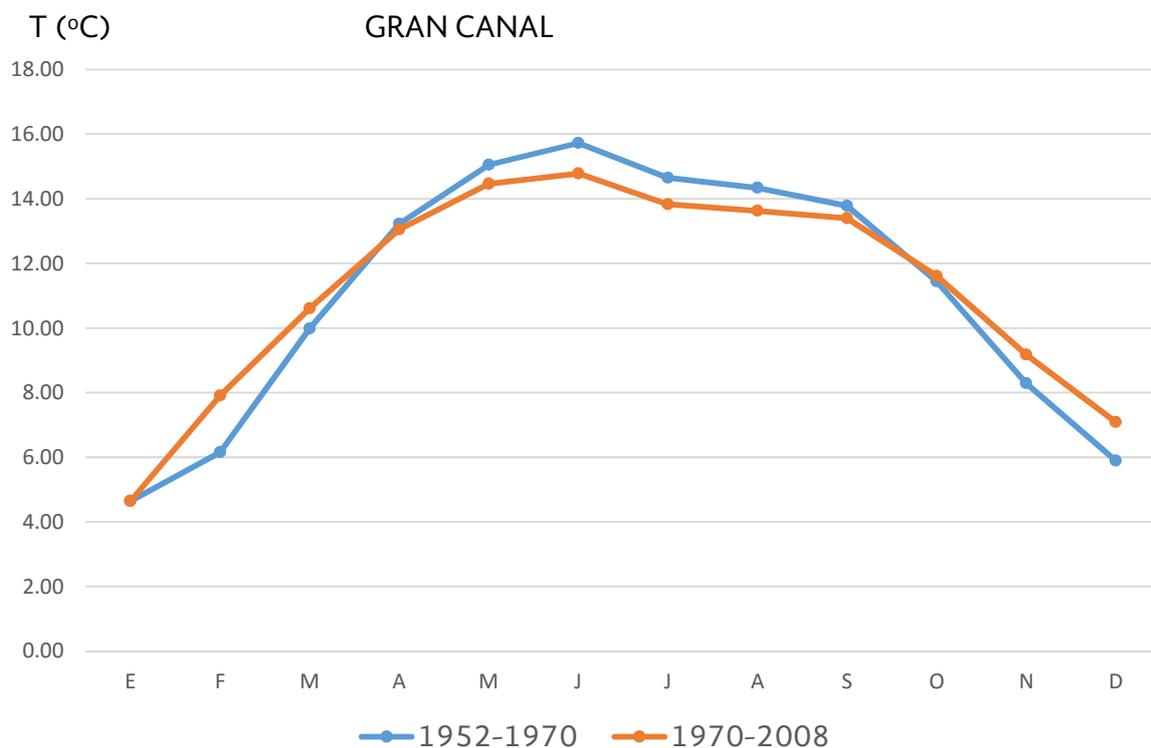


Figura 5.9 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación GRAN CANAL (9029).

#### 5.5.2.4 Estación Moyoguardia

##### 5.5.2.4.1 Precipitación

Se observan decrementos significativos en la precipitación para los meses de lluvias: julio (5.90 y 4.32 mm), agosto (5.33 a 4.11 mm), septiembre (5.55 y 3.86 mm) y noviembre (0.62 y 0.30 mm) entre el periodo inicial (1921 – 1970) y el reciente (1970 – 1988); (Tablas 5.16, 5.17 y Figura 5.10).

Tabla 5.16 Prueba de “t” para la PP en la estación MOYOGUARDIA (9034)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.32	0.24	0.692668	1404	0.4886	848	558	2.458	1.692	2.110	0.000000
F	0.25	0.19	0.777556	1239	0.4369	760	481	1.279	0.841	2.313	0.000000
M	0.28	0.30	-0.213447	1357	0.8310	805	554	2.158	2.078	1.079	0.334731
A	1.07	0.70	1.887549	1377	0.0593	839	540	3.900	2.909	1.798	0.000000
M	2.13	2.29	-0.467523	1388	0.6402	836	554	6.307	5.486	1.322	0.000384
J	4.45	4.27	0.394233	1318	0.6934	780	540	8.556	7.226	1.402	0.000026
J	5.90	4.32	3.159155	1346	0.0016	835	513	10.31	6.063	2.895	0.00
A	5.33	4.11	2.929036	1391	0.0034	837	556	7.870	7.316	1.157	0.061701
S	5.55	3.86	3.507184	1318	0.0004	780	540	9.260	7.545	1.506	0.000000
O	2.25	1.80	1.415246	1362	0.1572	806	558	6.133	5.225	1.378	0.000049
N	0.62	0.30	2.798168	1317	0.0052	809	510	2.292	1.553	2.178	0.000000
D	0.26	0.21	0.575385	1353	0.5651	828	527	1.664	1.984	1.421	0.000007

Tabla 5.17 Prueba de “t” para la temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1921-1970	0.32	0.25	0.28	1.07	2.13	4.45	5.90	5.33	5.55	2.25	0.62	0.26
1970-1988	0.24	0.19	0.30	0.70	2.29	4.27	4.32	4.11	3.86	1.80	0.30	0.21

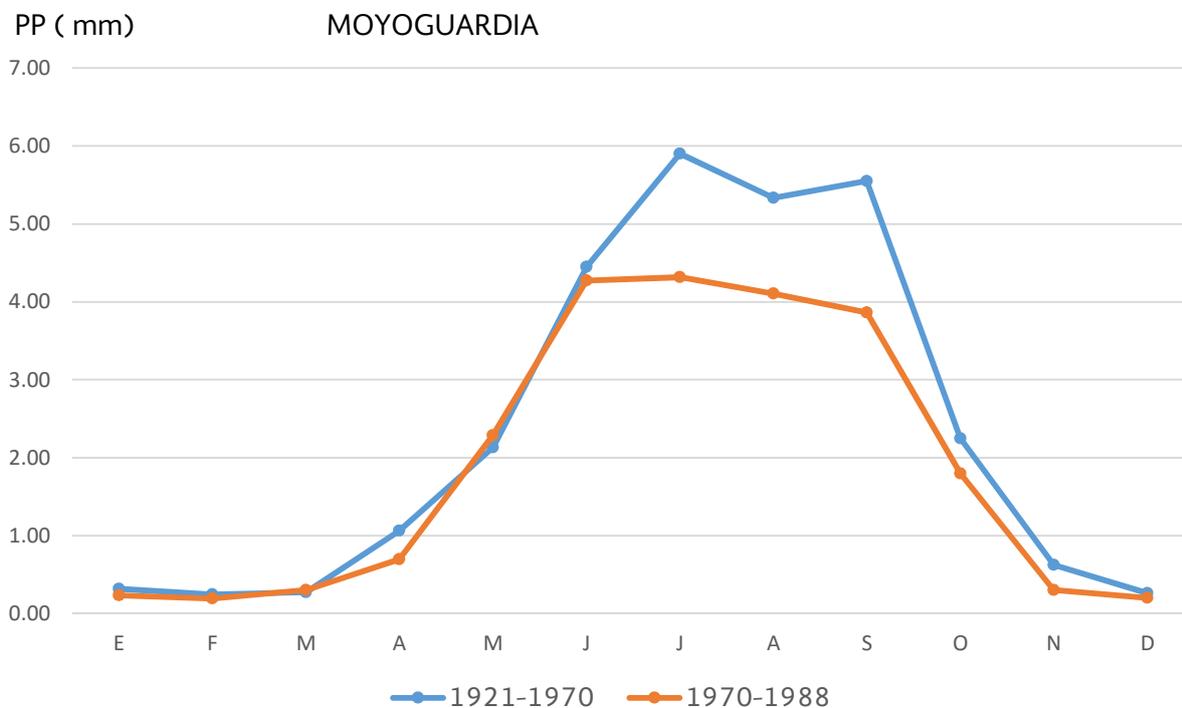


Figura 5.10 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034).

#### 5.5.2.4.2 Temperatura

Para la temperatura el mes de marzo y septiembre señalaron decrementos significativos (de 10.14 a 9.50 y de 13.73 a 13.31 mm, respectivamente), y con incrementos significativos los meses de mayo y julio (de 13.70 a 14.09 y de 13.56 a 13.89 mm, respectivamente), entre el periodo inicial (1921 – 1970) y el reciente (1970 – 1988) en los promedios mensuales (Tablas 5.18, 5.19 y Figura 5.11; en rojo los incrementos y en azul los decrementos).

