



Informe de Avances

PUMAGUA 2010

Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM





Informe de Avances 2010

Director

Dr. Fernando González Villarreal

Coordinador Ejecutivo

Dr. Rafael Val Segura

Coordinador Balance Hidráulico

Ing. José Daniel Rocha Guzmán

*Coordinadora de Calidad del Agua,
Instituto de Ingeniería*

Dra. María Teresa Orta Ledesma

Calidad del Agua, Instituto de Ecología

Dra. Marisa Mazari Hiriart

Calidad del Agua, Facultad de Medicina

Dra. Yolanda López Vidal

Coordinadora Comunicación / Participación

M. en C. Cecilia Lartigue Baca

Coordinador Sistema de Información Geográfica

M. en C. Javier Osorno Covarrubias



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Rector

Dr. José Narro Robles

Secretario General

Dr. Eduardo Bárzana García

Secretario Administrativo

Lic. Enrique Del Val Blanco

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

Secretario de Desarrollo Institucional

Mtro. Javier De la Fuente Hernández

Secretario de Servicios a la Comunidad

M. C. Ramiro Jesús Sandoval

Director General de Comunicación Social

Lic. Enrique Balp Díaz

Índice de Contenido

I.	Introducción	9
II.	Objetivo y metas	11
III.	Sistema automático de medición y monitoreo del suministro y consumo de agua potable	13
a.	Macro medición	13
b.	Micro medición	14
c.	Sistema SCADA	14
IV.	Modelación de la red de distribución de Ciudad Universitaria.....	17
a.	Etapas planteadas	17
b.	Avances	17
V.	Recuperación de caudales.....	19
VI.	Reducción de consumo de agua.....	23
a.	Programa de muebles de baño	23
	Monitoreo de consumo de agua de los Edificios 5, 12 y 18 del Instituto de Ingeniería	23
	Monitoreo de muebles de baño en otras entidades académicas de la UNAM	23
	Inventario de muebles sanitarios.....	24
	Talleres PUMAGUA de muebles de baño.....	24
b.	Programa de áreas verdes y sustitución de vegetación.....	24
	Jardines del Instituto de Ingeniería	24
	Elaboración de una lámina de riego para las áreas verdes de CU	25
c.	Programa de captación de agua de lluvia.	25
	Programa de trabajo	26
	Avances en el Estado del Arte	26
VII.	Monitoreo de calidad del agua	29
a.	Abastecimiento, suministro y consumo	29
	Abastecimiento	29
	Suministro	33
	Consumo	34
b.	Agua residual.....	38

c.	Agua tratada para reuso.....	39
	Plantas de tratamiento (efluentes)	39
	Cisternas de almacenamiento para riego	40
	Sistema de riego (Aspersores y Bioaerosoles) y Pastos.	44
VIII.	Sistema de Información Geográfica	47
a.	Descripción.....	47
	Modelación.....	47
	Bases de Datos Geoespaciales	48
b.	Aplicaciones del Sistema de Información Geográfica de la Red de Agua Potable de la UNAM (SIG PUMAGUA).....	49
	Administración y mantenimiento de la red.....	49
	Análisis y planeación	49
	Movilidad para los equipos de trabajo en campo.....	49
	Monitoreo operativo.....	50
	Involucramiento de las partes interesadas	50
c.	Avances	50
	Estandarización de la base de datos	50
	Estructura de la base de datos.....	51
	Implementación	53
IX.	Aplicación de herramientas de análisis.....	55
a.	Manual de técnicas analíticas para un diagnóstico de la calidad del agua.....	55
b.	Manual para un diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua	56
X.	Participación de dependencias	59
a.	Reuniones con dependencias.....	60
b.	Comunicación con estudiantes	60
	Dirección General de Orientación y Servicios Educativos (DGOSE)	60
	Centro de Desarrollo Infantil (CENDI)	61
XI.	Campi Universitarios, Fes Aragón.....	63
a.	Metas.....	63
b.	Conferencias.....	63
c.	Cultura del agua	63
d.	Geomática	64
e.	Diseño de la red de agua	65

XII.	Difusión del Programa.....	71
a.	Material electrónico.....	71
	Objetivos y avances del Programa.	71
	Rehabilitación de plantas de tratamiento para mejorar calidad del agua procesada.	71
b.	Material impreso.....	71
c.	Realización de talleres.....	72
	Talleres con jardineros	72
	Talleres con personal de mantenimiento	73
XIII.	Estudios Específicos.....	75
a.	Estudio QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment) para PUMAGUA	75
b.	Campaña de prácticas eficientes de uso de agua en CU.....	77
	Antecedentes	77
	Instrumentos	78
	Resultados preliminares de la fase de diagnóstico	79
	Alcances.....	80
c.	Observatorio del agua.....	80
XIV.	Formación de Recursos Humanos.....	81
a.	Tesis.....	81
	Estancias Posdoctorales	83
b.	Trabajos con valor curricular.....	83
	Alumnos de Biología.....	83
	<i>Alumnos de Diseño Industrial</i>	83
	Alumnos de Calidad del Agua.....	84
XV.	Congresos, Publicaciones, Conferencias y Medios Masivos	85
a.	Congresos	85
b.	Publicaciones.....	87
c.	Conferencias, Cursos y presencia en medios masivos	87
XVI.	Presencia externa de PUMAGUA	89
a.	Secretaría de Seguridad Pública (SSP).....	89
b.	Metepéc	89
c.	Programas Hidrológicos Internacionales para América Latina y el Caribe – UNESCO	89
XVII.	Referencias.....	91
XVIII.	Participantes.....	95
XIX.	Informe financiero.....	99

XX.	Perspectivas 2011	101
a.	Balance Hidráulico.....	101
b.	Calidad del Agua.....	102
c.	Comunicación / Participación	103
d.	Sistema de Información Geográfica	105
e.	Fes Aragón.....	107
f.	Presupuesto 2011.....	108

