



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE 19
FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE AL VALLE DE
MÉXICO**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

ALVAREZ ORTEGA EDITH MARLEM

TUTOR (A):

DRA. BLANCA ELENA JIMÉNEZ CISNEROS

NOVIEMBRE, 2009





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad.

A la Dra. Blanca Elena Jiménez Cisneros y al Instituto de Ingeniería de la UNAM por sus enseñanzas, y apoyo proporcionado para la realización de este trabajo.

A la Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza" y profesores que fueron pieza clave para lograr esta meta.

A mis tutores Biol. María Eugenia Ibarra Hernández, a la M. en C. Martha Flores Becerril, al I.Q. José Mariano Ramos Olmos y a la I.Q. Ana Lilia Maldonado Arellano por todo el apoyo, tiempo, comprensión y aprendizaje proporcionados para el término de este trabajo.

Sinceramente gracias por todo el apoyo brindado.

DEDICATORIAS

JUAN ORTEGA GALINDO (†)

A mis padres María Luisa Ortega Galindo y Oscar Alvarez Campos, porque gracias a su apoyo y consejos he llegado a realizar una de mis mas grandes metas, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir. Con admiración y respeto.

A mis hermanos Duende, Rata, Juanita por su apoyo, cariño y comprensión.

A Edgar porque eres de esa clase de personas que todo lo comprenden y dan lo mejor de si mismos sin esperar nada a cambio, porque sabes escuchar y brindar ayuda cuando es necesario, porque te has ganado mi amor, cariño, admiración y respeto, porque gracias a ti he logrado alcanzar una meta mas en mi vida.

A Gabriel y a Liz porque gracias a ustedes he aprendido a comprender muchas cosas que me han tocado vivir, no tengo las palabras para agradecerles por todo este crecimiento que hay en mí.

A mis amigas de la décimo quinta legislatura del II: Caro, Lucy, Erikita, por todos esas aventuras tan padres que vivimos, por esas horas de risas, y tantas cosas que no podría terminar de enumerar, como muestra de mi cariño y agradecimiento por todo el amor y el apoyo brindado y porque hoy veo llegar a su fin una de las metas de mi vida, les agradezco su amistad.

A mis amigos que fueron parte fundamental de mi formación profesional en la facultad, Moni, Jair, Claudia, Sonia, Bety, por esos momentos tan divertidos que compartimos, todas esas experiencias que nos han hecho crecer y alcanzar nuestro sueño de ser unos grandes I.Q.

A Elías, Lucy, Miguelito, Marco, Alex, por el apoyo recibido durante este proyecto, por esos momentos tan padres que pasamos además de todas esas aventuras con cariño y respeto

Al grupo tratamiento y rehusó del instituto de Ingeniería a Chayo, Tania, Oso de peluche, Andrés, Paulina, Inés, Alma, Caty, Thania, Jorge, Said, Maggy, Elías, Juan Carlos, Chuy, Poncho.

Y gracias a todas esas personas que han sido parte fundamental de este sueño que hoy concluye y he logrado alcanzar, todo este esfuerzo valió la pena porque ahora si ya soy una I.Q.

Desde el Señor Dios de Mi Ser, hasta la gloria de Dios, hasta este día, comprende mi necesidad personal y haz que sea una realidad, y dame el valor de aceptarla, por la vida, por siempre y para siempre, que así sea

MARLEM.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVO.....	13
OBJETIVO PARTICULARES.....	13
ANTECEDENTES.....	14
1.1 Descripción de la Cuenca del Valle de México.....	14
1.2 Balance de Usos y Abastecimiento.....	14
1.2.1. Balance de Agua en el Valle de México.....	16
1.2.2. Problemática del Abastecimiento del Agua Potable en el Valle de México.....	18
1.3 Descripción de las Fuentes de Abastecimiento.....	20
1.3.1. Fuentes de Abastecimiento Externas.....	22
1.3.2. Fuentes Internas de Abastecimiento.....	25
FUNDAMENTOS TEORICOS.....	28
2.1. Fuente de Suministro.....	28
2.2. NOM-127-SSA1-1994.....	30
2.3. Parámetros físicos y químicos como indicador de contaminación del agua.....	31
2.3.1. Cloruros.....	31
2.3.2. Conductividad Eléctrica.....	32
2.3.3. Dureza.....	32
2.3.4. Nitrógeno (N).....	34
2.3.5. Nitritos y Nitratos.....	34
2.3.6. pH.....	35
2.3.7. Turbiedad.....	36
2.3.8. Sólidos Disueltos Totales.....	37
PROCEDIMIENTO.....	38
3.1. Muestreo.....	38
3.1.1. Sitios Muestreados.....	40
3.1.2. Parámetros de Campo.....	41
3.1.3. Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio.....	43
RESULTADOS.....	44
CONCLUSIONES.....	48
NOMENCLATURA.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	50
APENDICE A.....	53

Lista de Figuras

Fig.1. Balance Hídrico del Valle de México.....	13
Fig. 2. Localizacion de las Fuentes de Abastecimiento en el Valle de México.	18
Fig. 3. Sistema Cutzamala	22
Fig 4. Fuentes de Abastecimiento	26
Fig 5. Toma de muestras.	35
Fig 6. Muestreo realizado en tanque	36
Fig. 7. Transporte de muestra	36
Fig 8. Fuentes de Abastecimeinto muestreadas.....	37
Fig 9. Determinacion de los parametros in situ	38

Lista De Tablas

Tabla 1.- Los sistemas de suministro de agua para la zona metropolitana de la Ciudad de México, 2004.	17
Tabla 2.- Abastecimiento de Agua en el Valle de México	19
Tabla 3.-Abastecimiento de Agua entre el Edo de México y el D.F	19
Tabla 4.- Parámetros físicos y químicos contenidos en la NOM-127-SSA1-1994.....	28
Tabla 5. -Parámetros medidos <i>in situ</i>	38
Tabla 6. Preservación de Muestras de acuerdo a la NOM-230-SSA1-2002	39
Tabla 7.- Parametros medidos el laboratorio.	40
Tabla 8. -Parámetros físicos y químicos contenidos en la NOM-127-SSA1-1994.....	41
Tabla 9. –Resultados Generales de las fuentes de Abastecimiento del Estado de México	42
Tabla 10. Resultados Generales de Las fuentes de Abastecimiento del Distrito Federal	43
Tabla 11Table de los parametros excedidos por la norma.	44

NOMENCLATURA

CNA: Comisión Nacional del Agua

SACM: Sistema de Aguas de la Ciudad de México

OMS: Organización Mundial de la Salud

ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México

ZMCM: Zona Metropolitana de la Ciudad de México

CAEM: Comisión de Aguas del Estado de México

T: Temperatura

OD: Oxígeno disuelto

μ: Turbiedad

Mg: Magnesio

Ca Calcio

N: Nitrógeno

pH: Potencial de Hidrogeno

CO₂: Bióxido de Carbono

In situ: En sitio

RESUMEN

El estudio de agua potable implica diversos aspectos entre los que se encuentra la adecuación de su calidad para consumo humano. Para ello, se requiere encontrar la forma más conveniente de hacerlo. Lo más común es efectuar el suministro de agua a partir de las denominadas fuentes convencionales, compuestas por las subterráneas (acuíferos) y las superficiales (ríos, lagos y presas). Por ello, este trabajo establece una comparación de los parámetros determinados en 19 fuentes de abastecimiento al Valle de México, así como una comparación de los límites permisibles obtenidos en dicho trabajo con la norma NOM-127-SSA1-1994.

Se encontró que de las 19 fuentes de abastecimiento de agua a la Ciudad de México en la temporada de lluvia sólo se encontraron dos parámetros establecidos por la norma fuera del límite permitido. Estos parámetros fueron Nitrógeno Amoniacal y Dureza.

INTRODUCCIÓN

Debido a la dimensión y diversidad de los problemas que existen para asegurar el suministro de agua potable a la Ciudad de México, la calidad de la misma ha recibido poca atención. Ello representa uno de los problemas ambientales más críticos generados por la expansión urbana. La calidad del agua es un problema poco estudiado. A pesar de ello por una parte, la calidad de las fuentes de suministro de la Ciudad (tanto superficiales como subterráneas) se deteriora por descargas puntuales y difusas de contaminantes, y por otra, los sistemas de potabilización, usan los mismos procesos seleccionados en forma eficiente y continúa. De tal forma que hoy en día no es claro si las fuentes de suministro y los sistemas de potabilización seleccionados para suministrar agua potable sean los más apropiados para lograr un consumo seguro. Tampoco es claro si el agua distribuida cumple o no con la norma de agua potable. Por ello, el presente trabajo busca estudiar la calidad de las principales fuentes de suministro del Valle de México a través de algunos parámetros fisicoquímicos establecidos por la NOM-127-SSA1-1994.

Por los alcances que una tesis de licenciatura debe tener, se limita a realizar el monitoreo en pozos y tanques, las fuentes se seleccionaron con base en la experiencia que tienen los directivos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México y de la Comisión de Aguas del Estado de México, en la reunión realizada el 8 de Mayo del 2008, el estudio se llevo a cabo en la temporada de lluvias que cubre el período de Abril a Septiembre del 2008 El presente trabajo escrito se compone de cuatro secciones la primera, presenta el objetivo y las metas. En el capítulo uno se describe la Cuenca del Valle de México, así como las fuentes de suministro al Valle de México, el uso del agua y su calidad. El segundo capítulo, contiene los aspectos teóricos sobre cómo se define una fuente de suministro y qué parámetros definen la calidad del agua potable. En el capítulo tercero se describe el muestreo realizado en este trabajo, los parámetros medidos en campo y las pruebas realizadas en el laboratorio. En el cuarto, se presentan los resultados obtenidos en las diferentes fuentes de abastecimiento muestreadas y se comparan con el cumplimiento o no de la NOM-127-SSA1-1994.

JUSTIFICACIÓN

Los cuerpos de agua se han utilizado por una parte para abastecer de agua para consumo humano, y por otra para recibir descargas de contaminantes. Se limita a realizar el monitoreo en pozos y tanques del Valle de México, por ello este trabajo busca contribuir con el estudio de parámetros físicos y químicos para estudiar su calidad mediante el análisis de parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

OBJETIVO GENERAL:

OBJETIVO

- Estudio de las características físicas y químicas de 19 fuentes de abastecimiento de agua potable que abastecen al Valle de México.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar algunos parámetros físicos y químicos de las diversas fuentes de abastecimiento comprendidos en la normatividad mexicana.
- Comparar los resultados con la NOM- 127-SSA1-1994.

ANTECEDENTES

1.1. Descripción de la Cuenca del Valle de México

La cuenca hidrológica del Valle de México se ubica a 2 200 metros sobre el nivel del mar (msnm)¹. Es una cuenca que se localiza en el altiplano entre los paralelos 14°32' y 32°43' de latitud norte, y los meridianos 118°42' y 86°42' de longitud oeste². La región limita al norte con las Sierras de Pachuca y Mesa Grande, al este con las sierras de Calpulalpan y de Río Frío, al sur con las sierras Nevada del Chichinautzin y la del Ajusco, y al oeste con la sierra de las Cruces y de Monte Bajo³. La cuenca del Valle es una depresión cerrada de manera natural, que contaba con una serie de lagos de agua dulce en las zonas altas y saladas en las zonas bajas, en las cuales se concentraba la sal por evaporación. A fines del siglo XVIII, la cuenca fue alterada artificialmente para permitir el desalojo del agua pluvial en exceso, así como las aguas residuales producidas. Las fuentes de recarga subterránea se derivan principalmente de las precipitaciones infiltradas, que daban lugar a un flujo que se desplazaba hacia las zonas menos elevadas, esta corriente de agua subterránea originaba numerosos manantiales al pie de las montañas, así como pozos en el Valle⁴

La cuenca del Valle de México se divide en cuatro subcuencas hidrológicas donde se identifican 13 sistemas acuíferos: seis en el Valle de México y siete en Tula, donde la región recibe una recarga subterránea de 1 800 m³/s.

1.2 Balance de Usos y Abastecimiento

La ley de Aguas Nacionales (1992) distingue dos tipos de usos del agua, estos son⁵:

a) Usos fuera del cuerpo de agua o usos consuntivos, en los cuales el agua es transportada a su lugar de uso y la totalidad o parte de ella no regresa al cuerpo de agua.

b) Usos en el cuerpo de agua o usos no-consuntivos, en los cuales el agua se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, como en el caso de las plantas Hidroeléctricas.

Por otra parte los usos que se pueden dar al agua son variados y se clasifican en:

1.-CNA, 2001 – 2006
2.-CNA, 2008
3.- IMTA, 2003
4.- Perlò et al., 2005
5.- Jiménez 2001

- Consumo humano
- Limpieza personal
- Cultivo de peces, mariscos o cualquier otro tipo de vida acuática
- Agricultura
- Industria
- Municipales (riego de jardines, lavado de coches, fuentes de ornato, lavado de calles e instalaciones publicas)⁵

El uso para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable. En el rubro de la industria autoabastecida, se incluye la industria que toma su agua directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos.

Los principales giros industriales son los que corresponden a la industria química y la producción de azúcar, petróleo, celulosa y papel.

La distribución del uso del agua en el Distrito Federal en 1992 mostraba que aproximadamente 53% del agua era para uso doméstico, mientras que la industria utilizaba 2% de servicios y para uso comercial. En 2004 se reportan un 42% para uso doméstico, 12.4 % para uso industrial y servicios, así como un 13.8% para riego agrícola, y se cuenta con una estimación acertada en cuanto a la pérdida de agua por fugas que llega a ser mayor de 30 % ⁶.

El gasto medido en el drenaje es de $39 \text{ m}^3/\text{seg}$ a los que se añaden $7 \text{ m}^3/\text{seg}$ reutilizados en la ciudad para sumar $46 \text{ m}^3/\text{seg}$ que representan el 74% del suministro a la red. Si se agregan $1 \text{ m}^3/\text{seg}$ proveniente de las fuentes superficiales, el porcentaje sube a 76%.⁷

No hay información sobre el agua recibida por los usuarios que retorna al drenaje, pero se estima para esta evaluación en un 85%. El agua que no retorna es principalmente la usada en riego de jardines, lavado de patios, la que se evapora de diversos usos domésticos (secado de ropa, cocina, etc.) y otros usos consuntivos no domésticos. Esto da una cifra de $(39) (0.85) = 33 \text{ m}^3/\text{seg}$. De estos, aproximadamente $1 \text{ m}^3/\text{seg}$ no llegan a la red en las zonas urbanas que se encuentran en los basaltos fracturados y que no cuentan con red de drenaje, este gasto se infiltra al acuífero, con lo que se tiene un gasto estimado en la red de drenaje de $32 \text{ m}^3/\text{seg}$, si se descuentan los $7 \text{ m}^3/\text{seg}$ reutilizados en la ciudad, se llega a la cifra de $25 \text{ m}^3/\text{seg}$ en el drenaje a la salida de la ciudad (D. F.), inferior a los $39 \text{ m}^3/\text{seg}$ medidos. La diferencia de $14 \text{ m}^3/\text{seg}$ proviene necesariamente de las fugas que se infiltran al drenaje⁷

El agua reutilizada en la ciudad ($7 \text{ m}^3/\text{seg}$), es fundamentalmente de usos consuntivos (riego de parques públicos, usos en el Lago de Texcoco, llenado de lagos, torres de enfriamiento, etc.) por lo que no retorna nada a la red de drenaje⁷

Se utilizan $7.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ en riego de zonas agrícolas, de los cuales se estima que retorna al acuífero cerca del 50% ($3 \text{ m}^3/\text{seg}$), como se ha evaluado en la zona de riego de Tula. Del riego con aguas residuales de unos $5 \text{ m}^3/\text{seg}$, se estima que se infiltran $2 \text{ m}^3/\text{seg}$ ⁷

Sobre el destino de las fugas, se considera que $14 \text{ m}^3/\text{seg}$ fluyen a red de drenaje que es la forma de explicar el gasto medido a la salida de la ciudad. Los $9 \text{ m}^3/\text{seg}$ restantes de las fugas estimadas tienen dos posibles destinos, la recarga del acuífero y la evaporación, esta última ocurre en forma directa desde el suelo o a través de la vegetación, es fácil imaginar que las fugas pueden alimentar las raíces del arbolado urbano. Considerando que la mitad del área urbana se encuentra sobre arcillas donde difícilmente las fugas se pueden infiltrar al acuífero, y que en la otra mitad de la ciudad una parte igualmente se evapora, aproximadamente un 40% de los $9 \text{ m}^3/\text{seg}$ se infiltran (4

m³/seg), y que los otros 5 m³/seg se pierden en evaporación. Sobre la recarga natural del acuífero se hace las siguientes consideraciones:

- La extracción del acuífero del sur es de 36 m³/seg, estos provienen de aporte de las arcillas al acuífero aluvial, estimados en 4m³/seg, considerando una superficie de arcillas de 900 km², un hundimiento anual promedio de 15 cm y que este volumen de hundimiento es igual al aporte de agua al acuífero⁷.
- Disminución de almacenamiento del acuífero aluvial estimada en 6 m³/seg (2 m³/seg en la zona del DF y 4 m³/seg en el oriente), aporte de infiltración del riego, de las fugas y de las aguas residuales de la zona urbana sobre basaltos, de 6m³/seg.

El total anterior es de 16 m³/seg, con lo cual la recarga natural debería de ser de 20 m³/seg para sumar los 36 que se extraen. De la misma manera, la recarga en el acuífero del norte se estima en 9 m³/seg, con lo cual el total resulta de 28 m³/seg⁷.

1.2.2 Problemática del Abastecimiento del Agua Potable en el Valle de México.

El crecimiento del Valle de México, ha requerido del abastecimiento de una cantidad progresivamente mayor de agua y se ha venido realizando desde los años 50. En 1975 eran 32 los pozos, 36 en 1981, 80 en 1985 y 96 en el 2000 dando lugar a la sobreexplotación principalmente por medio de pozos profundos que extraen agua del subsuelo. Así mismo la entrega del agua en bloque proveniente de otras cuencas ha ido creciendo.

La sobreexplotación de cuerpos superficiales y subterráneos es debida al desarrollo económico y al aumento en la población de nuestro país y ha afectado drásticamente la cantidad y la calidad de los recursos hídricos⁸.