Tabla 5.18 Prueba de “t” para la temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	6.45	6.01	1.9063	1405	0.056821	849	558	4.663	3.379	1.904	0.000000
F	7.15	6.90	0.9724	1240	0.331061	761	481	4.910	3.117	2.481	0.000000
M	10.14	9.50	2.7112	1353	0.006788	801	554	4.876	3.250	2.251	0.000000
A	12.14	12.41	-1.1997	1336	0.230454	798	540	4.524	3.158	2.051	0.000000
M	13.70	14.09	-1.9812	1358	0.047775	806	554	3.962	2.756	2.068	0.000000
J	14.53	14.73	-1.2608	1288	0.207621	750	540	2.939	2.497	1.386	0.000054

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No.	Std.	Std.	F-Razón Varianza	F
J	13.56	13.89	-2.4178	1316	0.015749	804	514	2.484	2.337	1.130	0.130882
A	13.59	13.37	1.6948	1360	0.090344	806	556	2.515	2.023	1.545	0.000000
S	13.73	13.31	2.9895	1318	0.002846	780	540	2.715	2.268	1.433	0.000008
O	11.93	11.64	1.5533	1362	0.120588	806	558	3.786	2.549	2.206	0.000000
N	9.42	9.27	0.6329	1317	0.526899	809	510	4.599	3.443	1.785	0.000000
D	7.40	7.69	-1.2790	1354	0.201107	829	527	4.360	3.533	1.523	0.000000

Tabla 5.19 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1921-1970	6.45	7.15	10.14	12.14	13.70	14.53	13.56	13.59	13.73	11.93	9.42	7.40
1970-1988	6.01	6.90	9.50	12.41	14.09	14.73	13.89	13.37	13.31	11.64	9.27	7.69

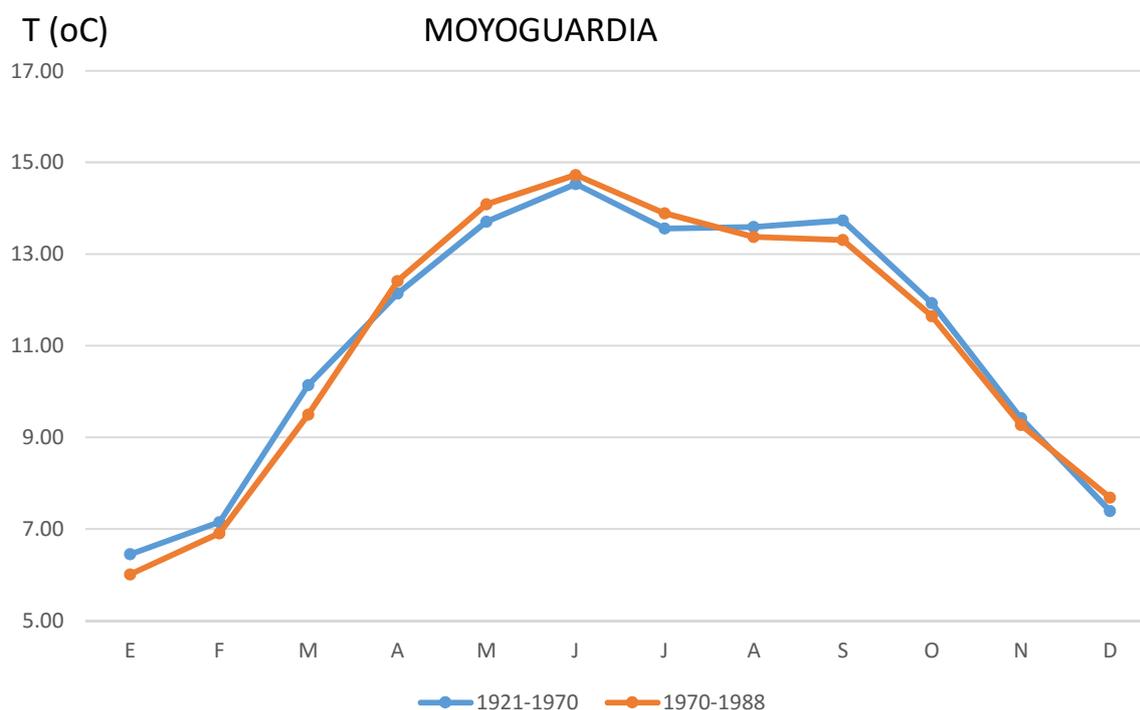


Figura 5.11 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación MOYOGUARDIA (9034).

### 5.5.2.5 Estación El Manantial

#### 5.5.2.5.1 Precipitación

Se observan incrementos significativos en la precipitación en la época de lluvias para los meses de mayo (1.71 y 1.78 mm), agosto (2.65 a 3.17 mm), octubre (1.06 y 1.63 mm) y noviembre (0.26 a 0.39 mm), entre el periodo inicial (1959 – 1970) y el reciente (1970 – 1999). Por el contrario enero con decrementos en época de secas para los meses de enero (0.44 y 0.30 mm), febrero (0.31 y 0.26 mm), marzo (0.57 y 0.50 mm), abril (1.17 y 0.89mm) y diciembre (0.23 y 0.21 mm; Tabla 5.20, 5.21 y Figura 5.12).

Tabla 5.20 Prueba de “t” para la PP en la estación EL MANANTIAL (13008)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.44	0.30	1.067	1207	0.286265	310	899	2.910	1.637	3.160	0.00
F	0.31	0.26	0.473	1064	0.636567	277	789	1.901	1.473	1.665	0.000000
M	0.57	0.50	0.376	1145	0.706943	310	837	2.311	2.779	1.447	0.000150
A	1.17	0.89	1.212	1116	0.225744	293	825	4.002	3.192	1.572	0.000001
M	1.71	1.78	-0.223	1159	0.823497	310	851	5.369	4.619	1.351	0.001014
J	2.52	2.82	-0.694	1130	0.488087	293	839	5.960	6.446	1.170	0.110570
J	2.71	2.80	-0.257	1175	0.797090	310	867	5.663	5.550	1.041	0.656453
A	2.65	3.17	-1.162	1176	0.245604	310	868	5.828	7.099	1.484	0.000049
S	2.50	2.88	-0.830	1131	0.406682	293	840	6.655	6.920	1.081	0.427287
O	1.06	1.63	-1.601	1176	0.109592	310	868	3.654	5.906	2.613	0.000000
N	0.26	0.39	-1.060	1146	0.289462	292	856	1.519	1.864	1.504	0.000043
D	0.23	0.21	0.198	1238	0.842909	341	899	1.520	1.323	1.321	0.001559

Tabla 5.21 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación EL MANANTIAL (13008)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1959-1970	0.44	0.31	0.57	1.17	1.71	2.52	2.71	2.65	2.50	1.06	0.26	0.23
1970-1999	0.30	0.26	0.50	0.89	1.78	2.82	2.80	3.17	2.88	1.63	0.39	0.21

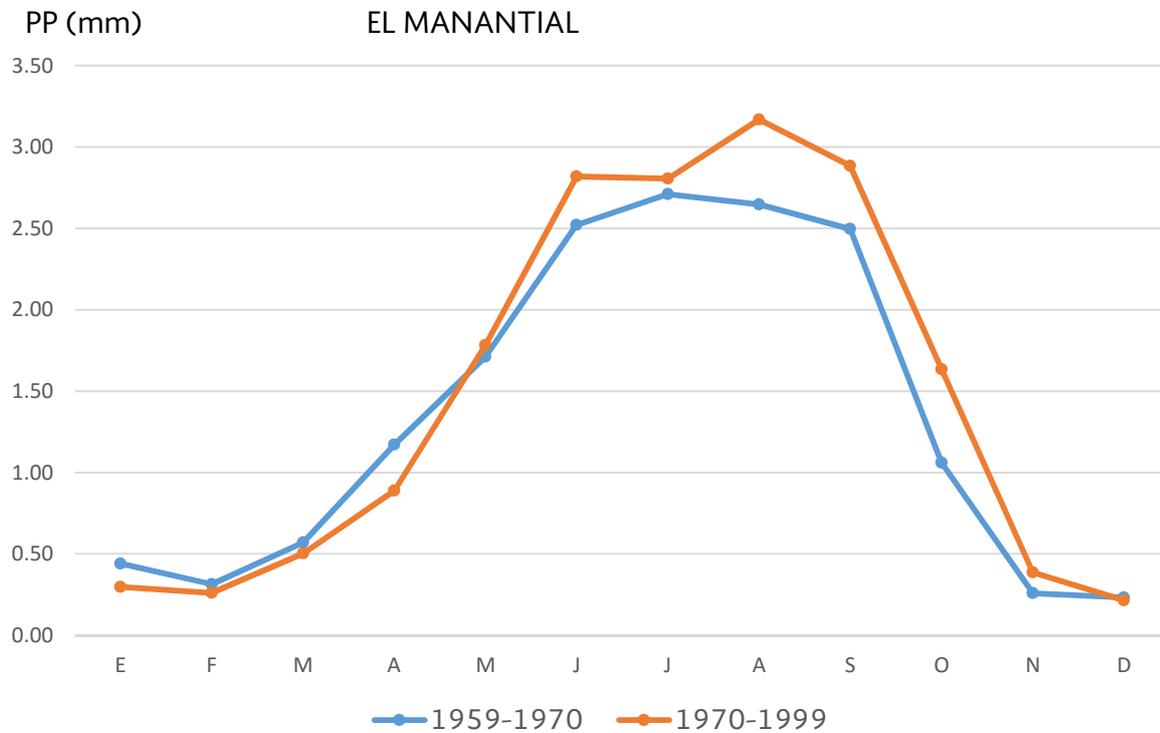


Figura 5.12 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación EL MANANTIAL (13008).

### 5.5.2.5.2 Temperatura

Para la temperatura los meses de la época de secas señalaron un decremento significativo y mayo, agosto, octubre y noviembre con incrementos significativos, aspecto que señala una tendencia hacia un clima extremo (Tabla 5.22, 5.23 y Figura 5.13; en rojo los incrementos y en azul los decrementos).

