

PUMAGUA

PROGRAMA DE MANEJO, USO Y REUSO DEL AGUA EN LA UNAM



PUMAGUA DIAGNÓSTICO



Diagnóstico

Director:

Dr. Fernando Jorge González Villareal

Coordinador Ejecutivo:

Dr. Rafael Val Segura

Coordinador de Balance Hidráulico:

Ing. Antonio Capella Vizcaíno

Coordinadora de Calidad del Agua, Instituto de Ingeniería:

Dra. María Teresa Orta Ledesma

Coordinadora de Calidad del Agua, Instituto de Ecología:

Dra. Marisa Mazari Hiriart

Coordinadora de Calidad del Agua, Facultad de Medicina:

Dra. Yolanda López Vidal

Coordinadora de Comunicación y Participación:

M. en C. Cecilia Lartigue Baca

Coordinador de Sistema de Información Geográfica:

M. en C. José Antonio Quintero Pérez



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Rector

Dr. José Narro Robles

Secretario General

Dr. Sergio M. Alcocer Martínez De Castro

Secretario Administrativo

Mtro. Juan José Pérez Castañeda

Abogado General

Lic. Luis Raúl González Pérez

Coordinadora de Humanidades

Dra. Estela Morales Campos

Coordinador de la Investigación Científica

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz

Secretaria de Desarrollo Institucional

Dra. Rosaura Ruíz Gutiérrez

Secretario de Servicios a la Comunidad

M. C. Ramiro Jesús Sandoval

Dirección General de Comunicación Social

Lic. Enrique Balp Díaz

Director del Instituto de Ingeniería

Dr. Adalberto Noyola Robles

Índice de contenido

I. MARCO DE REFERENCIA.....	9
a) Programa de Conservación de Agua de la Universidad de Stanford.....	9
b) Programa de la Universidad de Sidney.....	10
c) Taller DGOyC-PUMAGUA.....	11
d) Estudio de la Facultad de Ciencias	12
e) Estudio de la Facultad de Química sobre la disposición de residuos peligrosos en C.U.	13
II. COMPONENTES DE PUMAGUA.....	15
III. DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DEL AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA	17
a) Agua potable.....	17
b) Abastecimiento.....	17
➤ Balance hidráulico	17
➤ Calidad del agua	20
c) Regularización.....	20
➤ Balance hidráulico	21
➤ Calidad del agua	23
d) Distribución del Agua.....	25
➤ Tuberías	25
➤ Piezas especiales.....	27
➤ Tomas de agua potable.....	29
e) Estimación del consumo de agua en C.U.....	30
f) Agua potable en el interior de los edificios	31
g) Plantas de tratamiento	33
➤ Planta de tratamiento de Cerro del Agua	33
➤ Planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	34
➤ Planta de tratamiento del Instituto de Ingeniería.....	35
➤ Plantas BRAIN	36
h) Áreas verdes en C.U.....	36
i) Comunicación/Participación.....	37
➤ Identificación de actores del PUMAGUA	37
➤ Diagnóstico de conocimientos, actitudes y conductas.	39

IV. CALIDAD DEL AGUA.....	41
a) <i>Diagnóstico de la calidad del agua: segunda etapa (2009)</i>	43
I. Diseño de muestra	43
II. Sitios de muestreo	44
III. Procesamiento de muestras	45
b) <i>Agua sin desinfección y agua clorada</i>	46
I.- Temporada fría-seca (enero-marzo)	46
II .Temporada cálida – seca (abril-junio).....	46
III.- Temporada cálida-lluviosa (agosto-octubre)	47
c) <i>Agua potable</i>	48
I.- Tanques de almacenamiento	48
II.-Red de distribución	50
III.- Interpretación de la simulación en EPANET del cloro residual en la red de distribución del agua	51
IV.- Monitoreo “en línea” de la calidad del agua potable	52
d) <i>Agua residual (A la entrada de la Planta de Tratamiento de Cerro del Agua)</i>	53
e) <i>Agua residual tratada y de reuso en riego</i>	54
f) <i>Pastos</i>	55
g) <i>Asociación entre colifagos y bacterias indicadoras</i>	58
h) <i>Aerosoles</i>	58
i) <i>Sistema de desinfección</i>	60
I. Descripción del sistema.....	60
1. POZOS	60
Pozo 1. Facultad de Química	60
Pozo 2. Multifamiliar.....	61
Pozo 3. Vivero Alto	62
2. AGUA DESINFECTADA QUE SE BOMBEA A TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	63
V. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE PUMAGUA.....	67
VI. LITERATURA CONSULTADA.....	71

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Bombas de los pozos en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM	18
<i>Figura 2.</i> Porcentajes de extracción de los pozos. FUENTE: DGOyC UNAM.	18
<i>Figura 3.</i> Extracción de agua en los pozos durante 2008. FUENTE: DGOyC. UNAM.	19
<i>Figura 4.</i> Tanque Vivero Alto.	22
<i>Figura 5.</i> Tanque Alto.....	22
<i>Figura 6.</i> Tanque Bajo.....	22
<i>Figura 7.</i> Tanques de almacenamiento en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM.....	24
<i>Figura 8.</i> Configuración de la red hidráulica de Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM	26
<i>Figura 9.</i> Diámetros e incrustaciones en las tuberías de agua potable.....	27
<i>Figura 10.</i> Cruceros de la red de distribución de agua potable. Línea de 10” con derivaciones a 4”.	28
<i>Figura 11.</i> Reducción de diámetros en la red. Izquierda: Reducción campana. Derecha: Tee reductora.	28
<i>Figura 12.</i> Medidor de 2”, encontrado en la zona de Rectoría, el cual no funciona.	30
<i>Figura 13.</i> Suministro de agua en 2008.	30
<i>Figura 14.</i> Estimación del Balance durante 2008.	31
<i>Figura 15.</i> Muestreo en llave de tarja y <i>Figura 16.</i> Muestreo en filtro.....	32
<i>Figura 17.</i> Planta de Tratamiento de Cerro del Agua.	33
<i>Figura 18.</i> Planta de Tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.	34
<i>Figura 19.</i> Planta de Tratamiento del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería	35
<i>Figura 20.</i> Conocimientos, actitudes y prácticas más importantes respecto del uso del agua en C.U.	39
<i>Figura 21.</i> Modelación de la calidad del agua en la red.....	52
<i>Figura 22.</i> Presencia de Coliformes Fecales en las muestras de pasto de las temporadas estudiadas.....	57
<i>Figura 23.</i> Presencia de Enterococos Fecales en las muestras de pasto de las temporadas estudiadas.	57
<i>Figura 24. a)</i> Pozo 1. Facultad de Química; <i>b)</i> Tanque de Hipoclorito de Sodio.	60
<i>Figura 25.</i> Bomba del pozo 2. Multifamiliar.	61
<i>Figura 26.</i> Tanque de cloro gas.	61
<i>Figura 27.</i> Pozo 3. Vivero Alto.....	62
<i>Figura 28.</i> Tanques de cloro gas.	62
<i>Figura 29.</i> Relación Dosis-Demanda-Residual.....	65
<i>Figura 30.</i> Plano general de Ciudad Universitaria.....	68
<i>Figura 31.</i> Válvulas ubicadas dentro de Ciudad Universitaria.	69
<i>Figura 32.</i> Información recabada de válvulas (su asentamiento, tipo, estado en que se encuentran).	70

Índice de Tablas

<i>Tabla 1.</i> Medidas adoptadas en el Programa de Conservación de Agua de la Universidad de Stanford.....	9
<i>Tabla 2.</i> Características de los pozos en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM.	17
<i>Tabla 3.</i> Características generales de los tanques en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM	21
<i>Tabla 4.</i> Diferentes grupos de usuarios del agua en la UNAM.....	38
<i>Tabla 5.</i> . Sectores que tienen control sobre el recurso.	38
<i>Tabla 6.</i> Actores que podrían facilitar el proceso de comunicación de PUMAGUA.	39
<i>Tabla 7.</i> Temporadas de muestreo de la calidad del agua.....	44
<i>Tabla 8.</i> Puntos de muestreo para evaluar la presencia de indicadores de contaminación fecal.....	44
<i>Tabla 9.</i> Volúmenes de las muestras en función del tipo de agua.	45
<i>Tabla 10.</i> Determinación del cloro residual en el Tanque Bajo durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)	48
<i>Tabla 11.</i> Determinación del cloro residual en el Tanque Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)	49
<i>Tabla 12.</i> Promedio de los resultados obtenidos durante los análisis.	53
<i>Tabla 13.</i> Resumen de muestras positivas a bacterias y colifagos en agua residual (influyente) y residual tratada (efluente) de la Planta de tratamiento de Cerro del Agua.....	54
<i>Tabla 14.</i> Resumen de muestras del efluente del agua residual tratada por la planta de tratamiento de Cerro del Agua (Análisis del Instituto de Ecología y de la Facultad de Medicina).	54
<i>Tabla 15.</i> Resumen de muestras positivas en pasto regado con agua residual tratada producida en la Planta de tratamiento de Cerro del Agua.	56
<i>Tabla 16.</i> Asociación entre la detección de colifagos y de coliformes fecales (CF) y enterococos fecales (EF).	58
<i>Tabla 17.</i> Resultados de la identificación de bacterias durante el riego por aspersión en Las Islas de Rectoría durante la época de secas.....	59
<i>Tabla 18.</i> Tiempos de retención hidráulicos	63
<i>Tabla 19.</i> Parámetros microbiológicos establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, modificada en el 2000. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano.	64
<i>Tabla 20.</i> Resultados de los análisis microbiológicos realizados en el pozo de la Facultad de Química antes y después de las pruebas de desinfección con ozono + hipoclorito.	64
<i>Tabla 21.</i> Dosificación de Hipoclorito de Sodio al 13% en pozos de abastecimiento.	65
<i>Tabla 22.</i> Clasificación de algunos de los equipos dosificadores de cloro más usados.	66

I. MARCO DE REFERENCIA

a) Programa de Conservación de Agua de la Universidad de Stanford

A nivel internacional, uno de los programas de manejo del agua que más llama la atención es el Programa de Conservación de Agua de la Universidad de Stanford. En 7 años este programa logró una disminución del 15% en el consumo de agua; actualmente el consumo per cápita promedio en esa Universidad es de 142 lps. Entre las medidas implantadas se encuentran un programa de comunicación, auditorías de agua, cambio de muebles sanitarios por muebles ahorradores (90% de muebles sustituidos), cambio de equipos de enfriamiento, reemplazo de vegetación de jardinería por vegetación nativa de la zona, así como establecimiento de sistemas automatizados de riego. En la *Tabla 1* se presentan las medidas adoptadas, el ahorro logrado mediante cada una de ellas y su relación costo-beneficio.

Tabla 1. Medidas adoptadas en el Programa de Conservación de Agua de la Universidad de Stanford.

Medida	Promedio de ahorro en los próximos 30 años (MLD¹)	Relación costo/beneficio
Sustitución de inodoros	0.31	1.09
Modificación de regaderas	0.02	2.77
Reemplazo de mingitorios	0.08	1.54
Reemplazo de lavadoras	0.04	19.14
Programas de comunicación	0.09	1.02
Reuso de agua de torre de enfriamiento	0.22	1.04
Auditorías en Facultades y Unidades Habitacionales	0.13	3.46
Auditorías de riego de jardines	0.04	1.38
Planeación de jardines con plantas de bajo consumo	0.08	0.27
Instalación de controladores de evapotranspiración en áreas con riego	0.44	0.96

¹ MLD. Millones de Litros por Día.

b) Programa de la Universidad de Sidney

Por otra parte, el Programa de la Universidad de Sidney ha logrado resultados notables, tanto en su medición de consumos como en el diseño y aplicación de medidas para disminuir el consumo de agua potable. El consumo de agua ha sido monitoreado en la Universidad de Sidney desde 1988. Sin embargo, en 2005, en respuesta a la crisis de abastecimiento de agua en la Zona Metropolitana de Sidney, el gobierno emitió la Orden de Ahorro de Agua bajo la Ley de Administración y Servicios de 1987, en la que se pide a cada usuario importantes acciones en materia de agua que incluyeron los campus de Camperdown y Darlington de la Universidad de Sidney. Entre las medidas que se han adoptado en ambos campi se encuentran las siguientes: medición de consumo de acuerdo con el tipo de edificios (oficinas, laboratorios, vivienda, aulas, etc.); detección y reducción de fugas en su red de distribución e instalaciones; reducción y control de presiones; sustitución de torres de enfriamiento; estudios y automatización de riego; uso en riego de aguas tratadas; reemplazo de equipos de baño de bajo consumo; sustitución de equipos de laboratorio por equipos de bajo consumo; suministros alternativos, como el aprovechamiento del agua de lluvia; lineamientos de construcción para nuevos edificios. Estas acciones permitieron reducir el suministro de 500,000 m³/año de agua en 1998, a 325,429 m³/año, en 2005; es decir, cerca del 35%.

Además, la Universidad de Sidney colabora en un programa de mayor magnitud que coordina el gobierno de New South Wales y que lleva el nombre de Water for Life. Bajo este programa se han realizado campañas con jóvenes de entre 18 y 35 años de edad, en las cuales se incluyeron conferencias y talleres, así como estrategias no convencionales, tales como conciertos y obras de teatro.

La experiencia desarrollada en estas universidades muestra una gran relación con las acciones llevadas a cabo por PUMAGUA. De hecho, se han adecuando las medidas puestas en práctica por estas universidades a las condiciones que impone la comunidad universitaria de la UNAM. En la mayor parte de la literatura sobre uso eficiente del agua se mencionan, por ejemplo, la sustitución de muebles de baño y el reemplazo de agua potable por aguas tratadas para riego, así como la utilización de vegetación nativa en los jardines; igualmente, se alude a la necesidad de detectar y controlar fugas, controlar presiones, sectorizar redes, basar políticas de operación en análisis de demandas, y cambiar muebles de baños, etc.

c) Taller DGOyC-PUMAGUA

En cuanto a Ciudad Universitaria (C.U.), una de las bases de información para PUMAGUA fue el taller que se llevó a cabo con personal de la Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC) de la UNAM. Los resultados relevantes de dicho taller son los siguientes:

- ✓ El personal de la DGOyC cuenta con amplia experiencia; requiere de apoyo técnico y presupuestario.
- ✓ Además de los problemas asociados a la infraestructura, la DGOyC enfrenta:
 - Vandalismo: al interior de los edificios, especialmente en los baños, además de en las áreas exteriores, tanto por parte de la población universitaria como por parte de visitantes de fin de semana.
 - Territorialidad: dificultad en el acceso a las instalaciones que algunas dependencias consideran como parte de su “territorio”. Operación no autorizada de las instalaciones.
 - Lavacoches: desperdicio de agua y actos de vandalismo difíciles de controlar por la organización que se ha desarrollado en torno a esta actividad.

d) Estudio de la Facultad de Ciencias

Por otro lado, alumnos de la carrera de Biología de la Facultad de Ciencias realizaron en 2007 un estudio denominado “Manejo del agua en Ciudad Universitaria”, en el cual se describe la infraestructura hidráulica del campus, se presentan algunas medidas ahorro de agua implantadas por varias dependencias universitarias y se dan a conocer los resultados de una encuesta que se aplicó a la comunidad universitaria respecto de sus percepciones y conductas sobre el uso del agua. A continuación se presentan los siguientes hallazgos de dicha encuesta:

- ✓ La población universitaria no percibe la escasez de agua en C.U.
- ✓ Existe poco conocimiento sobre cómo se suministra el agua y sobre las características de los aparatos e instalaciones de bajo consumo.
- ✓ El 49% de la población ha detectado la presencia de fugas, pero sólo la tercera parte, en su mayoría mujeres, las ha reportado.
- ✓ Cerca del 50% de los encuestados percibe que el manejo de agua en C.U. es inadecuado.
- ✓ Más del 80% dijo haberse enterado de algún programa implementado en C.U. a través de medios internos de comunicación y de medios masivos.
- ✓ El 95% de los encuestados considera importante establecer programas para el manejo eficiente del agua.

e) Estudio de la Facultad de Química sobre la disposición de residuos peligrosos en C.U.

Asimismo, dado que numerosas facultades cuentan con laboratorios en los cuales se trabaja con residuos peligrosos que al ser vertidos por el drenaje ocasionan graves problemas de contaminación en el agua residual enviada a las plantas de tratamiento, en 2005 la Facultad de Química efectuó un estudio sobre la disposición de residuos químicos, en el cual se encontró que 17 de las 26 dependencias analizadas habían vertido sustancias peligrosas en el drenaje o en la basura. Por ello, la Facultad de Química, a través de la Unidad de Gestión Ambiental, puso en marcha el Programa para el manejo adecuado de residuos peligrosos, en el que participan 16 de estas dependencias, mediante el cual, entre otras acciones, se levantó un inventario de residuos conocidos y desconocidos, se identificaron volúmenes generados por los mismos, y se realizaron campañas institucionales de sensibilización sobre el manejo de residuos peligrosos.

II. COMPONENTES DE PUMAGUA

Para cumplir con el objetivo y metas planteados, **PUMAGUA** está dividido en cuatro áreas principales:

A. Balance hidráulico: comprende los volúmenes de agua que se extraen de los pozos y su distribución por la red, así como los volúmenes que son tratados en las plantas respectivas o descargadas en el sistema de drenaje del Distrito Federal. Igualmente, incluye el consumo de agua en riego de jardines y, en el interior de los edificios, el consumo de agua y funcionamiento de los muebles de baños.