Índice de Tablas

Tabla 1. Virus entéricos (genomas/mL), Fagos (PFU/mL) en agua subterránea por tres periodos (2009)	31
Tabla 2. Análisis microbiológico y de cloro residual libre en tres sitios específicos que abastecen de agua potable a la Torre de Rectoría	36
Tabla 3. Resultados del análisis de Calidad del Agua en la Torre de Ingeniería.....	36
Tabla 4. Promedios anuales de cada parámetro analizado mediante el sistema de analizadores en línea para monitorear la calidad del agua a la entrada al edificio 5 del II-UNAM	37
Tabla 5. Especies asignadas a las cepas de Mycobacterium. Identificación basada en PRASITE 44	
Tabla 6. Porcentaje de la comunidad universitaria que consume agua dentro del campus y el volumen promedio de consumo.	75
Tabla 7. Actividades que realizan los usuarios de las áreas verdes del campus.	76
Tabla 8. Dependencias que se encuentran en el estudio.	78
Tabla 9. Informe financiero 2010	99
Tabla 10. Presupuesto 2011	108

Índice de Figuras

Figura 1. Medidores electromagnéticos (Derecha) y sensores de nivel instalados (Izquierda) durante 2010.....	14
Figura 2. Avances en los trabajos de montaje del sistema de lectura automática presentados durante 2010.....	15
Figura 3. Interfaz de medición PUMAGUA.....	16
Figura 4. . Imagen de la calibración del modelo de agua potable de Ciudad Universitaria.....	18
Figura 5. Trabajos de recuperación de caudales. En la imagen, una fuga localizada y reparada.	19
Figura 6. Subsectores hidráulicos en los que se ha iniciado el proceso de localización de fugas de agua en líneas principales	20
Figura 7. Trabajos de levantamiento de cisternas de agua potable.	21
Figura 8. Monitoreo a los muebles de baño instalados en Ciudad Universitaria	23
Figura 9. Trabajos en los jardines del Instituto de Ingeniería	25
Figura 10. Componentes del sistema.	28
Figura 11. Análisis microbiológico en pozos de abastecimiento en la UNAM, antes del proceso de desinfección.	30
Figura 12. Comportamiento de nitratos en pozos de abastecimiento antes de la cloración en Ciudad Universitaria 2010.....	32
Figura 13. Comportamiento del cloro residual libre en el agua potable que se consume en el edificio 5 del Instituto de Ingeniería	34
Figura 14. Comportamiento de los nitratos en el agua potable que se consume en el edificio 5 del Instituto de Ingeniería	35
Figura 15. Comportamiento de las bacterias coliformes fecales en cisternas de almacenamiento de agua tratada para reuso. (CAART = Cisterna de Almacenamiento de Agua Residual Tratada).	40
Figura 16. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales en cisternas de almacenamiento de agua tratada para reuso. (CAART = Cisterna de Almacenamiento de Agua Residual Tratada).	41
Figura 17. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en cisternas de almacenamiento de agua tratada para reuso. (CAART = Cisterna de Almacenamiento de Agua Residual Tratada).	41
Figura 18. Indicadores de contaminación fecal detectados en agua de las cisternas que almacenan agua residual tratada (C1,C2, C3, C6, C7, C10, C11 Y C12). Temporada cálida-seca. Coliformes fecales (CF), enterococos fecales (EF) y bacteriófagos (BF).....	42
Figura 19. Perfiles de RFLP a partir de la amplificación groELII (hsp65) y la restricción con las enzimas BstEII y HaeIII. A. Gel 1 cepas 1 a 12; B. gel 2, cepas de la 13 a 24. Carrilones pares, enzima BstEII, carrilones pares enzima HaeIII , carrilones 1 y 28 marcador de peso molecular 100 pb, 2 y 27 marcador de peso molecular 50 pb.* cepa 21 no determinada.	43
Figura 20. Comportamiento de la calidad microbiológica, en el tren de recorrido del agua tratada con fines de reuso en el campus Ciudad Universitaria-UNAM	45
Figura 21. Estructura de la base de datos espacial PUMAGUA.....	51
Figura 22. Elementos cartográficos que integran la red de PUMAGUA.....	52

Figura 23. . Organización de los elementos contextuales.....	52
Figura 24. Acceso a la base de datos.....	53
Figura 25. Ventana de conexión remota.....	53
Figura 26. Proyecto ecológico <i>Ahorro del Agua y Mejora tu Jardinera</i>	64
Figura 27. Proyecto Experimental de reforestación. Antes y después de la reforestación	68
Figura 28. Análisis de la calidad de agua residual en el laboratorio de la FES Aragón.....	69
Figura 29. Taller “Seguridad en fluxómetros de muebles”	73
Figura 30. Prototipo del Atlas de PUMAGUA	106

I. Introducción

Las tendencias globales en materia de protección y conservación del medio ambiente han marcado como una prioridad la atención a los problemas del agua, exacerbados por el aumento de la demanda, contaminación y cambio climático. En este contexto, la UNAM ha articulado diversos esfuerzos para presentar respuestas de carácter interdisciplinario.

Por mandato del propio Consejo Universitario y con el apoyo de la Rectoría, en diciembre de 2007 se puso en marcha el Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM (**PUMAGUA**). Los trabajos de **PUMAGUA** iniciaron en 2008 con un diagnóstico de Ciudad Universitaria (CU). Como resultado de ello, se obtuvo que el agua que se suministra a CU es de buena calidad, cumpliendo con la normatividad vigente. En promedio se extraía de tres pozos 100 l/s, de los cuales 30 l/s se destinaban para consumo y 20 l/s para el riego, mientras que 50 l/s se perdían en fugas.

Durante 2009 y 2010 se realizaron los trabajos necesarios para atender lo surgido del diagnóstico, permitiendo al Programa ofrecer resultados tangibles en la reducción del consumo de agua dentro de CU. Los logros obtenidos a la fecha están cuantificados tanto en cantidad como en calidad, así como en la participación de la comunidad universitaria.