Tabla 5.22 Prueba de “t” para la temperatura en la estación EL MANANTIAL (13008)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.44	0.30	1.066823	1207	0.286265	310	899	2.910	1.637	3.160	0.00
F	0.31	0.26	0.472640	1064	0.636567	277	789	1.901	1.473	1.665	0.000000
M	0.57	0.50	0.376058	1145	0.706943	310	837	2.311	2.779	1.447	0.000150
A	1.17	0.89	1.212065	1116	0.225744	293	825	4.002	3.192	1.572	0.000001
M	1.71	1.78	-0.223100	1159	0.823497	310	851	5.369	4.619	1.351	0.001014
J	2.52	2.82	-0.693582	1130	0.488087	293	839	5.960	6.446	1.170	0.110570

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No.	Std.	Std.	F-Razón Varianza	F
J	2.71	2.80	-0.257173	1175	0.797090	310	867	5.663	5.550	1.041	0.656453
A	2.65	3.17	-1.16167	1176	0.245604	310	868	5.828	7.099	1.484	0.000049
S	2.50	2.88	-0.830056	1131	0.406682	293	840	6.655	6.920	1.081	0.427287
O	1.06	1.63	-1.60124	1176	0.109592	310	868	3.654	5.906	2.613	0.000000
N	0.26	0.39	-1.05979	1146	0.289462	292	856	1.519	1.864	1.504	0.000043
D	0.23	0.21	0.198216	1238	0.842909	341	899	1.520	1.323	1.321	0.001559

Tabla 5.23 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación EL MANANTIAL (13008)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1959-1970	0.44	0.31	0.57	1.17	1.71	2.52	2.71	2.65	2.50	1.06	0.26	0.23
1970-1999	0.30	0.26	0.50	0.89	1.78	2.82	2.80	3.17	2.88	1.63	0.39	0.21

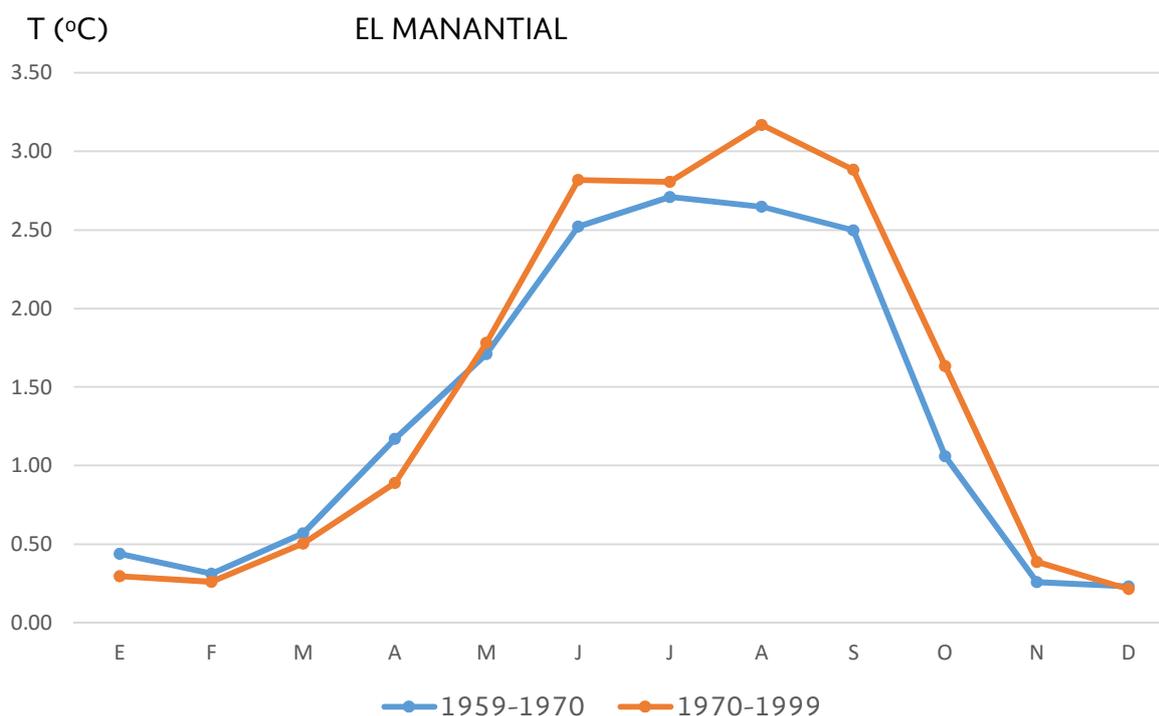


Figura 5.13 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación EL MANANTIAL (13008).

### 5.5.2.6 Estación Amecameca

#### 5.5.2.6.1 Precipitación

Se observan incrementos significativos en la precipitación en el mes de mayo (0.21 a 0.48 mm), entre el periodo inicial (1944 – 1970) y el reciente (1970 – 2009). Por el contrario en julio un decremento (5.77 y 5.04 mm; Tablas 5.24, 5.25 y Figura 5.14).

Tabla 5.24 Prueba de “t” para la PP en la estación AMECAMECA (15007)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.45	0.40	0.35581	1672	0.72202	651	1023	3.126	3.243	1.076	0.305982
F	0.25	0.33	-0.80964	1490	0.41827	560	932	1.980	1.995	1.015	0.851403
M	0.21	0.48	-2.2968	1627	0.02175	620	1009	1.628	2.632	2.613	0.00
A	0.97	1.06	-0.47828	1528	0.63251	570	960	3.919	3.241	1.462	0.000000
M	2.49	2.52	-0.09381	1609	0.92527	619	992	5.873	5.450	1.161	0.037785
J	4.77	5.24	-1.1634	1608	0.24481	650	960	7.565	7.944	1.103	0.177033
J	5.77	5.04	2.02073	1640	0.04347	651	991	7.611	6.928	1.207	0.007931
A	5.64	5.49	0.39562	1671	0.69243	682	991	8.194	7.452	1.209	0.006633
S	5.84	5.69	0.31852	1528	0.75013	570	960	9.839	8.003	1.512	0.000000
O	2.21	2.07	0.55835	1578	0.57668	619	961	5.567	4.936	1.272	0.000868
N	0.71	0.42	1.93665	1528	0.05297	600	930	3.272	2.524	1.681	0.000000
D	0.22	0.24	-0.17861	1455	0.85826	589	868	1.574	2.016	1.641	0.000000

Tabla 5.25 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación AMECAMECA (15007)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1944-1970	0.45	0.25	0.21	0.97	2.49	4.77	5.77	5.64	5.84	2.21	0.71	0.22
1970-2009	0.40	0.33	0.48	1.06	2.52	5.24	5.04	5.49	5.69	2.07	0.42	0.24

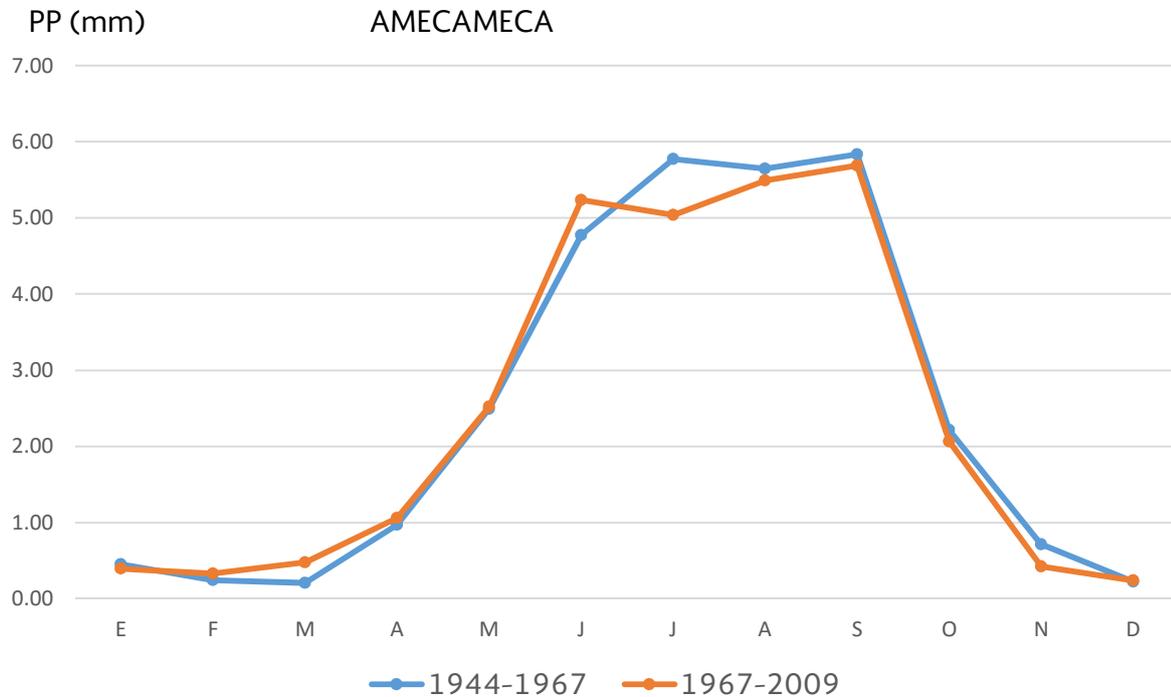


Figura 5.14 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación AMECAMECA (15007).