B. Calidad del agua: comprende, tanto la calidad del agua potable que se distribuye por la red hasta el consumo en el interior de las dependencias, como la calidad de agua residual que llega a las plantas de tratamiento y la calidad del agua residual tratada que sale de ellas para el riego de jardines.

C. Comunicación/Participación: comprende las estrategias de comunicación hacia la comunidad universitaria así como las estrategias para involucrar a las autoridades universitarias y a cada uno de los usuarios del agua en la UNAM.

D. Geomática: consiste en construir un Sistema de Información Geográfica (SIG) que despliegue toda la información hidráulica de los campi de la UNAM.

III. DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DEL AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA

a) Agua potable

Ciudad Universitaria da servicio diariamente a 132,000 usuarios, y el consumo promedio es de 21 litros por persona por día.

El servicio de agua potable en C.U. es responsabilidad de la Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC) por medio del Taller de Agua Potable de la Coordinación de Conservación.

b) Abastecimiento

➤ Balance hidráulico

El agua que abastece a C.U. proviene de tres pozos que tienen un gasto de extracción promedio de 100 litros por segundo y un máximo de 170 litros por segundo.

Los pozos son: el de la Facultad de Química (Pozo 1); el Multifamiliar (Pozo 2) y el de Vivero Alto (Pozo 3). Los pozos Multifamiliar y Vivero Alto funcionan diariamente, y el de Química se mantiene como reserva. (Ver *Tabla 2*)

Tabla 2. Características de los pozos en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM.

Pozo	Gasto (lps)	Profundidad (m)	Potencia Bomba (HP)
1. Química	31	132	125
2. Multifamiliar	91	193	250
3. Vivero Alto	48	157	250

El sistema de distribución y operación de los pozos se describe en el Anexo de Balance Hidráulico. En la *Figura 1* se muestran las instalaciones de los tres pozos que abastecen C.U.



Figura 1. Bombas de los pozos en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

En la Figura 2 se muestra la proporción de agua extraída de cada pozo. Como se muestra en la Figura 3, se da un incremento en el volumen de agua extraída de agosto a diciembre (periodo de riego), así como un descenso considerable en julio (vacaciones). Estas mismas figuras muestran un descenso en los volúmenes extraídos del Pozo de Química durante 2007. De acuerdo con personal de la Red de Agua, esto fue causado por un problema en el equipo de bombeo del pozo. Las extracciones de los otros dos pozos mantuvieron prácticamente la misma tendencia.

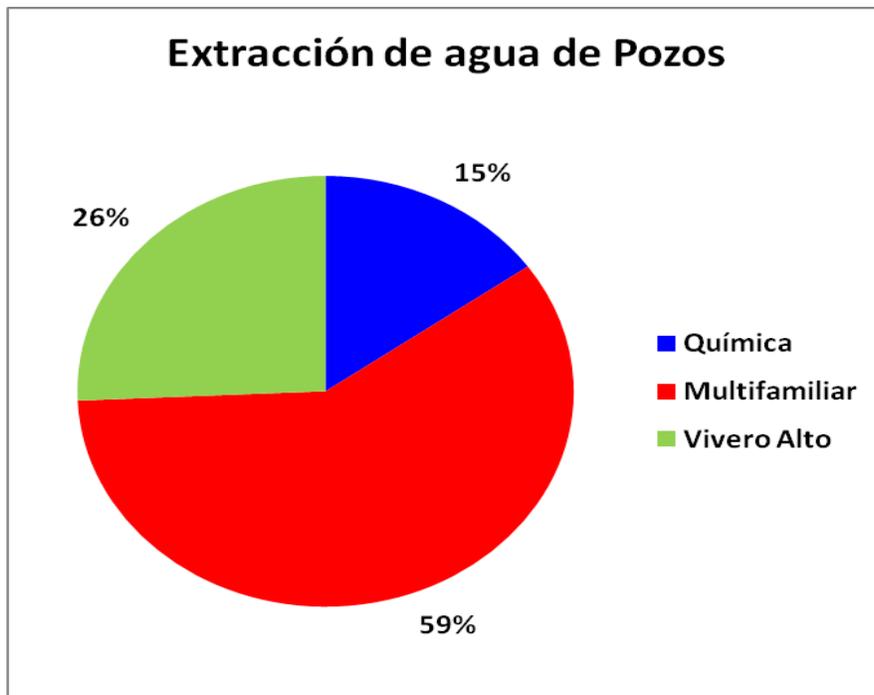


Figura 2. Porcentajes de extracción de los pozos. FUENTE: DGOyC UNAM.

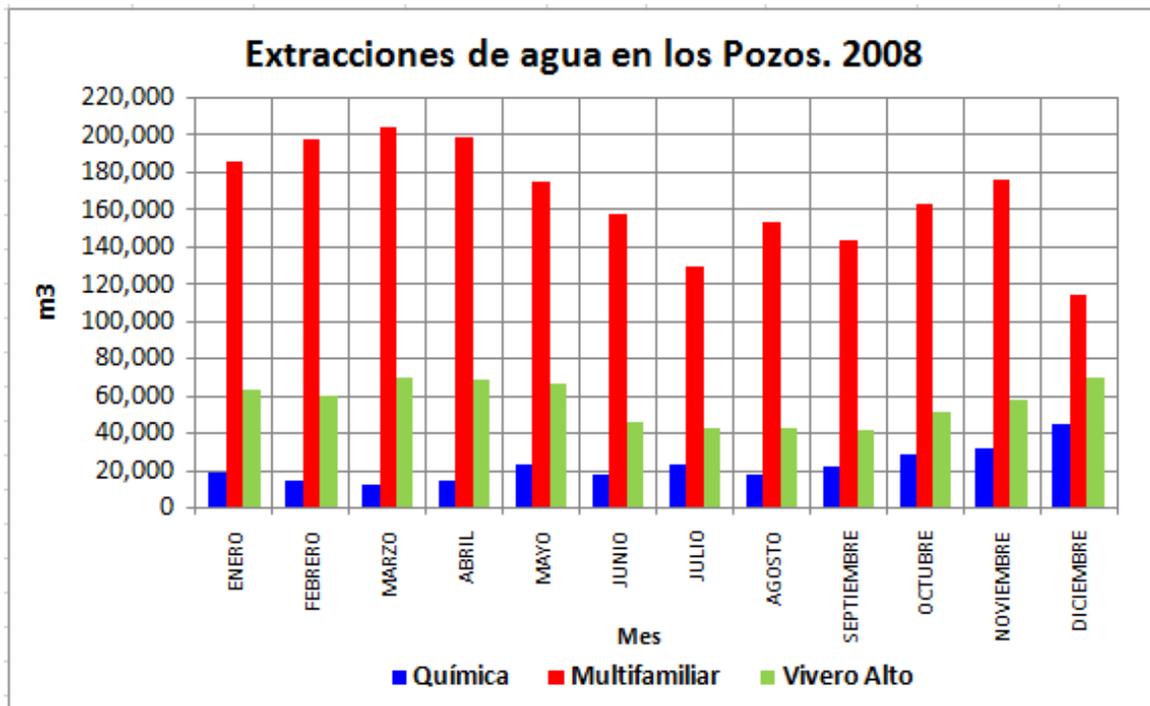


Figura 3. Extracción de agua en los pozos durante 2008. FUENTE: DGOyC. UNAM.

Un hecho que sugiere la sobreexplotación del acuífero en esta zona, ha sido la disminución en el caudal extraído del Pozo Vivero Alto, al pasar, de 150 lps cuando entró en operación en la década de los ochenta, a 48 lps extraídos actualmente (información proporcionada por los operadores de la DGOyC). Además, la profundidad de extracción se ha incrementado de 90 a 157 m. Entre las consecuencias, se encuentra el aumento en la salinidad del agua extraída, misma que provoca incrustaciones en tuberías. El Pozo Vivero Alto abastece principalmente a la zona cultural del campus, en donde se ha constatado una gran cantidad de incrustaciones en el interior de sus tuberías, lo que bien puede explicarse por la disminución del caudal extraído del pozo.

En las actuales políticas de operación no se considera el consumo de la energía eléctrica ni el costo que implica operar el sistema en las horas pico. Se realizó una estimación del costo de la electricidad en un día en el que funcionaron todos los equipos de bombeo; esto es, los tres pozos y el rebombeo que se ubica en el Tanque Bajo, el cual se describe en el Anexo de Balance Hidráulico. Bajo este esquema de operación, **el costo total de la energía utilizada sería de \$9,797.34 por un día, de \$293,920.14 al mes y de \$3,576,028.39 al año.**

➤ Calidad del agua

Para los muestreos en los pozos, se procedió de acuerdo con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM 014-SSA1-1993 "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados".

La calidad del agua potable se determinó utilizando la norma NOM-127-SSA1-1994, modificada en 2000, la cual se refiere a "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización".

En el laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería se llevaron a cabo 95 análisis para evaluar 11 parámetros de la NOM-AA-127-2000. Los parámetros que se muestrearon y sus resultados se pueden consultar en el Anexo de Calidad del Agua.

De los análisis se encontró que las concentraciones de los componentes fisicoquímicos y microbiológicos del agua están por debajo de los límites máximos establecidos por la norma aplicable. Únicamente la concentración de nitratos en el Pozo Vivero Alto se encuentra cercana a los límites permisibles. En el Anexo de Calidad del Agua se presenta la tabla que muestra la caracterización del agua potable en C.U.

El cloro libre residual en los pozos no rebasa los límites superiores máximos permisibles que establece la norma. En relación con el límite inferior, se observó que en los tres pozos se encuentra con un valor de <0,06 mg/l y la norma establece un intervalo de 0,2-1,50 mg/l. En conclusión, hace falta mayor cloro y cuidar en este sentido el sistema de desinfección.

En el Anexo de Calidad del Agua se pueden ver las gráficas de cloro libre residual de cada pozo.

c) Regularización

El tanque de regularización tiene por objeto cambiar el régimen de suministro (captación-conducción), que normalmente es constante, a un régimen de demandas (de la red de distribución), que siempre es variable.

El sistema de regularización de Ciudad Universitaria cuenta con tres tanques reguladores con una capacidad de 12,000 m³, suficiente para abastecer de agua potable a C.U.

➤ **Balance hidráulico**

Los tres tanques que existen en Ciudad Universitaria son abastecidos por los tres pozos; son del tipo “superficiales” y cuentan en conjunto con una capacidad de 12,000 m³. En la *Tabla 3* se muestran las dimensiones de cada uno de los tanques.

Tabla 3. Características generales de los tanques en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

Tanque	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Capacidad (m ³)
T. Alto	40	25	4	4,000
T. Bajo	29	23	3	2,000
T. Vivero Alto (4 Tanques)	25	20	3	6,000
TOTAL				12,000

La Coordinación de Conservación de la DGOyC lleva un registro de los niveles de los tanques. Cada hora se toma la lectura visualmente, con ayuda de una regleta pintada en el interior del tanque, ***lo que evidencia la falta de un sistema automatizado para tomar la lectura de los niveles de los tanques.*** Con la información histórica de estos registros, proporcionada por la Coordinación de Conservación, en PUMAGUA se digitalizaron los registros y se realizaron análisis de los niveles en los tanques para determinar su funcionamiento y, a la vez, la demanda que en éstos se presenta. En esta investigación se identificó, por un lado, el consumo nocturno que se registra en Ciudad Universitaria; y por otro, el consumo aproximado durante el día; se pudo detectar fugas de gran caudal en la red.

Se observa que el gasto nocturno es de 58.8 lps y, dado que en este horario el consumo en instalaciones, laboratorios y pequeños usuarios es mínimo, se puede inferir que la gran mayoría de esa cantidad corresponde a fugas en la red. En el Anexo de Balance se describe el funcionamiento de los tres tanques.

Es importante comentar que los registros históricos deben tomarse con reserva, pues existen algunos errores de apreciación en las lecturas de los niveles en los tanques, lo mismo que en la lectura de los medidores de los pozos; por otro lado, es indispensable medir los caudales que se derivan directamente a la red de distribución, a las líneas que conducen agua de los pozos a los tanques. En las *Figuras 4, 5 y 6* se presentan fotografías de los tanques de abastecimiento de C.U.



Figura 4. Tanque Vivero Alto.



Figura 5. Tanque Alto



Figura 6. Tanque Bajo.

El mantenimiento de los tanques se realiza dos veces por año, en periodo vacacional, y consiste en lavarlos, pintarlos y monitorear la calidad del agua. En general, las condiciones físicas de los tanques pueden considerarse aceptables, aunque valdría la pena revisarlos para ver si presentan fugas en su interior. En la *Figura 7* se muestra la localización de los tres tanques.

➤ **Calidad del agua**

Se llevaron a cabo 10 muestreos de parámetros seleccionados en el Tanque Bajo y uno en el Tanque del Vivero Alto. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que el laboratorio del Instituto de Ingeniería analizó se pueden consultar en el Anexo de Calidad del Agua.

Asimismo, se envió una muestra del Tanque Bajo a un laboratorio externo certificado para emitir un diagnóstico más completo de la calidad del agua

Los resultados para el subsistema de almacenamiento no evidenciaron contaminación alguna. El único parámetro que está por debajo del límite inferior establecido por la norma es el cloro residual, por lo que debe atenderse con prioridad el sistema de desinfección y la manera en que se está suministrando el cloro, para asegurar así la salud de la población.

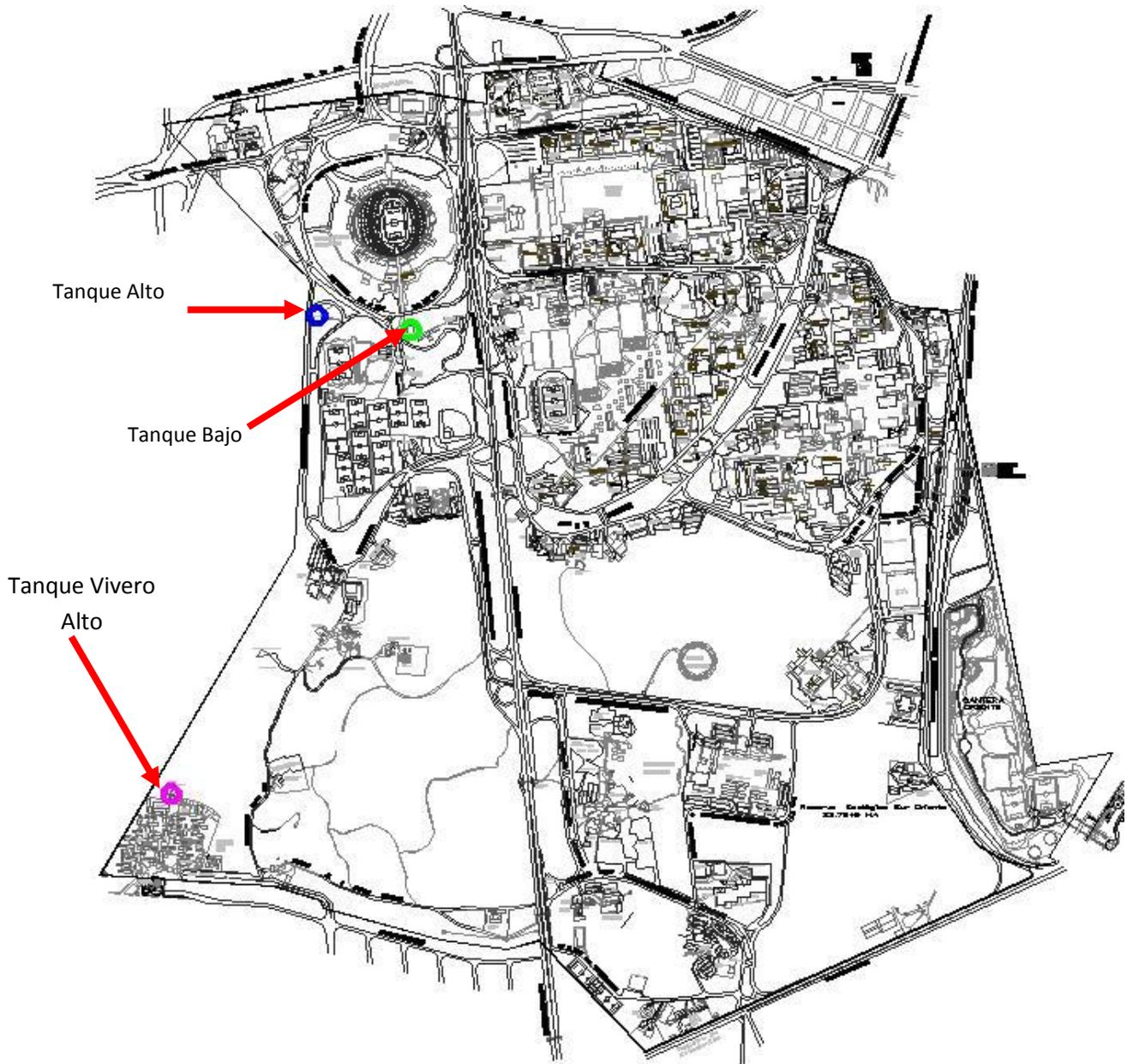


Figura 7. Tanques de almacenamiento en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

d) Distribución del Agua

El sistema de distribución del agua en Ciudad Universitaria es “mixto” debido a que se suministra agua por gravedad y también por bombeo directo a la red. En la distribución por gravedad, el agua primero se bombea desde la fuente hasta un tanque, a partir del cual fluye por gravedad hacia la población. En el caso de la distribución del agua por bombeo, son las bombas las que abastecen directamente a la red y la línea. Las variaciones en la presión suministrada por las bombas se transmiten directamente a la red, por lo que, si la presión aumenta, también se incrementa el volumen perdido en caso de que existan fugas.