En lo que se refiere al suministro de agua, hasta el momento se han recuperado 28 l/s, reduciendo en un 30% el caudal perdido en la red de distribución y en un 66% en el interior de los edificios. La dotación promedio actual por universitario es de 20 l/día. Con el programa de muebles de baño de bajo consumo, las dependencias están ahorrando un 40% del agua suministrada a los edificios. Se está construyendo un sistema SCADA para monitorear los caudales suministrados y consumidos. Actualmente ya se cuenta con un Sistema de Información Geográfica (SIG) con información actualizada y confiable del sistema hidráulico de CU. La medición se registra en tiempo real en CU y en FES Aragón, generando una base de datos con información de suministro y consumo de agua potable, con alertas de fugas. Posteriormente se automatizarán puntos estratégicos para controlar la red de distribución, completando el sistema SCADA. Un sistema SCADA es un sistema basado en computadoras que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado. También provee de toda la información que se genera en el proceso de monitoreo, tanto en la cantidad de agua como en la calidad de ésta.

Aunado a ello, **PUMAGUA** impulsa medidas para reducir los consumos de agua potable en el sistema de riego: a) uso de agua tratada; b) equipos más eficientes para reducir el consumo en un 30%; y c) jardines con vegetación nativa que no requiere de riego.

En cuanto a los logros obtenidos en calidad del agua, se monitorea la calidad de agua potable bajo la NOM-127-SSA1-1994, modificada en 2000, y la de reuso con la NOM-003-SEMARNAT-1997. Adicionalmente, **PUMAGUA** está complementando los muestreos microbiológicos para detectar virus a través de análisis de colifagos, así como bacterias patógenas no incluidas en las normas. Lo anterior se realiza con técnicas de cultivo y con técnicas de detección molecular. Así, se da un paso adelante a nivel nacional en la prevención de enfermedades transmitidas por el agua.

Se cuenta con un sistema de analizadores instalados en línea que monitorea la calidad físicoquímica del agua (cloro residual, conductividad, nitratos, pH, turbidez y temperatura) que se suministra a las dependencias. Las mediciones de calidad estarán disponibles en el sistema SCADA.

Por otra parte, se cuenta con el diseño de un sistema de desinfección con hipoclorito de sodio en una primera etapa y como una segunda etapa contar con ozono a pie de pozo. En conjunto con la Dirección General de Obras y Conservación se está trabajando en el proceso de su instalación de la primera etapa para garantizar que el agua en CU sea bebible y cumpla con la normatividad que se está implementando en la UNAM. Con ello se instalarán bebederos que garanticen la salud de los universitarios, logrando reducir considerablemente el consumo de agua embotellada.

Los análisis de calidad del agua, realizados a finales de diciembre de 2009 en la cisterna y dentro del edificio de Rectoría, demostraron que el agua es bebible dentro de las instalaciones; siempre y cuando se mantenga su cisterna bajo un programa de limpieza.

Se clausuraron las plantas de tratamiento tipo BRAIN, canalizando sus aguas a un colector que está en construcción en la zona cultural, el cual dirige las aguas residuales a la Planta de Tratamiento de Ciencias Políticas y Sociales. Se iniciaron los trabajos de rehabilitación en las dos plantas de tratamiento de CU para asegurar que la calidad del agua del efluente cumpla con la normatividad para reuso en riego y para aumentar sus volúmenes de tratamiento. Los caudales producidos serán aprovechados a finales del invierno de 2011 para regar dos terceras partes de las áreas verdes del campus. Por otra parte, el Instituto de Ingeniería estabilizó su planta de tratamiento y actualmente esta agua es reutilizada en los baños, reduciendo en un 75% el consumo de agua potable de dos edificios.

En lo que corresponde al involucramiento de los universitarios en **PUMAGUA**, hasta el momento se ha logrado la participación de más de 100 dependencias dentro de CU, así como de la FES Aragón, FES Iztacala, FES Acatlán, Campus Juriquilla y el de Morelia, los cuales realizan una o más acciones establecidas por el programa.

Se llevó a cabo una campaña para impulsar el ahorro del agua en CU. También, se comunican los avances del Programa y las acciones de dependencias a directores, personal de mantenimiento, así como a más de 600 personas mensualmente a través de correo electrónico. **PUMAGUA** cuenta con una página Web (www.pumagua.unam.mx), donde se pueden encontrar manuales de operación. En 2010 **PUMAGUA** se integra a los Programas Hidrológicos Internacionales de la UNESCO.

La formación de recursos humanos sigue siendo una actividad fundamental para **PUMAGUA**. Se realizaron talleres para el personal de jardinería, jefes de servicio y mantenimiento. Se han involucrado a 150 estudiantes de diferentes facultades en investigaciones relacionadas con el uso del agua en la UNAM, como parte de su formación curricular. Adicionalmente, se ha recibido a más de 30 becarios, que han sido capacitados en las cuatro áreas de trabajo del Programa, y se han impartido pláticas en preparatorias y Colegios de Ciencias y Humanidades de la UNAM. Por otro lado, se cuenta con artículos para congresos, revistas y foros nacionales e internacionales. **PUMAGUA** se presentó en radio, televisión y periódicos nacionales.

Participan directamente en los trabajos de **PUMAGUA** la Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC), los Institutos de Ingeniería, Ecología, Geografía, Geología e Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, la Facultad de Medicina, Arquitectura del Paisaje, la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y el Jardín Botánico.

II. Objetivo y metas

El objetivo principal de **PUMAGUA** es:

Implantar un programa integral de manejo, uso y reuso del agua en la UNAM, con la participación de toda la comunidad universitaria.

Las metas concretas del programa son las siguientes:

1) Disminuir el consumo de agua potable en un 50%.