### 5.5.2.6.2 Temperatura

Para la temperatura todos los meses del año señalaron un decremento significativo (excepto julio; Tabla 5.26, 5.27 y Figura 5.15; en rojo los incrementos y en azul los decrementos).

Tabla 5.26 Prueba de "t" para la temperatura en la estación AMECAMECA (15007)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	5.55	4.77	3.6066	1424	0.00032	403	1023	4.181	3.424	1.491	0.000001
F	7.07	6.03	4.8732	1323	0.00000	394	931	4.174	3.268	1.631	0.000000
M	10.92	8.72	11.031	1409	0.00000	403	1008	3.663	3.262	1.261	0.004620
A	13.41	11.38	12.518	1318	0.00	360	960	3.059	2.443	1.567	0.000000
M	14.03	12.58	9.0800	1392	0.00000	402	992	3.519	2.287	2.368	0.000000
J	13.11	12.85	2.1245	1368	0.03380	410	960	2.515	1.811	1.928	0.000000
J	11.98	11.95	0.2844	1424	0.77610	434	992	2.179	1.559	1.953	0.000000
A	12.78	11.87	9.3258	1434	0.00000	446	990	2.178	1.464	2.213	0.000000
S	12.43	11.59	6.4475	1318	0.00000	360	960	2.939	1.696	3.001	0.00

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No.	Std.	Std.	F-Razón Varianza	F
O	11.11	9.97	8.2178	1388	0.00000	430	960	2.575	2.291	1.263	0.003798
N	9.82	7.77	9.7189	1303	0.00000	375	930	4.025	3.168	1.615	0.000000
D	6.21	5.62	2.8965	1236	0.00384	372	866	3.170	3.328	1.102	0.277203

Tabla 5.27 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación AMECAMECA (15007)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1944-1970	5.55	7.07	10.92	13.41	14.03	13.11	11.98	12.78	12.43	11.11	9.82	6.21
1970-2009	4.77	6.03	8.72	11.38	12.58	12.85	11.95	11.87	11.59	9.97	7.77	5.62

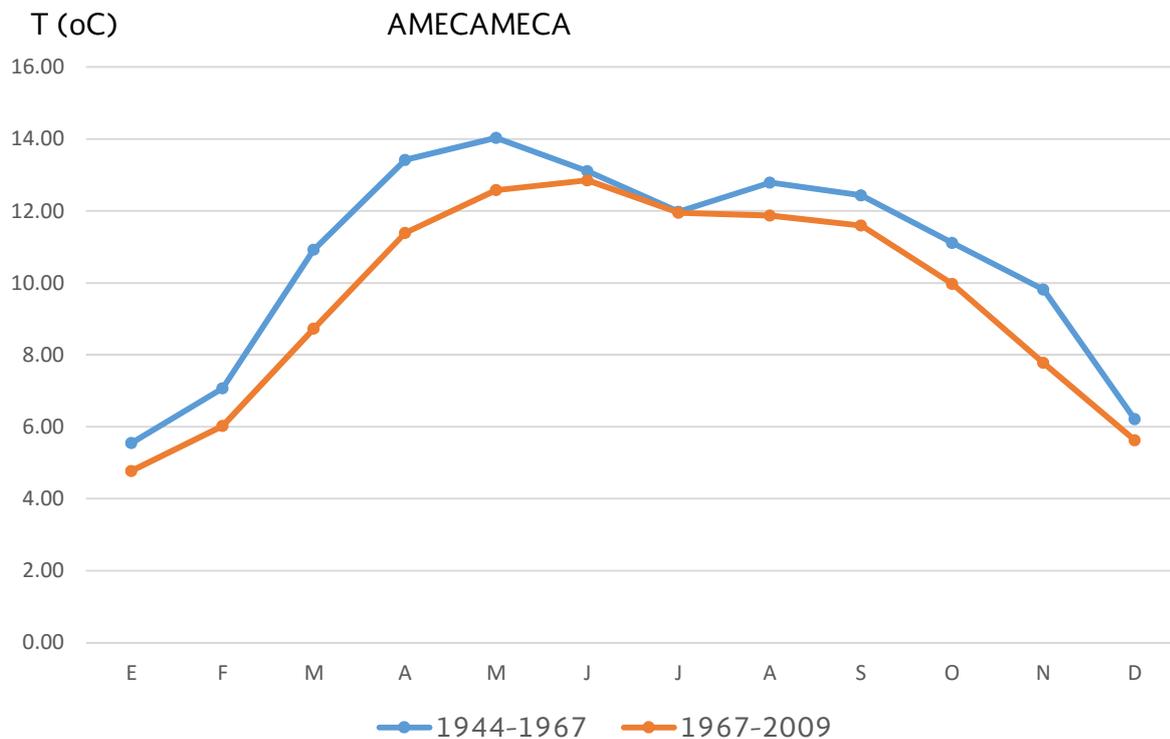


Figura 5.15 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación AMECAMECA (15007).

### 5.5.2.7 Estación Lerma Santiago

#### 5.5.2.7.1 Precipitación

Se observan incrementos significativos en la precipitación en los meses de lluvias principalmente (junio, julio, agosto y septiembre) y en febrero (0.14 a 0.27 mm), entre el periodo inicial (1944 – 1970) y el reciente (1970 – 2009; Tabla 5.28, 5.29 y Figura 5.16).

Tabla 5.28 Prueba de “t” para la PP en la estación LERMA (15049)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de “t”	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.40	0.48	-0.61102	1688	0.54127	774	916	2.788	2.871	1.060	0.398035
F	0.14	0.27	-2.00188	1589	0.04547	730	861	1.033	1.442	1.949	0.000000
M	0.39	0.45	-0.59193	1773	0.55397	836	939	2.070	2.365	1.305	0.000082
A	0.90	0.95	-0.34145	1711	0.73281	809	904	3.039	2.912	1.089	0.212859
M	2.47	2.60	-0.50126	1760	0.61625	836	926	4.916	5.435	1.222	0.003064
J	5.15	6.64	-3.06431	1687	0.00222	780	909	7.498	11.674	2.424	0.00
J	5.56	7.08	-3.80495	1768	0.00015	832	938	6.841	9.468	1.915	0.000000
A	5.61	6.99	-3.21951	1708	0.00131	831	879	7.318	10.166	1.930	0.000000
S	4.33	5.46	-2.81692	1713	0.00490	803	912	7.037	9.204	1.710	0.000000
O	1.65	2.11	-1.84066	1767	0.06584	861	908	4.878	5.581	1.309	0.000066
N	0.67	0.66	0.14569	1716	0.88418	838	880	2.536	2.849	1.263	0.000659
D	0.22	0.27	-0.70975	1779	0.47795	840	941	1.188	1.574	1.755	0.000000

Tabla 5.29 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación LERMA (15049)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1942-1970	0.40	0.14	0.39	0.90	2.47	5.15	5.56	5.61	4.33	1.65	0.67	0.22
1970-2007	0.48	0.27	0.45	0.95	2.60	6.64	7.08	6.99	5.46	2.11	0.66	0.27

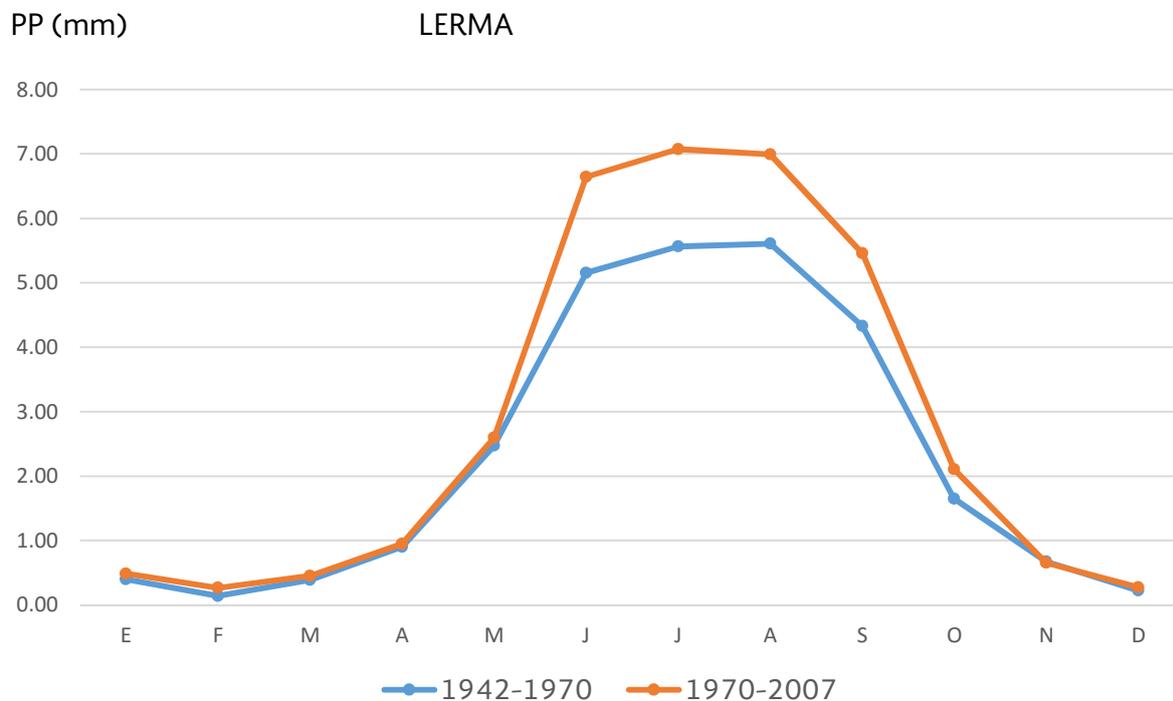


Figura 5.16 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación LERMA (15049).