1.2.1.1 Dotación de Agua Potable

De manera global se reporta un promedio diario de 300 L/hab/día⁶, que aparenta ser mayor que el de muchas ciudades europeas⁹. Sin embargo, a este volumen debe restarse lo que se pierde por fugas (23m³/s) y el consumo en comercios, industrias y servicios (9 m³/s), con lo que resulta una dotación per cápita real de 146 L/hab/ día, volumen cercano a lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 150 a 170 L/hab/día. La dotación de agua a la ciudad de México varía de acuerdo con la zona entre 30 a 133 L/hab/día¹⁰.

Aun así una parte considerable de la ciudad sufre escasez crónica del agua, en especial durante la temporada de secas.

1.2.2.2 Calidad del Agua Potable en las Fuentes de Suministro

La calidad del agua representa uno de los problemas ambientales más críticos generados por la expansión urbana. En riesgo por las múltiples y diversas fuentes de contaminación, así como por la explotación excesiva de los sistemas de agua subterránea, la calidad del agua es un problema controvertido y mal comprendido que afecta cada vez más al Valle de México.

El concepto de calidad del agua es un término abstracto⁵ (Jiménez, 2001), que sólo adquiere sentido práctico susceptible de ser medido, cuando le asocia un uso determinado y se establecen parámetros y valores que se deban cumplir. Así al comparar atributos del agua con los requisitos definidos se puede establecer si el agua es de buena o de mala calidad, según sea o no apta para un uso definido. Derivado de lo anterior, hay diversos rangos de calidad que el agua debe cumplir en función de sus usos, de esta manera también varía lo que se considera contaminación. A nivel de los servicios públicos la calidad de agua importa en dos ámbitos: el de las fuentes de abastecimiento, así como la del agua potable suministrada.

La importancia de conocer cuáles son los problemas de contaminación, radica en que a partir de ellos es posible determinar cuáles son las acciones prioritarias.

5.- Jiménez, 2001

6.- Jiménez et al., 2004

9.- Álvarez, 1985; Ramírez, 1990

10.- Montesillo, 2004

Legalmente, se califica un agua como potable si cumple con los 41 parámetros publicados por la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo de esto no existe información publicada. En la práctica, el único parámetro que se mide en agua de suministro municipal, es el contenido de cloro residual, y en ocasiones mucho menos frecuentes la densidad de coliformes fecales

1.3 Descripción de las Fuentes de Abastecimiento

Los cuerpos de agua naturales en el Distrito Federal casi han desaparecido. Hoy en día, todo lo que queda es una pequeña sección del Lago de Texcoco, que es en esencia un reservorio artificialmente construido (Lago Nabor Carrillo), algunos de los antiguos canales de Xochimilco, Chalco y San Luis Tlaxialtemalco y una presa en Zumpango¹¹.

La tabla 1 muestra la repartición de agua en el Valle de México de acuerdo a su origen

Origen	Número de Pozos/ Agua superficial	Flujo (m ³ /s)
Fuentes Externas:		
Cuenca del Lerma	234	6.0
Cuenca de Cutzamala	Agua Superficial	13.3
Fuentes Internas:		
Distrito Federal-Estado de México, Rio Magdalena y	1575	45.9
Fuentes superficiales.	Agua Superficial	1.5
Total	1809	66.7
Reciclaje:		
Agua Tratada	-	8.8

Tabla 1- Los sistemas de suministro de agua para la zona metropolitana de la Ciudad de México, 2004. (Fuente: Distrito Federal-DGCOH, 1989, y DDF, 1997; SARH, 1985b; Merino, 2000)

La figura 2 muestra la localización de algunos pozos en el Valle de México para abastecimiento de agua potable de los que se extrae un gasto de $42.5 \text{ m}^3/\text{s}$. De manantiales y fuentes superficiales que abastece $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

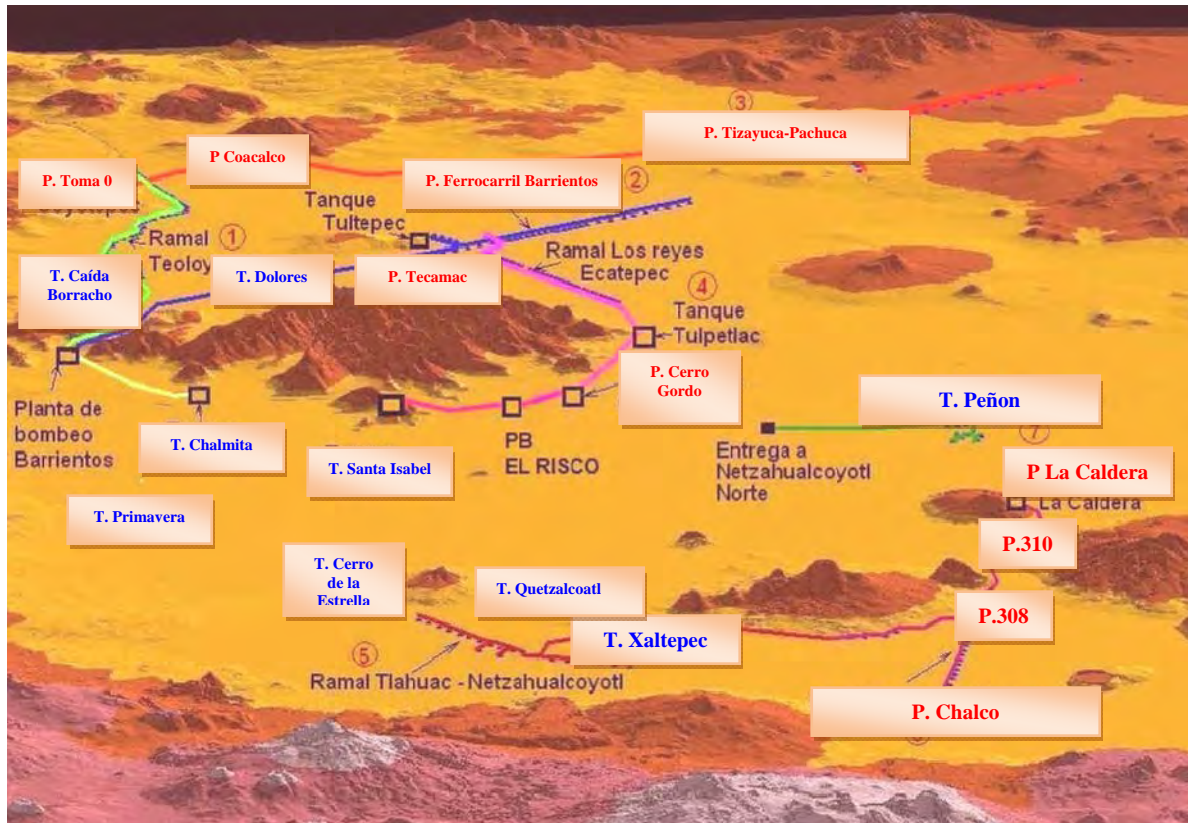


Fig. 2. Localización de las Fuentes de Abastecimiento en el Valle de México.

La misma figura muestra las fuentes de abastecimiento dentro del Valle que distribuyen agua hacia diversos puntos de la red primaria y que provienen de fuentes externas. Esas fuentes externas son el acueducto de Lerma que proporciona $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y el de Cutzamala que suministra $19 \text{ m}^3/\text{s}$.

De esta manera el gasto total suministrado a la ZMVM es de $64 \text{ m}^3/\text{s}$, incluyendo $2 \text{ m}^3/\text{s}$ de pozos particulares la tabla 2 resume las cifras anteriores para la industria y la tabla 3 diferencia las cifras de suministró entre el DF y el Edo de México (las cifras corresponden a los datos de 2000).

FUENTE	GASTO m ³ /s
POZOS DEL VALLE	42.5
CUTZAMALA	15
LERMA	5
FUENTES SUPERFICIALES.	1.5
TOTAL	64

Tabla 2.- Abastecimiento de Agua en el Valle de México (Capella 2000)

FUENTE	DF	EDO DE MEX	TOTAL
POZOS DEL VALLE	20.5	22	42.5
FUENTES SUPERFICIALES	1	0.5	1.5
CUTZAMALA	10	5	15
LERMA	4	1	5
TOTAL	35.5	28.5	64

Tabla 3.-Abastecimiento de Agua entre el Edo de México y el D.F (Capella2000)

1.3.1 Fuentes de Abastecimiento Externas

El primer sistema externo en aportar agua al Valle de México fue el Lerma, ubicado en el Estado de México a 62 km de la ciudad de México. Debido a la sobreexplotación del Lerma, y a la constante demanda de agua por parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), fue necesario traer agua de fuentes aun más lejanas, por lo que en 1982 se inicio la importación de agua del Sistema Cutzamala, a 130 km de la ZMCM.

1.3.1.1 El Sistema Lerma

El sistema Lerma se encuentra en el Valle de Toluca, al poniente de la ciudad de México ocupando aproximadamente un área de 2,236 km². Este sistema fue construido en dos etapas. La primera fue inaugurada en 1951 tras nueve años de construcción, y donde consistió en captar agua subterránea mediante la construcción de cinco pozos el agua se dirige al Valle de México por medio de un acueducto de 60 km hasta los tanques de

Dolores en el Bosque de Chapultepec¹². Para su realización destacó la perforación del Túnel Atarasquillo - Dos Ríos, por medio del cual se conduce el agua captada en el Alto Lerma, atraviesa la Sierra de las Cruces e ingresa Valle de México⁴.

El sistema Lerma fue inicialmente construido y se encuentra administrado por el SACM (Sistemas de Aguas de la Ciudad de México). Debido a que la cantidad de agua aportada por el Sistema Lerma no fue suficiente para cubrir la demanda de la ZMCM, se inició una segunda etapa en la que se perforaron baterías de pozos (230 pozos) con los que se llegó a enviar hasta $14 \text{ m}^3/\text{s}$ ¹³. Esta sobreexplotación ocasionó hundimientos y otros signos de agotamiento del manto acuífero, por lo que para proteger la región las autoridades federales decidieron disminuir el grado de sobreexplotación y actualmente la explotación se ha estabilizado en $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ⁴.

Ya que el agua es extraída directamente del acuífero de la región, y en general su calidad es considerada como buena, no existe una planta de potabilización; sin embargo, a lo largo de su trayecto hasta la ZMCM es clorada hasta los tanques de almacenamiento de Dolores en Chapultepec; posteriormente, es clorada para su distribución en la red de abastecimiento.

1.3.1.2 Sistema Cutzamala

En el Siglo XIX se hicieron las primeras perforaciones de pozos en el Valle de México, posiblemente en zonas que no eran abastecidas por los acueductos que provenían de los manantiales de los alrededores; esos pozos resultaron artesianos, por lo que no era necesario bombear el agua. En el siglo XX a partir de los años 30 se inició la perforación de pozos profundos, en los que el agua se bombeaba en tal forma y extensión, que abatieron los niveles piezométricos hasta llegar a la desecación de los manantiales del valle.

La proliferación de pozos en los últimos años ha cambiado las condiciones hidrológicas naturales. Ahora, los gradientes y el flujo en las capas superiores de los depósitos se encuentran generalmente revertidos, hacia las zonas de mayor extracción⁶.

En la década de los años 50, se inició la expansión de la mancha urbana hacia el Estado de México, dando lugar a la conurbación de la Ciudad de México. Para los 70's la Zona Metropolitana del Valle de México abarca el Distrito Federal y 11 municipios del Estado de México¹³.

De esta manera el crecimiento demográfico de la Zona Metropolitana del Valle de México, aunado a las condiciones geográficas a las características del subsuelo, requirió de grandes esfuerzos en materia hidráulica tanto para el abasto de agua potable, como para el desalojo de las aguas servidas y de lluvia¹⁴.

Ante esta situación, en 1972 la extinta Comisión de Aguas del Valle de México realizó estudios de las cuencas del Cutzamala, Libres-Oriental, Tula-Taxhimay, Alto y Bajo Tecolutla y Alto Amacuzac, determinando que la cuenca del río Cutzamala disponía de las mejores condiciones en cuanto a la calidad del agua y caudales excedentes, y que solo se requería de un cambio de uso de generación eléctrica y una cantidad similar de agua para atender demandas locales y futuros desarrollos.

Desde entonces el sistema Cutzamala aprovecha las aguas de la cuenca alta del río Cutzamala, provenientes de las presas Tuxpan y El Bosque, en el Estado de Michoacán; Colorines, Ixtapan de Oro, Valle de Bravo y Villa Victoria en el estado de México que antes formaban parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, así como de la presa Chilesdo¹⁵.

El sistema Cutzamala (figura 3) abastece al Distrito Federal y al Estado de México, constituyéndose así como uno de los sistemas de suministro de agua potable más grandes del mundo, no solo por la cantidad de agua que transporta (aproximadamente 480.7 millones de metros cúbicos anualmente).

De acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, el agua destinada para consumo humano debe de ser agua que no contengan contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos, y que no cause efectos nocivos para la salud. El hecho es que en la planta "Los Berros" se ha observado la presencia de sustancias activas al azul de metileno,

13.- CAEM, 2005

14.- CNA, 2005

15.- Sistema Cutzamala, 2005

y se desarrolla la vigilancia y control de las lecturas de cloro como evaluación física y química.

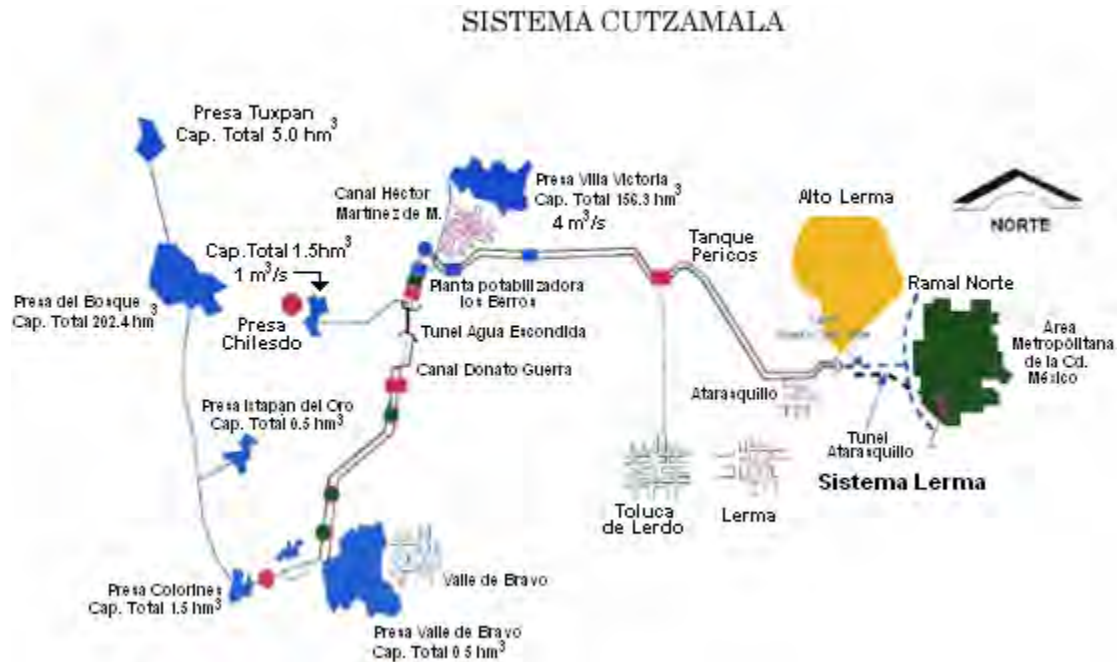


Fig. 3. Sistema Cutzamala (CNA, 2007)

1.3.2 Fuentes Internas de Abastecimiento

Las fuentes internas corresponden esencialmente a la extracción del agua del acuífero a través de los pozos distribuidos en la ZMVM (Zona Metropolitana del Valle de México), contribuyendo con el 65% del agua suministrada; con respecto a las fuentes internas-superficiales de la cuenca, estas corresponden a los manantiales y a los ríos que aún subsisten en el territorio.

2.3.2.1 Agua Subterránea

El agua subterránea proviene de la precipitación que se infiltra a través del suelo hacia los estratos porosos y en ocasiones los satura. El agua se mueve lentamente hacia los niveles bajos, generalmente en ángulos inclinados (debido a la gravedad) y eventualmente, llegan a los manantiales, los arroyos, lagos y océanos²

La cuenca de México incluye tres zonas: la lacustre, la de transición y la montañosa. La mayor parte de la recarga del acuífero ocurre en la zona de transición entre las regiones lacustre y montañosa durante la época de lluvias¹⁶.

El principal sistema acuífero de la cuenca se compone de sedimentos aluviales y volcánicos, de 100 a 500 m de espesor, cubiertos por arcillas lacustres. Este sistema puede ser dividido en subsistemas interconectados (acuíferos) desde los que se suministra la mayor parte del agua a la zona metropolitana; los sistemas acuíferos son:

- Xochimilco – Tlahuac – Chalco al sur
- ZMCM principalmente al oeste
- Lago de Texcoco al este
- Teoloyucan – Tizayuca – Los Reyes – Chiconautla al norte.

La explotación del acuífero comenzó a mediados del siglo XIX, posteriormente, el rápido crecimiento de la Ciudad de México ocasiono su sobreexplotación con el consecuente descenso del nivel del agua subterránea, y el hundimiento diferencial en diversas regiones de la Ciudad. Esta situación obligó a buscar opciones para continuar el abasto de agua, reducir las extracciones del acuífero y minimizar los hundimientos.

La sobreexplotación provocó que a partir de la década de 1930 se invirtiera el gradiente hidráulico del acuífero; en consecuencia, en aquellos lugares donde se generaban manantiales se tuvo que instalar pozos de extracción a profundidades que van desde los 70 m hasta 300 m; así mismo, el flujo de agua subterránea de las partes superiores de la cuenca ahora es dirigido hacia las zonas donde la extracción es mayor¹⁶.

En conjunto, el Distrito Federal y el Estado de México tienen 1,089 pozos registrados, de los que 972 se encuentran en la ciudad de México¹⁸, las profundidades van de 70 a 200 metros; esta cifra no incluye los pozos de mayor profundidad, operados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Existen también un gran número de pozos no registrados, mucho de los cuales se encuentran en el Estado de México.

Los hundimientos diferenciales han provocado severos daños a la infraestructura urbana, incluyendo de los servicios de abastecimiento de agua y alcantarillado. Las fuentes internas corresponden esencialmente a la extracción del agua del acuífero a través de los pozos distribuidos en la ZMCM y el resto proviene de fuentes externas⁴.