Para lograr esta meta se siguen varias líneas de acción: 1) reducción de fugas en la red principal de abastecimiento y en el interior de los edificios; 2) sustitución de muebles de baño por los de bajo consumo; 3) sustitución de agua potable para riego por agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento ubicadas en Ciudad Universitaria; 4) utilización de equipos de riego más eficientes; y 5) cambio de la vegetación en algunos jardines por vegetación autóctona de la Reserva del Pedregal de San Ángel.

2) Garantizar la calidad del agua para uso y consumo humano y para reúso en riego, cumpliendo con las normas más estrictas.

- Garantizar que la calidad del agua para uso y consumo humano cumpla con los parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, modificada en 2000.
- Garantizar que la calidad del agua de reúso para riego de jardines cumpla con los parámetros establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

3) Involucrar a la comunidad universitaria en el uso eficiente del agua.

Al término de estos tres años, las entidades universitarias y cada miembro de la comunidad universitaria del *campus* de CU formarán parte del Programa PUMAGUA.

III. Sistema automático de medición y monitoreo del suministro y consumo de agua potable

a. Macro medición

En lo que respecta a los trabajos de macro medición, se acordó junto con la DGOyC la instalación de diez medidores electromagnéticos: uno en la descarga de cada pozo (en total 3 medidores), uno en el re bombeo entre tanque bajo y tanque alto, uno a la salida del tanque bajo y uno en la entrada de cada sector hidráulico (en total 5 medidores para los sectores). Se decidió que la alimentación eléctrica de los medidores asignados a los Sectores IV y V se hiciera con celdas fotos eléctricas por su mayor eficiencia con respecto a tender una línea de suministro de corriente eléctrica para los equipos. Para la propuesta de estas celdas se trabajó de manera conjunta con la DGOyC. Parte de los trabajos de macro medición incluyó la sustitución y puesta en marcha de dos equipos electromagnéticos dañados durante el año pasado (y donados por la empresa fabricante). Ver **Figura 1**. Cabe señalar que no ha sido posible medir el caudal a la entrada de cada sector hidráulico debido a que no se han puesto en marcha los macro medidores, aunque se cuenta con los equipos desde el año 2009. De los cinco macro medidores se han colocado tres; sin embargo no cuentan con corriente eléctrica, por lo que no es posible medir el caudal que pasa por ellos.

Por otra parte, se compraron tres sensores de nivel en los tanques de regulación con el propósito de determinar los siguientes parámetros: a) la variación de niveles de agua en los tanques de regulación, b) la variación (diaria y horaria) de la demanda de agua dentro del campus universitario y c) la cantidad de agua que se envía a los tanques y a la red de distribución. Actualmente se ha instalado el sensor de nivel del tanque bajo, quedando aún pendientes la instalación de estos equipos en los tanques alto y vivero alto. Ver **Figura 1**.

La presión es el segundo factor más importante después del estado de la infraestructura y está relacionada con la presencia de fugas en un sistema. De acuerdo a los resultados de la simulación de la red de agua potable de Ciudad Universitaria, se recomendó segmentar la red en cinco sectores hidráulicos, tomando como principal criterio las presiones (y, en consecuencia, la topografía) que arrojó la simulación matemática, con datos obtenidos durante el diagnóstico. De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomendó que en los Sectores Hidráulicos I y III se lleve a cabo un control de presiones como medida para la disminución de fugas, a través de la instalación de válvulas reguladoras de presión. Sin embargo, aunque se cuenta con las dos válvulas reguladoras de presión aún no han sido colocadas en su sector correspondiente.



Figura 1. Medidores electromagnéticos (Derecha) y sensores de nivel instalados (Izquierda) durante 2010.

b. Micro medición

A la fecha, los trabajos de levantamiento de tomas de agua potable dentro de Ciudad Universitaria (en los que se ha colaborado con la DGOyC, así como personal de las propias entidades) han hecho posible sugerir la instalación de 257 medidores de agua en 101 entidades. De éstos se han entregado 224 en 94 de ellas e instalado, por parte de la DGOyC, 151 medidores en 66 entidades. Actualmente sólo 120 están registrando lecturas de suministro de agua, debido a que algunas dependencias no han construido el registro que albergará al equipo (según especificaciones establecidas en el Manual), para que posteriormente **PUMAGUA** coloque la carátula del medidor para iniciar la medición de suministro de agua. El proceso que lleva instalar algún equipo es lento y ello conlleva a retrasos en la activación de los equipos. Ver **Figura 2**

Desde abril de 2009, se cuenta con medición en el consumo de los edificios, con un total de 140,652.0 m³ de agua, de los cuales se han perdido en fugas 53,043.1 m³, lo que representa el 37.7% del caudal suministrado a los edificios. El 44.9 % de estas pérdidas del volumen total medido, se concentran en el Sector Hidráulico 1, seguido del Sector Hidráulico 3, con un 32.4 %. Sin embargo, el 90 % de las fugas medidas y detectadas con los equipos de medición se han concentrado en sólo diez medidores instalados y, en 90 % de estos casos, las fugas se han presentado en ramales de alimentación, mientras que el restante 10 % en cisternas.

c. Sistema SCADA

Uno de los propósitos de **PUMAGUA** es facilitar el acceso a las mediciones de suministro de agua. Para ello, se está elaborando una interfaz que tomará como base la información proporcionada por los concentradores de lecturas, para su proceso y muestra de forma amigable.

Esta interfaz permite un monitoreo del suministro de agua en tiempo real, una base de datos que contiene información referente a las condiciones físicas y de operación de los medidores instalados; dispone de alarmas de existencia de fugas, fechas de mantenimiento a medidores, responsables de las instalaciones. La base de datos suministrará información a la página web de **PUMAGUA** y al Sistema de Información Geográfica. Ver **Figura 3**.