En la *Figura 8* se muestra la configuración actual de la red, digitalizada en Auto CAD por PUMAGUA a partir del plano original manejado por los operadores de la DGOyC. Cabe mencionar que este plano data de 1989 y se corrigió con verificaciones en campo, debido a los cambios y ampliaciones en la red que no son notificados a la Dirección General de Obras y Conservación. Estos cambios y ampliaciones se hacen en las líneas principales, en los cruceros de las líneas de distribución y en las válvulas y manómetros que son sustituidos; igualmente, se hacen nuevas derivaciones, así como cancelaciones de líneas deterioradas.

La red de distribución de agua potable de Ciudad Universitaria se compone generalmente de (i) tuberías; (ii) piezas especiales y (iii) tomas de agua, entre otros elementos.

➤ Tuberías

La red de distribución de agua potable de Ciudad Universitaria está integrada por cerca de 54 Km de tubería de muy diversos diámetros y materiales, como lo son el acero, asbesto, fierro fundido, PVC y PEAD. En el Anexo de Balance Hidráulico se pueden ver los kilómetros de cada tipo de tubería.

La red tiene diversos diámetros comerciales de 1, 1 ½, 2 y 2 ½ pulgadas para algunas derivaciones hacia los edificios y tomas de riego. Los ramales de alimentación de agua de la mayor parte de las dependencias tienen diámetros de entre 3 y 6 pulgadas. En las líneas de la red primaria se presentan diámetros de 3 a 8 pulgadas; y las líneas de conducción que parten de los pozos a los tanques tienen diámetros de 10 y 12 pulgadas; sólo existe una línea de 20 pulgadas que se extiende del tanque Vivero Alto a la red de distribución de la Zona Cultural. Ver *Figura 9*.

Los cerca de 50 años de operación de la red ponen en evidencia algunos problemas derivados del tiempo, como lo son las incrustaciones y la aparición de fugas importantes; ello es debido a la fluctuación de presiones en la red, con magnitudes que varían de 1.5 a 7.0 Kg/cm², siendo variaciones de presión considerables que se ven reflejado en el estado de las tuberías.

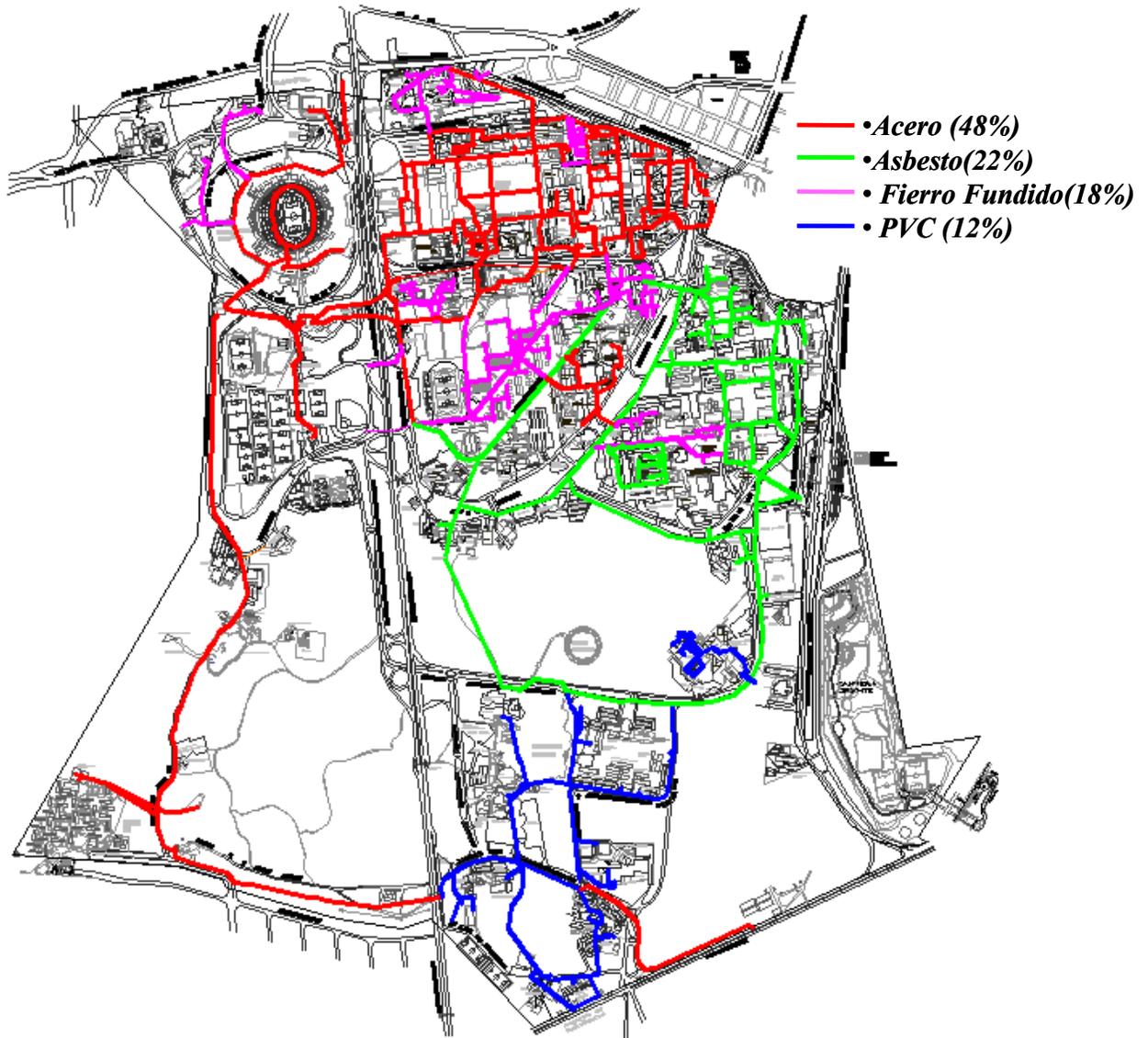


Figura 8. Configuración de la red hidráulica de Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

El personal encargado del mantenimiento de la red no cuenta con el equipo suficiente ni adecuado para llevar a cabo acciones preventivas ni correctivas. Respecto de las fugas, no tiene equipo para su detección; éstas se identifican cuando los niveles en los tanques de regularización tardan mucho en recuperarse. Posteriormente, este personal lleva a cabo recorridos por las zonas en las que se registran pérdidas de presión, pero sólo lo hace en los sitios en donde existen manómetros. En el resto de la red, la detección se lleva a cabo localizando el ruido “característico” de una fuga. En estos casos, el proceso es todavía más tardado, porque se hacen zanjas en puntos por donde se supone que pasa la tubería, con el objeto de encontrar indicios de la fuga. **PUMAGUA ha adquirido equipos detectores de fugas, geófonos y correladores, mismos que harán posible la detección más rápida de las fugas.**



Figura 9. Diámetros e incrustaciones en las tuberías de agua potable

En relación con la eficiencia hidráulica de la red de agua potable, no se cuenta con un indicador específico para determinar su valor en una red de distribución; sin embargo, la manera más práctica de hacerlo es a través de algunos parámetros sobre la disponibilidad espacial y temporal del agua a los usuarios, como son: a) consumo (l/usuario/día); b) continuidad en el servicio de agua (horas/día); c) déficit entre el caudal de agua disponible en la red y el caudal de agua requerido por los usuarios ($\pm\%$); y d) presión media del agua en la red de distribución (Kg/cm^2).

De acuerdo con la información disponible, el consumo per cápita en Ciudad Universitaria es de 20 litros/usuario/día, siendo un consumo medio; el servicio de agua potable se proporciona durante las 24 horas del día los 365 días del año; la presión media en la red de distribución de Ciudad Universitaria es de $4.5 \text{ Kg}/\text{cm}^2$, siendo una presión media. Actualmente no existe un déficit entre el volumen demandado por los usuarios y el extraído de los pozos, por lo que puede concluirse que la eficiencia hidráulica del sistema de agua potable es aceptable. Sin embargo, una conclusión definitiva sobre la eficiencia hidráulica de la red es el volumen de fuga que pueda tener, y de acuerdo a las mediciones su eficiencia es del 50%.

➤ Piezas especiales

Las piezas especiales son todos aquellos accesorios que se emplean para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, modificaciones de diámetro, uniones de tuberías de diferente material o diámetro, y terminales de los conductos, entre otros.

Cruceros entre tuberías

A lo largo de la red de distribución se encuentran poco más de 310 cruceros, muchos de ellos en condiciones que los hacen inaccesibles, por causas como el que estén inundados, que existan líneas de energía eléctrica, que se hallen dentro de oficinas, en medio de la carpeta asfáltica, o que se dificulte su apertura; inclusive, hay registros con profundidad de más de cinco metros, lo que los vuelve muy peligrosos ante la posible presencia de gases.

En la red de distribución, específicamente en cruceros, se cuenta con 45 manómetros instalados para la detección de fugas a través de caídas de presión, pero no se hace un seguimiento de ellos.

Uniones entre tuberías

La mayor parte de la unión entre tuberías se hace a través de juntas mecánicas, independientemente del tipo del material de la tubería. Se ha dejado de utilizar, hasta donde ha sido posible, la termofusión para el caso de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD), debido a que justamente en los puntos de unión se ha producido una gran incidencia de fugas, principalmente en zonas con presiones por arriba de los 6 Kg/cm². En su lugar, se emplean juntas mecánicas, debido a que éstas son prácticas y “sencillas” de instalar y no requieren herramientas especiales, además de que existen adaptadores de este tipo de unión en tuberías plásticas. Ver *Figura 10 y 11*.



Figura 10. Cruceros de la red de distribución de agua potable. Línea de 10” con derivaciones a 4”.



Figura 11. Reducción de diámetros en la red. Izquierda: Reducción campana. Derecha: Tee reductora.

Válvulas

En los cruceros se encuentran cerca de 800 válvulas de seccionamiento de vástago saliente, es decir, que éste se desplaza según su eje vertical. **La mayor parte de las válvulas presentan fugas.** Existen válvulas expulsoras de aire, principalmente en el sur del campus universitario, en donde las líneas atraviesan terrenos con cotas muy pronunciadas, por lo que subsiste el riesgo de que se acumule aire en la tubería. También se cuenta con Válvulas Check o anti-retorno, sobre todo en los trenes de descarga de los pozos y equipos hidroneumáticos. En algunas dependencias se han encontrado válvulas reductoras de presión, fundamentalmente en sus ramales de alimentación.

➤ Tomas de agua potable

El esquema típico de las tomas en Ciudad Universitaria es muy particular: los diámetros de los ramales varían de 2” a 4” en el 95% de las tomas levantadas. Además, generalmente cada edificio cuenta con más de una toma. Se estima que existen más de 200 edificios en el campus, con la posibilidad de encontrar alrededor de 300 tomas.

El desconocimiento de la ubicación de las tuberías que suministran agua a sus edificios, motivó la implantación de un programa de ubicación de tomas, elaborado conjuntamente con personal de la DGOyC, con el apoyo de las dependencias referidas. **Un obstáculo fundamental es la falta de planos de las instalaciones hidráulicas que existen en cada dependencia,** lo que dificulta seriamente la localización de las tuberías; además, existe una falta de uniformidad en los registros de servicios, **para ello se hicieron recorridos para actualizar los planos existentes y para elaborar nuevos planos.**

Cabe señalar que hasta el momento se han identificado 122 tomas de agua potable en 54 dependencias universitarias, lo que representa un avance del 38% en estos trabajos respecto de un total de 144 dependencias que se congregan en Ciudad Universitaria.

Los trabajos de campo ejecutados han mostrado también los materiales de los ramales de alimentación a cada uno de los edificios. El 85% de las tomas es de Acero Galvanizado, mientras que el 10% es de Fierro Fundido y un 5% de Cobre.

Se han identificado 122 tomas, de las cuales sólo 33 contaban con medidores instalados en 1997 como parte del Programa de Mejoramiento Ambiental impulsado por la DGOyC; sin embargo, sólo funcionaban 3 de ellos, y de ninguno fue posible contar con mediciones. En el Anexo de Balance Hidráulico se presentan los diámetros y cantidad de cada uno de ellos, (ver *Figura 12*); En el Anexo Ubicación de tomas de agua se encuentran las dependencias y el número de tomas que tienen.

Las condiciones físicas en que se encuentra la mayoría de las tomas evidencian la necesidad de realizar obra civil.



Figura 12. Medidor de 2”, encontrado en la zona de Rectoría, el cual no funciona.

La diferencia entre los diámetros de la toma y los diámetros de los medidores que PUMAGUA recomienda instalar ha motivado la elaboración de un Manual para la Selección, Instalación y Mantenimiento de medidores que explica la manera más recomendable de elegir un medidor, teniendo como principal criterio las pérdidas de carga que éste produce al ser instalado; igualmente, se hacen recomendaciones para su instalación y mantenimiento.

e) Estimación del consumo de agua en C.U.

Con la información recabada en mediciones en campo, y con la información proporcionada por la DGOyC, fue posible hacer un balance que refleja el modo y la cantidad de agua que se utilizó durante 2008, el cual se muestra en las Figuras 13 y 14.

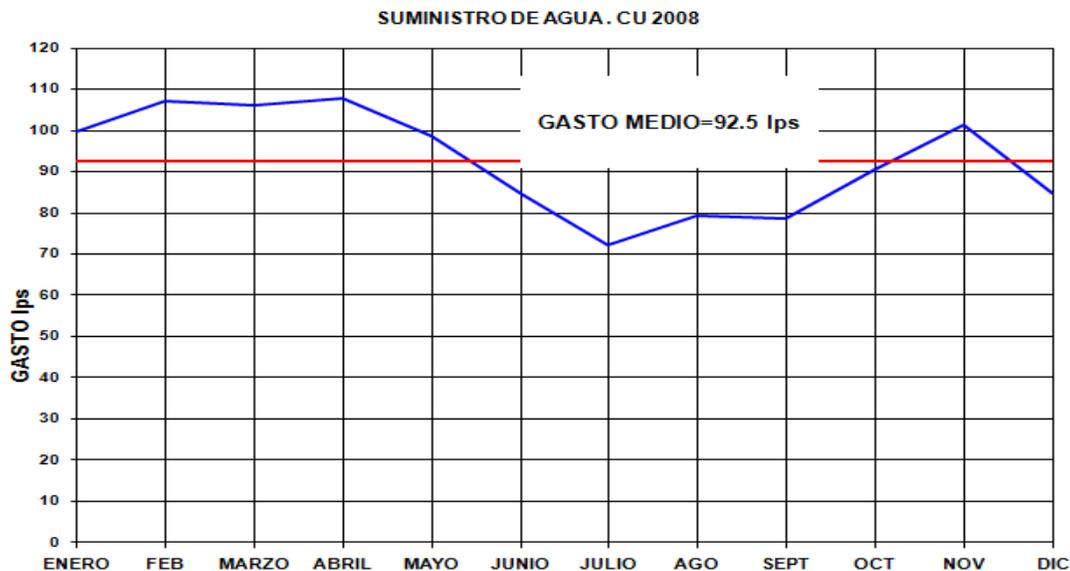


Figura 13. Suministro de agua en 2008.

De acuerdo con el Balance 2008, se estima que las fugas representan el 50% de los 100 litros por segundo que se extraen en promedio de los tres pozos, en tanto que el consumo por parte de los 132,000 usuarios que diariamente se congregan en Ciudad Universitaria representa sólo el 30% de dicho suministro. Cabe resaltar que el volumen de agua requerido para abastecer C.U. disminuiría considerablemente si se repararan las fugas, al mismo tiempo que se reducirían costos innecesarios. El riego de áreas verdes con agua potable demanda el 20% del volumen total suministrado, y los 18 litros por segundo que proporciona la planta de tratamiento de Cerro del Agua equivalen sólo al 10% del agua empleada diariamente en Ciudad Universitaria, que es reutilizada en el riego de áreas verdes. Por lo que, si se aumenta el volumen de agua tratada, se liberarían así caudales de agua potable que ahora se emplean en el riego de aguas verdes. Ver la Figura 14.