### 5.5.2.7.2 Temperatura

Para la temperatura todos los meses del año señalaron un incremento significativo (excepto noviembre y diciembre; Tabla 5.30, 5.31 y Figura 5.17; en rojo los incrementos y en azul los decrementos).

Tabla 5.30 Prueba de "t" para la temperatura en la estación LERMA (15049)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	1.88	2.20	-1.85100	1687	0.06434	774	915	2.634	4.102	2.426	0.00
F	2.36	2.57	-1.32035	1594	0.18691	734	862	2.968	3.471	1.367	0.000012
M	4.88	4.42	3.18540	1781	0.00147	836	947	2.927	3.174	1.176	0.016255
A	7.89	6.83	7.99350	1713	0.00000	809	906	2.717	2.742	1.018	0.793839
M	10.73	9.42	10.9531	1766	0.00000	836	932	2.597	2.424	1.148	0.040614
J	12.41	11.41	10.1518	1696	0.00000	780	918	2.047	1.990	1.058	0.411375
J	11.90	11.03	9.87810	1771	0.00000	832	941	1.895	1.783	1.130	0.068198
A	11.42	10.64	9.40093	1713	0.00000	831	884	1.815	1.610	1.271	0.000462
S	11.35	10.66	7.33963	1716	0.00000	804	914	1.902	1.988	1.092	0.199098
O	8.91	8.44	3.23728	1747	0.00123	861	888	3.146	2.911	1.168	0.021577

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No.	Std.	Std.	F-Razón Varianza	F
N	5.41	5.19	1.33201	1702	0.18304	829	875	3.081	3.512	1.299	0.000144
D	2.96	2.97	-0.06195	1781	0.95061	840	943	2.852	3.800	1.776	0.000000

Tabla 5.31 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación LERMA (15049)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1942-1970	1.88	2.36	4.88	7.89	10.73	12.41	11.90	11.42	11.35	8.91	5.41	2.96
1970-2007	2.20	2.57	4.42	6.83	9.42	11.41	11.03	10.64	10.66	8.44	5.19	2.97

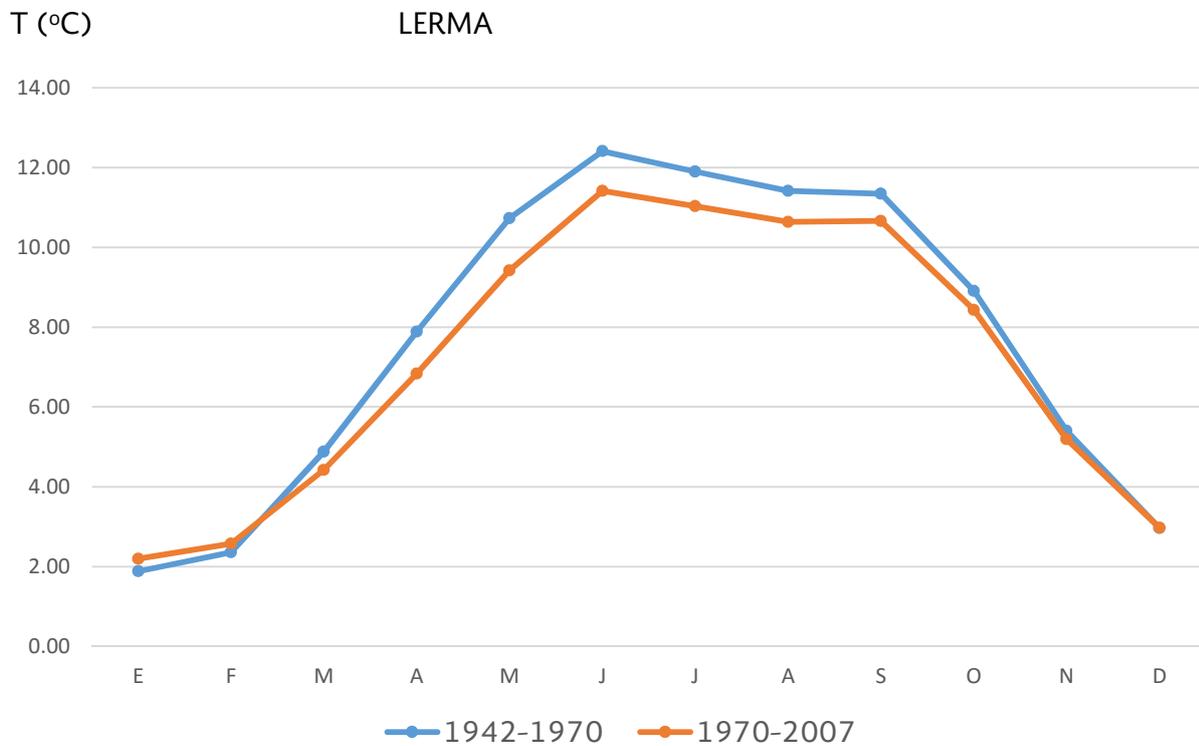


Figura 5.17 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación LERMA

## 5.5.2.8 Estación Chapingo

### 5.5.2.8.1 Precipitación

Para la precipitación todos los meses de primavera y verano señalan decrementos significativos (marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre), y con incrementos significativos los meses de invierno octubre, noviembre, diciembre, enero y diciembre entre el periodo inicial (1955 – 1970) y el reciente (1970 – 1998) en los promedios mensuales (Tabla 5.32, 5.33 y Figura 5.18; en rojo los incrementos y en azul los decrementos).

Tabla 5.32 Prueba de “t” para los periodos inicial y reciente de PP en la estación CHAPINGO (15170)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.468691	0.468691	0.00000	1052	1.000000	527	527	3.041	3.041	1.000	1.000000
F	0.207073	0.2226934	-0.29397	1580	0.768818	509	1073	1.202	1.280	1.133	0.106904
M	0.594086	0.407301	1.48436	1734	0.137894	558	1178	3.029	2.119	2.043	0.000000
A	1.075926	0.990263	0.50498	1678	0.613641	540	1140	3.221	3.260	1.024	0.753166
M	2.106463	1.572591	2.22832	1759	0.025985	557	1204	5.508	4.235	1.691	0.000000
J	3.420185	3.569658	-0.45419	1708	0.649749	540	1170	5.875	6.523	1.233	0.005192
J	3.958824	3.986022	-0.07974	1734	0.936452	527	1209	6.295	6.636	1.111	0.159971
A	3.780287	3.630190	0.46302	1765	0.643407	558	1209	6.317	6.342	1.008	0.918787
S	4.054545	2.955214	3.35798	1707	0.000802	539	1170	6.938	5.966	1.352	0.000030
O	1.666667	1.433531	0.95244	1734	0.341007	558	1178	5.660	4.274	1.754	0.000000
N	0.400926	0.412193	-0.10312	1678	0.917880	540	1140	2.044	2.114	1.069	0.373488
D	0.202867	0.180000	0.31998	1711	0.749024	558	1155	1.291	1.430	1.226	0.006075

Tabla 5.33 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación CHAPINGO

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1952-1970	0.47	0.21	0.59	1.08	2.11	3.42	3.96	3.78	4.05	1.67	0.40	0.20
1971-2009	0.34	0.23	0.41	0.99	1.57	3.57	3.99	3.63	2.96	1.43	0.41	0.18

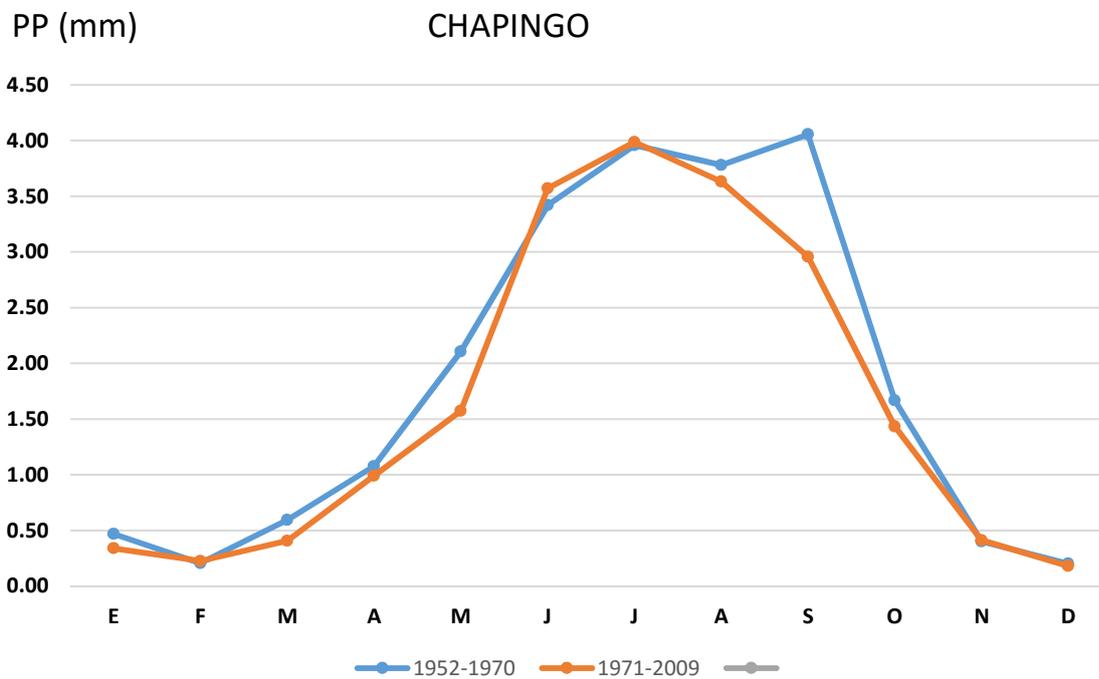


Figura 5.18 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación CHAPINGO

### 5.5.2.8.2 Temperatura

Se observan decrementos significativos en la temperatura en primavera y verano; e incrementos significativos en invierno, entre el periodo inicial (1944 – 1970) y el reciente (1970 – 2009; Tabla 5.34, 5.35 y Figura 5.19). Aspecto que señala un cambio en las condiciones meteorológicas y climáticas de la zona.