2.3.2.2 Agua superficial

El aporte de las fuentes superficiales que aún subsisten en la ZMCM son el Río Magdalena, la Presa Madín en el Río Tlalnepantla, los manantiales del Desierto de los Leones y el actual humedal de Xochimilco, con una contribución total de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.3.2.3 Río Magdalena

La cuenca del río Magdalena se encuentra dentro de una de las ciudades más grandes del mundo, característica que la hace muy vulnerable pero que a su vez la convierte en una zona fundamental por los servicios de suministro, y regulación del agua así como por los aspectos culturales que provee a los habitantes del Valle de México.

El río Magdalena nace en las estribaciones de los cerros Palma, San Miguel, Cochinos, Coconetla entre los más importantes, a una elevación aproximada de 3,650 msnm tiene un curso en dirección Noreste y un cauce de una longitud aproximada de 21,600 m

El río Magdalena tiene en su caso un volumen de agua permanente de aproximadamente $1 \text{ m}^3/\text{s}$; su escurrimiento máximo estimado es de $20.1 \text{ m}^3/\text{s}$

Gran parte de su cuenca está localizada en zona de reserva ecológica, pero una amplia superficie de la misma se encuentra en proceso de avanzada deforestación y degradación ambiental.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Fuente de Suministro

Una fuente de suministro es un cuerpo de agua capaz de suministrar el líquido en cantidad suficiente, confiable y calidad apropiada a las necesidades de agua, y procesos de potabilización como suministro del líquido. Existen dos tipos de fuentes de suministro, como se muestra en la figura 4: las convencionales y las no convencionales.

Las primeras son las que tradicionalmente se han empleado para suministrar agua por su elevada calidad y fácil accesibilidad. En este rubro se encuentran las aguas superficiales y las subterráneas que fácilmente satisfacen la definición de fuente de suministro arriba mencionada⁵.

El abastecimiento de agua superficial se puede efectuar a partir de arroyos, ríos, lagos, manantiales ó presas. En general, las aguas superficiales contienen partículas suspendidas que imparte al agua, sabor, olor y contenido microbiológicos. Los arroyos y ríos en particular, poseen la característica de presentar cambios rápidos en su calidad debido a que por las variaciones de flujo, producto de la precipitación pluvial, arrastran y suspenden sólidos. El principal problema con el agua superficial son las plantas acuáticas, así como diversos tipos de fauna que pueden afectar la calidad⁵.

Las fuentes subterráneas las conforman los acuíferos. Un acuífero es una formación geológica que almacena agua y actúa como depósito o reserva. La mayoría de los acuíferos conforman grandes extensiones, y se alimentan de agua por el aporte de aguas pluviales, las corrientes superficiales y lagos que se infiltran en el suelo⁵.

5.- Jiménez 2001

Las fuentes no convencionales en contraste, son aquellas con calidad poco aceptable y que por lo mismo no se emplean, con frecuencia. En este tipo de fuentes se encuentra el agua salobre, la de mar y la residual⁵.

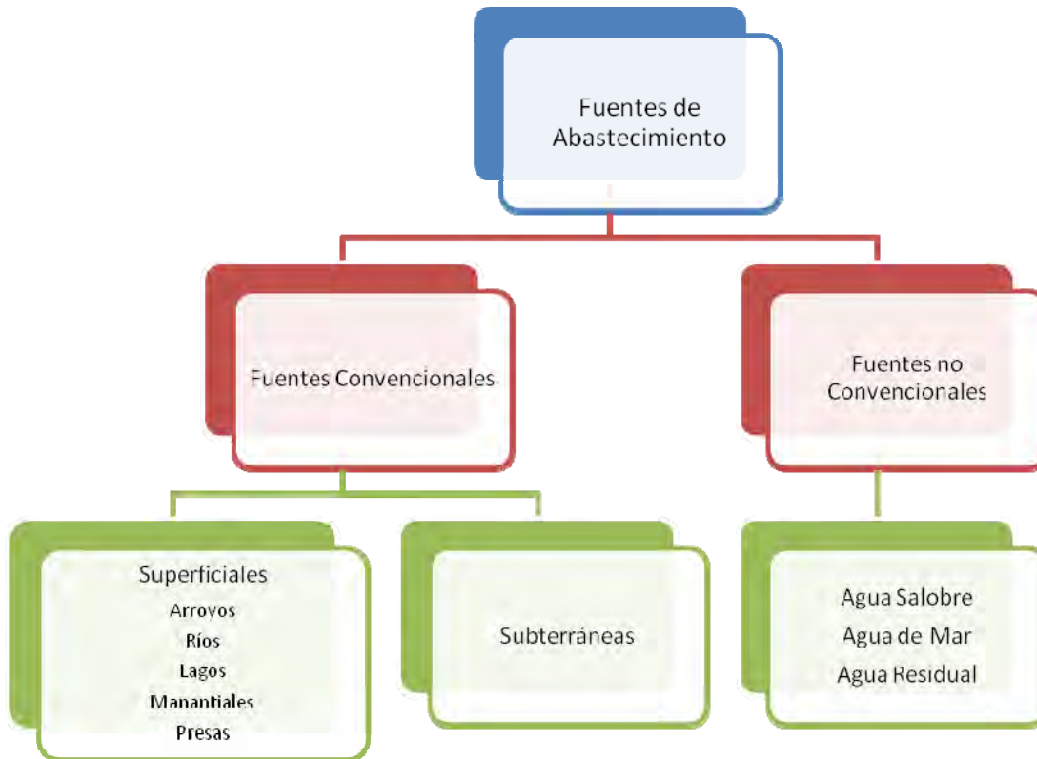


Fig. 4. Fuentes de Abastecimiento. (Jiménez, 2001).

5.- Jiménez 2001

2.2. NOM 127-SSA1-1994

Con fecha 22 de Noviembre del 2000 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación la versión modificada de la Norma Oficial Mexicana (tabla 4) se desarrollo con la idea de que el agua es un factor fundamental dicha NOM-127-SSA1-1994, establece “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su Potabilización”. Esta norma define, básicamente, dos cosas:

- a) Los límites permisibles para el agua potable en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.
- b) Los tratamientos de potabilización.

La norma aplica a todos los sistemas de abastecimientos públicos y privados, y a cualquier persona física o moral que la distribuya en todo el territorio nacional.

PARAMETRO	NOM-127-SSA1-1994α (49 parámetros referidos)
Conductividad Eléctrica	N.D
pH (Potencial de Hidrógeno)	6.5-8.5
Sólidos Disueltos Totales	1000mg/L
Turbiedad	5 UTN
Dureza Total (CaCO ₃)	500 mg/L
Nitratos como N	10 mg/L
Nitritos como N	1 mg/L
Nitrógeno Amoniacal como N	0.5 mg/L
Sulfatos como SO ⁴⁻	400mg/L
Cloruros Como Cl ⁻	250 mg/L
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	500 mg/L

Tabla 4.- Parámetros físicos y químicos contenidos en la NOM-127-SSA1-1994

2.3 Parámetros físicos y químicos como indicador de contaminación del agua.

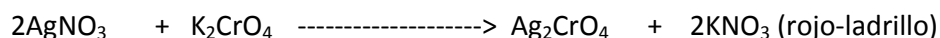
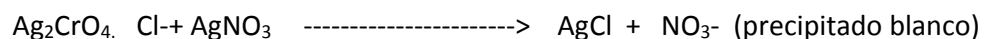
Los parámetros químicos en aguas superficiales, pueden estar presentes de forma natural o ser introducidos por el hombre alterando las concentraciones naturales debido a las actividades industriales, agrícolas o, a los desechos urbanos y domésticos.

La medición de parámetros físicos y químicos: potencial de Hidrógeno (pH), temperatura (T), conductividad (μ) y oxígeno disuelto (OD), en los cuerpos de agua, es tal vez la forma más sencilla de identificar sus variaciones composicionales tanto espaciales como temporales, resultantes de cambios en factores naturales como la litología, relieve, vegetación y clima de la región.

A continuación se describen los parámetros contenidos en la NOM-127-SSA1-1994 que fueron considerados dentro de este trabajo de tesis.

2.3.1 Cloruros

El fundamento en que se basan los cloruros es la muestra, a un pH neutro o ligeramente alcalino, se titula con nitrato de plata (AgNO_3), usando como cromato de potasio (K_2CrO_4). El cloruro de plata AgCl , precipita cuantitativamente primero, al terminarse los cloruros, el AgNO_3 reacciona con el K_2CrO_4 formando un precipitado rojo ladrillo.



El pH óptimo para llevar a cabo el análisis de cloruros es de 7.0 a 8.3 , ya que cuando tenemos valores de pH mayores a 8.3, el ión Ag^+ precipita en forma de $\text{Ag}(\text{OH})$; cuando la muestra tiene un pH menor que 7.0, el cromato de potasio se oxida a dicromato, afectando el viraje del indicador.

Los cloruros son compuestos de cloro con otro elemento o radical, presentes en casi todas las aguas naturales y en un amplio intervalo de concentraciones. De los más abundantes y estables es el cloruro de sodio (sal común) y en menor grado el de calcio y magnesio. Los cloruros provienen de la disolución de rocas basálticas y sedimentarias así como de efluentes industriales.

A pesar de que los cloruros no implican un daño a la salud, la ingestión de sal puede ser perjudicial. Un exceso de cloruro de sodio genera enfermedades del corazón y del riñón. Un contenido elevado de cloruros (por arriba de 200 mg/L para aguas calientes y de 600 mg/L en aguas frías y en función de la alcalinidad) eleva la tasa de corrosión de los sistemas de distribución y puede además, hacer que incremente el contenido de metales en el agua por este efecto. El valor guía de la OMS y el de la NOM para los cloruros son iguales a 250 mg/L¹⁷.

Por otra parte, debido a diversos factores técnicos y económicos, el agua de abastecimiento que se suministra a la población en la ciudad de México se clora para minimizar el riesgo de contaminación bacteriológica. En este caso se logra este objetivo, pero se tienen las evidencias suficientes que confirman que el cloro reacciona con la materia orgánica contenida en el agua, produciendo compuestos que tienen riesgos para la salud pública.

2.3.2 Conductividad Eléctrica

La conductividad del agua varía directamente con la cantidad de sólidos disueltos, principalmente por las sales minerales, por lo que se considera una medida indirecta de éstos que es muy útil en campo por su rapidez y sencillez. La conductividad o conductancia específica es una medida de la habilidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Las unidades de medida son el inverso de ohms (expresan resistencia) y se denominan ohms o microsiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el SI (Sistema internacional)¹⁷.

2.3.3 Dureza

La dureza representa la concentración de cationes metálicos multivalentes presentes en el agua. Es causada principalmente por las sales de Ca y Mg (en ese orden) y en menor grado por Al, Fe, Mn, Sr y Zn. Por la variedad de compuestos que intervienen, la dureza se expresa como una cantidad equivalente de CaCO_3 ¹⁷.

La dureza se clasifica en carbonatada (temporal) y no carbonatada (permanente). La primera es sensible al calor, precipita a altas temperaturas y equivale a la alcalinidad. Cuando el agua es "dura" significa que contiene sales incrustantes, dificulta la cocción de legumbres e impide la formación de espuma con el jabón²⁰.

Al parecer, el agua blanda provoca diarrea y se tienen indicios que una dura se relaciona con problemas cardiovasculares¹⁷.

La dureza adquiere valores de cero a cientos de mg/L en función de la fuente de abastecimiento o el procesamiento que se haya dado al agua. Un agua con menos de 75 mg/L de CaCO_3 se considera blanda, entre 75 y 150 mg/L es moderadamente dura, de 150 a 300 mg/L es dura y más de 300 mg/L es extremadamente dura. Según el pH y la alcalinidad, la dureza superior a 200 mg/L puede provocar incrustaciones, en particular en sistemas donde circula agua caliente mientras que una dureza inferior a 100 mg/L puede conducir a problemas de corrosión. En general, las durezas elevadas se relacionan con aguas subterráneas, mientras que valores bajos son característicos de aguas superficiales¹⁷.

En cuanto al sabor, la aceptación por parte del público es muy variable pues el umbral varía entre 100 y 300 mg/L, según sea el anión asociado (por ejemplo la dureza de magnesio tiene un sabor más fuerte que la del calcio). En general, la gente tolera hasta 500 mg/L, que es el valor guía establecido por la OMS con fines estéticos y que es igual al de la NOM.

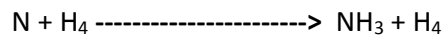
Al proceso de eliminar la dureza se le denomina "ablandamiento" y se realiza por diferentes métodos. El más usado es la precipitación del Mg^{2+} y del Ca^{2+} con cal y carbonato de sodio para producir hidróxidos y carbonatos. Por medio del intercambio iónico se logra un ablandamiento total, y con el calentamiento se elimina la dureza temporal, pero estos dos métodos se realizan casi sólo a nivel doméstico¹⁷.

5.- Jiménez, 2001

17- Standard Methods, 1998

2.3.4 Nitrógeno (N)

El nitrógeno amoniacal corresponde al N del NH_4^+ , que está en equilibrio con el NH_3 , que es el amoniaco. El amoniaco como ion amonio, es el contaminante nitrogenado que se encuentra con mayor frecuencia en el agua, ya que además de ser producto natural, que se presenta en forma natural en aguas superficiales y residuales, ya que en acuíferos su concentración es muy baja debido a que se absorbe en las arcillas y que no es lixiviado de los suelos.



De acuerdo con la OMS, el amoniaco presente en agua potable no tiene una importancia inmediata para la salud, por lo que no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. Sin embargo, por los problemas de olor (umbral de 1.5 mg/L), sabor (umbral del 35 mg/L) y su interferencia con la desinfección se establece un valor guía de 1.5 mg/L. En México, la norma estipula un valor de 0.5 mg/L. Su remoción generalmente se lleva a cabo mediante la desgasificación¹⁷.

2.3.5 Nitritos y Nitratos

La concentración de nitratos en el agua subterránea es un tópico común de muchas discusiones acerca de la calidad del agua, ya que es de importancia tanto para humanos como para animales¹⁸.

Debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse y su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas, es detectada cuando se manifiesta un problema de salud. A menudo es difícil precisar el origen de la contaminación, debido a que puede provenir de muchas fuentes. La entrada de los nitratos a las aguas subterráneas es un resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, el intemperismo de los minerales y descomposición de la materia orgánica.

5.- Jiménez, 2001

17.-Standard Methods, 1998

Los nitratos provenientes de las actividades humanas incluyen: la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos²⁰

El problema con los nitratos, es que son contaminantes móviles en el agua subterránea que no son absorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral., estos dos factores, permiten que grandes cantidades de nitrato disuelto permanezcan en el agua subterránea. Debido a su naturaleza soluble los nitratos tienden a viajar grandes distancias en la superficie, específicamente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas²¹.

2.3.6 pH

El pH es una variable importante en el manejo de la calidad del agua pues influye en los procesos químicos y biológicos. Mide el balance de acidez de una solución y se define como el logaritmo negativo en base 10 de la concentración del ión H_3O^+ . La escala de pH va del 0 al 14 (muy ácido a alcalino), el valor de 7 representa la neutralidad. En una agua no contaminada el pH es el controlador principal del balance entre el CO_2 , $CO_3^{=}$ y el HCO_3^- .

En sistemas de abastecimiento uno de los principales propósitos para controlar el pH es reducir al mínimo la corrosión, que es consecuencia de las complejas relaciones entre el pH, el CO_2 , la dureza, la alcalinidad y temperatura. Para ello, en general se mantiene el $pH < 7$. La corrosión provoca la introducción de componentes en el agua no deseable que causan problemas de sabor y color y afecta la precipitación o disolución de los metales.

Valores superiores de pH de 11 se relacionan con irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos.

La OMS no establece un valor guía pero recomienda su control para una adecuada clarificación y desinfección del agua (para lo cual no debe ser mayor de 6.5-8.5)¹⁸.

18.- Pacheco; et al., 2003

19.- Heaton, 1985

20.- Freeze y Cherry, 1979

2.3.7 Turbiedad

La turbiedad incrementa el color aparente del agua, y se debe a la presencia de materia suspendida orgánica e inorgánica como la arcilla, sedimentos, plancton y organismos microscópicos. Lo que se mide como turbiedad es la pérdida de luz transmitida a través de la muestra por difracción de los rayos al chocar con las partículas, y por ello depende no sólo de su concentración sino también de su tamaño y forma.

Por lo regular, la turbiedad de las aguas subterráneas es muy baja (< 5 UTN), en tanto que la de los cuerpos superficiales es mucho mayor, e incluso muy altas (> 1000 UTN) y además variable.

Para remover la turbiedad se emplea la coagulación-floculación, seguida de sedimentación y filtración. En caso de que el agua contenga una turbiedad > 100 UTN se aplica un paso previo de sedimentación¹⁷.

2.3.8 Sulfatos

Los sulfatos (SO_4^{2-}) están presentes en forma natural en diversos minerales. La concentración en aguas naturales varía en un intervalo de pocos mg/L hasta cientos de mg/L y contribuyen a la dureza no carbonatada.

Los sulfatos son comunes en los acuíferos y pueden ser utilizados como fuente de oxígeno por bacterias “sulfatorreductoras” que lo convierten en ácido sulfhídrico.

El sulfato es uno de los aniones menos tóxico, sin embargo altas concentraciones provocan catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal. También, imparten sabor al agua y cuando se combinan con el magnesio (sulfato de magnesio-sal de Glauber) o sodio (sulfato de sodio-sal de Epsom) tienen un efecto laxativo. Por lo anterior la OMS sugiere no exceder o vigilar fuentes con más de 500 mg/L, con fines estéticos. En México se limita el valor a 400 mg/L. Los sulfatos se eliminan mediante coagulación-floculación y precipitación¹⁷.

17.-Standard Methods, 1998

2.3.9 Sólidos Disueltos Totales

Se entiende por sólido disuelto todo residuo que queda después de filtrar en membranas de 1.2 μm de poro y evaporar el agua a 103°C. Contiene compuestos muy variados por lo que se dice es una prueba global. Los sólidos incluyen tanto las sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio y hierro) como materia orgánica.

El intervalo usual de sólidos disueltos totales en agua de abastecimiento varía de 25 a 5,000 mg/L, en función de la geología local. La concentración normalmente deseable es de 200 mg/L.