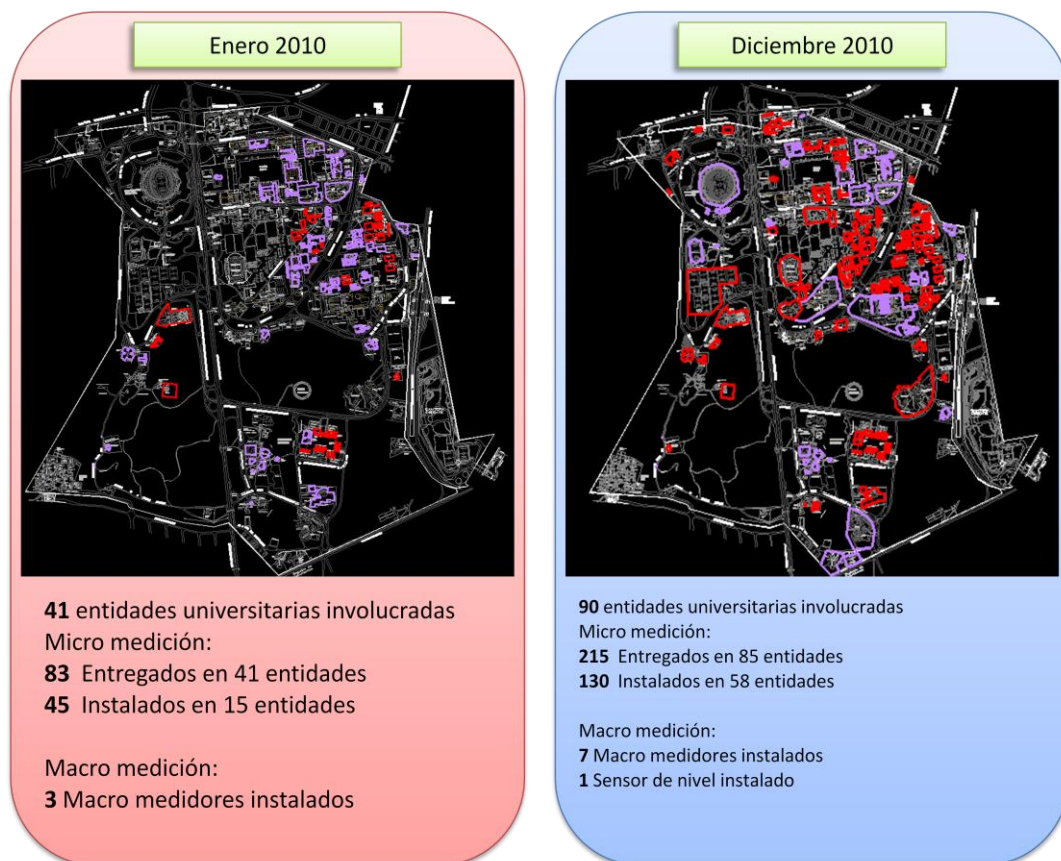


Figura 2. Avances en los trabajos de montaje del sistema de lectura automática presentados durante 2010.

Para lograr este propósito se propuso el siguiente esquema de trabajo:

Etapa 1. Dar de alta la información de los medidores: medidores proyectados, entregados e instalados, responsable del mantenimiento, características físicas, como diámetro, arreglo, fecha de instalación.

Etapa 2. Analizar y desplegar la información. En esta etapa se analizará la información y se desplegará en forma gráfica. Asimismo, en el programa se incluirán ciertas alarmas derivadas del análisis de la información de las mediciones, por ejemplo, una alarma que nos indique posible presencia de fugas en el medidor, otra que nos indique cuando un medidor no esté operando, etc.

Etapa 3. Enlazar los medidores captados por las antenas instaladas a nuestra interfaz y ponerlo en operación en internet.

Etapa 4. Enlazar la interfaz a un Sistema de Información Geográfico (SIG) que actualmente se encuentra en desarrollo.

Etapa 5. Crear un enlace a la página de internet del PUMAGUA.

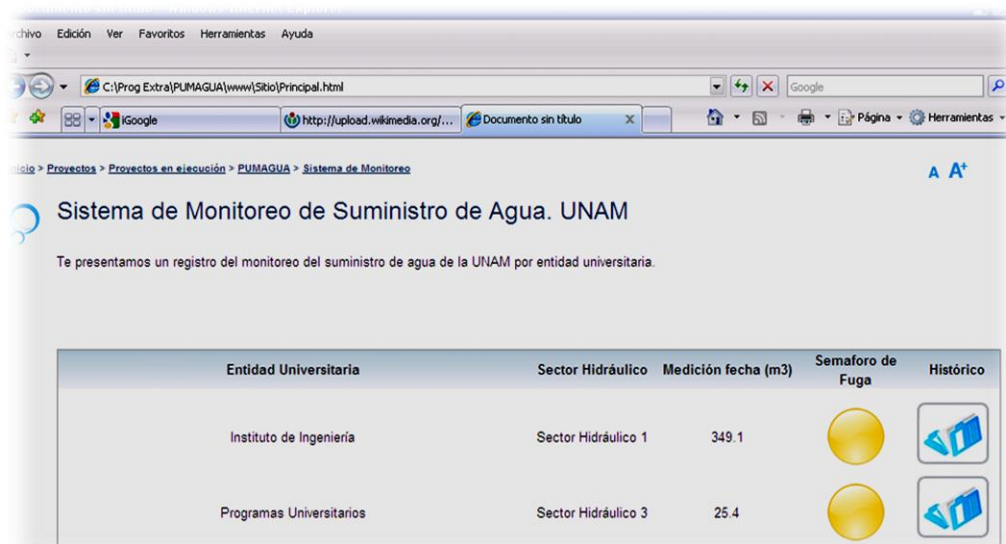


Figura 3. Interfaz de medición PUMAGUA

IV. Modelación de la red de distribución de Ciudad Universitaria

a. Etapas planteadas

La calibración del modelo del sistema de agua potable surge con el propósito de proporcionar las acciones necesarias para incrementar la eficiencia física e hidráulica del sistema de abastecimiento de agua potable.