Tabla 5.34 Prueba de “t” para la temperatura en la estación CHAPINGO (15170)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	3.92	5.49	-10.1693	1703	0.000000	527	1178	3.157	2.848	1.229	0.004712
F	6.04	6.77	-4.45584	1581	0.000009	509	1074	3.496	2.844	1.511	0.000000
M	11.31	9.70	8.386778	1734	0.000000	558	1178	5.134	2.849	3.246	0.00
A	11.31	9.70	8.386778	1734	0.000000	558	1178	5.134	2.849	3.246	0.00
M	14.92	14.24	5.819188	1763	0.000000	557	1208	2.669	2.084	1.640	0.000000
J	15.44	14.76	6.452916	1708	0.000000	540	1170	2.126	1.977	1.157	0.045401
J	14.49	13.76	7.961884	1733	0.000000	526	1209	1.875	1.679	1.247	0.002393
A	14.37	13.45	10.23878	1765	0.000000	558	1209	1.833	1.725	1.130	0.088319
S	13.53	13.11	4.290234	1708	0.000019	540	1170	1.774	1.963	1.224	0.006960

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
O	10.71	11.12	-3.00291	1734	0.002712	558	1178	3.042	2.518	1.459	0.000000
N	7.42	8.42	-6.11218	1678	0.000000	540	1140	3.251	3.074	1.119	0.125065
D	4.92	6.34	-9.41713	1712	0.000000	558	1156	3.292	2.719	1.466	0.000000

Tabla 5.35 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación CHAPINGO

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1952-1970	3.92	6.04	11.31	13.36	14.92	15.44	14.49	14.37	13.53	10.71	7.42	4.92
1971-2009	5.49	6.77	9.70	12.75	14.24	14.76	13.76	13.45	13.11	11.12	8.42	6.34

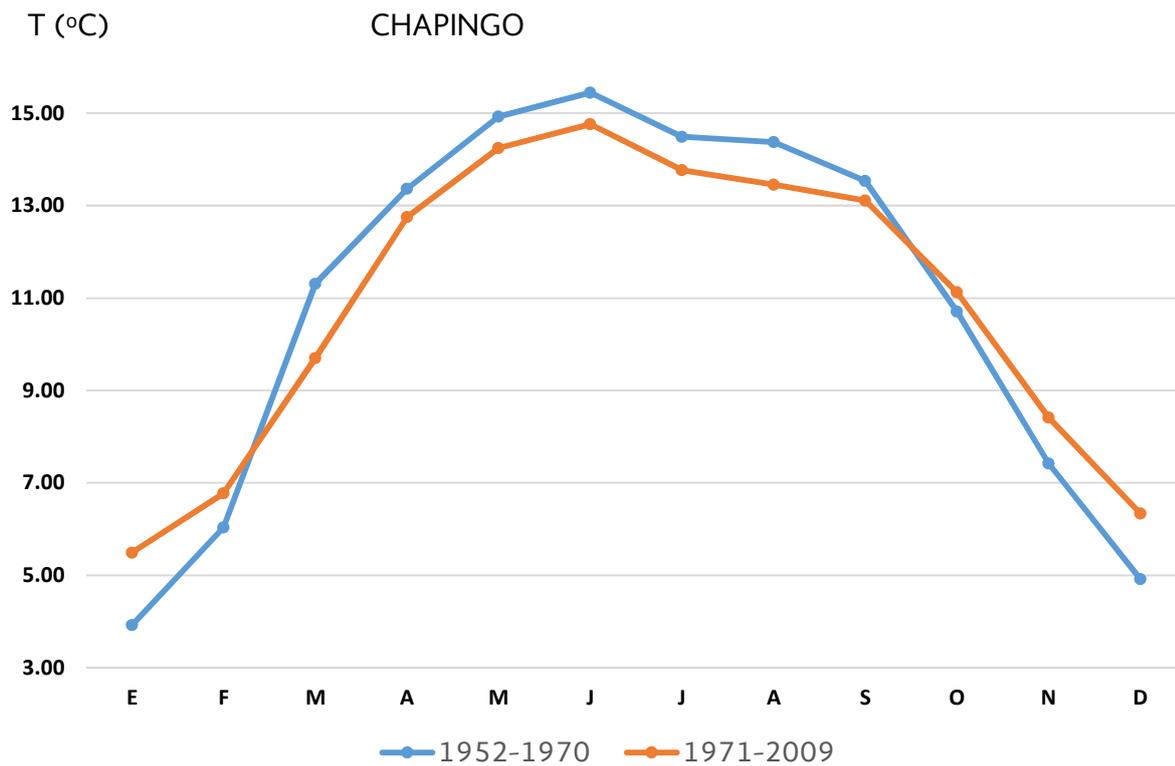


Figura 5.19 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación CHAPINGO

### 5.5.2.9 Estación Atlatlahuacan

#### 5.5.2.9.1 Precipitación

Para la precipitación la prueba de “t” señala decrementos significativos en secas (abril y mayo entre el periodo inicial (1924 – 1967) y el reciente (1967 – 2008) en los promedios mensuales (Tabla 5.36, 5.37 y Figura 5.20; en rojo los incrementos y en azul los decrementos).

Tabla 5.36 Prueba de “t” para los periodos inicial y reciente de PP en la estación ATLATLAHUACAN (10)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.27	0.24	0.320641	2503	0.748510	1296	1209	2.090	2.189	1.098	0.099607
F	0.15	0.10	1.015284	2303	0.310077	1175	1130	1.347	1.180	1.303	0.000007
M	0.16	0.09	1.381888	2503	0.167130	1265	1240	1.451	1.106	1.721	0.000000
A	0.48	0.23	2.474490	2421	0.013411	1223	1200	2.754	2.036	1.830	0.000000
M	2.20	1.39	3.601130	2475	0.000323	1268	1209	6.441	4.651	1.918	0.000000
J	6.63	6.88	-0.502598	2456	0.615292	1258	1200	11.466	12.757	1.238	0.000186
J	6.92	5.67	3.001954	2533	0.002709	1296	1239	10.814	10.188	1.127	0.034246
A	6.29	5.46	2.157441	2536	0.031065	1298	1240	9.831	9.493	1.072	0.213950
S	7.33	6.31	2.180460	2423	0.029319	1255	1170	11.375	11.607	1.041	0.482156
O	2.38	1.98	1.519519	2532	0.128757	1296	1238	6.895	6.334	1.185	0.002542
N	0.36	0.50	-1.41648	2361	0.156766	1254	1109	2.193	2.625	1.433	0.000000
D	0.19	0.22	-0.421958	2504	0.673092	1328	1178	1.978	2.257	1.302	0.000003

Tabla 5.37 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación ATLATLAHUACAN

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1924-1967	0.27	0.15	0.16	0.48	2.20	6.63	6.92	6.29	7.33	2.38	0.36	0.19
1967-2008	0.24	0.10	0.09	0.23	1.39	6.88	5.67	5.46	6.31	1.98	0.50	0.22