Los sólidos disueltos pueden tener importantes efectos en el sabor. Se considera que menos de 600 mg/L no se perciben aunque muy bajos contenidos producen un agua insípida. Por arriba de 1200 mg/L el agua comienza a ser rechazada. Asimismo, los sólidos disueltos promueven la corrosión. Para evitar problemas la OMS recomienda no exceder 1000 mg/L, que es igual al valor de la norma¹⁷.

17.- Standard Methods, 1998

PROCEDIMIENTO

3.1 Muestreo

Para el muestreo se seleccionaron 19 sitios subterráneos, y baterías de pozos con un origen subterráneo para realizar el trabajo en el período de lluvia que comprendió de Mayo a Septiembre. Se muestreo una sola vez cada punto y se subdividieron en tres submuestras cada una de las mismas. La forma de tomar la muestra dependió del origen del agua en base a lo establecido en la NOM-230-SSA1-2002. En el caso de pozos o tanques, las muestras se tomaron de forma directa del sistema de distribución (tubería, caja repartidora, llave). Antes de su colección se dejó correr el agua, el tiempo necesario para vaciar de agua las tuberías (Fig. 5). Además siempre debe quitar simultáneamente el tapón y el papel de protección de los recipientes, evitando que se contaminen estos. Cuando no era posible tomar la muestra en forma directa, se ató el frasco a un cordón limpio para sacar el agua de algún lugar profundo (Fig. 6).



Fig 5. Toma de muestras.



Fig 6. Muestreo realizado en tanque.

Tanto las muestras tomadas para pruebas bacteriológicas como para fisicoquímicas fueron colocadas en hieleras con bolsas refrigerantes para su transporte al laboratorio, figura 7 a una temperatura entre los 4 y 10 °C. Para los análisis físico-químicos, se respetó el periodo de preservación establecido para cada parámetro de acuerdo a la NOM-230-SSA1-2002, la cual ofrece criterios para manejo, preservación y transporte de muestras.



Fig. 7. Transporte de la muestra.

3.1.1 Sitios Muestreados

Los sitios muestreados en el Valle de México están comprendidos en dos categorías: pozos profundos y tanques de abastecimiento. En base a lo establecido en el proyecto y considerando las sugerencias del sistema de aguas de la ciudad de México (SACM) y de la Comisión de Aguas del Estado de México (CAEM), consideraron que estas fuentes de abastecimiento son las más representativas para vigilar la calidad del agua. En la figura 8 donde se muestra la ubicación de los pozos y tanques más representativos del Valle de México.

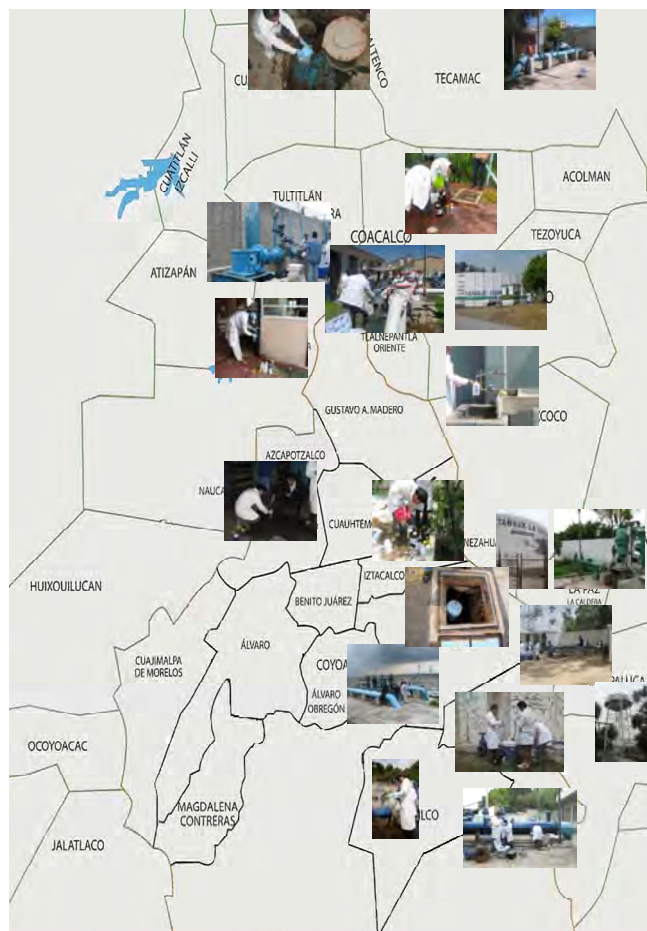


Figura 8.- Fuentes de Abastecimiento, muestreadas.

3.1.2. Parámetros de campo.

Los parámetros físicos y químicos que se determinaron en campo fueron: pH, conductividad, temperatura y potencial redox. En la figura 9 se representa la medición del pH, uno de los parámetros más representativos. En la tabla 5 se muestran los Métodos aplicados para analizar parámetros físicos y químicos *in situ* en muestras de agua potable.



Fig 9. Determinación de los parámetros *in situ*.

Parámetro	Método
Ph	Potenciometrico (Potenciometro Hach HQ40d) NMX-230-SSA1-2002 Analizar inmediatamente
Conductividad	Potenciometrico (Potenciometro Hach HQ40d)
Temperatura	Potenciometrico (Potenciometro Hach HQ40d) NMX-230-SSA1-2002 Determinar inmediatamente

Tabla 5.- Parametros medidos *in situ*.

La NOM-230-SSA1-2002 tiene por objeto establecer los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Ofrece una guía detallada para el muestreo físico-químicos de agua, así como criterios para manejo, preservación y transporte de muestras.

Esta Norma es de observancia obligatoria para los encargados de los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en sus respectivos ámbitos de competencia en coordinación con la Comisión Nacional del Agua.

En la Tabla 6 se muestra como se preservar las muestras según los parámetros físicos y químicos establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, así como el tiempo máximo de almacenamiento.

DETERMINACION	MATERIAL DE ENVASE	VOLUMEN MINIMO (mL)	PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO DE ALMACENAMIENTO
Alcalinidad total	P, V	200	4 a 10° C en oscuridad	14 días
Cloruros	P, V	200	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	48 horas
Dureza total	P, V	100	Adicionar HNO ₃ o H ₂ SO ₄ a pH<2 (*)	14 días
Nitratos	P, V	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	48 horas
Nitritos	P, V	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	48 horas
Nitrógeno amoniacal	P, V	500	Adicionar H ₂ SO a pH<2 y refrigerar de 4 a 10°C	7 días
Sólidos	P, V	200	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	7 días
Sulfatos	P, V	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	28 días
Turbiedad	P, V	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	24 horas

Tabla 6. Preservación de Muestras de acuerdo a la NOM-230-SSA1-2002

NOTA: P = Plástico, V = Vidrio.

3.1.3 Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio

En la Tabla 7, se muestran los diversos parámetros físicos y químicos que fueron medidos en el laboratorio, así como el método que se utilizó para determinarlos y el tipo de preservación para ser analizados en el mismo.

Parámetro	Método	Preservación
Alcalinidad	NMX-AA-036-SCFI-2001 y Método 2310, Métodos Estándar. APHA, 1998.	Hielo
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001 y Método 4500-B, Métodos Estándar. APHA, 1998	Hielo
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001 y Método 2340, Métodos Estándar. APHA, 1998	Hielo
Fósforo	Método 8114 Hach. Adaptado del Métodos Estándar. APHA 4500-P C.	Hielo
N-Nitritos	Método No. 8507 Hach. Federal Register, 44(85), 25505 (May 1, 1979)	Hielo
N-Nitratos	Método de reducción por cadmio No 8039 Hach. Adaptado del Métodos Estándar. APHA 4500-NO ₃ E	Hielo
N Total	Digestión por persulfato, No 10071 Hach.	pH menor a 2. Ácido sulfúrico
N-amoniaco	Método Nessler, No 8038 Hach. Adaptado del Métodos Estándar. APHA 4500-NH ₃ ByC	pH menor a 2. Ácido sulfúrico
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001y Método 2130, Métodos Estándar. APHA, 1998.	Hielo
Sólidos Suspendidos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2001 y Método 2540-D. Métodos Estándar. APHA, 1998	Hielo
Sólidos Disueltos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2001 y Método 2540-C. Métodos Estándar. APHA, 1998	Hielo
Sulfatos	Modificado del Método 4500-C. Métodos Estándar. APHA, 1998	Hielo

Tabla 7. Parámetros Medidos en el Laboratorio

RESULTADOS

Se presentan los resultados de los 12 parámetros físicos y químicos medidos en este trabajo y son comparados con los límites permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 y se presentan en la tabla 8, junto con el valor de la norma.

Parámetro	NOM-127-SSA1-1994
Nitrógeno Amoniacal como N	0.5 mg/L
Nitratos como N	10 mg/L
Nitritos como N	1 mg/L
Turbiedad	5 UTN
N Total	N.I (mg/L)
Alcalinidad	N .I (mg/L)
Cloruros	250,00 mg/L
Dureza Total (como CaCO ₃)	500,00 mg/L
Fósforo	N .I (mg/L)
Sólidos Suspendidos Totales	N .I (mg/L)
Sólidos Disueltos Totales	1000,00 mg/L
Sulfatos	400,00 mg/L

Tabla 8. Parámetros físicos y químicos contenidos en la NOM-127-SSA1-1994

Nota: NI =No incluido

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos por parámetro. De esta manera se ilustran como se han ido modificando los valores en el agua potable de las fuentes de abastecimiento al Valle de México de acuerdo con lo estipulado por la norma.

Parámetros	NOM-127-SSA1-1994										
	Toma 0	Cerro gordo	Ferrocarril-Barrientos	Acued Tizay-Pachuca	La Caldera	Pozo 310	Chalco	Pozo 308	Pozo Coacalco	Tecamac	
pH	6.5-8.5	7.34	7.21	6.79	7.32	7.47	8.28	7.30	8.07	6.99	7.55
Turbiedad	5 UTN	N.D	0.36	0.05	0.13	0.4	0.28	0.16	0.32	N.D	0.11
Dureza	500 mg/L	163.3	606.70	240.00	165	4.87	557	3.60	550	6-20	826.67
Alcalinidad	N.D (mg/L)	213.0	345.83	299.83	515.87	N.R	N.R	N.R	83.83	153.33	131.33
Cloruros	250 mg/L	10.25	10.92	96.97	95.97	N.R	N.R	N.R	33.91	89.89	25.91
Sólidos Disueltos Totales	1000 mg/L	152.0	148.00	412.00	635	501	422	2.59	283	503	388
Sólidos Suspendidos Totales	N.D (mg/L)	0.23	1.00	1.00	2	1	1	1	1	1	2
Fósforo de orto fosfatos	N.D (mg/L)	1.0	0.13	0.30	0.30	0.4	0.75	0.33	0.3	0.27	0.20
Nitratos	10 mg/L	1.27	1.73	2.07	4.97	2.3	2.5	2.73	1.4	1.93	3.97
Nitritos	1 mg/L	0.003	N.D	0.003	0.004	0.01	0.01	N.D	0.01	N.D	0.01
Nitrogeno amoniacal	0.5 mg/L	0.11	0.19	0.23	0.24	1.25	0.6	N.D	0.3	0.23	0.23
Nitrogeno Total	N.D (mg/L)	2.37	12.97	4.40	5.17	1.65	0.9	0.65	0.9	4.43	4.07

Tabla 9. Resultados Generales de Las fuentes de Abastecimiento del Estado de México
N.D No detectado
N.R No realizado

Parámetros	NOM-127-SSA1-1994	Chalmita	Sta. Isabel	Peñón	Dolores	Caída del Borracho	Primavera	Cerro de la Estrella	Xaltepec	Quezalcóatl
pH	6.5-8.5	7.56	7.84	7.74	7.19	7.52	6.85	7.31	7.66	7.45
Turbiedad (UNT)	5 UNT	0.23	0.10	0.19	0.25	0.53	2.13	0.65	0.86	0.56
Dureza (mg CaCO3/L)	500 mg/L	335.00	503.30	610.00	390.00	163.33	80.00	166.67	226.67	153.33
Alcalinidad (mg CaCO3/L)	ND (mg/L)	103.83	101.17	99.50	87.77	87.13	101.00	127.00	312.00	310.67
Cloruros (mg Cl/L)	250 mg/L	101.97	97.89	92.80	14.75	13.50	16.99	45.15	39.57	30.16
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	1000 mg/L	639.00	727.00	670.00	153.00	165.00	138.00	299.00	283.00	388.00
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	ND (mg/L)	2.00	1.00	3.00	1.00	8.00	5.56	3.00	1.00	ND
Fósforo de ortofosfatos (mg P-PO4/L)	ND (mg/L)	0.20	0.20	0.10	0.27	0.20	0.53	1.03	0.30	0.30
Nitratos (mg N-NO3/L)	10 mg/L	3.10	4.30	5.37	2.20	2.20	2.20	5.30	3.10	2.93
Nitritos (mg N-NO2/L)	0.05 mg/L	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.003	0.011	N.D	ND
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH3/L)	0.5 mg/L	0.10	0.14	0.13	0.11	0.10	0.10	0.07	0.16	0.12
Nitrógeno Total (mg/L)	ND (mg/L)	4.40	6.40	6.63	2.37	1.63	8.23	4.03	3.07	4.27

Tabla 10. Resultados Generales de Las fuentes de Abastecimiento del Distrito Federal
N.D No Detectado

La tabla 9 y 10 muestran los resultados obtenidos en el laboratorio de los parámetros físicos y químicos establecidos por la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo cabe mencionar que se determinaron parámetros que no están incluidos en la misma ya que unos dan pausa para poder determinar a los demás.

En la tabla 11 se muestran los parámetros de las fuentes de abastecimiento, pozos y tanques, se comparan los resultados obtenidos en dicho trabajo con el límite permisible de la norma, además de presentar el porcentaje en exceso de cada fuente.

Parámetro	Fuentes de Abastecimiento	Límite	Resultados	% en Exceso
		Permisible por la NOM-127-SSA1-1994		
Nitrógeno Amoniacal	Pozo 310	0.5 mg/L	0.6 mg/l	20 %
	Pozo la Caldera		1.25 mg/L	150 %
	Tanque Xaltepec		0.6 mg/L	20 %
	Tanque Quetzalcoatl		0.8 mg/l	60 %
	Tanque Peñon		1.6 mg/L	60 %
Dureza	Tanque Santa Isabel	500 mg/L	503 mg/L	0.66 %
	Tanque Peñon		610 mg/L	22%
	Pozo Cerro Gordo		606 mg/l	21 %
	Pozo 308		550 mg/L	10 %
	Pozo Coacalco		620 mg/L	24 %
	Pozo Tecamac		826 mg/L	65 %
	Pozo 310		610 mg/l	22 %
	Nitritos		Tanque Peñon	1 mg/L

Tabla 11: Tabla de Resultados de los parámetros excedidos por la norma.

CONCLUSIONES

En la actualidad en México los recursos naturales han sido explotados inadecuadamente lo cual ha dado pauta a un deterioro ambiental; en el cual se ve involucrado el agua para consumo humano, por lo tanto este trabajo permite comparar los valores obtenidos, a través del muestreo en algunas de las Fuentes de Abastecimiento del Valle de México, con los valores establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

La evaluación experimental realizada en la temporada de lluvia permitió comprobar que la concentración de los parámetros medidos disminuyen por efecto de la dilución como en la turbiedad, o en los sólidos suspendidos.

Los parámetros que sobrepasaron el límite establecido por la norma son el Nitrógeno Amoniacal, los Nitritos y la Dureza.

El nitrógeno Amoniacal sobrepaso el límite permisible en el Pozo 310, la Caldera y en los Tanques Xaltepec y Quetzalcóatl.

Cabe mencionar que en el tanque Peñón se sobrepaso el límite que establece la norma de 0.5 mg/L de nitritos.

Y en la dureza los tanques Santa Isabel, Peñón, y los Pozos Cerro Gordo, Pozo 308, Pozo Coacalco y en el Pozo Tecamac, Pozo 310 se sobrepaso el valor permitido por la norma que es de 500 mg/L.

NOMENCLATURA

CNA: Comisión Nacional del Agua

SACM: Sistema de Aguas de la Ciudad de México

OMS: Organización Mundial de la Salud

ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México

ZMCM: Zona Metropolitana de la Ciudad de México

CAEM: Comisión de Aguas del Estado de México

T: Temperatura

OD: Oxígeno disuelto

μ: Turbiedad

Mg: Magnesio

Ca Calcio

N: Nitrógeno

pH: Potencial de Hidrogeno

CO₂: Bióxido de Carbono

In situ: En sitio

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

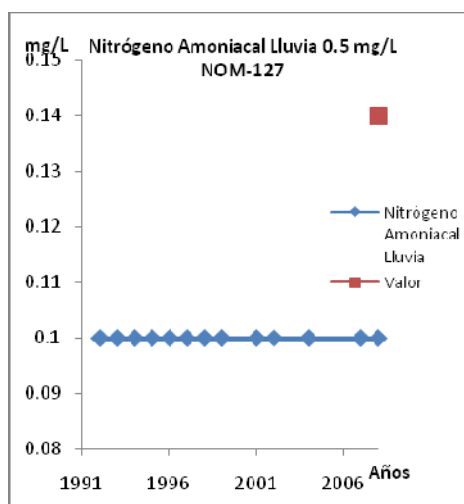
1. CONAGUA. El quehacer de la infraestructura hidroagícola en México, 2001-2006, pp.110-112.
2. CONAGUA. Estadísticas del agua en México, 2008
3. J. La fragua, A. Gutiérrez, E. Aguilar, J. Aparicio, R. Mejía, O. Santillán, M. A. Suárez y M. Preciado. Balance Hídrico del Valle de México, IMTA, 2003. pp.:40-45
4. Cohen Manuel Perló, González Reynoso Arsenio. ¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio Sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México, PUEC, Fundación Frierich Ebers, Stifoung, 2005. pp. 32.
5. Jiménez Cisneros Blanca Elena. La contaminación Ambiental en México: Causas, Efectos y Tecnología apropiada, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001.
6. Jiménez Cisneros Blanca Elena. Luis Marín. El agua en México vista desde la Academia. Academia Mexicana de Ciencias, 2004, pp.: 15-29
7. Vizcaíno Capella Antonio. Abastecimiento de agua a la Zona Metropolitana. Instituto de Ingeniería, UNAM, 2000. pp4-10,31-35.
8. Flores Ordeñana Patricia, Domínguez Mora Ernesto, Efecto del Crecimiento incontrolado de la Zona Metropolitana del Valle de México en la cantidad y calidad del agua Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, 2005. pp. 1-3.
9. Álvarez, J.R. Imagen de la gran capital, Enciclopedia de México, 1985. C. Ramírez, J. Kumate y M. Mazarí, (coord.)El Agua en la Cuenca de México. Los problemas de la Cuenca de México, El Colegio Nacional, de México.1990 pp. 61-82.
10. Cedillo Montesillo J.L., "Estructura tarifaria", en Gestión del agua en el Distrito Federal, Retos y Propuestas, UNAM-Asamblea Legislativa del Distrito Federal, Programa de Estudios sobre la Ciudad de México. 2004. pp. 103-149
11. Ezcurra, E. H, Cot leer-Avalos, M. Mazari-Hiriart; anda J. de Anda. Atlas de la Cuenca Lerma- Chapala. Instituto Nacional de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México.2006 Pp. 4-5.