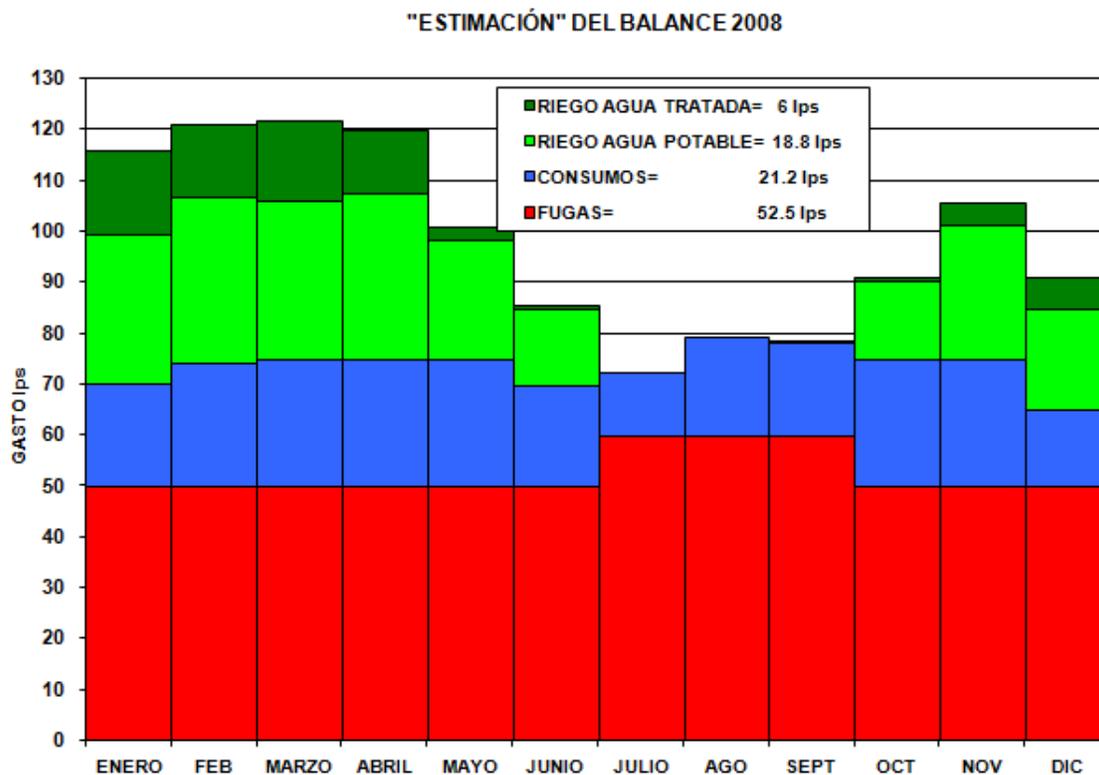


Figura 14. Estimación del Balance durante 2008.

f) Agua potable en el interior de los edificios

En el caso de los puntos de consumo directo, se revisaron las tomas de agua potable del Instituto de Ingeniería, particularmente aquellas que tienen instalados filtros purificadores; esto, con la finalidad de tener un punto más específico de consumo, ya que es en los filtros purificadores donde se llenan los garrafones para consumo directo.

De dicha revisión se eligieron dos puntos representativos de consumo directo de agua potable: uno directamente en la llave de suministro, y otro después del filtro purificador en el área de café del Edificio 5 del Instituto de Ingeniería. Para determinar la calidad del agua en puntos de consumo (Figuras 15 y 16), se llevaron a cabo 15 muestreos de agua potable en cada punto, tanto en la llave de suministro (antes del filtro en el área de café), como en el punto de consumo directo (después del filtro en el área de café).

El Instituto de Ingeniería evaluó la calidad del agua en todas las muestras de consumo directo mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos los cuales se pueden ver en el Anexo de Calidad del Agua.



Figura 15. Muestreo en llave de tarja Edificio 5, Instituto de Ingeniería.



Figura 16. Muestreo en filtro Edificio 5, Instituto de Ingeniería.

Los resultados fueron complementados y corroborados por el mismo laboratorio certificado que tomo las muestras en los pozos; los parámetros se pueden ver en el Anexo de Calidad del Agua. Los resultados del laboratorio certificado indican que ninguno de los parámetros evaluados que se incluyen en la NOM-127-SSA1-2000, rebasan los límites establecidos.

Se ha constatado que se cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2000, y que el agua potable que se consume en el Edificio 5 del Instituto de Ingeniería no representa riesgos para la salud de la población.

Por otro lado, en diversos puntos de consumo la cantidad de cloro libre residual se encuentra muy cercana al límite máximo establecido por la normatividad, y en otros está por debajo del límite inferior, por lo que es necesario monitorear constantemente este parámetro y revisar el sistema de desinfección en los tanques. Igualmente, se requiere cuantificar la formación de haloformos, los cuales son subproductos de la cloración.

g) Plantas de tratamiento

La Coordinación de Conservación de la DGOyC es la encargada de mantener la red de drenaje y alcantarillado, que es un sistema combinado de agua residual con agua pluvial y consta de dos colectores principales: el Colector Zona Antigua del Casco Viejo, y el Colector Circuito Exterior, los cuales vierten su caudal a la planta de tratamiento de Cerro del Agua. Existe además un tercer colector en la Zona Sur que conduce su caudal a la planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. En suma, los tres colectores aportan en promedio 80 lps.

➤ Planta de tratamiento de Cerro del Agua

Está ubicada en la parte más baja de Ciudad Universitaria, al noroeste del campus, en la esquina que forman la Avenida Cerro del Agua y el Circuito Escolar, frente a la Facultad de Medicina. Abastece a 12 cisternas distribuidas en el campus universitario; ver *Figura 17*. En el Anexo de Calidad del Agua se presenta un diagrama de la planta de tratamiento y la descripción de los procesos con que cuenta.

La planta fue diseñada para tratar 40 lps (3,456 m³/día), pero actualmente opera a una capacidad menor, de 18 a 20 lps.



Figura 17. Planta de Tratamiento de Cerro del Agua.

La calidad del agua tratada que se busca obtener se relaciona con el tipo de contacto que tendrán los usuarios con ella, ya sea directo o indirecto. Es recomendable que en dicho tratamiento siempre logre una calidad para reuso con contacto directo, sin importar de qué manera será reutilizada.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el agua tratada generada por esta planta no cumple con lo establecido en la normatividad, por las concentraciones de DBO5 y de SST, datos que se pueden corroborar en el Anexo de Calidad del Agua.

➤ **Planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales**

Esta planta se ubica sobre el Circuito Mario de la Cueva, entre el Instituto de Investigaciones Antropológicas y la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, y da servicio, además de estas dependencias, a la Tienda UNAM, la Fimoteca, TV UNAM , el Instituto de Investigaciones Económicas y el de Investigaciones Filológicas. Ver *Figura 18*.

Esta planta fue diseñada para tratar 7.5 lps, pero actualmente opera a una capacidad menor, de 1 a 1.9 lps.



Figura 18. Planta de Tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

Al analizar la calidad del agua de la Planta de Tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, evaluada en 2008, se encontró que no obtiene agua con la calidad necesaria para su reuso en servicios al público con contacto directo ni para servicios al público con contacto indirecto u ocasional, ya que los valores obtenidos son mayores de 30 mg/L, que es el máximo permitido en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Los procesos con que cuenta la planta de tratamiento y los resultados de los análisis realizados por el Instituto de Ingeniería se describen en el Anexo de Calidad del Agua.

➤ **Planta de tratamiento del Instituto de Ingeniería**

Se ubica entre el Edificio 12 y el Edificio 18 del mismo Instituto. *Fue diseñada para tratar 0.05 lps (3 m³/día) provenientes de los dos edificios antes citados, pero opera al 50% de su capacidad.* El agua tratada es enviada directamente a la red de drenaje, pero existe la infraestructura para su reuso en los sanitarios y riego de jardines. Ver *Figura 19*.

En 2008 se realizó una serie de muestreos en esta planta, los cuales se describen en el Anexo de Calidad del Agua. *El agua tratada presenta resultados superiores al límite máximo de 30 mg/L de DBO5 y SST que marca la NOM-003-SEMARNAT-1997, por lo que no cumple con la normatividad para su reuso en servicios al público con contacto directo, indirecto u ocasional.*



Figura 19. Planta de Tratamiento del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería

➤ Plantas BRAIN

Una planta BRAIN (Bio-reactor Anaerobio Integrado) es una planta de tratamiento prefabricada (de tipo paquete) para el saneamiento y reuso de aguas residuales. Este tipo de planta es idónea para regenerar las aguas residuales de los núcleos habitacionales localizados en sectores urbanos y zonas rurales que carecen de infraestructura de drenaje, como lo es el Campus Universitario, en el cual, debido al tipo de terreno y sus características geológicas (pedregal de roca basáltica), es muy difícil y costoso introducir redes de drenaje.

C.U. cuenta con 26 plantas de tratamiento tipo BRAIN, de las que sólo 19 funcionan, el agua tratada en ellas se infiltra al acuífero. Se analizó la calidad del agua de 15 de estas plantas, de acuerdo con el PROY-NADF-003-AGUA-2002, que establece las condiciones y requisitos para la recarga en el Distrito Federal por inyección directa de agua residual tratada al acuífero de la zona metropolitana de la Ciudad de México, así como al PROY-NOM-014-CNA-2003, que marca los requisitos para la recarga artificial de acuíferos, y el PROY-NOM-015-CONAGUA-2007, que se refiere a la infiltración artificial de agua a los acuíferos, en el que se definen las características y especificaciones del agua y de las obras correspondientes. ***De acuerdo con los resultados obtenidos, sólo cinco de las 15 plantas cumplen con la normatividad referente al parámetro de DBO5; para el caso de SST, sólo una cumple con las especificaciones de la NOM-003-SEMARNAT-1997.*** Los resultados de los análisis de cada una de las plantas Brain se pueden consultar en la tabla que se presenta en el Anexo de Calidad del Agua.

h) Áreas verdes en C.U.

Las áreas verdes en C.U. son de dos tipos principales: las provistas de plantas nativas del Pedregal de San Ángel y las áreas ajardinadas.

Las áreas con plantas nativas ocupaban hasta los años cincuenta más de 4,000 hectáreas (toda C.U. y otras áreas), pero ahora sólo cubren 300 hectáreas y casi todas estas plantas se encuentran sólo en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), donde se han identificado cerca de 350 especies, de las cuales unas 100 son importantes por su valor medicinal y ornamental. Cabe señalar que las plantas nativas no requieren de un riego, sobreviven a lo largo del agua con el agua de lluvia.

Las áreas jardinadas ocupan alrededor de 155 hectáreas, de las cuales sólo 50 hectáreas son regadas con agua tratada; en las demás se utiliza agua potable. La DGOyC, a través de la Coordinación de Áreas Verdes, es la encargada de regar y mantener estas áreas.

Generalmente las áreas verdes se riegan entre las 08:00 y las 14:00 horas, nueve meses al año aproximadamente; el riego se interrumpe durante la época de lluvias, que vienen siendo julio, agosto y septiembre. Esta actividad se realiza en forma manual, con manguera o utilizando aspersores.

i) Comunicación/Participación

➤ Identificación de actores del PUMAGUA

Para desarrollar este tema, primero se hizo un diagnóstico de los sectores que intervienen de alguna manera en el uso del agua:

(1) a quienes se destina el programa; es decir, aquellos en los que se espera un cambio de conocimientos, actitudes y conductas;

(2) quienes tienen control sobre el recurso; es decir, las autoridades, a quienes es necesario sensibilizar en el uso eficiente del agua para que apoyen los esfuerzos de comunicación; y

(3) quienes colaboran o facilitan el proceso; es decir, las dependencias universitarias y actores que pueden ayudar a acceder a los destinatarios del programa.

En las *Tablas 4, 5 y 6* se muestran cada uno de estos sectores.

Tabla 4. Diferentes grupos de usuarios del agua en la UNAM.

Comunidad universitaria		Trabajadores universitarios	Usuarios externos con actividades económicas en CU	Incidentales
Usuarios regulares	Usuarios mayores	Jardineros	Lavacoche	Habitantes del multifamiliar
Estudiantes	Estudiantes en laboratorios	Intendentes	Empleados de cafeterías y comedores	Visitantes
	Estudiantes Deportistas	Operarios de la red		
Académicos	Académicos en laboratorios		Vendedores informales	
	Académicos deportistas			
	Laboratorista			
Administrativos	Administrativos en laboratorios			
	Administrativos deportistas			
Personal de limpieza	Personal de limpieza			
	deportistas			

Tabla 5. Sectores que tienen control sobre el recurso.

Autoridades universitarias generales	Autoridades universitarias dependencia	Otras autoridades
Rector	Director	Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC): Dirección General de Conservación Coordinación de Áreas Verdes
Secretario General	Secretario Administrativo	
Secretario Administrativo	Jefe de Servicios Generales Personal de limpieza y de mantenimiento	

Tabla 6. Actores que podrían facilitar el proceso de comunicación de PUMAGUA.

Autoridades universitarias	Dependencias Universitarias	Empresas externas
Administración central	Universum	Proveedores
	Dirección General de Comunicación Social	Empresa de encuestas de opinión
	Facultad de Química	
	Dirección General de Orientación y Servicios Educativos	
	Dirección General de Servicios Escolares	

➤ **Diagnóstico de conocimientos, actitudes y conductas.**

Cualquier campaña ambiental busca promover conductas amigables con el ambiente, definidas como acciones que contribuyen a la conservación y/o preservación del ambiente (Arbuthnot, 1977). Aunque existe cierta controversia respecto del efecto del conocimiento en las conductas, muchos autores consideran que entre más se tome conciencia del estado del ambiente, es más probable que se tenga una conducta amigable con el mismo (Kaiser y Fuhrer, 2003). También, se considera que las actitudes positivas hacia factores ambientales son factores necesarios para promover las conductas ecologistas (Newhouse, 1990).

En el caso particular de los conocimientos, actitudes y conductas sobre el manejo del agua en Ciudad Universitaria, que se consideran relevantes, se pueden ver en la *Figura 20*.

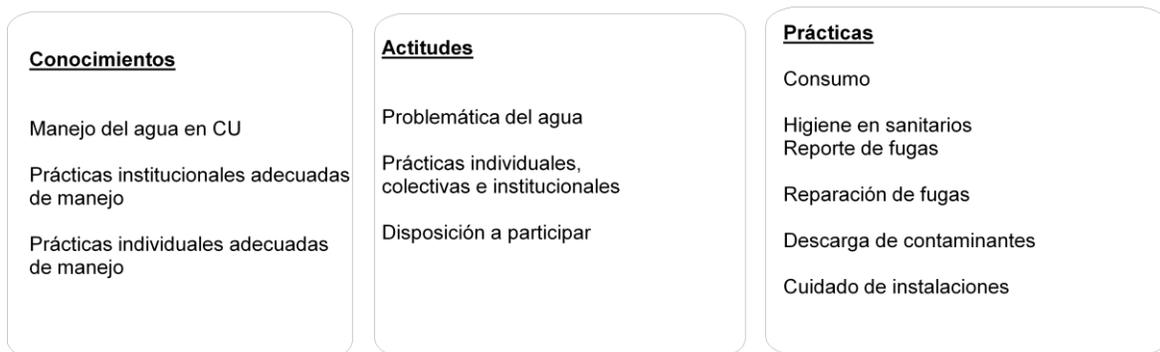


Figura 20. Conocimientos, actitudes y prácticas más importantes respecto del uso del agua en C.U.

Se realizó una encuesta exploratoria con entrevistas a profundidad entre 37 usuarios del agua de diversos sectores (estudiantes, académicos, administrativos, personal de limpieza, lavacoches, trabajadores de cafeterías y vendedores informales). Las principales conclusiones de este ejercicio fueron las siguientes:

- Los usuarios señalaron que el mayor desperdicio de agua ocurre en los baños; pocos se refirieron al riego.
- De manera generalizada, se expresó la falta de instancias a quienes se puedan reportar las fugas, así como la ineficiencia para repararlas.
- Se mencionó repetidamente la falta de higiene por parte de los estudiantes en los baños, lo que ocasiona el tener que limpiarlos más continuamente y por tanto el uso de una mayor cantidad de agua.
- Se mencionó el desperdicio de agua en los laboratorios, principalmente durante el lavado de material, así como la contaminación del agua con desechos de materia orgánica y productos químicos de dichos laboratorios.
- La mayoría de los entrevistados señaló los carteles como un buen medio de difusión.

Es fundamental definir cuáles preguntas son las adecuadas para cumplir con los objetivos del Programa; para ello se construyeron cinco versiones de los cuestionarios de cada grupo. Los aspectos que cada cuestionario aborda de acuerdo a su grupo se pueden ver en el Anexo de Diagnóstico del Manejo de Agua en Ciudad Universitaria, así como el diseño de la muestra elaborado por la empresa que realizó los estudios de opinión.

IV. CALIDAD DEL AGUA

El concepto “calidad del agua” es un término abstracto, el cual sólo adquiere sentido práctico susceptible de ser medido cuando el agua se asocia a un uso determinado y, a partir de ello, se establecen parámetros y valores que se deben cumplir. Existen ciertos parámetros que la calidad del agua debe satisfacer en función de sus usos. Por otra parte, el concepto de contaminación también depende del uso al que se destina el agua. A nivel de los servicios públicos, existen dos ámbitos en los cuales es relevante la calidad del agua: el de fuentes de abastecimiento y el de agua potable suministrada (Jiménez Cisneros, B. Calidad del agua en México: principales retos. 2008.)

La calidad del agua es un tema de suma relevancia para la sociedad debido a varios factores, como su estrecha relación con la salud humana, los efectos sobre el medio ambiente y el costo que la sociedad paga para tener agua de calidad adecuada o por carecer de ésta (Jiménez Cisneros, B. Calidad del agua en México: principales retos. 2008.)

En cuanto a la salud humana, se sabe que el agua es vector de muchas enfermedades. Existen numerosos patógenos (bacterias, virus y protozoarios) que son capaces de sobrevivir y multiplicarse en los sistemas de distribución de agua. En México el empleo de aguas residuales sin tratamiento es la principal causa de proliferación de enfermedades de origen hídrico, especialmente en el caso del riego de cultivos destinados al consumo humano (Carabias, J. Agua, medio ambiente y sociedad. 2005).