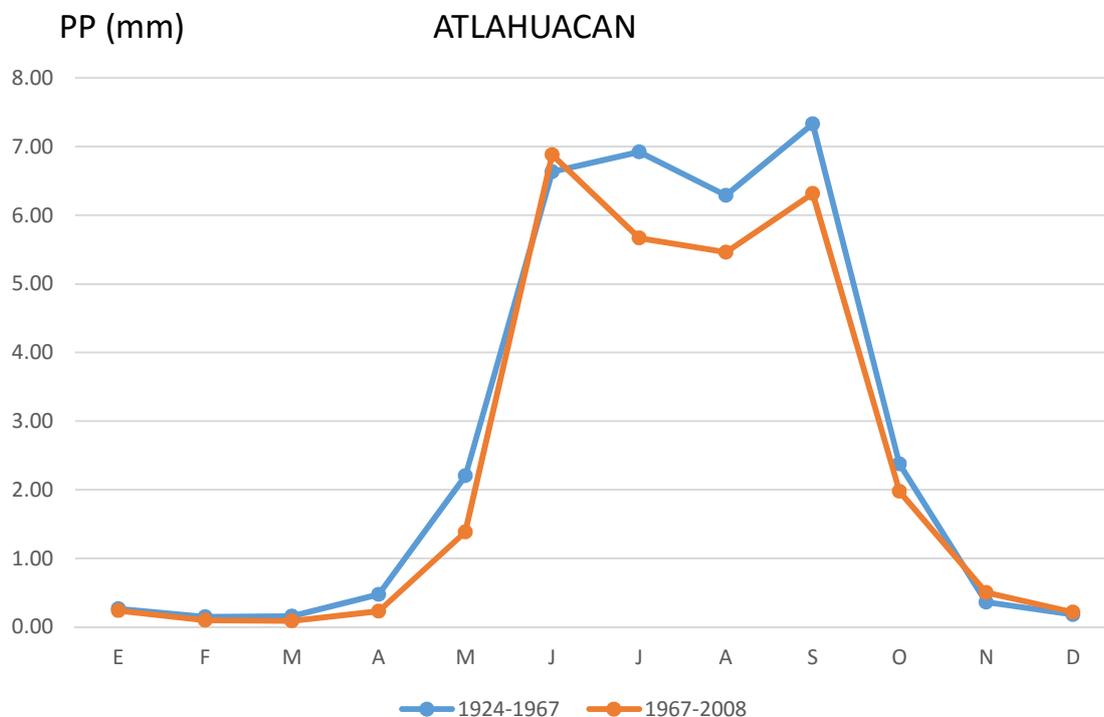


Figura 5.20 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación ATLAHUACAN.

### 5.5.2.9.2 Temperatura

En la prueba de “t”, se observan decrementos significativos en la temperatura en época de lluvias; e incrementos significativos en secas, entre el periodo inicial (1924 – 1967) y el reciente (1967 – 2008; Tabla 5.38, 5.39 y Figura 5.21). Aspecto que señala un cambio en las condiciones meteorológicas y climáticas de la zona.

Tabla 5.38 Prueba de “t” para la temperatura en la estación ATLAHUACAN (17001)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	3.92	5.49	-10.1693	1703	0.000000	527	1178	3.157	2.848	1.229	0.004712
F	6.04	6.77	-4.45584	1581	0.000009	509	1074	3.496	2.844	1.511	0.000000
M	11.31	9.70	8.386778	1734	0.000000	558	1178	5.134	2.849	3.246	0.00
A	11.31	9.70	8.386778	1734	0.000000	558	1178	5.134	2.849	3.246	0.00
M	14.92	14.24	5.819188	1763	0.000000	557	1208	2.669	2.084	1.640	0.000000
J	15.44	14.76	6.452916	1708	0.000000	540	1170	2.126	1.977	1.157	0.045401

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
J	14.49	13.76	7.961884	1733	0.000000	526	1209	1.875	1.679	1.247	0.002393
A	14.37	13.45	10.23878	1765	0.000000	558	1209	1.833	1.725	1.130	0.088319
S	13.53	13.11	4.290234	1708	0.000019	540	1170	1.774	1.963	1.224	0.006960
O	10.71	11.12	-3.00291	1734	0.002712	558	1178	3.042	2.518	1.459	0.000000
N	7.42	8.42	-6.11218	1678	0.000000	540	1140	3.251	3.074	1.119	0.125065
D	4.92	6.34	-9.41713	1712	0.000000	558	1156	3.292	2.719	1.466	0.000000

Tabla 5.39 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación ATLALTLAHUACAN

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1924-1967	18.52	19.06	20.02	20.85	20.97	20.19	19.65	19.58	19.35	19.35	19.05	18.80
1967-2008	18.26	18.28	19.06	19.42	19.67	19.10	18.72	18.73	18.54	18.29	17.95	17.97

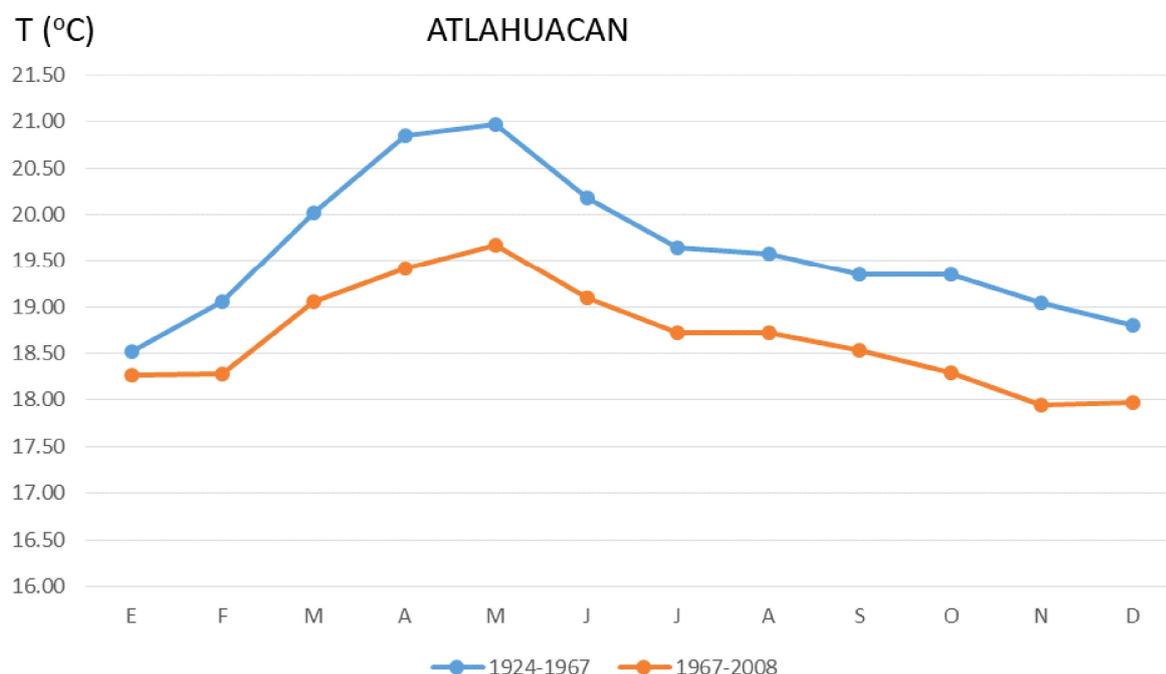


Figura 5.21 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación ATLALTLAHUACAN

### 5.5.2.10 Estación Mazapa

#### 5.5.2.10.1 Precipitación

Para la precipitación la prueba de “t” señala decrementos significativos en secas (noviembre, diciembre y abril) entre el periodo inicial (1936 – 1960) y el reciente (1960 – 2008) en los promedios mensuales (Tabla 5.40, 5.41 y Figura 5.22) en rojo los incrementos y en azul los decrementos.

Tabla 5.40 Prueba de “t” para los periodos inicial y reciente de PP en la estación MAZAPA

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	0.30	0.27	0.309135	1453	0.757263	713	742	1.839	1.852	1.014	0.853779
F	0.35	0.22	1.446708	1322	0.148216	649	675	1.896	1.239	2.341	0.000000
M	0.60	0.62	-0.125235	1452	0.900355	713	741	2.649	2.799	1.116	0.140222
A	1.57	1.09	2.225482	1407	0.026207	690	719	4.695	3.325	1.993	0.000000
M	2.89	2.41	1.563239	1483	0.118210	744	741	5.810881	6.058057	1.086883	0.256849
J	4.69	4.43	0.608995	1407	0.542626	720	689	8.364	7.808	1.148	0.068456
J	4.97	4.97	-0.015273	1485	0.987817	744	743	7.498	8.341	1.237	0.003748
A	4.79	4.53	0.658089	1454	0.510585	744	712	7.985	7.197	1.231	0.005161
S	4.25	3.55	1.872043	1406	0.061408	720	688	6.978	7.010	1.009	0.900782
O	2.07	1.75	1.239172	1453	0.215482	744	711	5.241	4.458	1.382	0.000014
N	0.99	0.43	3.768850	1407	0.000171	720	689	3.319	2.005	2.741	0.00
D	0.46	0.20	2.388249	1421	0.017059	744	679	2.625	1.212	4.691	0.00

Tabla 5.41 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación MAZAPA

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1936-1960	0.30	0.35	0.60	1.57	2.89	4.69	4.97	4.79	4.25	2.07	0.99	0.46
1960-2008	0.27	0.22	0.62	1.09	2.41	4.43	4.97	4.53	3.55	1.75	0.43	0.20