12. Castelan, E. Los consejos de Cuenca en el desarrollo de las presas en México. Centro del tercer mundo para el manejo del agua, México, 2002. pp103-149.
13. CAEM. Situación actual y retos para el abastecimiento de agua potable y saneamiento del Valle de México, Foro nacional de zonas metropolitanas, mesa 1; Nuevas políticas de aprovechamiento y uso del recurso agua, obra publica e infraestructura para el desarrollo, Comisión de Aguas del Estado de México, 2005...
14. CONAGUA. Estadísticas del agua en México, 2005.
15. Sistema Cutzamala "Agua para millones de Mexicanos". 2005. Recursos Naturales y Pesca. Secretaria del Medio Ambiente, México. Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT.
16. Ezcurra, E. H, Cot leer-Avalos, M. Mazari-Hiriart; anda J. de Anda. Atlas de la Cuenca Lerma- Chapala. Instituto Nacional de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México.2006 Pp. 4-5.
17. Estándar Methods 20 th Edition Lenore S. Clesceri, Arnold E.Greenberg and Andrew D. Eeon, 1998. pp. 2, 2-65.
18. Ávila Pacheco Julia y Sansores Cabrera Armando. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas, 2003, pp 47-53.
19. Cherry, J.A. y Freeze, R.A Groundwater. Pretice Hall, Inc.1979. Pp.367-389.
20. Heaton, T.1985. Osotopic and chemical aspects of nitrate in the ground water of the Springbok Flats. Water, SA. Vol.11. No.4, pp.199-208.
21. Gerencia de Aguas Subterráneas, 2000. Subdirección General Técnica. Manuales de Difusión y divulgación sobre temas selectos de agua subterránea, "Contaminación e agua Subterránea" (II Parte).
22. Sandoval Ricardo y Olivares Roberto. El agua Potable en México. Historia Reciente, actores, procesos y propuestas. ANEAS, 2008. pp.178-186.
23. Plan de Acciones Hidráulicas 2001-2005. Delegación Iztapalapa.
24. NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para uso y consumó humano. Límites permisibles e calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

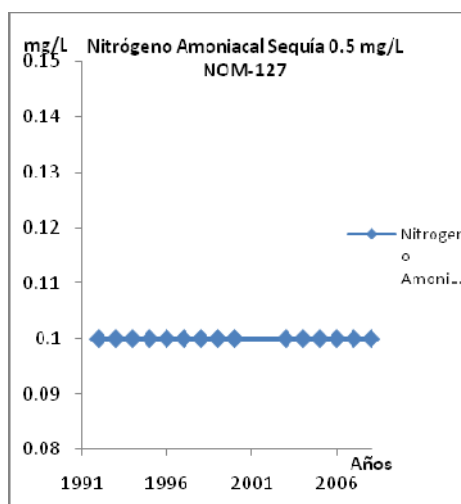
25. NOM-230-SSA1-2002.Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.

En el apéndice A se presentan los resultados de los parámetros medidos en este trabajo, los cuales nos permiten comparar dichos valores con los proporcionados a través de un histórico de la calidad de las fuentes de abastecimiento del Distrito Federal (SACM), y del Estado de México (CAEM) que serán comparados con los límites permitidos por la NOM-127-SSA1-1994.