Inicialmente se han propuesto tres escenarios a modelar:

- 1) **Operación Mixta.** Se refiere a la operación del sistema de abastecimiento de agua potable en sus condiciones originales de distribución (gravedad y bombeo a red).
- 2) **Operación por gravedad y sistema sectorizado.** Busca modelar el escenario actual: distribución por gravedad y red sectorizada. Este escenario permitirá el diseño de las obras necesarias para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema por gravedad.
- 3) **Operación ante eventos extraordinarios.** Se simularán escenarios críticos en el funcionamiento de la red, por ejemplo, la rotura de una línea de conducción, el fallo de un pozo o conjunto de estos, etc. El propósito es elaborar una guía de procedimientos ante emergencias que pudieran presentarse en el futuro.

b. Avances

Se ingresaron datos confirmados en campo al modelo en EPANET de CU para afinar la modelación de la red. Para ello se decidió primero crear una lista de los nodos y determinar su número y localización. Posteriormente se decidió nombrarlos a todos para así facilitar la localización de cada uno de ellos en el plano. Finalmente se han localizado 528 nodos en el plano hidráulico.

Para la alimentación del modelo, se recabó también información de presiones, relaciones presión–gasto en diferentes puntos para la comparación de lo modelado y lo medido en campo; se calcularon las cargas de bombeo de los equipos en los pozos y tanque bajo; se obtuvieron las curvas de variación horaria por medidor instalado. Actualmente se trabaja en la asignación de una curva a cada uno de los nodos correspondientes y se están midiendo coeficientes de rugosidad en algunos tramos de la red. Ver **Figura 4**.

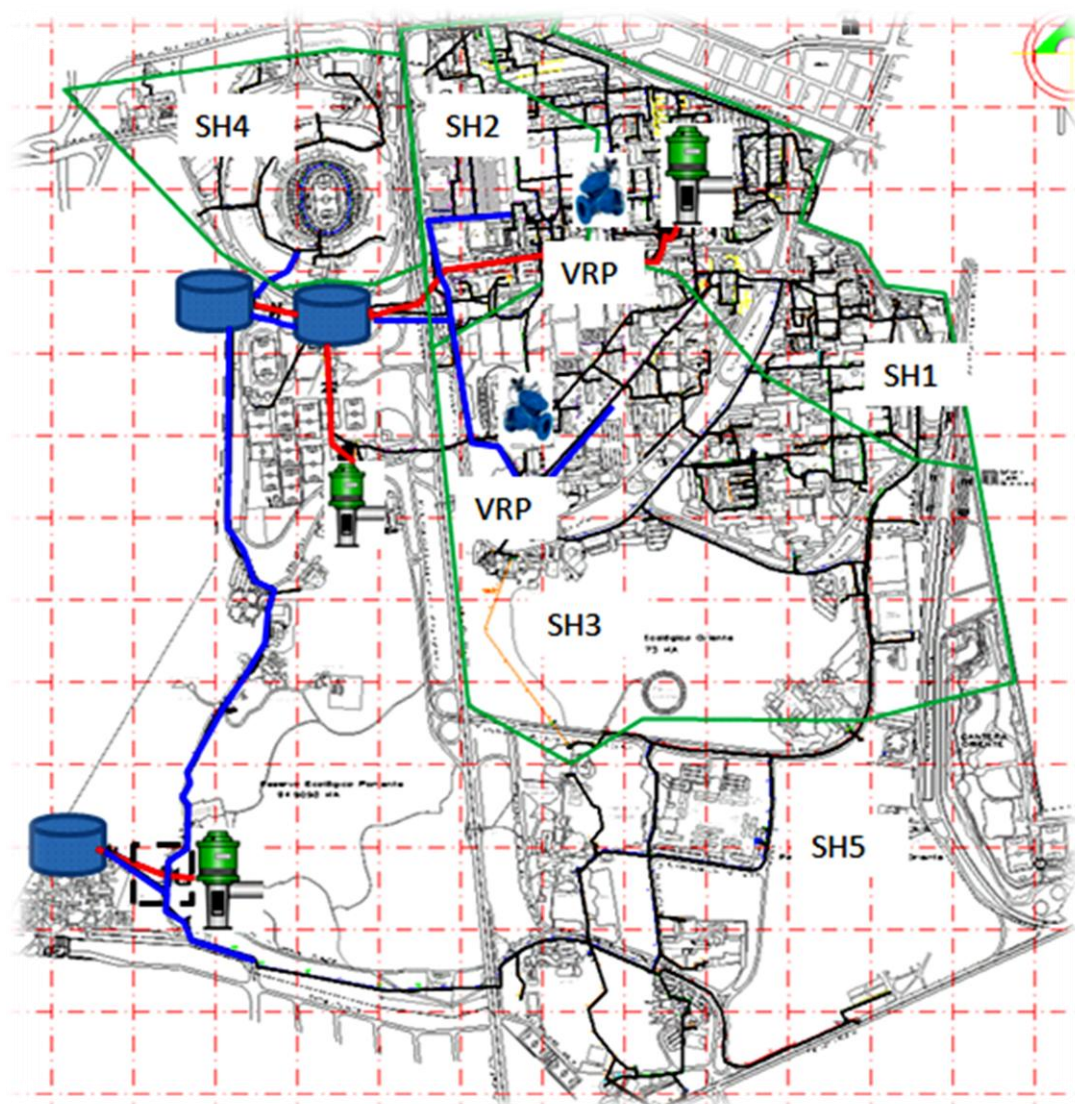


Figura 4. . Imagen de la calibración del modelo de agua potable de Ciudad Universitaria.

V. Recuperación de caudales

Durante 2010 y lo que va de 2011, los trabajos enfocados a la recuperación de caudales se han centrado en la selección de la estrategia más apropiada para la detección y localización de las fugas dentro del campus de Ciudad Universitaria, así como a la ubicación de estas al interior de las entidades.