Las enfermedades infecciosas transmitidas por agua son un problema de salud mundial y se presentan con mayor frecuencia en países en vías de desarrollo. Patógenos conocidos y desconocidos pueden causar enfermedades respiratorias, gastrointestinales y dermatológicas, entre otras. La transmisión se da por ingestión, inhalación o contacto directo con los microorganismos, los que producen cólera, shigelosis, salmonelosis, parasitosis, infecciones virales y mico bacterianas, entre muchas otras enfermedades.

Los parámetros físicos y químicos de tipo inorgánico que establecen las leyes y normas mexicanas son relativamente completos, pero no los microbiológicos ni químicos de tipo orgánico (Carabias, J. Agua, medio ambiente y sociedad. 2005). Por otro lado, la estimación de la calidad del agua para riego considera un número escaso de parámetros, no cuenta con parámetros estrictos ni especifica la determinación de compuestos orgánicos (Mazari, M. El agua y su impacto en la salud pública. 2005.).

Cabe mencionar que la mayor parte de las infecciones es transmitida por agua de reuso no tratada o con tratamiento ineficaz, y muy pocas veces por agua para uso y consumo humano (potable). Sin embargo, entre las enfermedades emergentes transmitidas por agua se encuentran las micobacteriosis, capaces de ocasionar infecciones en diferentes partes del cuerpo, de las cuales se ha demostrado por diferentes investigaciones que se han incrementado de manera importante y que el vehículo principal es el agua, incluida el agua de uso y consumo humano. La razón es la resistencia de las micobacterias a diferentes métodos de desinfección, principalmente al cloro, que es una sustancia de uso común para la desinfección del agua, utilizada en diferentes países incluyendo México.

Las actividades principales en esta etapa de trabajo tuvieron como objetivo primordial diagnosticar la calidad del agua y compararla con las normas aplicables, lo cual se hizo tanto en el caso del agua potable como en el del agua residual tratada para su reuso en riego de áreas verdes y para la recarga del acuífero.

El estudio del agua tratada con fines de reuso comprendió dos plantas de tratamiento de agua residual construidas en Ciudad Universitaria, así como la zona de riego ubicada en las islas.

Para el diagnóstico del agua potable, los puntos de monitoreo fueron los tres pozos de extracción de agua potable (Facultad de Química, Vivero Alto y Multifamiliar) y tres tanques de almacenamiento. Para el diagnóstico del agua residual tratada con fines de reuso, se evaluaron y monitorearon 22 plantas de tratamiento que se encuentran en operación (Cerro del Agua, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Edificio 12 del Instituto de Ingeniería y 19 plantas BRAIN), las cuales están distribuidas en todo el campus universitario. Por otra parte, el monitoreo del agua residual cruda se realizó en todas las descargas que ingresan a las plantas de tratamiento.

El monitoreo hecho en los pozos de abastecimiento y tanques de almacenamiento tuvo como objetivo conocer la calidad del agua que se distribuye en el campus universitario; al mismo tiempo, se determinó la posible contaminación asociada con el manejo de aguas residuales en las zonas adyacentes al campus. En particular, la presencia de colifagos es evidencia de contaminación fecal, debido a su asociación con bacterias fecales, y también indica la potencial contaminación con virus entéricos, debido a las similitudes de sus características morfológicas, a su tolerancia a factores ambientales y a su tolerancia a los procesos de desinfección. Estos factores hacen que los colifagos sean un indicador adecuado para programas de monitoreo de calidad de agua, con la ventaja adicional de que su detección es de bajo costo y factible de realizar en laboratorios microbiológicos con infraestructura básica.

Igualmente, se realizaron diversos análisis del agua residual tratada, la cual se reutiliza en actividades que no requieren de agua potable o agua de primer uso. Sin embargo, debido a que el tratamiento de las aguas residuales propicia un mejor aprovechamiento de este recurso, es muy recomendable intercambiar en mayor medida el riego con agua potable por el riego con agua residual tratada que cumpla con la calidad establecida en la norma correspondiente.

Una de las principales preocupaciones del aprovechamiento del agua residual se refiere a la calidad que se le induce con su tratamiento en las plantas, pues dependiendo del tipo de reuso que se desee darle, deberá cumplir con ciertos límites establecidos por la norma. El agua residual tratada a reutilizar debe mantener estrictamente una calidad satisfactoria para reducir al máximo posibles impactos en la salud y el medio ambiente.

Por otro lado, las áreas verdes del campus universitario constituyen un sitio de esparcimiento para la comunidad universitaria y para la población de las colonias aledañas al campus. Por ello, es necesario conocer y monitorear constantemente la calidad del agua con la que se riegan dichas áreas para reducir así los posibles riesgos a la salud de los usuarios de las mismas con el agua que se utiliza para el riego.

a) Diagnóstico de la calidad del agua: segunda etapa (2009)

Con el objeto de contar con información sobre las características del agua destinada a diferentes usos, se estructuró un programa de muestreo para 2009 que comprende tres temporadas: 1. Fría-Seca; 2. Cálida-Seca; 3. Cálida-Lluvias.

El número de muestras tomadas en cada temporada se relaciona con las actividades de riego y con la operación de la planta de tratamiento, considerando que en la época de lluvias el riego se limita. De esta manera, es claro que el número de muestras no puede ser constante para las tres temporadas de muestreo.

I. Diseño de muestra

Se consideraron tres temporadas de muestreo con el fin de incluir los principales cambios anuales de temperatura y precipitación. Consultando la base de datos de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA-GDF), en particular los registros de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT), se distinguieron las temporadas de muestreo que se presentan en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Temporadas de muestreo de la calidad del agua

Temporadas 2009	Periodo	Característica (temperatura-precipitación)
1	enero-marzo	Fría-seca
2	abril-junio	Cálida-seca
3	agosto-octubre	Cálida-lluvia

II. Sitios de muestreo

La selección de los sitios de muestreo es fundamental para que los resultados de los análisis sean representativos, en este caso, de la calidad de los diferentes tipos de agua estudiados y de su reuso.

Para determinar los sitios de muestreo se analizaron las áreas del campus, las fuentes de abastecimiento de cada tipo de agua y el uso en las áreas verdes. Los puntos de muestreo para evaluar la presencia de agentes indicadores de contaminación fecal se muestran la *Tabla 8*.

Tabla 8. Puntos de muestreo para evaluar la presencia de indicadores de contaminación fecal..

Agua subterránea sin desinfección	Agua residual y residual tratada	Agua de reuso en riego	Pastos
Pozos de extracción:	Planta de tratamiento de:	Aspersores en áreas verdes:	Áreas verdes de:
Vivero Alto	Cerro del Agua:	Rectoría	Rectoría
Fac. de Química	Influente	Bigotes	Bigotes
Multifamiliar	Efluente	Pumitas	Pumitas

III. Procesamiento de muestras.

Las muestras fueron procesadas en función de su tipo de agua. Los volúmenes de cada muestra se indican en la *Tabla 9*.

Tabla 9. Volúmenes de las muestras en función del tipo de agua.

Tipo de agua	Volumen (Litros)
Subterránea sin desinfección	100
Residual tratada	10
Residual tratada de reuso (riego)	10
Residual	1

Para el análisis de colifagos y enterovirus, las muestras fueron concentradas por el método de ultrafiltración, excepto las muestras de agua residual, para las que no es necesario hacer una concentración. Las muestras de pasto (25g) fueron procesadas para recuperar de la superficie vegetal bacterias coliformes fecales, estreptococos fecales y colifagos. El proceso de la detección de bacterias indicadoras se explica en el Anexo de Calidad del Agua.

La Facultad de Medicina realizó la detección e identificación de Microbacterias no Tuberculosas en agua de uso y consumo humano y de reuso para riego en Ciudad Universitaria, así como la detección de *Campylobacter spp.*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.* y ETEC en agua para uso y consumo humano por PCR-hibridación. El procedimiento se explica en el Anexo de Calidad del Agua.

Cabe señalar que: *Campylobacter spp* es un grupo de bacterias de configuración espiral que pueden causar enfermedad en los seres humanos y los animales; *Shigella spp* es un género de bacterias con forma de bacilo, no móviles, no formadoras de esporas e incapaces de fermentar la lactosa, pero que pueden ocasionar diarrea en los seres humanos; *Enterotoxigenic Escherichia coli* (ETEC) es un tipo de *Escherichia coli* y la causa bacteriana más importante de diarrea en el mundo en desarrollo, así como la causa más común de diarrea del viajero.

b) Agua sin desinfección y agua clorada

I.- Temporada fría-seca (enero-marzo)

En los análisis realizados por el Instituto de Ingeniería en el agua sin desinfección del pozo de la Facultad de Química, se detectó la presencia bacterias Coliformes Fecales y Coliformes Totales, lo cual no fue observado en los pozos del Multifamiliar y Vivero Alto; ello se explica con mayor detalle en el Anexo de Calidad del Agua.

Los resultados de los análisis presuntivos de bacterias como indicadores sanitarios, muestran la presencia de diferentes bacterias que se podrían considerar como potencialmente patógenas, pero es indispensable llevar a cabo las pruebas confirmativas. A este respecto, tanto el Instituto de Ecología como la Facultad de Medicina están empleando métodos específicos para la detección de diferentes especies de microorganismos.

El Instituto de Ecología resalta la presencia en el agua subterránea de Coliformes Totales, Enterococos Fecales y Colifagos; a pesar de que este dato no ha sido constante, debe considerarse en los tratamientos de desinfección. En el Anexo de Calidad del Agua se presenta el resumen de muestras de agua subterránea sin desinfección positivas a bacterias y colifagos.

Se ha detectado la presencia de dos tipos de colifagos: por un lado, la contaminación fecal, debido a su asociación con bacterias fecales; y por otro, la potencial contaminación con virus entéricos, debido a las similitudes de sus características morfológicas y a su tolerancia a factores ambientales y a los procesos de desinfección. Estos factores hacen que los colifagos sean un indicador adecuado para programas de monitoreo de calidad de agua, con la ventaja adicional de que su detección es de bajo costo y factible de realizar en laboratorios microbiológicos con infraestructura básica.

II .Temporada cálida – seca (abril-junio)

Durante la temporada cálida-seca se detectó la presencia de Coliformes Fecales y Coliformes Totales en el agua de los tres pozos Vivero Alto, Facultad de Química y Multifamiliar sin desinfección.

Por otra parte, también se presentaron bacterias indicadoras sanitarias en el pozo del Multifamiliar en las pruebas presuntivas para la detección del género *Salmonella*; cabe hacer mención que el Instituto de Ingeniería no hizo las pruebas confirmativas para la identificación de los géneros.

Con la finalidad de verificar los resultados, se hizo un muestreo en una fecha específica, en la que la misma muestra se analizó por triplicado; ***se detectaron Coliformes Fecales en el pozo del Vivero Alto y Coliformes Totales en los pozos de la Facultad de Química y Vivero Alto***; en el pozo del Multifamiliar no se detectaron las bacterias indicadoras que establece la NOM-127-SSA-2000.

En éste contexto, se vuelve a corroborar que no hay persistencia de las bacterias Coliformes Totales y Fecales en todos los muestreos, por lo que se fundamenta con mayor énfasis que debe llevarse un monitoreo periódico, aunque es importante recalcar que las muestras se refieren a agua subterránea sin desinfección.

En este muestreo, analizado por triplicado, ***también se encontró la presencia presuntiva de estafilococos en los pozos Multifamiliar y Vivero Alto, y de colonias del género Salmonella (sin la confirmación por métodos específicos) en los tres pozos de C.U.*** En el Anexo de Calidad del Agua se especifica la cantidad de colonias que se detectaron.

III.- Temporada cálida-lluviosa (agosto-octubre)

Para la temporada cálida lluviosa, se llevaron a cabo dos muestreos del agua sin desinfección en los tres pozos. Los resultados obtenidos indicaron la ***presencia de Coliformes Fecales sólo en el pozo del Multifamiliar***; tanto en el pozo del Vivero Alto como en el de la Facultad de Química no se detectó éste grupo de indicadores. En el caso de ***Coliformes Totales, se detectó su presencia en los tres pozos***. En el Anexo de Calidad del Agua se detallan los resultados obtenidos.

En el caso de las bacterias consideradas como indicadores sanitarios, en la temporada cálida-lluviosa ***se observó la presencia de colonias presuntivas de Samonella en los tres pozos***, sin confirmar por métodos específicos.

En este contexto, es importante hacer énfasis que las muestras tomadas en los pozos son de agua subterránea que no ha sido sometida a un proceso de desinfección, por lo que la presencia de bacterias indicadoras que establece la normatividad NOM-127-SSA-2000 (0 UFC/100mL Coliformes Totales y 0 UFC/100 mL de Coliformes Fecales), es un resultado que debe ser considerado; por consiguiente, ***en cualquiera de las tres temporadas el agua de los pozos no debe enviarse a la red sin antes ser desinfectada***.

De igual manera, las pruebas presuntivas realizadas para la detección de otras bacterias (indicadores sanitarios) que no se encuentran incluidas en la normatividad, son un resultado importante a considerarse en el proceso de desinfección del agua de los pozos. En ambos casos, debe recordarse que el agua de los pozos en Ciudad Universitaria es sometida a un proceso de cloración.

c) Agua potable

I.- Tanques de almacenamiento

Se determinó el cloro residual de los tanques de almacenamiento en dos periodos distintos: en el periodo de actividades académico-estudiantiles, y en el periodo de vacaciones.

En el periodo de actividades académico-estudiantiles, se observa que *el cloro residual del Tanque Bajo se mantiene dentro del intervalo estipulado en la NOM-127-SSA1-1994, (Tabla 10)*, la cual establece los límites permisibles (0.2 a 1.5 mg de cloro/Litro de Agua). Cabe señalar que tanto el Tanque Bajo como el Tanque Alto están interconectados, por lo que los resultados pueden ser muy similares en ambos.

Tabla 10. Determinación del cloro residual en el Tanque Bajo durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)

TANQUE BAJO			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	COLOR RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	COLOR RESIDUAL . (mg/L)
1	0.67	1	0.4
2	0.57	2	0.48
3	0.56	3	0.07
4	0.62	4	0.59
5	0.42	5	0.68
6	0.55	6	0.65
7	0.45	7	-
8	0.62	8	-
9	0.55	9	-

- No hubo acceso para hacer determinaciones.

En el Tanque Alto se observan valores de cloro residual mayores que los del límite superior permisible en la norma mexicana. En dos de las nueve muestras realizadas durante la primera corrida, los valores son ligeramente más altos que el límite permisible (0.20 a 1.50 mg de cloro/Litro de Agua), y sólo uno de la segunda corrida está por encima de dicho límite (Tabla 11).

Tabla 11. Determinación del cloro residual en el Tanque Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)

TANQUE ALTO			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	COLORO RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	COLORO RESIDUAL (mg/L)
1	1.57	1	1.32
2	1.6	2	1.25
3	1.51	3	1.28
4	1.36	4	1.46
5	1.43	5	1.44
6	1.48	6	1.56
7	1.14	7	-
8	0.63	8	-
9	0.9	9	-

- No hubo acceso para hacer determinaciones.

Del muestreo en el Tanque de Vivero Alto durante el periodo de actividades, se obtuvieron valores de cloro residual por encima del límite permisible. Debido a las grandes distancias que recorre el agua para surtir de este tanque a las dependencias de la Zona Cultural, se añade una elevada concentración de cloro, de tal manera que a su llegada a las dependencias, la calidad del agua esté dentro de los límites permisibles que señala la NOM-127-SSA1-1994. Los resultados del Tanque de Vivero Alto se presentan en el Anexo de Calidad del Agua.

Para completar el análisis planteado, se realizaron las determinaciones de cloro residual en los tanques de almacenamiento en temporada vacacional (06-07-09 al 11-07-09).

Todos los valores de las muestras obtenidas del Tanque de Vivero Alto estuvieron dentro del rango de los límites que establece la norma sobre uso y tratamiento al que debe ser sometida el agua para consumo humano (NOM-127-SSA1-1994).

La explicación de ello puede deberse a que en este periodo no se operó el pozo Multifamiliar, que abastece a este tanque, a causa de una falla de la bomba, operación que no sólo se detuvo durante el periodo en que se hizo el muestreo, sino hasta la fecha en que se iniciaron las actividades en la Universidad, por lo que el agua que se suministró provenía directamente del pozo de Vivero Alto. Los resultados del muestreo del Tanque Alto se encuentran en el Anexo de Calidad del Agua.

II.-Red de distribución

En los puntos de muestreo se procedió de la misma manera que en los tanques de almacenamiento. ***El primer punto de muestreo fue la Caseta de Vigilancia 1***, ubicada cerca de la Av. Universidad, en los límites de Ciudad Universitaria, donde se concentran las autoridades encargadas de la vigilancia de todo el campus universitario. Este sitio fue seleccionado para cubrir así puntos distantes y porque tiene una demanda elevada de agua por parte de los trabajadores. ***Los valores obtenidos durante la primera corrida no cumplieron con el límite mínimo establecido por la norma, el cual es de 0.20 mg/L de cloro residual en agua potable (NOM-127-SSA1-1994)***. Estos valores se muestran en el Anexo de Calidad del Agua.

Es importante mantener la concentración adecuada de cloro residual en el agua ya que, si la concentración es menor que la establecida por la norma, la efectividad en la desinfección del cloro disminuye y existe el riesgo de que proliferen microorganismos en el agua.