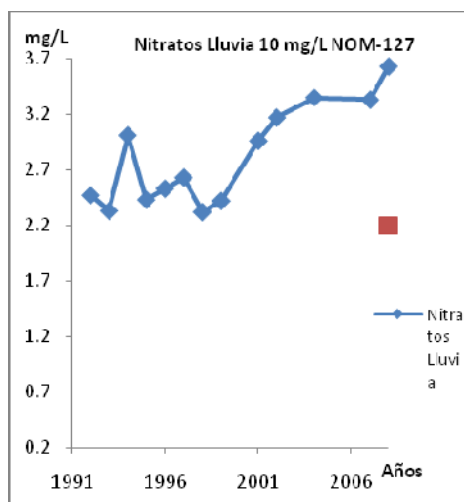
Tanque Santa Isabel



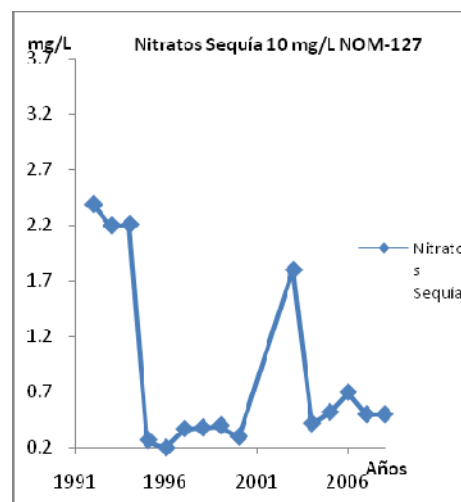
A) Nitrogeno Amoniacoal Lluvia



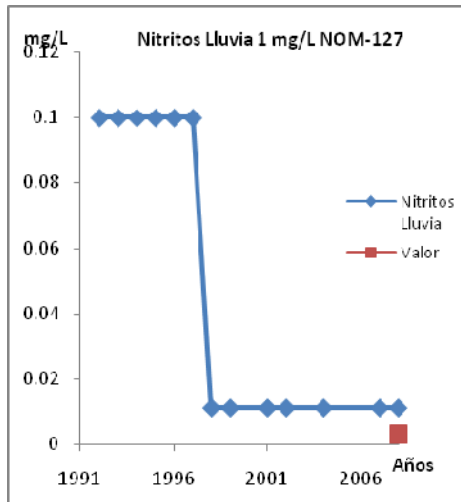
B) Nitrogeno Amoniacoal Sequia



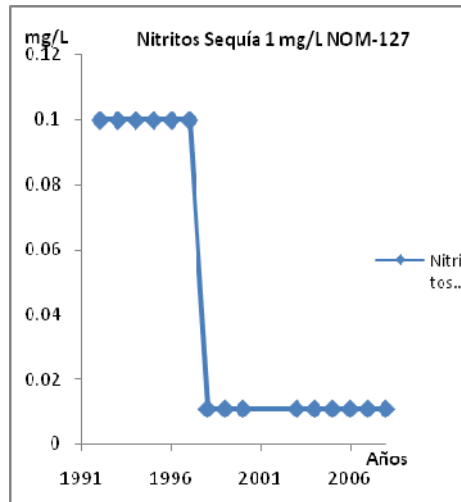
A) Nitratos Lluvia



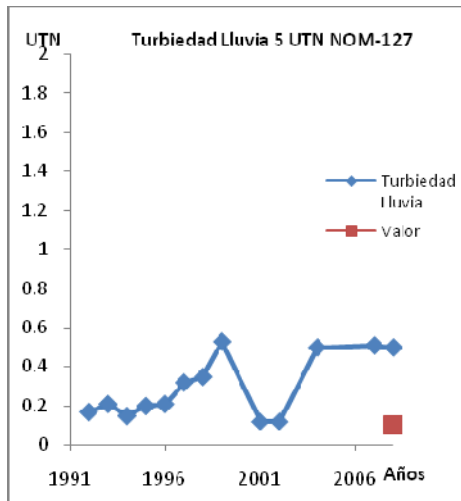
B) Nitratos Sequia



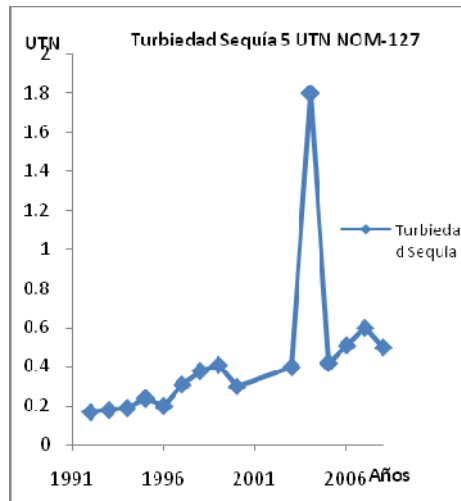
A) Nitritos Lluvia



B) Nitritos Sequía

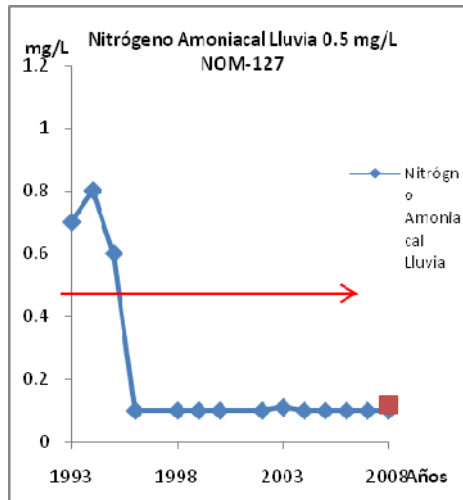


A) Turbiedad Lluvia

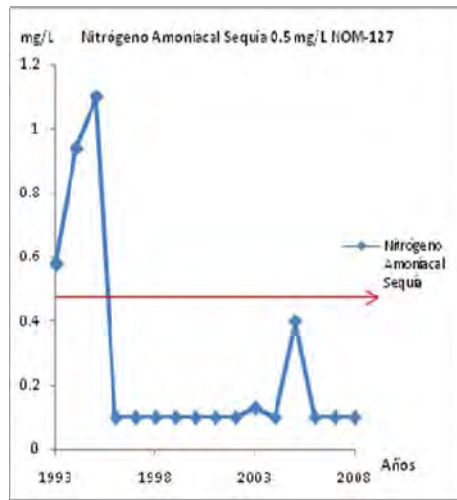


B) Turbiedad Sequía

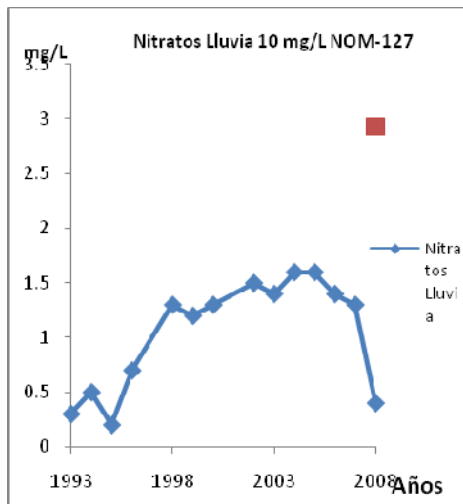
Tanque Quetzalcóatl



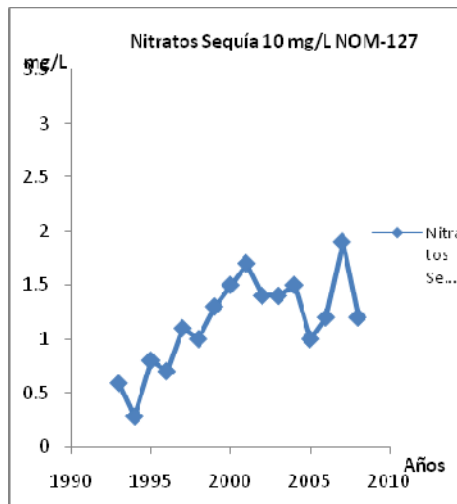
A) Nitrogeno Amoniacal Lluvia



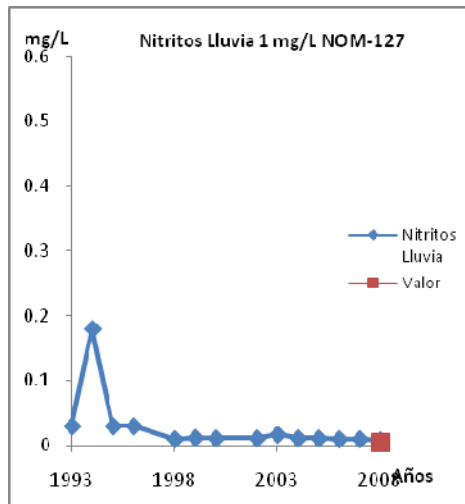
B) Nitrogeno Amoniacal Sequía



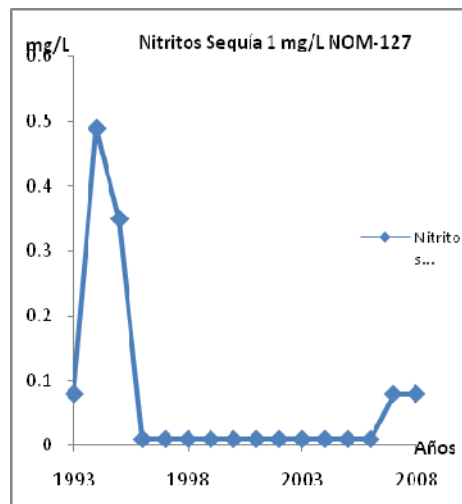
A) Nitratos Lluvia



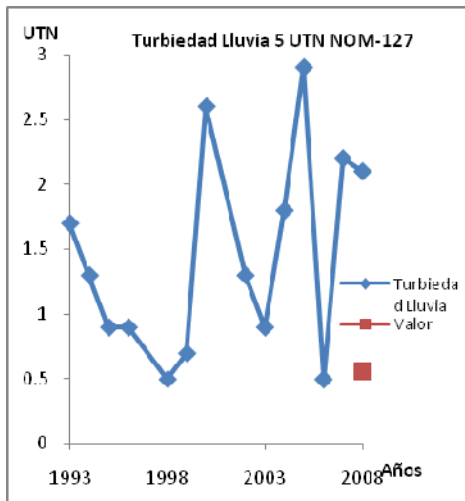
B) Nitratos Sequía



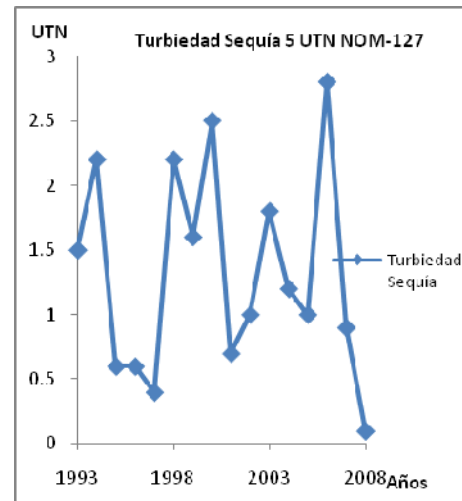
A) Nitritos Lluvia



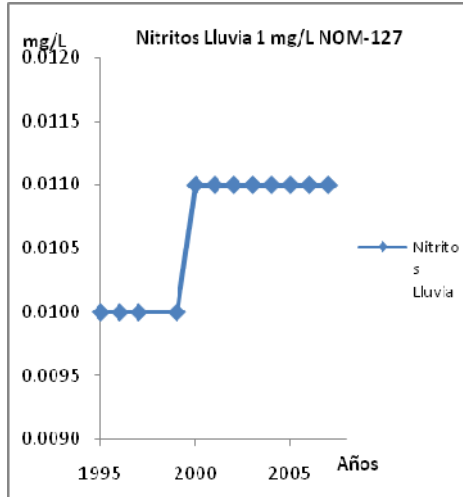
B) Nitritos Sequía



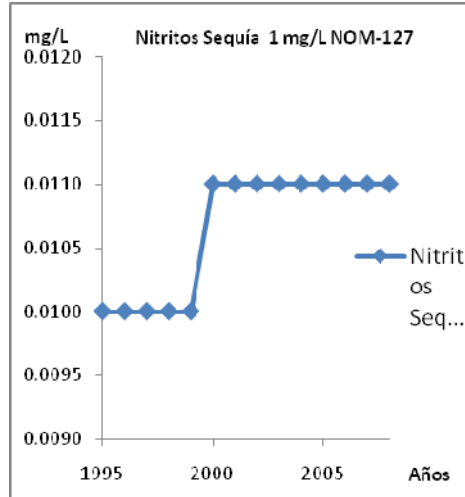
A) Turbiedad Lluvia



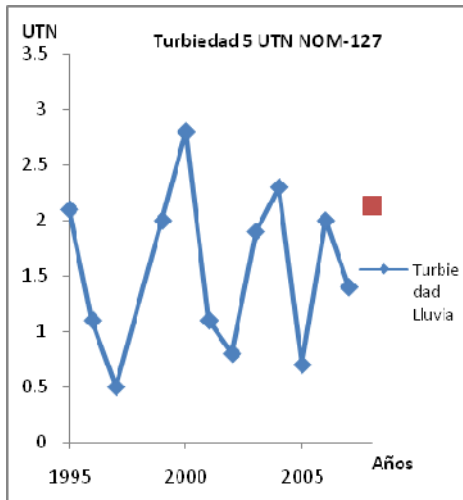
B) Turbiedad Sequía



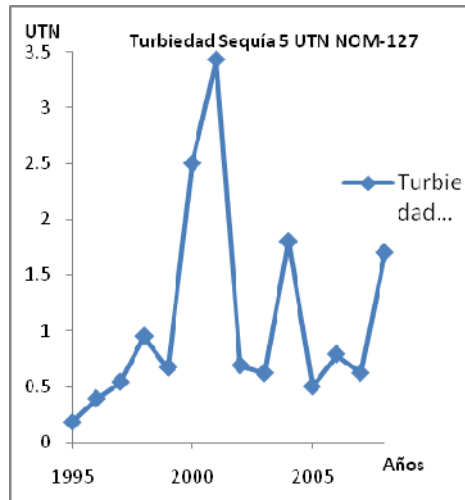
A) Nitritos Lluvia



B) Nitritos Sequía

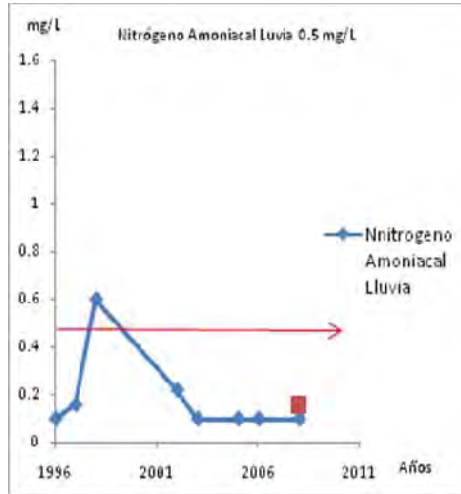


A) Turbiedad Lluvia

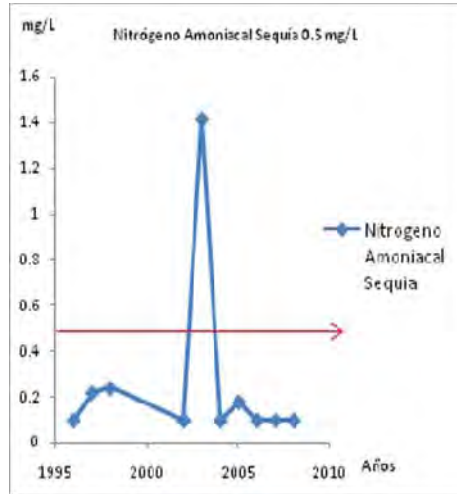


B) Turbiedad Sequía

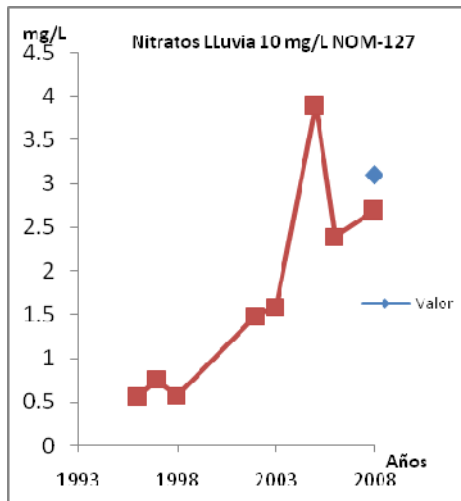
Tanque Xaltepec



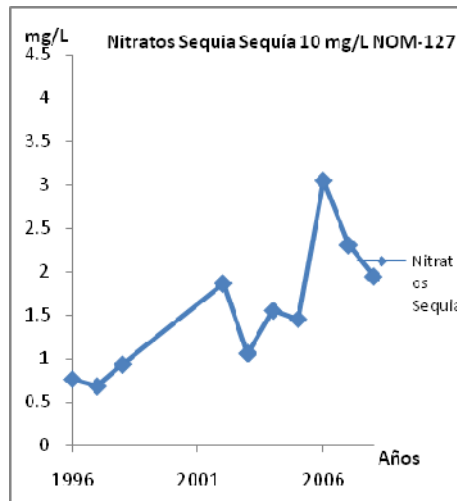
A) Nitrogeno Amoniacal Lluvia



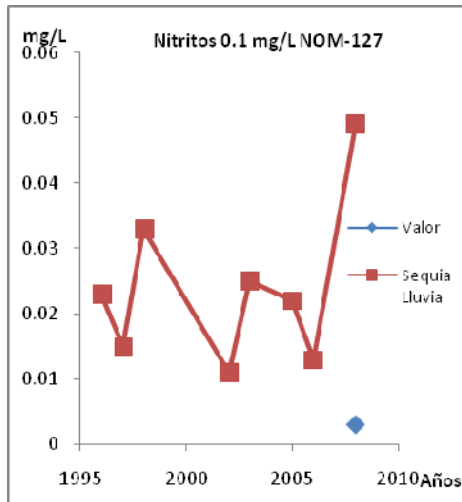