Luego de la adquisición de equipos para la detección, localización y ubicación de fugas, se instrumentó una campaña en líneas principales. Las primeras líneas seleccionadas fueron aquellas con fugas mayores y más antiguas, con base en la información proporcionada por la DGOyC. Se encontró que este procedimiento de trabajo era muy ineficiente, ya que, después de recorrer siete kilómetros de tuberías, sólo se encontraron seis probables fugas, de las cuales sólo una fue confirmada. De aquí surgió la necesidad de cambiar la estrategia de recuperación de caudales por otra que permitiera ubicar las fugas de manera espacial y concentrar trabajos en aquellas zonas donde su magnitud fuera mayor.

Debido a esto, la nueva estrategia se enfocó en encontrar las áreas con fugas mayores. Por otro lado, esta estrategia considera determinar los elementos del sistema de distribución con mayor índice de fugas, es decir, establecer si las fugas presentes en una zona se encuentran con mayor frecuencia en las líneas principales o bien, al interior de las entidades. Esto último se facilitaría con la micro medición de los edificios. Ver **Figura 5**



Figura 5. Trabajos de recuperación de caudales. En la imagen, una fuga localizada y reparada.

Cada uno de los sectores hidráulicos fue dividido en subsectores bajo el mismo criterio de los sectores hidráulicos. De este modo, se determinaron puntos de control en los que se midió el gasto nocturno y se dio prioridad a las áreas con mayor nivel de pérdidas. Se formaron un total de 19 sub sectores, de los cuales, hasta ahora, se ha realizado la detección de fugas en tres de ellos. Se detectaron 23 litros por segundo. Sin embargo, se han localizado y reparado casi 4 litros por segundo como resultado de acciones de localización de fugas. Ver **Figura 6**

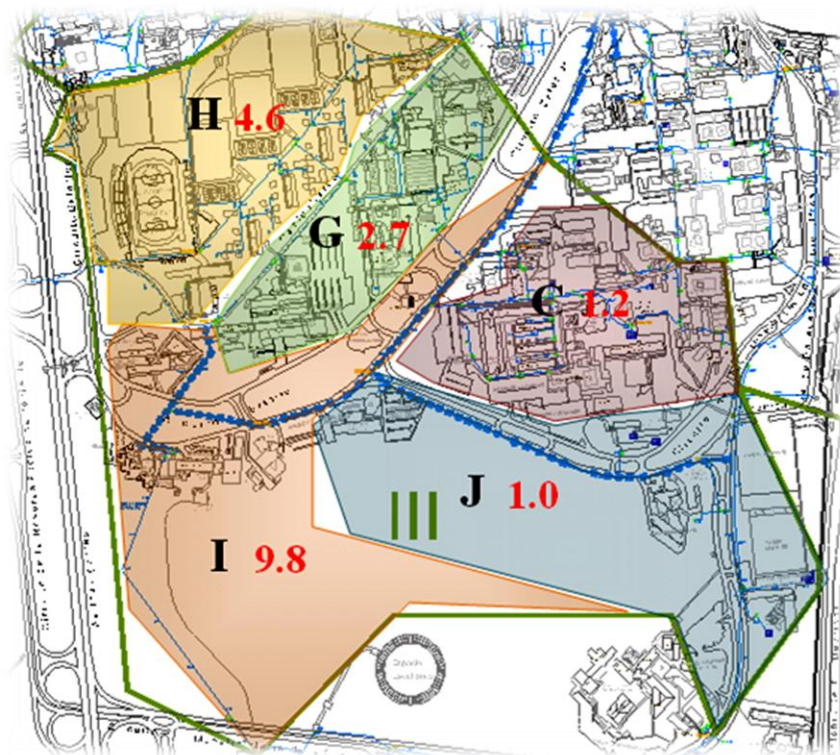


Figura 6. Subsectores hidráulicos en los que se ha iniciado el proceso de localización de fugas de agua en líneas principales

Las fugas inter-dependencia se trataron de una manera más puntual, estableciendo prioridades de acuerdo con la magnitud de las pérdidas, evaluadas en función del semáforo de fugas establecido por **PUMAGUA**. Diez dependencias fueron atendidas y se logró reducir un total de 5 litros por segundo de fugas. No fue posible eliminar la totalidad de las fugas detectadas debido, en parte, a la dificultad que representa localizar aquellas fugas muy pequeñas.

Se comenzaron los levantamientos de las cisternas del campus con el objetivo de contar con la información necesaria para programar inspecciones a las estructuras y lograr localizar fugas en ellas o, en su caso, descartarlas. Hasta el momento se tiene un avance del 60% en los trabajos del levantamiento de las cisternas y se ha hecho la inspección de tres de ellas, localizando una importante fuga en una y serios desperfectos en otra que derivan en continuos desperdicios de agua. En total, existen 44 cisternas en el Campus de Ciudad Universitaria.

Como trabajos adicionales, se efectuó la lectura estática de manómetros por la mañana y por la tarde, durante una semana en cada sector hidráulico, en función de su densidad de población y régimen de consumo.

Mediante el cambio de estrategia en líneas principales, el avance en el levantamiento e inspección de cisternas y, por supuesto, la evolución en la instalación de medidores en las dependencias, se estima que las pérdidas se recuperarán en un menor tiempo y con menor dificultad. Ver **Figura 7**.



Figura 7. Trabajos de levantamiento de cisternas de agua potable.

VI. Reducción de consumo de agua

a. Programa de muebles de baño

Monitoreo de consumo de agua de los Edificios 5, 12 y 18 del Instituto de Ingeniería

Los trabajos relativos a la sustitución de muebles de baño se enfocaron, por una parte, en realizar el monitoreo del consumo de agua de los núcleos de baño de los edificios 5, 12, 18 del Instituto de Ingeniería. Parte del monitoreo consiste en medir el ahorro de agua producto de los cambios de muebles de baño. A través de estas acciones, hoy se sabe que el suministro de agua en el edificio 5 ha sido reducido en un 50% respecto al consumo original medido, en tanto que en los edificios 12 y 18 del Instituto el ahorro mostrado es de hasta un 60%; además se tiene una revisión constante para verificar el funcionamiento de los muebles para un mejor servicio a la comunidad del Instituto de Ingeniería. Ver **Figura 8**. Con la implementación de agua de reuso en los baños de los edificios 12 y 18, a partir de los caudales generados por su planta de tratamiento, se ha bajado en un 65% el consumo de agua potable.