El segundo punto de muestreo fue el Posgrado de Odontología. La mayoría de los valores se ubica dentro de los límites permisibles, de 0.20 a 1.50 mg/L de cloro residual en agua potable. Sin embargo, en el último día y durante la primera corrida se obtuvieron valores muy pequeños, casi imperceptibles. Estos resultados se incluyen en el Anexo de Calidad del Agua.

Se realizaron más muestreos en diferentes puntos de C.U., presentándose la misma constante: los valores obtenidos no cumplieron con el límite mínimo establecido por la norma de cloro residual en agua potable. Los sitios de muestreo dentro de C.U. con sus resultados se presentan en el Anexo de Calidad del Agua.

La segunda etapa para medir concentraciones de cloro residual con las que llega el agua a las dependencias antes mencionadas, se realizó durante la primera semana del periodo de vacaciones (6 al 11 de julio de 2009).

Los valores obtenidos en todos los puntos anteriores muestreados durante el periodo de vacaciones, también están por debajo del mínimo estipulado por la NOM-127-SSA1-1994. Estos resultados se muestran en el Anexo de Calidad del Agua.

III.- Interpretación de la simulación en EPANET del cloro residual en la red de distribución del agua

Se llevó a cabo una simulación para determinar la concentración de cloro residual en la red de distribución a través del programa EPANET. Los datos obtenidos se compararon con la información generada en los muestreos hechos durante los dos periodos descritos anteriormente, respecto de la cantidad de cloro residual (mg/L) en el agua potable que se surte a las dependencias. Ver *Figura 21*.

No se cuenta con un dato preciso proporcionado por la DGOyC sobre la dosis de cloro (cloro gas o hipoclorito) aplicada a los tanques, que permita simular la concentración de cloro residual con que llega el agua potable a las dependencias; por ello, se utilizó el dato que el Grupo de Calidad del Agua midió directamente en campo.

Uno de los factores a considerar fue el tiempo de simulación. El tiempo total fue de 12 horas considerando el horario de operación proporcionado por la DGOyC, de 9:00 a.m. a 9:00 p.m.

Existe una diferencia entre las determinaciones en campo y las obtenidas por el simulador EPANET.

Cabe señalar también que para obtener una simulación confiable es necesario conocer el recorrido que hace el agua en la red desde los tanques o los pozos, y por el momento no es posible obtenerlo debido al funcionamiento de la red de abastecimiento por parte de la DGOyC; todos estos factores son limitantes. En el Anexo de Calidad del Agua se muestran los resultados del cloro residual utilizando EPANET.

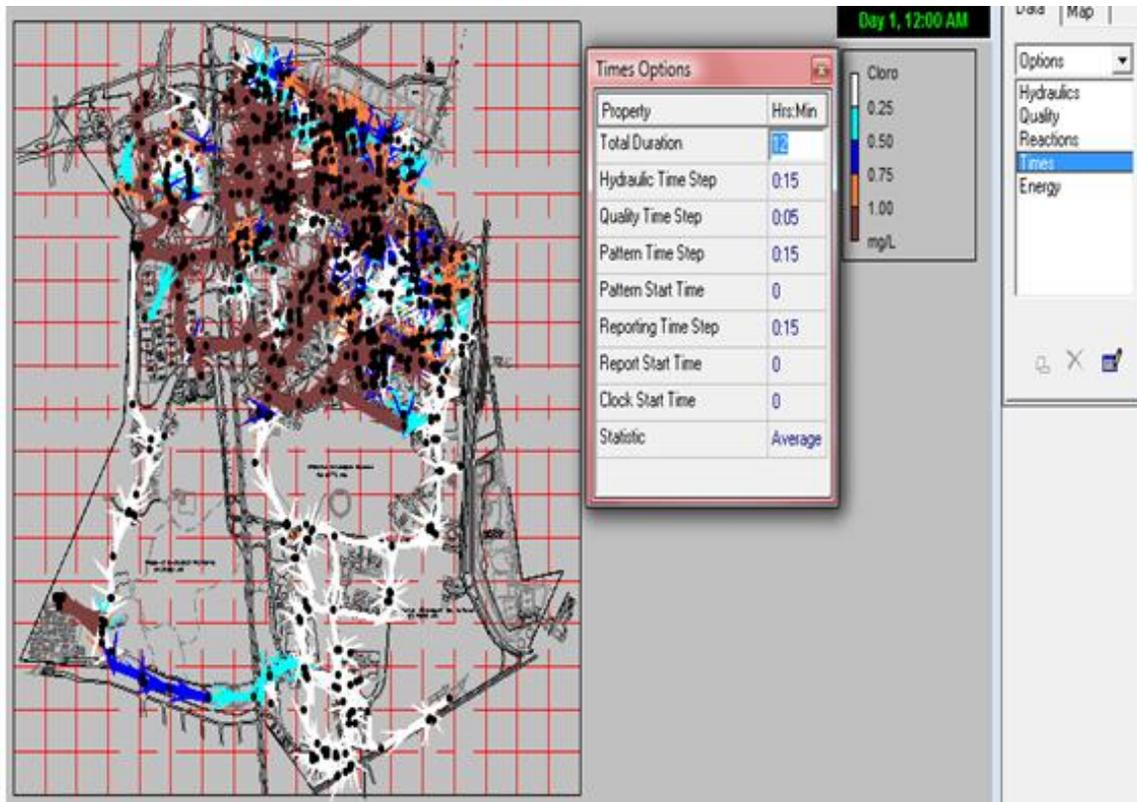


Figura 21. Modelación de la calidad del agua en la red.

IV. Monitoreo “en línea” de la calidad del agua potable

Se lleva a cabo la etapa final de la implantación del sistema de analizadores que muestrean directamente cada minuto el agua que pasa por la tubería que abastece al Edificio 5 del Instituto de Ingeniería; esto es lo que se denomina monitoreo “en línea”. En esta etapa se contempla dar seguimiento al monitoreo de la calidad del agua por parte del personal del proyecto PUMAGUA.

Durante esta etapa se han realizado análisis en el laboratorio e *in situ* con el propósito de corroborar la eficiencia y exactitud en la medición del sistema de analizadores instalado que miden directamente en la red de abastecimiento. Para estos análisis se han utilizado equipos y procedimientos que se ejecutan en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería, respaldados por las normas y manuales de métodos estandarizados según el parámetro a analizar. Los análisis se han llevado a cabo en el laboratorio a la par que con el sistema de analizadores en línea, considerando que la hora en que se tomó la muestra para el laboratorio sea la misma en que se registren los datos que se miden directamente en la red de abastecimiento (Tabla 12); esto, con la finalidad de poder comparar los resultados.

Los parámetros que se han medido son: cloro residual, conductividad, nitratos, pH, turbidez e, indirectamente, temperatura.

Tabla 12. Promedio de los resultados obtenidos durante los análisis.

Parámetro	Unidades	Límites establecidos por la NOM-127-SSA1-1994	Resultados obtenidos	
			Analizadores en línea*	Análisis en el laboratorio**
pH	-----	6.5 – 8.5	6.8	6.9
Conductividad	mS/cm	-----	0.37	0.35
Cloro	mg/l	0.2 – 1.50	0.41	0.43
Nitratos	mg/l	10	5.37	4.86
Turbidez	UTN	5	0.45	0.46

*Promedio de 34 lecturas

**Promedio de 3 lecturas

Los resultados anteriores corresponden a la media estadística obtenida durante todo el tiempo del análisis, la cual abarca un total de 34 lecturas.

Los resultados obtenidos de ambas fuentes, en los casos de pH, conductividad, cloro y turbidez, son muy similares, pues la variación entre ellos es muy pequeña. Sin embargo, en el caso de los nitratos, aún falta corroborar algunos ajustes y determinar las posibles causas de la diferencia entre los resultados obtenidos por el sistema de analizadores y los resultados obtenidos en el laboratorio; aún así, cuando los resultados no son exactamente iguales, están dentro de la norma (NOM-127-SSA1-1994, modificada en el 2000).

Como se puede observar, los parámetros determinados durante esta etapa de monitoreo de la calidad del agua potable en el Edificio 5 del Instituto de Ingeniería cumplen con la norma, ya que todos están por debajo del límite establecido en ella.

d) Agua residual (A la entrada de la Planta de Tratamiento de Cerro del Agua).

De los análisis hechos por el Instituto de Ingeniería, se observa que la carga de contaminación microbiológica detectada en el agua residual tratada no cumple con la calidad microbiológica establecida en la NOM-003-ECOL-1997; por consiguiente, aún no es apta para su reuso. Los valores de las muestras se encuentran en el Anexo de Calidad del Agua.

En cuanto al análisis realizado por el Instituto de Ecología y la Facultad de Medicina, también se detecta la presencia de contaminantes microbiológicos en muestras del influente de la planta de tratamiento correspondientes a las temporadas fría-seca y cálida-seca. Como se esperaba, las muestras del influente son positivas en un porcentaje elevado para todos los indicadores. Ver *Tabla 13*.

Tabla 13. Resumen de muestras positivas a bacterias y colifagos en agua residual (influyente) y residual tratada (efluente) de la Planta de tratamiento de Cerro del Agua.

AGUA RESIDUAL							
Sitio de muestreo	CF	EF	Colifagos	MNT	<i>Shigella</i> spp	<i>E. coli</i> LT	<i>E.coli</i> ST
	n/+	n/+	n/+	n/+	n/+	n/+	n/+
Influente	24/24 (100%)	24/21 (87.5%)	18/18 (100%)	7/0	7/1 (14.3%)	7/4 (57.1%)	7/5 (71.4%)

CF: coliformes fecales; EF: enterococos fecales; MNT: micobacterias no tuberculosas; LT: termolábil; ST: termoestable.

e) Agua residual tratada y de reuso en riego.

Es importante notar que los datos del efluente para coliformes fecales, enterococos fecales y colifagos no reportaron muestras positivas, lo cual puede explicarse por la toma de la muestra en el punto inmediato posterior a la cloración. Esto puede resolverse tomando las muestras en la primera toma de agua residual tratada, considerando que ésta debe tomarse antes de cualquier cisterna o sistema de almacenamiento de agua, ya que en estos sistemas puede darse un re-crecimiento bacteriano. En la *Tabla 14* se presentan los datos del muestreo.

Tabla 14. Resumen de muestras del efluente del agua residual tratada por la planta de tratamiento de Cerro del Agua (Análisis del Instituto de Ecología y de la Facultad de Medicina).

AGUA RESIDUAL TRATADA							
Sitio de muestreo	CF	EF	Colifagos	MNT	<i>Shigella</i> spp	<i>E. coli</i> LT	<i>E.coli</i> ST
	n/+	n/+	n/+	n/+	n/+	n/+	n/+
Efluente	18/0	18/0	18/0	7/0	7/5 (71.4%)	7/5 (71.4%)	7/7 (100%)

CF: coliformes fecales; EF: enterococos fecales; MNT: micobacterias no tuberculosas; LT: termolábil; ST: termoestable.

Otro punto que debe resaltarse es que los porcentajes de muestras positivas pueden verse modificados cuando no se hace la desinfección; por ejemplo, durante la temporada de lluvias, en la cual el agua que ingresa a la planta sólo es afectada por la dilución debida a la precipitación pluvial y no por un tratamiento incluyendo la desinfección.

Para analizar el agua residual tratada que se reutiliza, se diseñó un muestreo representativo de áreas verdes del campus que son regadas con este tipo de agua. Las áreas verdes muestreadas fueron la zona aledaña a la Rectoría, conocida como “Las Islas”, así como la zona aledaña al Metro Ciudad Universitaria, conocida como “Los Bigotes”, y los campos de la escuela de fútbol de PUMITAS. El riego se realiza en la temporada seca, que abarca desde noviembre hasta mayo del siguiente año. Durante la temporada de lluvias las áreas verdes del campus no son regadas.

De acuerdo con los análisis realizados por el Instituto de Ingeniería, se puede observar que en el agua residual tratada y utilizada en las temporadas cálida-seca y fría-seca para el riego en Pumitas, Metro C.U. y Las Islas, se encuentra por arriba del límite máximo permisible para agua de reuso establecido en la NOM-003-ECOL-1997. Los valores obtenidos del muestreo en los sitios antes descritos se pueden consultar en el Anexo de Calidad del Agua.

En las mismas temporadas, cálida-seca y fría-seca, cabe destacar que se detectaron coliformes fecales, enterococos fecales y colifagos en más del 50% de las muestras que obtuvieron el Instituto de Ecología y la Facultad de Medicina en agua de reuso en riego de las áreas verdes de “Las Islas”, Metro C.U. y Pumitas. Los resultados se presentan en el Anexo de Calidad del Agua.

Respecto de las diferencias encontradas entre temporadas, cabe mencionar que el riego con agua residual tratada dentro del campus depende de factores como la operación de la planta de tratamiento, el almacenamiento de agua residual tratada en cisternas y, en algunos casos, la decisión de los jardineros. Lo anterior se ve reflejado en una cantidad variable de bacterias y colifagos en el agua que se reusa en riego, sin que pueda detectarse alguna tendencia por temporada.

f) Pastos

El interés por evaluar la presencia de microorganismos indicadores en los pastos se debe a que los usuarios tienen contacto directo con ellos, ya que las áreas verdes se riegan con agua residual tratada. El contacto con los pastos implica un contacto indirecto con el agua de riego que es importante conocer y monitorear para prevenir problemas de salud entre los usuarios.

Para el análisis microbiológico realizado por el Instituto de Ingeniería sobre los pastos, se siguieron los dos métodos, los cuales se describen en el *Anexo de Calidad del Agua*, se determinó que se cuenta con una presencia microbiológica y en algunos casos no se detectaron microorganismos

En forma paralela al análisis del Instituto de Ecología y de la Facultad de Medicina sobre agua residual tratada de reuso, ***se colectaron muestras de pasto para conocer la presencia de coliformes fecales, enterococos fecales y colifagos.*** Los resultados se muestran en la *Tabla 15*. En dichas muestras ***se detectó una alta presencia de estos contaminantes microbiológicos en las temporadas en las que las áreas verdes concentran una mayor población de usuarios; es decir, antes de las lluvias, cuando se riega estas áreas con agua residual tratada. Lo anterior evidencia el riesgo sanitario que corren los usuarios de las áreas verdes en dichas temporadas.***

Tabla 15. Resumen de muestras positivas en pasto regado con agua residual tratada producida en la Planta de tratamiento de Cerro del Agua.

PASTOS			
Sitio de muestreo	CF	EF	Colifagos
	n/+	n/+	n/+
Áreas verdes	24/17 (70.8%)	24/21 (87.5%)	18/18 (100%)

CF: coliformes fecales; EF: enterococos fecales Nota: esta tabla comprende las temporadas fría-seca y cálida-seca; el muestreo de la temporada cálida-lluviosa aún no se concluye.

Una vez que se inician las lluvias, las áreas verdes son “lavadas” y el porcentaje de muestras positivas disminuye significativamente. Sin embargo, la temporada de lluvias es un periodo en el que las áreas verdes son poco utilizadas, por encontrarse húmedas.

Con respecto a las tendencias temporales de la presencia de coliformes fecales y enterococos fecales en las muestras de pasto, con excepción de la temporada cálida-lluviosa en Pumitas, las tendencias para ambos tipos de bacterias indicadoras no presentan cambios significativos, aunque se da una disminución relativa de los conteos de colonias patógenas durante la temporada cálida-lluviosa. Los conteos bacterianos, en la mayoría de las muestras, se encuentran por debajo de 1,000 UFC/100 mL, que es el límite máximo permisible que señala la NOM-003-SEMARNAT-1997 (*Figuras 22 y 23*).

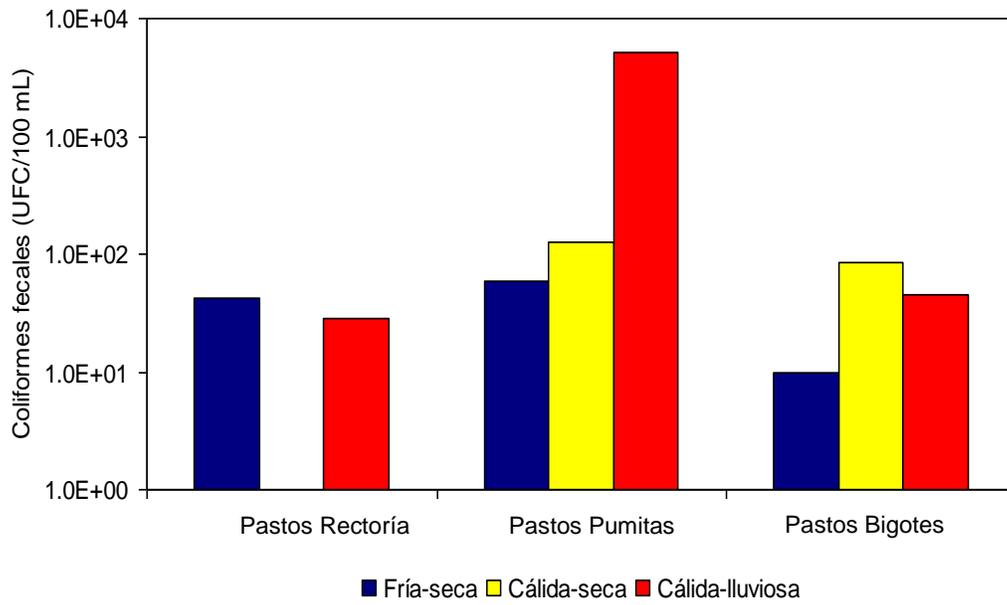


Figura 22. Presencia de Coliformes Fecales en las muestras de pasto de las temporadas estudiadas.