B) Nitrogeno Amoniacal Sequia



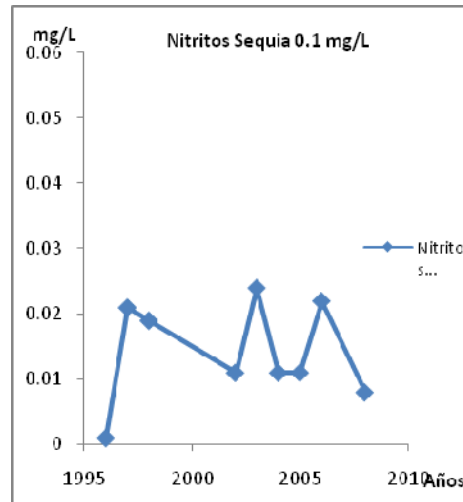
A) Nitratos Lluvia



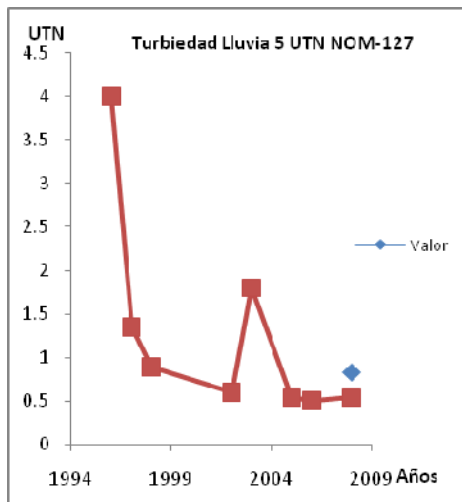
B) Nitratos Sequia



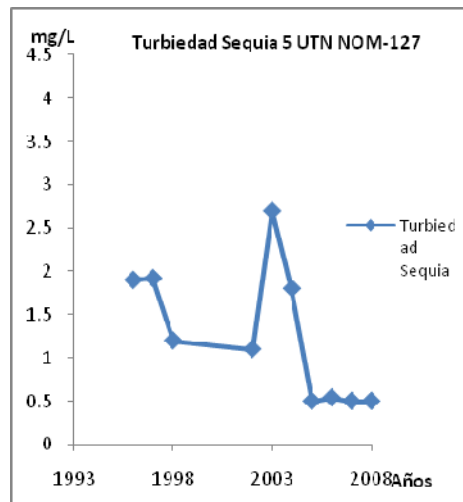
A) Nitritos Lluvia



B) Nitritos Sequía

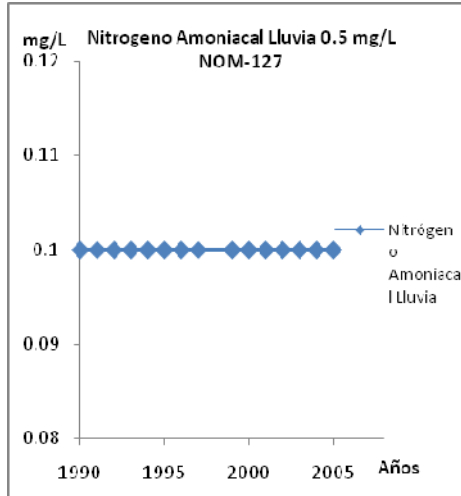


A) Turbiedad Lluvia

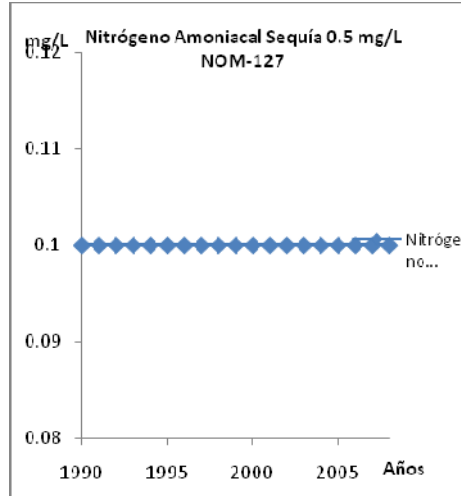


B) Turbiedad Sequía

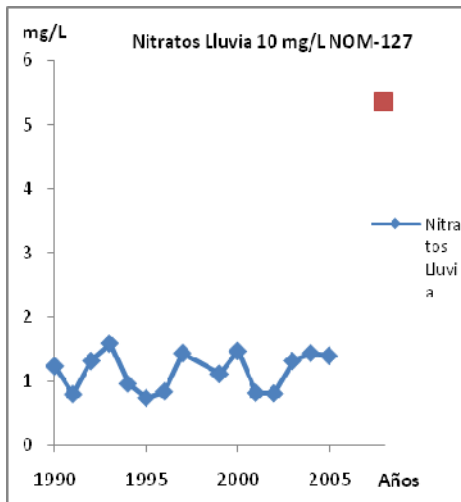
Tanque Peñón



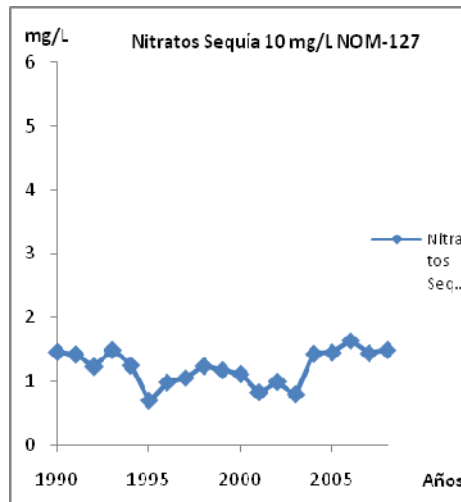
A) Nitrógeno Amoniacal Lluvia



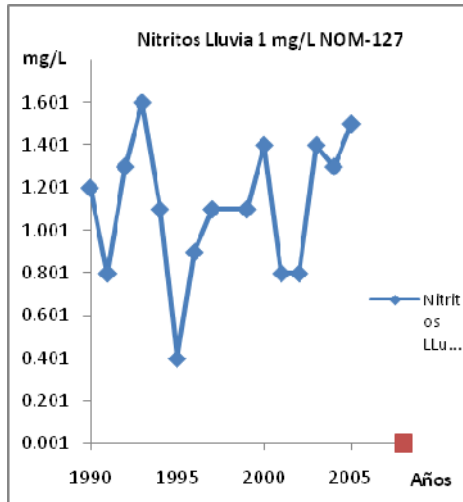
B) Nitrógeno Amoniacal Sequía



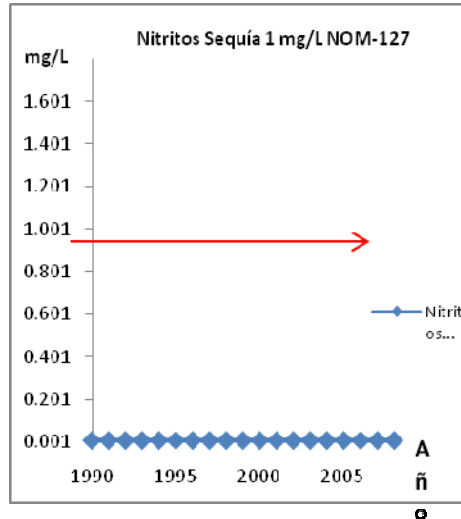
A) Nitratos Lluvia



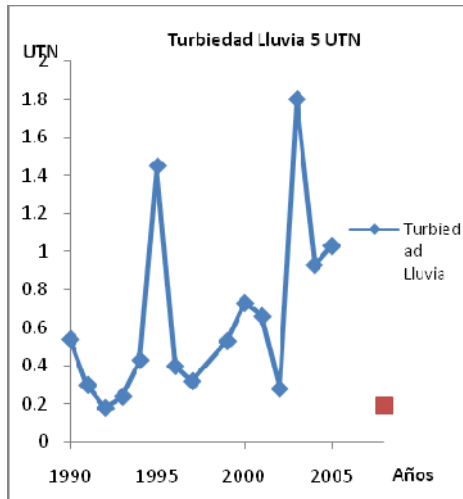
B) Nitratos Sequía



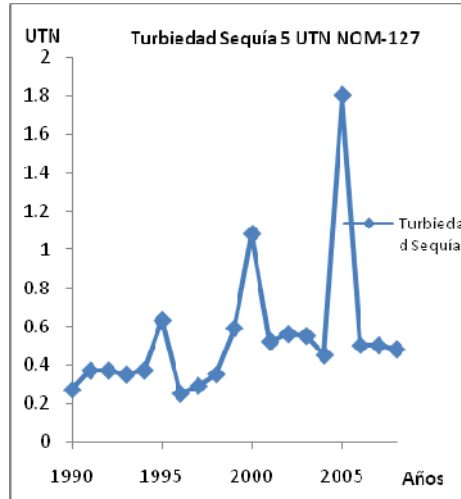
A) Nitritos Lluvia



B) Nitritos Sequía

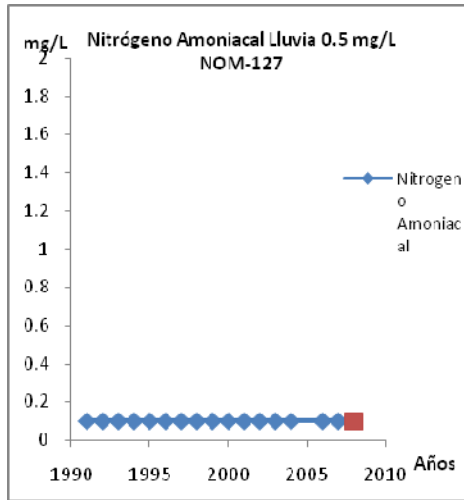


A) Turbiedad Lluvia

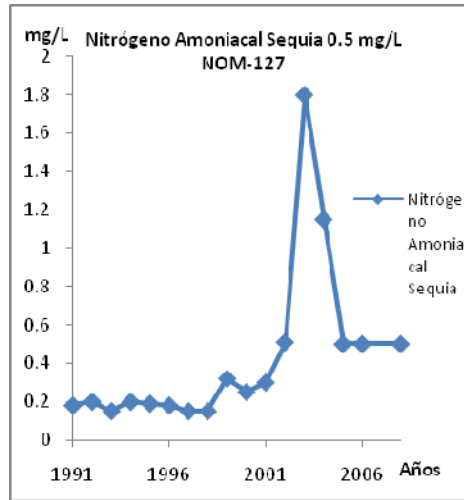


B) Turbiedad Sequía

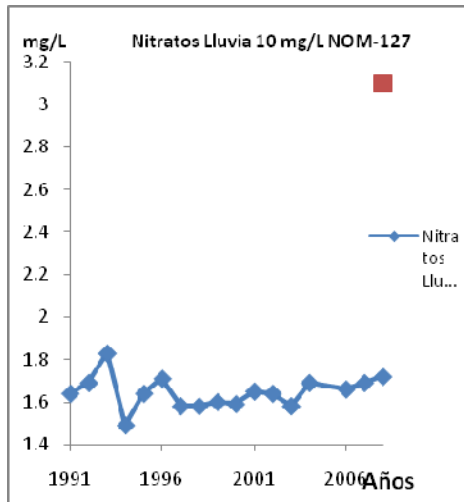
Tanque Chalma



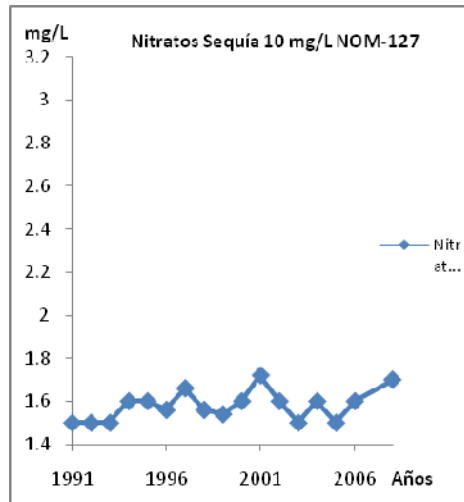
A) Nitrógeno AmoniacaL Lluvia



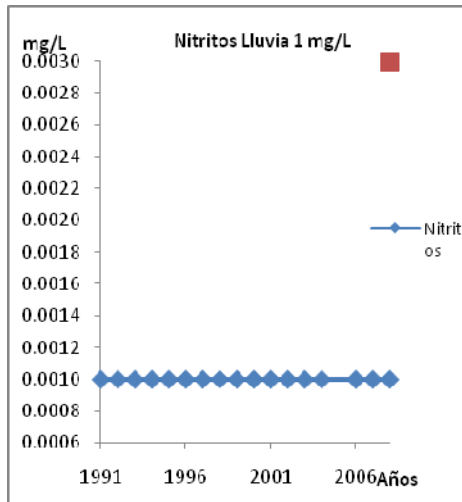
B) Nitrógeno AmoniacaL Sequía



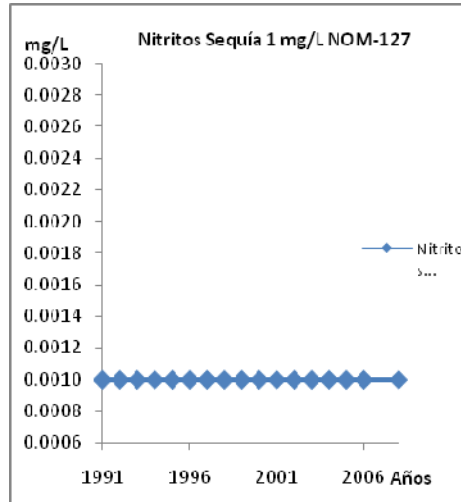
A) Nitratos Lluvia



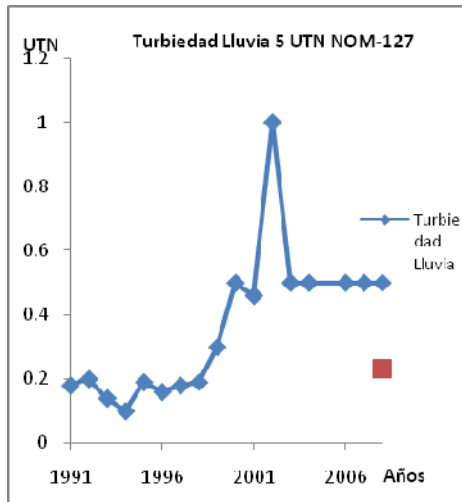
B) Nitratos Sequía



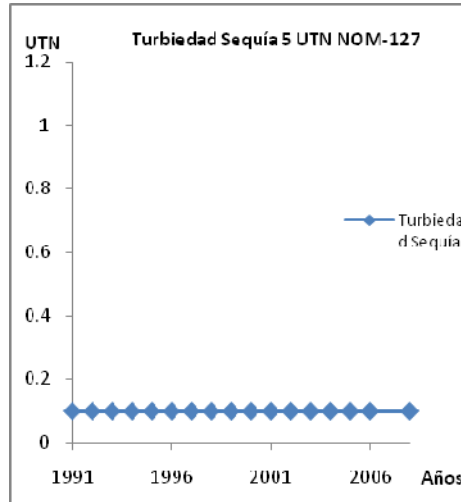
A) Nitritos Lluvia



B) Nitritos Sequía

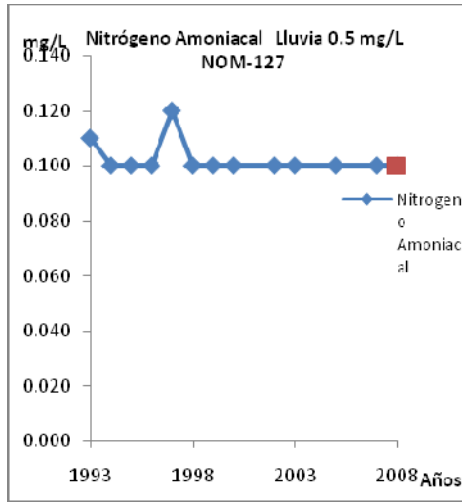


A) Turbiedad Lluvia

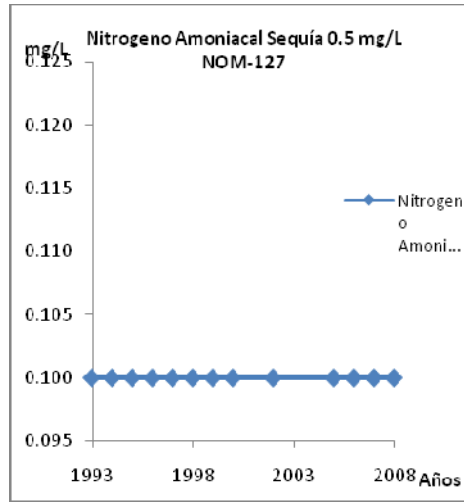


B) Turbiedad Sequía

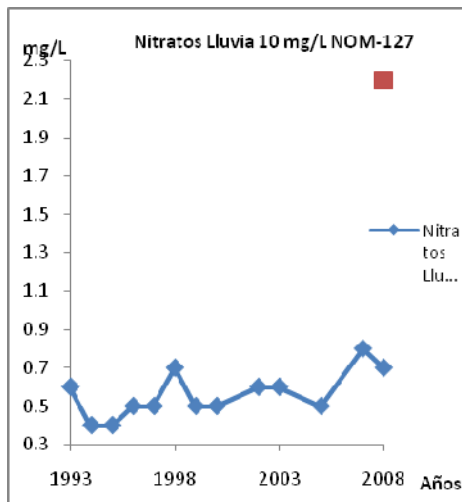
Tanque "Caída del Borracho"