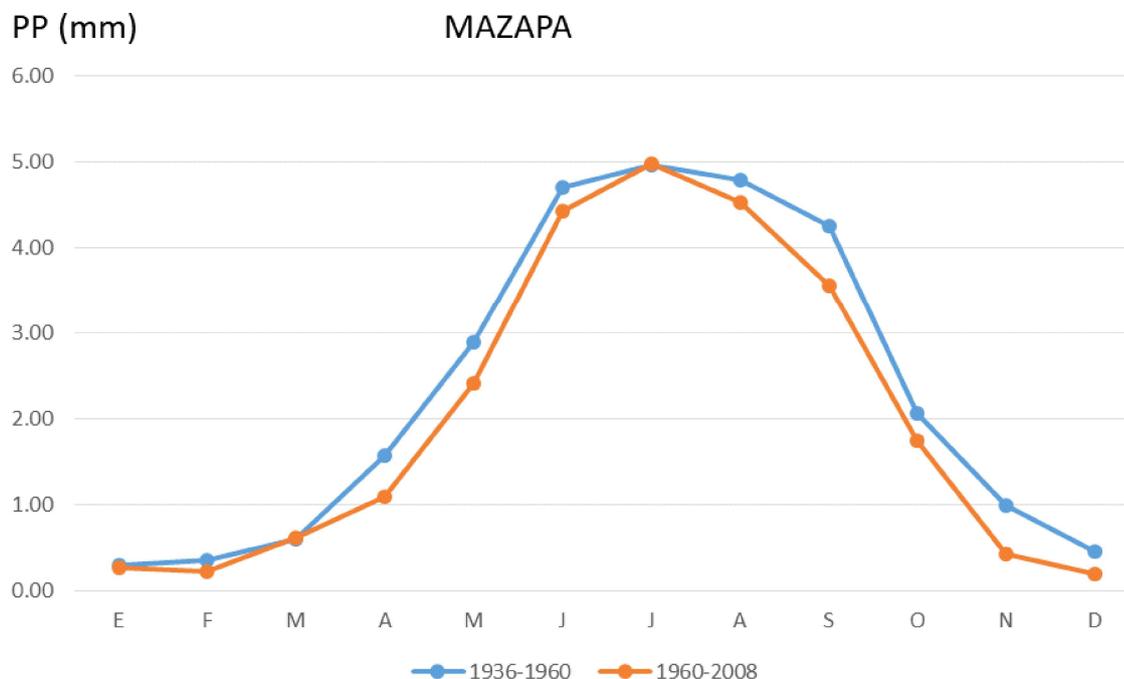


Figura 5.22 Promedios para los periodos inicial y reciente de PP en la estación MAZAPA

### 5.5.2.10.2 Temperatura

En la prueba de “t”, se observan decrementos significativos en la temperatura en todo el año, entre el periodo inicial (1936 – 1960) y el reciente (1960 – 2008; Tabla 5.42, 5.43 y Figura 5.23). Aspecto que señala un cambio en las condiciones meteorológicas y climáticas de la zona.

Tabla 5.42 Prueba de “t” para la temperatura en la estación MAZAPA (29015)

Mes	Media G1	Media G2	Valor de “t”	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
E	7.95	6.36	11.61666	1455	0.000000	713	744	2.531	2.684	1.125	0.113773
F	9.10	6.89	14.18133	1323	0.00	647	678	2.635	3.008	1.303	0.000694
M	10.96	9.54	9.458960	1455	0.000000	713	744	2.575	3.133	1.480	0.000000
A	12.59	11.04	10.08301	1407	0.000000	689	720	2.476	3.250	1.722	0.000000
M	12.98	11.73	9.960746	1455	0.000000	713	744	2.211	2.541	1.322	0.000179
J	12.67	11.63	9.732888	1406	0.000000	718	690	1.766	2.225	1.587	0.000000
J	12.17	10.76	15.82958	1485	0.00	743	744	1.499	1.897	1.602	0.000000
A	12.11	10.37	17.94426	1455	0.00	744	713	1.698	2.001	1.389	0.000010
S	11.40	10.38	9.492391	1408	0.000000	720	690	1.866	2.161	1.340	0.000103

Mes	Media G1	Media G2	Valor de "t"	df	p	No. G1	No. G2	Std. G1	Std. G2	F-Razón Varianza	F
O	10.79	9.25	12.07018	1455	0.00	744	713	2.389	2.496	1.092	0.237272
N	9.88	7.90	13.29798	1407	0.00	719	690	3.000	2.550	1.384	0.000018
D	8.50	6.70	13.40624	1453	0.00	743	712	2.613	2.504	1.089	0.249681

Tabla 5.43 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación MAZAPA

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1936-1960	7.95	9.10	10.96	12.59	12.98	12.67	12.17	12.11	11.40	10.79	9.88	8.50
1960-2008	6.36	6.89	9.54	11.04	11.73	11.63	10.76	10.37	10.38	9.25	7.90	6.70

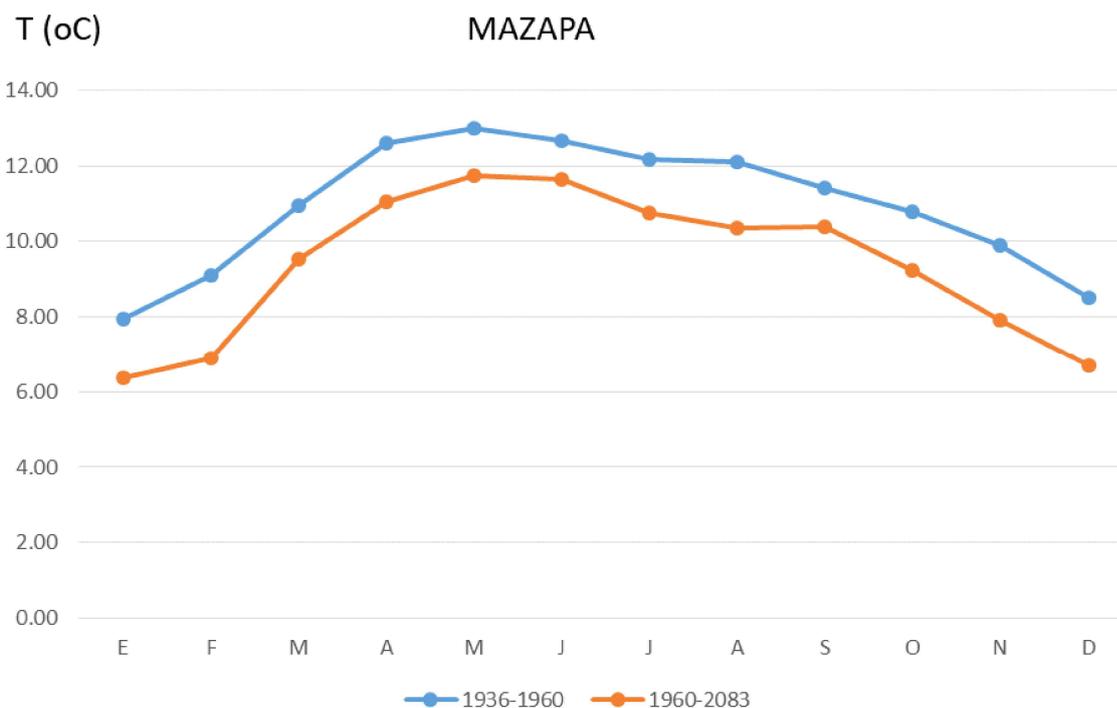


Figura 5.23 Promedios para los periodos inicial y reciente de temperatura en la estación Mazapa

 	<p>ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD HIDROECOLÓGICA DE UNA CUENCA CON PRESIÓN HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 197</p>	<p>Jiutepec, Mor., 29 de diciembre de 2017</p>	<p>Clave: F.CO.2.03.01</p>

## 5.6 Conclusiones

Los resultados de los promedios mensuales para la precipitación de las estaciones meteorológicas de la cuenca del Valle de México señalan el periodo de lluvias de junio a septiembre con el máximo de 214 mm en el mes de y el mínimo de 5.2 mm. La temperatura observada registró el máximo de 15.2 (oC) en el mes de junio y el mínimo de 3 oC).

La aplicación de la prueba de “t” a la precipitación señaló incrementos significativos en la época de lluvias para las estaciones: Aquiles Serdán, Gran Canal, El Manantial, Lerma y Chapingo. Asimismo, se observó un incremento de la temperatura en época de lluvias para las estaciones: Aquiles Serdán, Moyoguardía, El Manantial, Lerma; aunque algunas estaciones presentaron un incremento de temperatura significativo en todo el año (Aquiles Serdán y Lerma).

Los decrementos significativos obtenidos de la aplicación de la prueba de “t” en la precipitación señaló en la estación Pedregal para el mes de noviembre; en Gran Canal en el mes de enero; en Moyoguardía en lluvias y en el mes de noviembre; en Manantial en invierno (diciembre - abril); en Amecameca en julio y en Chapingo de mayo a septiembre. La mayoría de las estaciones observaron decrementos en la precipitación en la época de invierno, excepto Chapingo que señala los menores valores en primavera y verano, que puede ser explicado por el cambio de uso del suelo en esta última estación.

La temperatura a través de la aplicación de la prueba de “t” para la estación El pedregal mostró en forma significativa la disminución en los meses de marzo, mayo, junio, julio y septiembre. En la estación Gran Canal se observó el decremento de la temperatura de mayo a septiembre. En Moyoguardía en marzo y septiembre. En el Manantial de diciembre a abril. En Amecameca el descenso de la temperatura en todo el año, excepto en julio y en la estación Chapingo el descenso de temperatura de mayo a septiembre.

## 5.7 Referencias

Brown, C., King, J., 2003. Environmental Flows: Concepts and Methods. in: Davis, R., Hirji, R. (Eds.), Water Resource and Environment Technical Note 1. The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank. Washington D.C

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía (2015), Conociendo el Distrito Federal. Quinta. Edición. Accesible en la WEB:  
[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/702825212988.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/702825212988.pdf). Consultado el 25 de octubre de 2017.