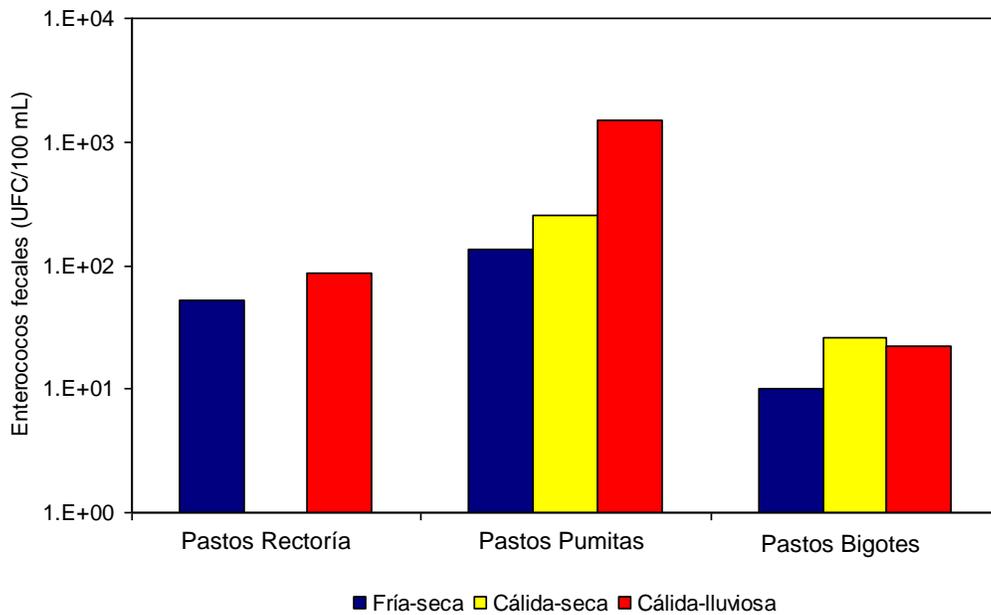


Figura 23. Presencia de Enterococos Fecales en las muestras de pasto de las temporadas estudiadas.

g) Asociación entre colifagos y bacterias indicadoras

Considerando todos los tipos de muestras estudiados, se hizo un análisis para determinar la asociación entre los colifagos y los otros microorganismos indicadores. En la *Tabla 16* se muestra la relación entre los colifagos y las bacterias indicadoras Coliformes Fecales (CF) y Enterococos Fecales (EF).

Tabla 16. Asociación entre la detección de colifagos y de coliformes fecales (CF) y enterococos fecales (EF).

Microorganismo	Colifagos				<i>p value</i>
	Negativo		Positivo		
	(n=29)		(n=29)		
	n	%	n	%	
CF	7	24	15	52	0,0000
EF	7	24	14	48	0,0000

De acuerdo con la detección positiva de colifagos-CF y colifagos-EF, se puede observar que hay una relación significativa ($P= 0.0000$) entre estos indicadores. El uso de colifagos como indicadores de contaminación fecal del agua tiene además la ventaja de que pueden dar información acerca de la presencia de virus entéricos; como se ha demostrado, existe una correlación significativa entre colifagos y enterovirus en agua (Espinosa, A.C, *et al.* Comparative Study of Enteric Viruses, Coliphages and Indicator Bacteria for Evaluating 2009).

h) Aerosoles

El Instituto de Ingeniería realizó un análisis sobre la cuantificación de bacterias durante el riego por aspersión en las Islas durante la época de secas.

Durante febrero de 2009 se incrementó el número de coliformes fecales, los cuales alcanzaron concentraciones que rebasan el límite establecido por la NOM-003-SEMARNAT 1997. Por lo tanto, el agua tratada utilizada para riego no cumple con la calidad necesaria en cuanto a contaminantes patógenos. Los resultados de este análisis se pueden consultar en el Anexo de Calidad del Agua.

En el *Tabla 17* se muestran los resultados de la identificación de bacterias en el riego por aspersión de Las Islas de Rectoría durante la época de secas. En el medio para bacterias heterotróficas, se determinaron 12 especies, de las cuales las potencialmente patógenas son la *Staphylococcus sp*, la *Bacillus sp*, las *Pseudomonas sp* * y las *Pseudomonas aeruginosa* *. En el medio de cultivo para Coliformes Fecales se puede observar la presencia de cuatro especies diferentes que se desarrollan en dicho medio; en particular, la *Enterobacter agglomerans* * se ha reportado como patógena.

Por lo que respecta a Coliformes totales, se identificaron tres especies, dos de ellas reportadas como patógenas: *Vibrio fluvialis* * y *Aeromonas hydrophila* *.

Tabla 17. Resultados de la identificación de bacterias durante el riego por aspersión en Las Islas de Rectoría durante la época de secas.

Bacterias Heterotróficas	Coliformes Fecales	Coliformes Totales
<i>Staphylococcus sp</i> *	Delftia acidovorans	Aeromonas sp
<i>Staphylococcus sciuri</i>	Cedecea lappagei	Vibrio fluvialis *
<i>Staphylococcus auricularis</i>	Enterobacter agglomerans *	Aeromonas hydrophila *
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	Cedecea lapagei	
<i>Staphylococcus cohnii</i>		
<i>Micrococcus sp</i>		
<i>Bacillus sp</i> *		
<i>Pseudomonas sp</i> *		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> *		
<i>Enterobacter agglomerans</i>		
<i>Delftia acidovorans</i>		
<i>Vibrio damsela</i> *		

* Organismos patógenos que representan riesgos a la salud.

i) Sistema de desinfección.

El sistema de desinfección con que cuenta C.U. se encuentra instalado directamente en cada uno de los pozos. El Instituto de Ingeniería se ha dado a la tarea de revisar cada uno de ellos y dar su diagnóstico, así como proponer un nuevo sistema de desinfección que garantice la calidad del agua para que sea bebible en cualquier punto de C.U.

I. Descripción del sistema

1. POZOS

Pozo 1. Facultad de Química

El Pozo 1, ubicado en la Facultad de Química, tiene un gasto (Q) constante de 31 L/s. La desinfección se hace aplicando 10 L de Hipoclorito de Sodio. En la *Figura 24* se muestra el estado en que se encuentra el sistema de desinfección; en el Anexo de Calidad del Agua se explica con mayor detalle.



Figura 24. a) Pozo 1. Facultad de Química; b) Tanque de Hipoclorito de Sodio.

Pozo 2. Multifamiliar

El pozo 2, ubicado en la explanada de la ex-planta incineradora, tiene un gasto (Q) constante de 83 L/s; la desinfección se basa en la aplicación de 16 Kg de gas cloro (Cl_2) en un periodo de 12 horas continuas. En la *Figura 26* se muestra el estado en que se encuentra el sistema de desinfección; en el Anexo de Calidad del Agua se explica con mayor detalle.



Figura 25. Bomba del pozo 2. Multifamiliar.



Figura 26. Tanque de cloro gas.

Pozo 3. Vivero Alto

El pozo 3, ubicado en el Vivero Alto, en la zona del Jardín Botánico, tiene un gasto (Q) constante de 45 L/s; la desinfección se basa en la aplicación de 9 Kg de gas cloro (Cl_2) en un periodo de 12 horas continuas. En las *Figuras 27 y 28* se muestra el estado en que se encuentra el sistema de desinfección; en el Anexo de Calidad del Agua se explica con mayor detalle.



Figura 27. Pozo 3. Vivero Alto.



Figura 28. Tanques de cloro gas.

2. AGUA DESINFECTADA QUE SE BOMBEA A TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Ciudad Universitaria cuenta con tres tanques de almacenamiento de agua potable extraída de los tres pozos, siendo el Tanque Bajo el que corresponde al Pozo 1; el Tanque Alto al Pozo 2, y finalmente el Tanque del Vivero Alto para el Pozo 3. En el Anexo de Calidad del Agua se muestran las características de cada tanque de almacenamiento.

Tabla 18. Tiempos de retención hidráulicos

TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICOS (calculados en función del volumen del tanque y del gasto de agua desinfectada que llega)	
TANQUE BAJO	17 HRS + 55 MIN
TANQUE ALTO	12 HRS + 29 MIN
TANQUE VIVERO ALTO (1-4)	9 HRS + 15 MIN

Pruebas experimentales en laboratorio para desinfección primaria con ozono e hipoclorito como residual

El ozono es un desinfectante que garantiza la inactivación de microorganismos y mejora las características organolépticas del agua de abastecimiento, como son el olor y el sabor; igualmente, previene la formación de compuestos orgánicos clorados. Por ello, se prevé desinfectar con ozono y agregar una pequeña cantidad de cloro para evitar la re-contaminación y crecimiento de algas en el sistema de distribución. El Instituto de Ingeniería se encuentra realizando las pruebas para diseñar el sistema de desinfección con ozono e hipoclorito, con la finalidad de garantizar la calidad del agua para consumo humano. Para mayor detalle del desarrollo de las pruebas realizadas en el laboratorio, ver el Anexo de Calidad del Agua.

El agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener *E. coli* o coliformes fecales u organismos termo-tolerantes en ninguna muestra de 100 ml. Los organismos coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml (*Tabla 19*). En sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50,000 habitantes, estos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un periodo de 12 meses de un mismo año.

Tabla 19. Parámetros microbiológicos establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, modificada en el 2000. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano.

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
Coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termo-tolerantes	Ausencia o no detectables

En las pruebas de desinfección se determinó la presencia o ausencia de Coliformes Totales y Coliformes Fecales (Tabla 20). Se observó que solamente se encontraron Coliformes Totales en una de las muestras del agua sin desinfectar en el pozo de la Facultad de Química. **Después de hacer la desinfección combinada (ozono + hipoclorito de sodio), no se detectó ninguna colonia de coliformes totales ni de coliformes fecales; no obstante, es necesario realizar más determinaciones antes y después de las pruebas de desinfección.** Cabe mencionar que estos son los resultados de pruebas preliminares realizadas con adaptaciones hechas al sistema de desinfección en función de las bombas con las que se contaba; sin embargo, ya se cuenta con un tipo de bomba adecuado para el sistema y está en proceso la realización de más pruebas de desinfección.

Tabla 20. Resultados de los análisis microbiológicos realizados en el pozo de la Facultad de Química antes y después de las pruebas de desinfección con ozono + hipoclorito.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS			
CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE	AGUA SIN TRATAR	AGUA DESINFECTADA
Coliformes Totales	Ausencia o no detectables	MUESTRA 1	MUESTRA 1
		3 UFC/100 ml	NO DETECTABLES
		MUESTRA 2	MUESTRA 2
		NO DETECTABLES	NO DETECTABLES
<i>E. coli</i> o Coliformes Fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables	MUESTRA 1	MUESTRA 1
		NO DETECTABLES	NO DETECTABLES
		MUESTRA 2	MUESTRA 2
		NO DETECTABLES	NO DETECTABLES

La cantidad de cloro que se dosificará equivale a la demanda total de cloro, la cual está estrechamente ligada a la calidad química y microbiológica del agua; a dicha demanda debe adicionarse la cantidad de cloro residual esperada en el extremo de la red. Por lo tanto, antes de efectuar el proceso de desinfección conviene hacer ensayos de consumo instantáneo de cloro, denominados “ensayos de demanda de cloro”. Ver *Figura 29*.

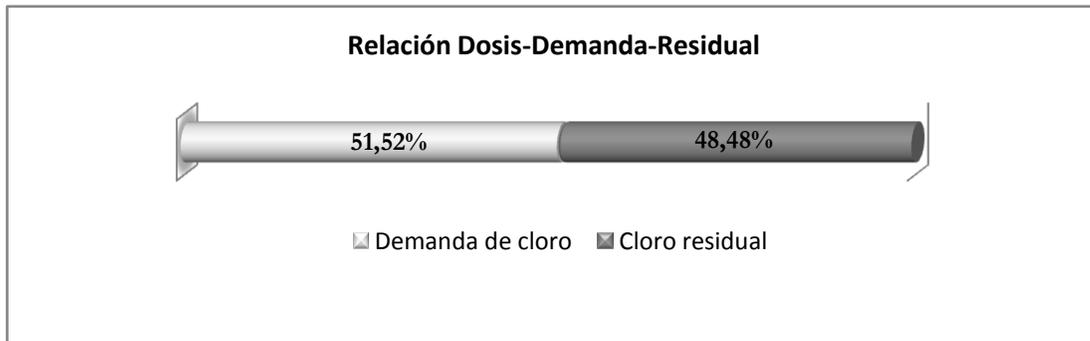


Figura 29. Relación Dosis-Demanda-Residual

Para el caso de la dosificación de Hipoclorito de Sodio al 13% en pozos de abastecimiento, el Instituto de Ingeniería ha realizado una serie de pruebas y en base a ellas propone la siguiente dosificación.

Tabla 21. Dosificación de Hipoclorito de Sodio al 13% en pozos de abastecimiento.

Dosificación de Hipoclorito de Sodio Na OCl al 13% en pozos de abastecimiento		
<i>Pozo</i>	<i>Dosis de Na OCl (mg/L)</i>	<i>Volumen necesario de Na OCl (L)</i>
1. Facultad de Química	0.8	10.171
2. Multifamiliar	0.8	20.343
3. Vivero Alto	0.8	7.628

Para conseguir los mejores resultados del cloro, éste se debe aplicar cuidando mantener una mezcla completa con toda el agua por desinfectar, un suministro continuo y una dosificación acorde con la calidad del agua.

Se debe tener cuidado con los materiales que se emplean en los equipos de cloro, ya que estos se comportan de modo diverso en lo que respecta a la oxidación. En el *Anexo de Calidad del Agua* se dan algunas recomendaciones.

La selección del dosificador o alimentador de cloro depende de tres factores:

- ✓ Las características del producto clorado.
- ✓ La dosis de cloro en el agua.
- ✓ El caudal del agua a desinfectar.

En la *Tabla 22* se describen algunos de los equipos más usados para el sistema de desinfección, de los cuales se tomará una decisión una vez terminadas las pruebas y se haya visto cuál es el más adecuado para el sistema de abastecimiento de C.U.

Tabla 22. Clasificación de algunos de los equipos dosificadores de cloro más usados.

Clasificación	Equipo dosificador	Producto	Rango de servicio (habitantes)
Cloro gaseoso	A presión (directo)	Gas Cloro	5,000 en grandes ciudades
	Al vacío (Venturi o eyector)		
Bajo presión atmosférica, de carga constante			
Solución	Tanque con válvula de flotador	Hipoclorito de Na o Ca	< 20,000
	Tubo con orificio en flotador		
	Sistema vaso/botella		
	Bajo presión positiva o negativa		
	Bomba de diafragma (positiva)	Hipoclorito de Na o Ca	2,000 a 300,000
	Dosificador por succión (negativa)		
Generador de hipoclorito de sodio <i>in situ</i>			< 5,000
Sólido	Dosificador de erosión. Otros dosificadores	Hipoclorito de Calcio Cal clorada	2,000 a 50,000]
			< 2,000

La selección del equipo depende primordialmente de las características de cada instalación, como son: el tipo de fuente de abastecimiento, la calidad del agua, el caudal, la facilidad de acceso al sitio, la existencia o inexistencia de energía eléctrica y la capacidad técnica de los operadores.

V. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE PUMAGUA

El Sistema de Información Geográfica (SIG) se encuentra compuesto de hardware, software y datos geográficos diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada a un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital (en este caso, el mapa de Ciudad Universitaria). de esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos. Es así como, examinando un registro de la base de datos, se puede conocer su localización con base en la cartografía.

De esta forma será posible contar con planos e información actualizada y confiable en materia de agua. También se podrá consultar el consumo de las dependencias, así como las fugas que éstas presenten o que se tengan en la red.

La razón fundamental para manejar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema logra separar la información en diferentes capas temáticas a las cuales almacena en forma independiente, lo que permite trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilita la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con la finalidad de generar una nueva capa que no se podría obtener de otra manera.

Se ha concluido el trabajo de geo-referenciar la red de tuberías de agua potable, la cual se ha dividido y seleccionado según sus diámetros. Dichas tuberías están enumeradas para crear un identificador (ID) único del sistema que se ha desarrollado en conjunto con las dependencias que apoyan la instrumentación del SIG. El Instituto de Geografía proporcionó el plano general de Ciudad Universitaria; además, ha brindado asesorías para el manejo del software y proporcionado el apoyo necesario durante el desarrollo del proyecto. Ver *Figura 30*.