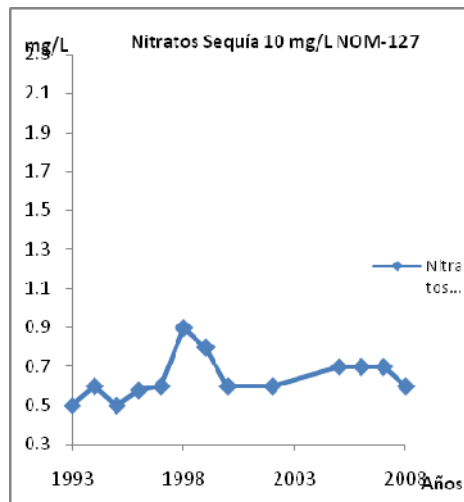
A) Nitrógeno Amoniaca Lluvia



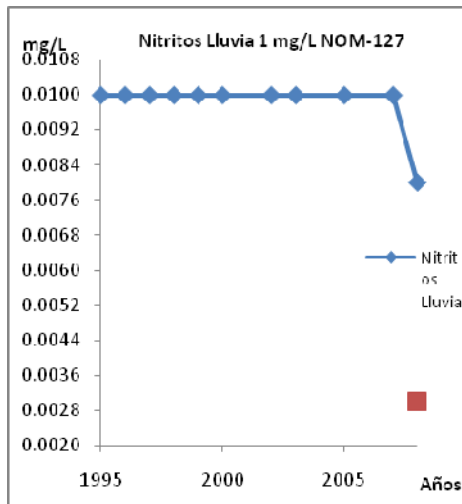
B) Nitrógeno Amoniaca Sequía



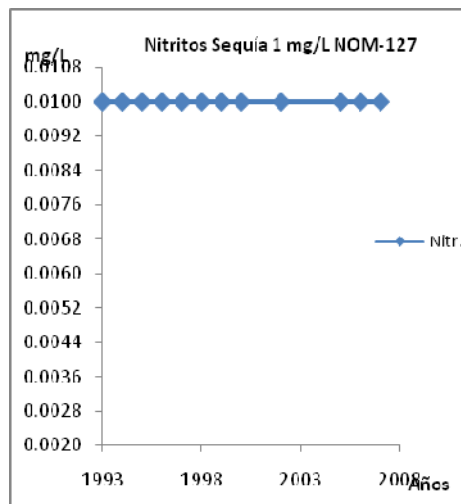
A) Nitratos Lluvia



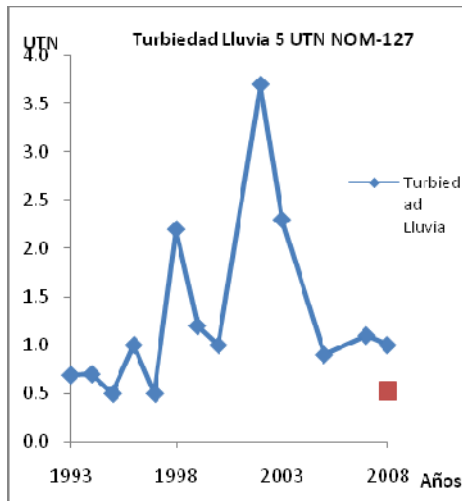
B) Nitratos Sequía



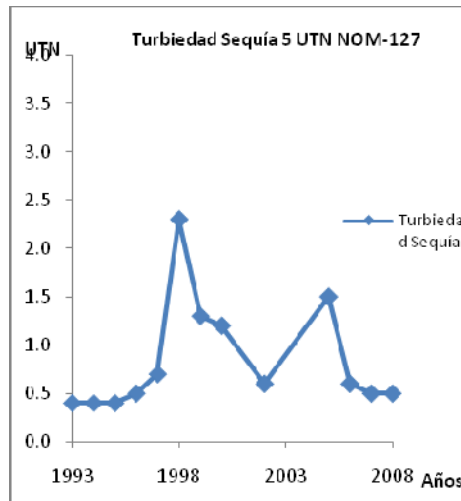
A) Nitritos Lluvia



B) Nitritos Sequía

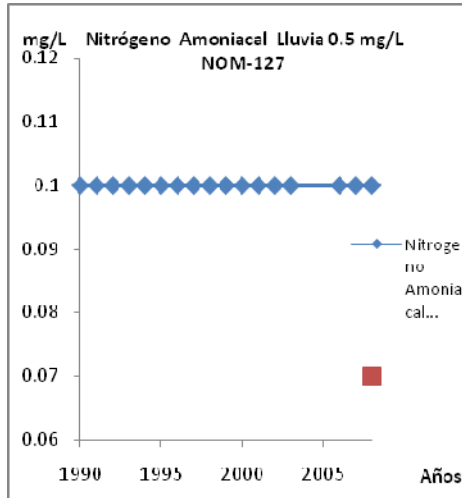


A) Turbiedad Lluvia

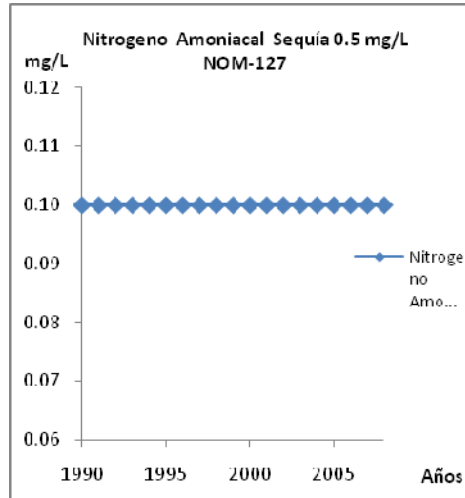


B) Turbiedad Sequía

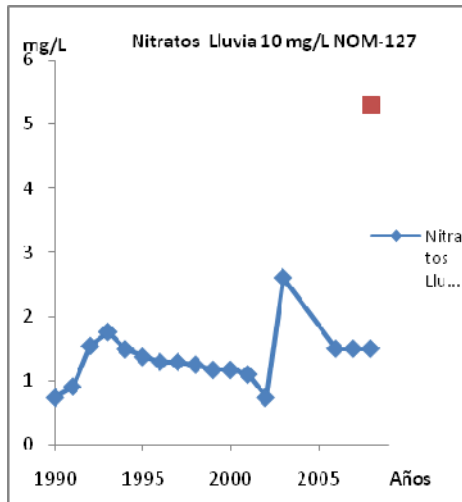
Tanque Cerro de la Estrella



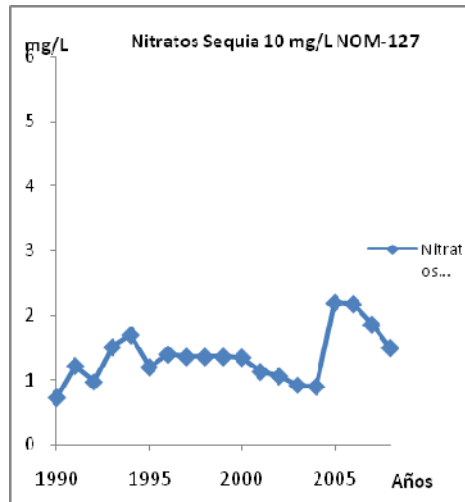
A) Nitrogeno Amoniacal Lluvia



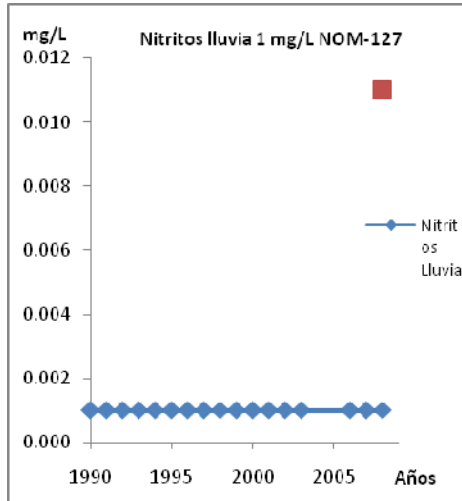
B) Nitrogeno Amoniacal Sequia



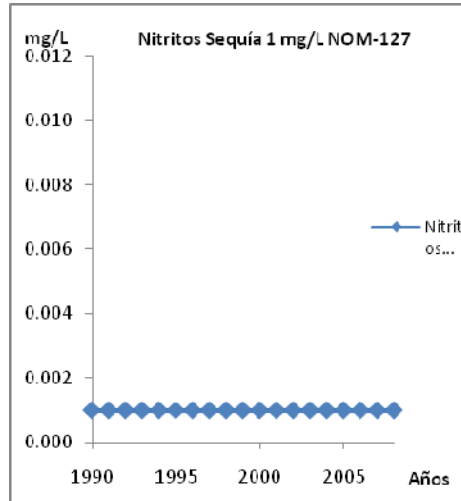
A) Nitratos Lluvia



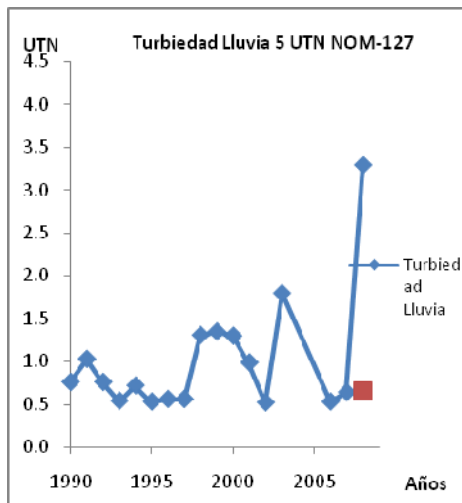
B) Nitratos Sequia



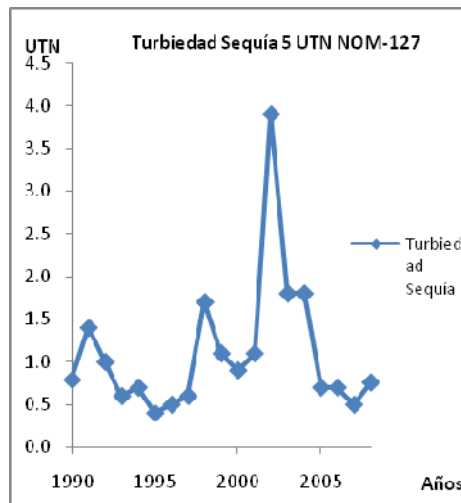
A) Nitritos Lluvia



B) Nitritos Sequía

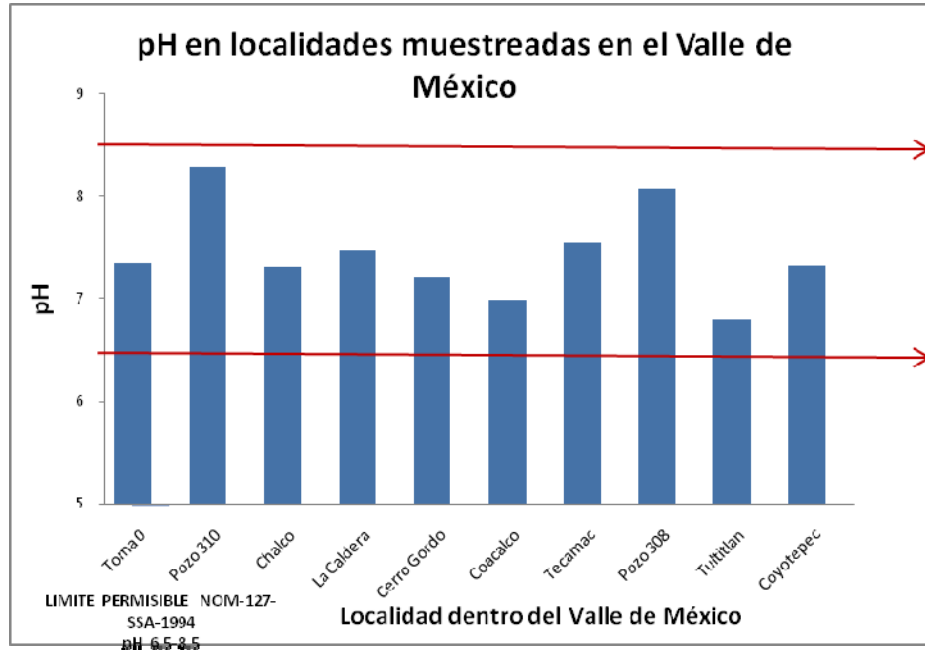


A) Turbiedad Lluvia

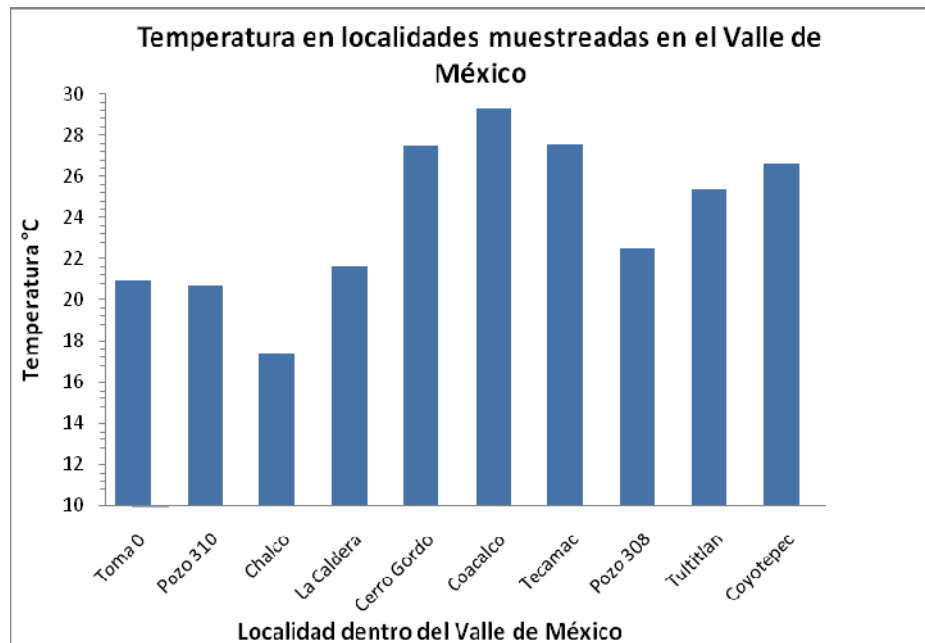


B) Turbiedad Sequía

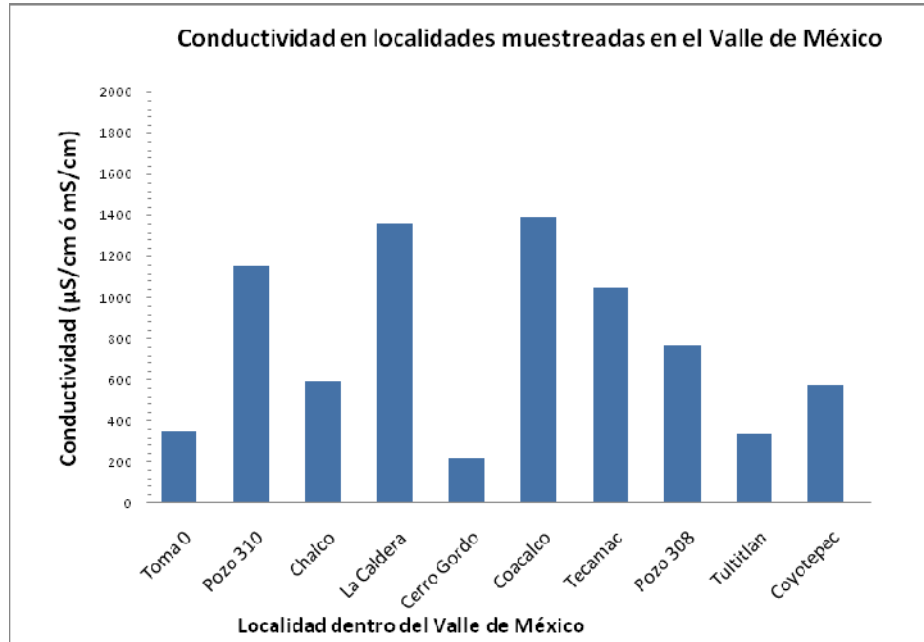
Ph



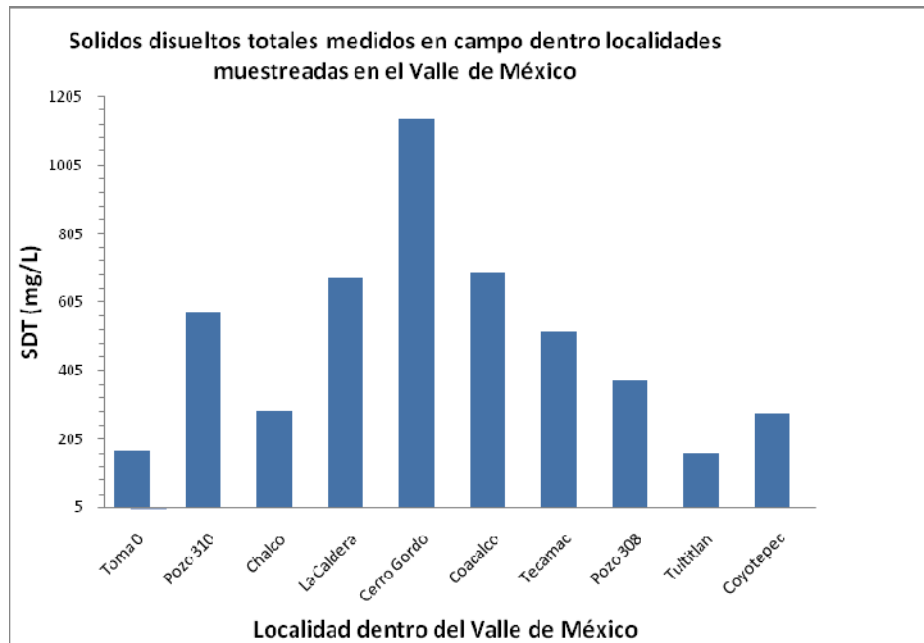
Temperatura



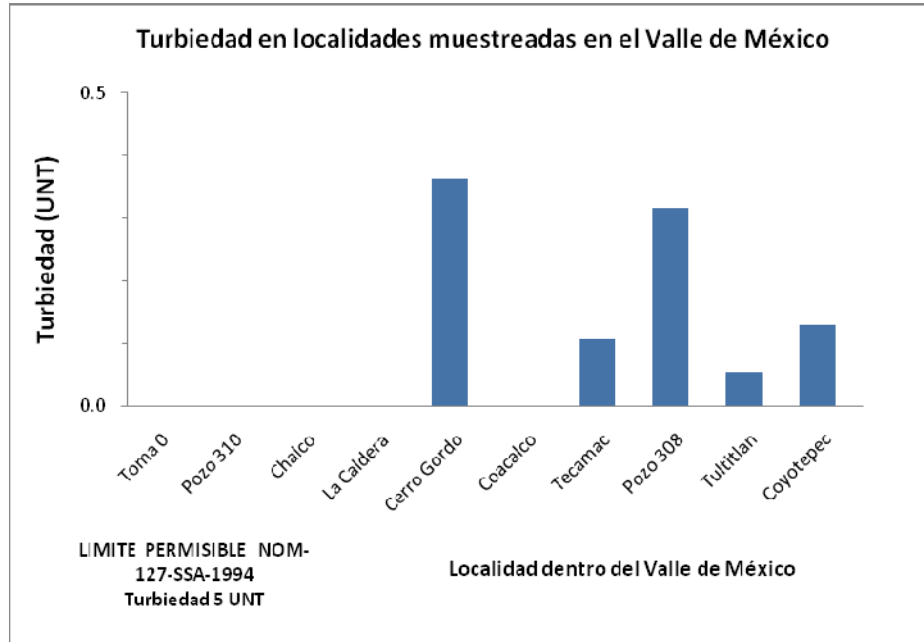
Conductividad



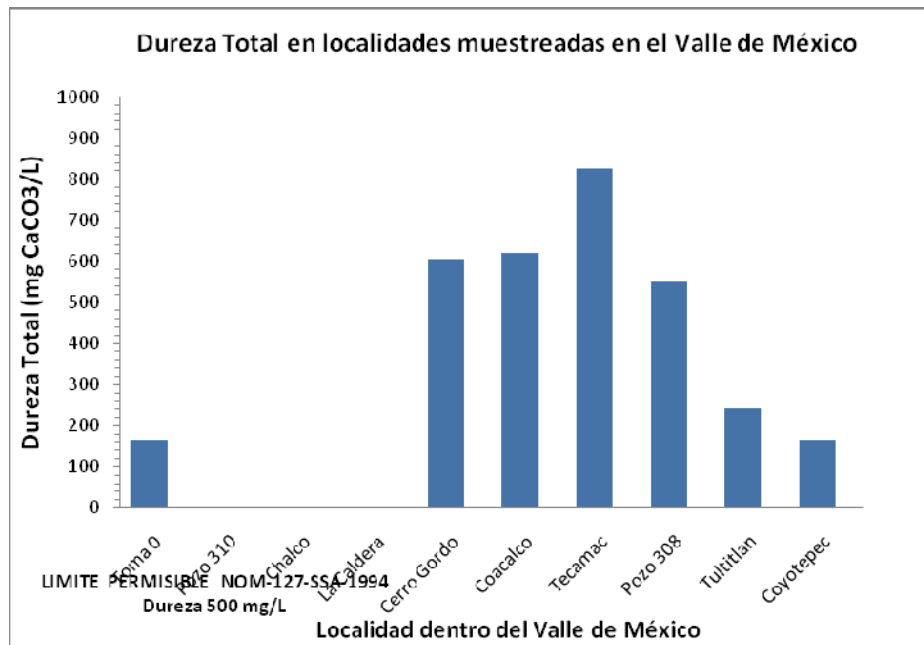
Solidos Disueltos Totales



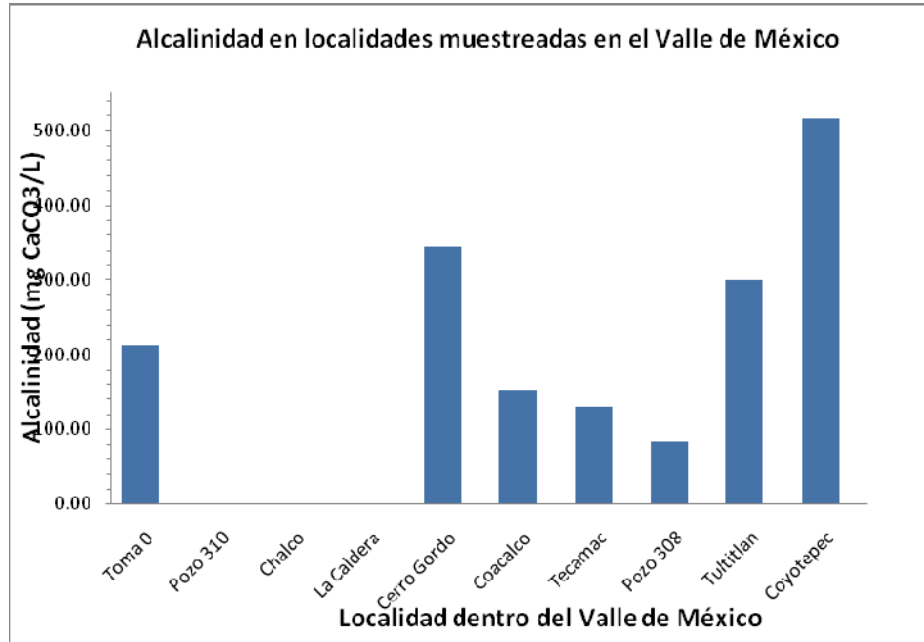
Turbiedad



Dureza



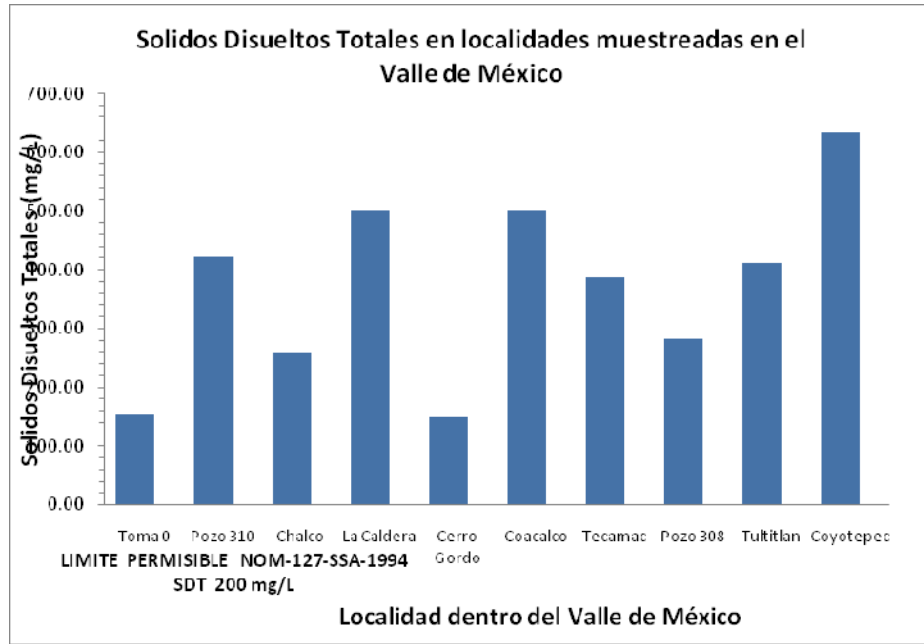
Alcalinidad



Cloruros



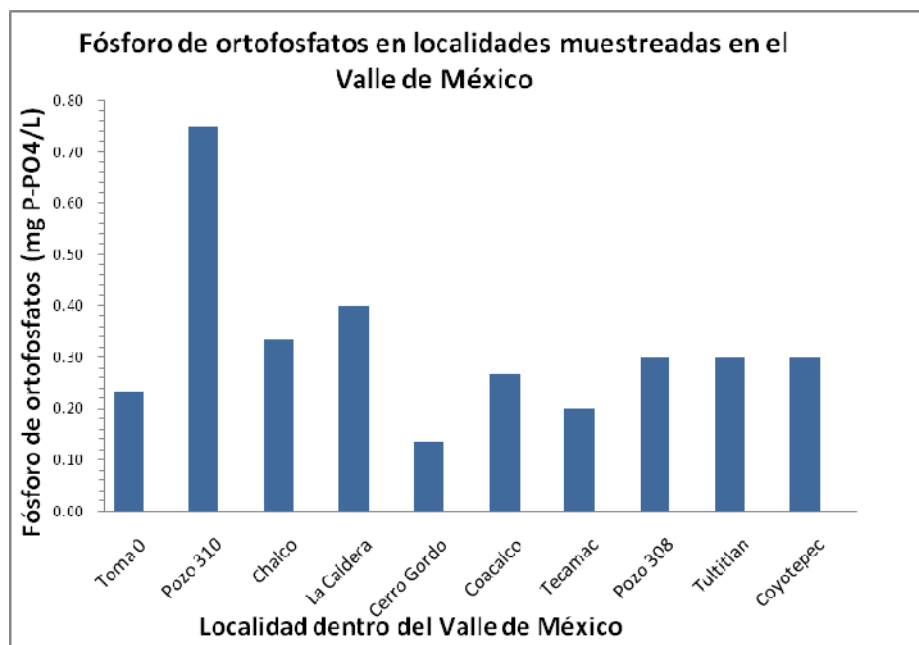
Solidos Disueltos Totales



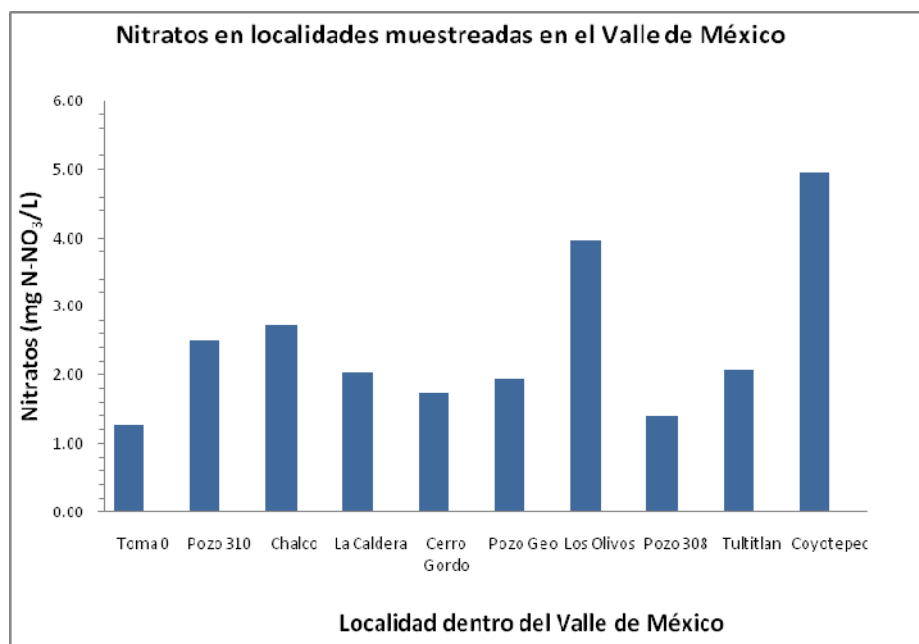
Solidos Suspendidos Totales



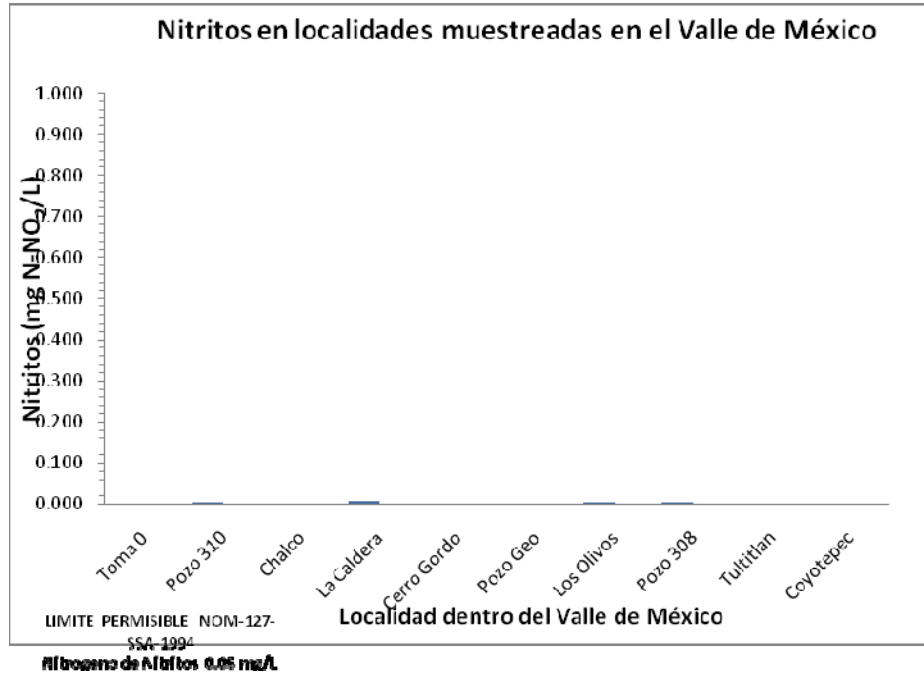
Ortofosfatos



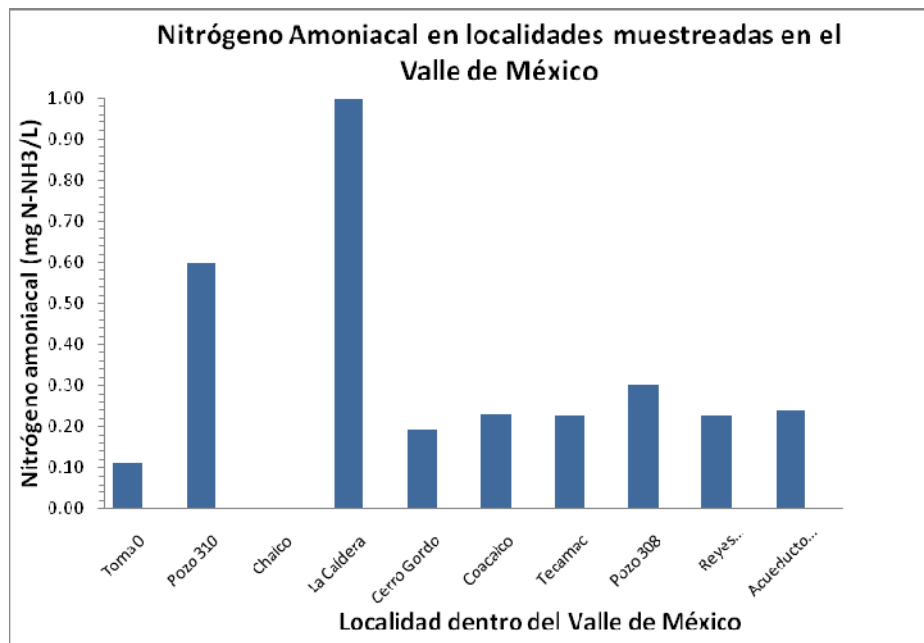
Nitratos



Nitritos



Nitrogeno Amoniacal



Nitrogeno Total