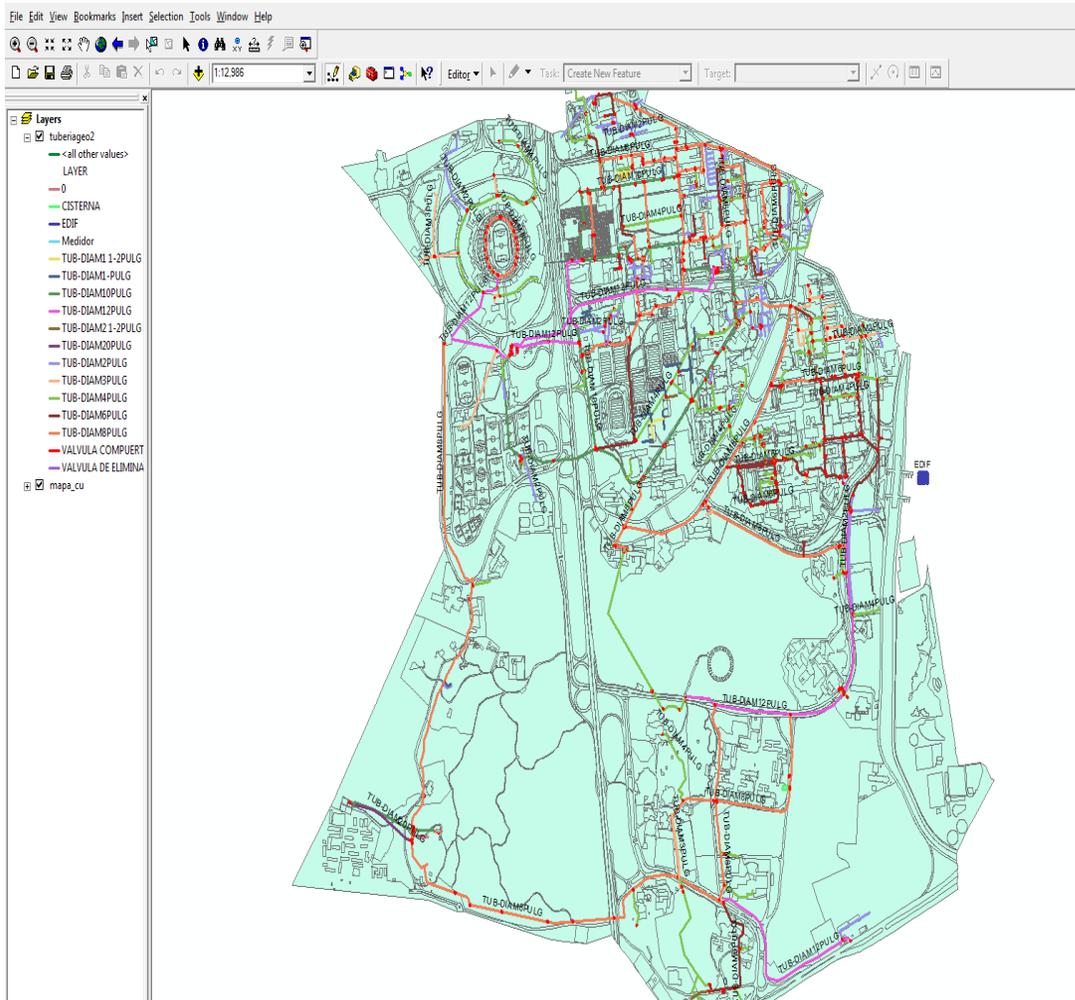


Figura 30. Plano general de Ciudad Universitaria.

Con la red geo-referenciada, se empezó a trabajar en la ubicación de las válvulas ubicadas en toda Ciudad Universitaria, como se muestra en la Figura 31.

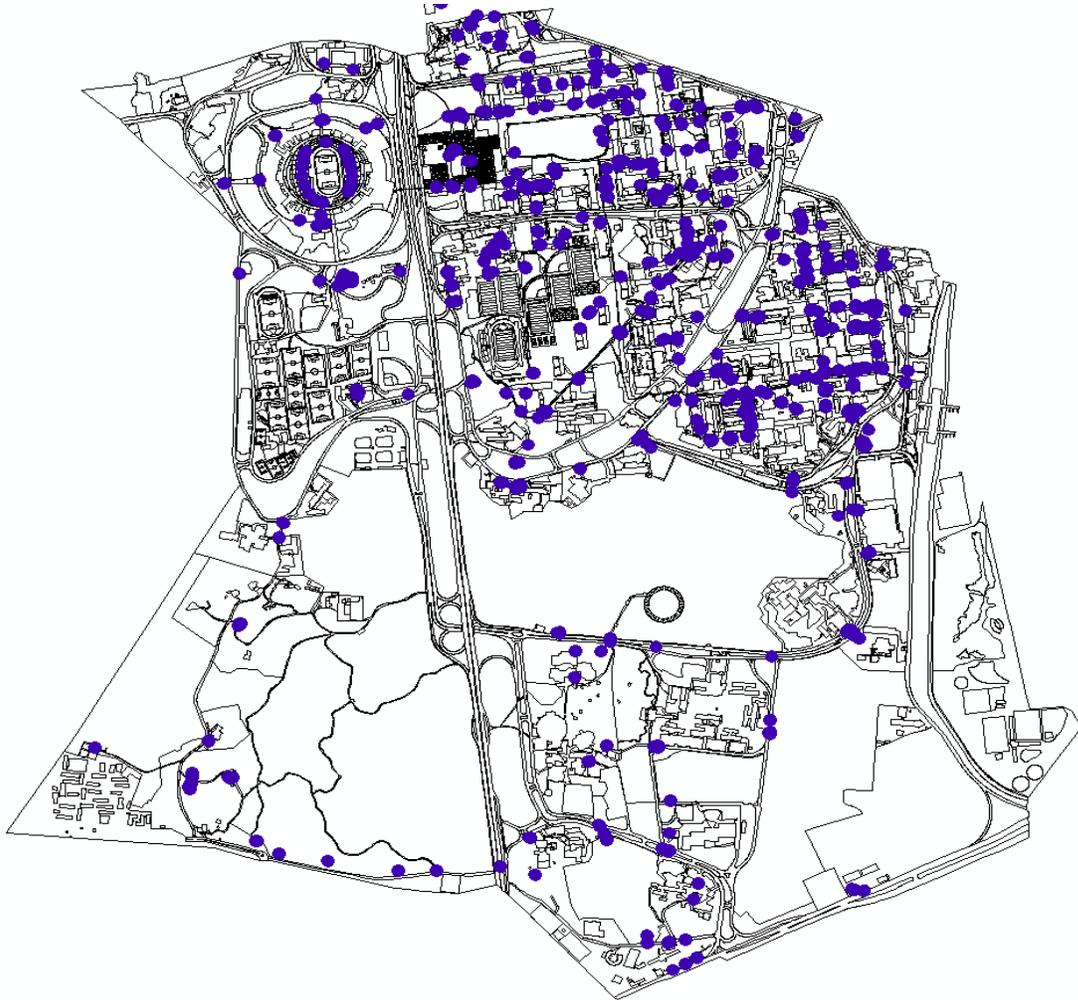


Figura 31. Válvulas ubicadas dentro de Ciudad Universitaria.

Se han ubicado las zonas en donde se cuenta con información de la red; para ello, se situaron las características, descripciones e imágenes del lugar. Esta información se descarga en la base de datos del programa. De cada válvula se recaba su asentamiento, tipo, estado en que se encuentra, etc.; y de cada tubería, su ubicación, el estado en que se encuentra, la cantidad de litros que pasan por ella, la calidad del agua, etc.

En primera instancia se numerará cada tramo de tubería, válvulas y uniones, lo cual facilitará el establecimiento del identificador único (ID). En la Figura 32 se muestra un ejemplo de lo que podrá obtenerse en el SIG de cada una de las válvulas, de tal forma que se podrá tener una idea del estado que guardan éstas.

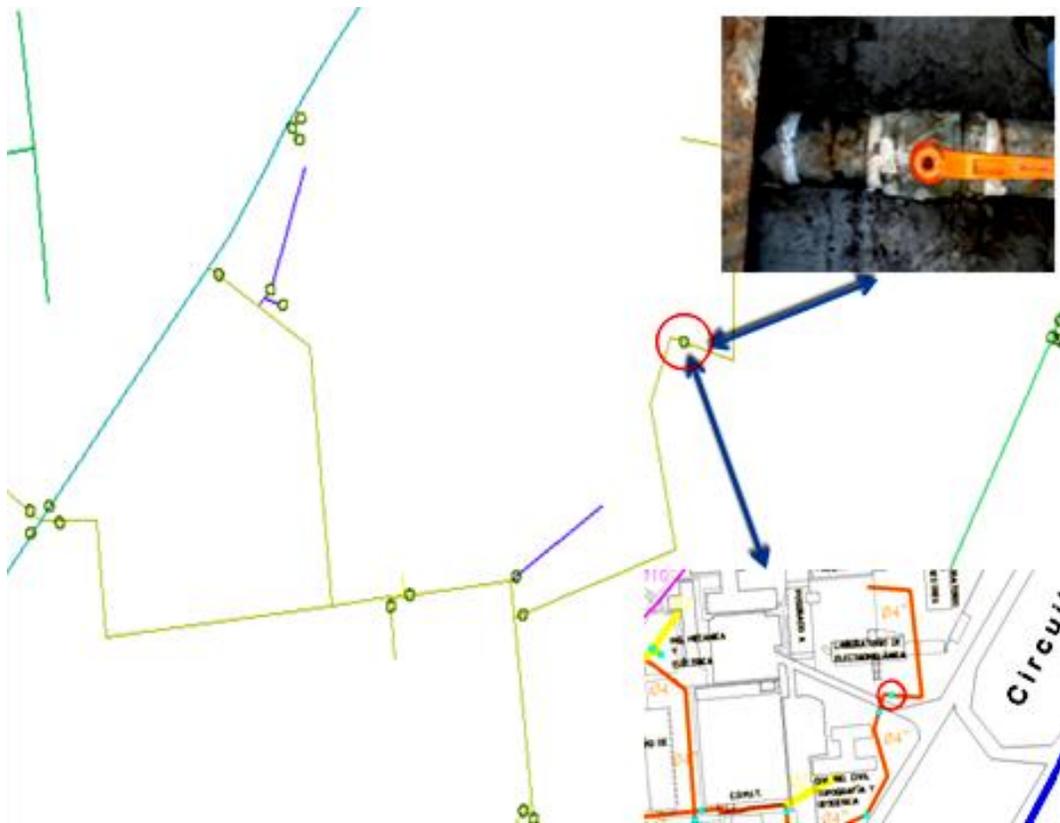


Figura 32. Información recabada de válvulas (su asentamiento, tipo, estado en que se encuentran).

Como se puede observar, el SIG se encuentra en la etapa de inicio de sus actividades, las cuales se intensificarán en el 2010, ya que es un factor fundamental para contar con la información relacionada con el agua. Durante 2010 se terminará de colocar la información y se realizará la conexión a la base de datos para que se actualice paulatinamente los datos de los caudales medidos a la entrada de cada sector y los correspondientes al consumo de los edificios y al monitoreo de la calidad del agua.

VI. LITERATURA CONSULTADA

1. Arbuthnot, J. The roles of attitudinal and personality variables in the prediction of environmental behavior and knowledge. *Environment and Behavior* 9:217-232. 1977.
2. Ballesteros Serrano, Oscar Alfredo. Estudio Numérico Experimental de Fugas en Tuberías de Agua Potable. Tesis para obtener el título de ingeniero mecánico. 2008.
3. Capella Vizcaíno, Antonio. Control de Presiones y Reducción de Fugas en la Red de Agua Potable de la Ciudad de México. Enero de 2001.
4. Capella Vizcaíno, Antonio. El problema de las Fugas en México. 2001
5. Carabias, J. y Landa, R. . Agua, medio ambiente y sociedad. UNAM. México, D.F. 2005.
6. Cervantes Gutiérrez, Virginia, et al. El agua en la UNAM. Facultad de Ciencias. 2007.
7. CONAGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS). 2007.
8. CONAGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos. 2007.
9. CONAGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Selección e Instalación de equipos de Macro medición. 2007.
10. CONAGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Tomas domiciliarias. 2007.
11. CONAGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.. Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de agua potable. 2007.
12. CONAGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.. Redes de Distribución. 2007.
13. CONAGUA. Manual de Incremento de Eficiencia Física. Hidráulica y Energética en sistemas de Agua Potable. Versión Preliminar. Septiembre, 2009.
14. Denver Water. Commercial, Industrial & Institutional Incentive Program. En : www.denverwater.org
15. Diario Oficial de la Federación. NOM-003-SEMARNAT-1997.

16. Diario Oficial de la Federación. NOM-127-SSA1-1994, modificada en 2000.
17. Dirección General de Obras y Conservación. Información de agua tratada y bombeada al sistema de riego 2006 y 2007. PTAR de Cerro del Agua. UNAM 2008.
18. Dirección General de Planeación. UNAM. Anuario Estadístico de la UNAM. 2005.
19. Dirección General de Planeación. UNAM. Anuario Estadístico de la UNAM. 2006.
20. Dirección General de Planeación. UNAM. Anuario Estadístico de la UNAM. 2007.
21. Distribución del Ingreso y Educación Superior. El caso de la UNAM. Dirección General de Planeación. Coordinación de Planeación. UNAM. 2008.
22. Environmental Protection Agency (EPA). Water Distribution System Analysis. Field Studies, Modeling and Management. A Reference Guide for Utilities. 2005.
23. Espinosa, A.C.; Arias, C.F.; Sánchez-Colón, S.; Mazari-Hiriart, M. Comparative Study of Enteric Viruses, Coliphages and Indicator Bacteria for Evaluating Water Quality in a Tropical High-Altitude System. *Environmental Health*. 8(1):49. 2009.
24. GDF-SMA. Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT).
http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=4&opcion_difusion=1
25. Goycochea, Darío. “Flujo en tubos a presión”. UAM. Edición de libros de texto. 1992.
26. Guerrero, T; Rives, R.; Rodríguez, A; Saldívar, Y. Manejo del agua en CU. Facultad de Ciencias. UNAM. 2006.
27. <http://www.awwa.org>.
28. <http://www.badgermeter.com/water.aspx>
29. <http://www.nacobre.com>
30. IMTA. Manual de Auditorías de Agua en Inmuebles Federales. SEMARNAT. 2003
31. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Coloquio – Taller sobre Medición y Auditorías de Agua. 2008.

32. Jiménez Cisneros, B. Calidad del agua en México: principales retos. 2008. En: Olivares, R. y Sandoval, R. El agua potable en México. Historia reciente, actores, procesos y propuestas. ANEAS. México, D.F.
33. Kaiser, L.G; Wölfgang, S; and Fuhrer, U.. Environmental Attitude and Ecological Behavior. *Journal of Environmental Psychology* 19, 1-19. 1999.
34. Kunkel, George. Unaccounted for no more Water Audit Software Assesses Water Loss. *American Water Works Associations*. USA. May, 2006.
35. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. Esquema Básico del control de fugas.
36. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. Fuentes de Abastecimiento.
37. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. Guía de diseño de redes de agua potable con uno o más tanques y fuentes de abastecimiento
38. Maryland Department of Environmental Water Supply Program. Conducting a Household Water Audit. USA. 2006.
39. Mazari, M.; Jiménez Cisneros, B.E. y López Vidal, Y. El agua y su impacto en la salud pública. Documento de trabajo No. 4 del Programa Agua, Medio Ambiente y Sociedad. El Colegio de México - UNAM. México. 2005.
40. New South Wales Government. Green home Water Project. Reporte Final. Australian Conservation Foundation. 2007.
41. Newhouse, N. Implications of Attitude and Behavior Research for Environmental Conservation. *Journal of Environmental Education* 22, 26-32. 1990.
42. Norma Oficial Mexicana 009-CNA-2001, Inodoros para uso sanitario, especificaciones y método de prueba.
43. North Carolina Department of Environmental and Resources. Water Efficiency Manual for Commercial, Industrial and Institutional Facilities. USA. 2007.
44. Ochoa Alejo, Leonel. Incremento de la eficiencia a través de distritos hidrométricos de distribución de agua potable. IMTA: 2005
45. Ochoa Alejo, Leonel. Reducción Integral de Pérdidas de Agua Potable. IMTA. 2006

46. Ochoa Alejo, Leonel. Políticas y Resultados de Programas de Uso Eficiente de Agua en México. IMTA. Feria del Agua en Santiago de Cali, Colombia. 2004.
47. OECD. Applying Communication Tools Toward Sustainable Development. OECD Publications. París, Francia. 1999.
48. Orta Ledesma, M.T. Desinfección para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento. CONAGUA. 2000.
49. Primer Encuentro Universitario del Agua. Documento Integrado. UNAM. 2006.
50. PUMAGUA. Informes del análisis de las pruebas a muebles de baño. 2008.
51. PUMAGUA. Manual de pruebas a instalaciones sanitarias. UNAM 2009
52. PUMAGUA. Manual de Selección, Instalación y Mantenimiento a Medidores de Agua Fría. UNAM. 2009
53. Sidney University. Every Drop Counts. En www.uga.edu/aboutUGA/watertips.html.
54. South Florida Water Management District. Water Saving Incentives Program. En: https://my.sfwmd.gov/portal/page?_pageid=1874,4164497,1874_4166538&_dad=portal&_schema=PORTAL
55. Stanford University. Water Conservation, Reuse and Recycling Master Plan.2003. En: http://facilities.stanford.edu/conservation/FINALStanfordConservation_Recommended_Plan10_16_033.pdf
56. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA. Washington, D.C. 2005.
57. Stanford University. Water Conservation, Reuse and Recycling Master Plan. USA. October, 2003.
58. Texas Water Development Board. Water Loss Manual. USA. May, 2005.
59. The University of Sidney. Camper down and Darlington Campuses. Water Savings Action Plan 2006–2010.

60. Toronto City. Water Efficiency Program: En:
(www.toronto.ca/watereff/washer/index.htm)
61. Universidad de Wisconsin. Environmental Education Training and Partnership.
Checklist
62. Tools for Developing and Evaluating Communication Tools/Efforts. EETAP. 2002.



www.pumagua.unam.mx

JUNIO / 2010