Figura 8. Monitoreo a los muebles de baño instalados en Ciudad Universitaria

Monitoreo de muebles de baño en otras entidades académicas de la UNAM

Como parte de las actividades que se llevan a cabo de manera continua en el año, se realizan recorridos cada tres meses para la verificación del buen funcionamiento de los muebles de baño instalados en las entidades de la UNAM, esto con el fin de corregir cualquier situación que pueda provocar desperdicio de agua como presencia de fugas, activación de los equipos por falta de calibración en los sensores o mal funcionamiento de los mismos, etc. Por esto mismo, se tiene constante relación con los jefes de servicio de las entidades universitarias para corregir cualquier problema que pudiera presentarse.

Inventario de muebles sanitarios

Actualmente se está realizando un inventario de muebles de baño de las dependencias que participan en el programa **PUMAGUA**. Se cuenta con la información de 50 de éstas, en las que se ha registrado un total de 2,450 muebles sustituidos hasta la fecha. Con estas sustitución de muebles de baño se están ahorrado 2 l/s de agua, lo que equivale a 170,000 litros de agua por día.

Talleres PUMAGUA de muebles de baño

Durante 2010, se realizaron dos talleres dirigidos al personal de mantenimiento de las dependencias universitarias que han sustituido sus muebles de baño por otros que cumplen con las especificaciones de **PUMAGUA**. En dichos talleres se proporcionó información sobre las características de los nuevos muebles y se les capacitó para darles mantenimiento.

b. Programa de áreas verdes y sustitución de vegetación

Jardines del Instituto de Ingeniería

A inicios de este año se dio comienzo a la ejecución del proyecto de Arquitectura de Paisaje para las áreas verdes del Instituto de Ingeniería, con la cual se dio seguimiento a dos objetivos esenciales:

- Bajar el consumo de agua con vegetación nativa de la REPSA.
- Regar las áreas verdes de alto consumo de agua restantes con agua de reuso.

Como primer paso se inició la sustitución en la sección denominada “Sección Muestra”, ubicada en la parte norte del edificio 1. Dentro de los trabajos desarrollados en esta primera etapa, se retiró la vegetación existente, se hizo poda de árboles y se llevó a cabo la aireación del suelo para permitir su oxigenación y eliminar la mayor cantidad de raíces. Ver **Figura 9**.

Posteriormente, se inició la plantación de la vegetación nativa. Las especies utilizadas en estos trabajos fueron: *Sedum dendroideum*, *Sedum confusum*, *Sedum graphosedum*, *Sedum mexicanum*, *Agave salmiana*, *Agave inaequidens*, *Echeveria gibbiflora*. Los trabajos referentes a esta sección concluyeron en el mes de marzo.

En el mes de octubre, se inició con los trabajos de la parte sur del edificio 4 y de la parte oriente del edificio 3. En estas secciones, de forma similar a la sección muestra, se inició con los trabajos de limpieza y acondicionamiento de la zona para la colocación de la nueva vegetación. Las especies colocadas en estas secciones son: *Zabala aloe*, *Echeveria gibbiflora*, *Muhlenbergia robusta*, *Cuphea ignea*.

Es oportuno mencionar la realización de modificaciones del proyecto ejecutivo realizado por Arquitectura del Paisaje, con el propósito de garantizar el óptimo desarrollo de la vegetación propuesta, acciones que dependieron de la zona y los clareos realizados; así como bajar los costos de la ejecución del proyecto sin perjudicar el beneficio del ahorro de agua en el riego en jardines.

Elaboración de una lámina de riego para las áreas verdes de CU

Durante el mes de mayo se inició el proyecto denominado “Estimación de la Lámina de Riego” para un riego de manera más óptima de las áreas verdes de la Universidad. El estudio, en un principio, ha tomado como marco de acción el campus central o la zona comúnmente conocida como “Las islas”.

Este estudio se desarrolla en conjunto con la Dra. Christina Siebe, investigadora del Instituto de Geología de la UNAM, la cual brinda su apoyo en la interpretación de datos obtenidos en campo y el procedimiento para la estimación de la lámina de riego.

El estudio inició recolectando muestras directas del campo: se hicieron 99 barrenos a diferentes profundidades (desde 2 hasta 25 cm) del suelo para disponer de información representativa del área bajo estudio.

A las muestras así obtenidas se les realizaron pruebas de laboratorio para determinar su capacidad de retención y la velocidad superficial del agua. Actualmente se están analizando estos datos y los proporcionados por el Instituto de Geografía (precipitación, evaporación, humedad relativa y temperatura). En una segunda etapa, en el SIG se colocarán los resultados del análisis, con lo cual se contará con los tipos del suelo del área de estudio, así como con las variables climatológicas. También se colocará la ubicación de los aspersores. Como resultado, será posible identificar los tiempos de riego recomendables para cada aspersor.



Figura 9. Trabajos en los jardines del Instituto de Ingeniería

c. Programa de captación de agua de lluvia.

Desde hace mucho tiempo, se ha captado y aprovechado el agua de lluvia en México y en el resto del mundo, para abastecer a las comunidades rurales y urbanas de este líquido; sin embargo, esta práctica ha ido en desuso, sobre todo, en grandes concentraciones humanas debido en parte al abastecimiento por medio de sistemas de distribución de agua potable y a la comercialización de agua embotellada.

Para el caso de la Universidad, se tiene el conocimiento de acciones que han llevado a cabo entidades en Ciudad Universitaria, enfocadas a captar y aprovechar el agua de lluvia y así reducir el suministro de agua potable que emplean para sus actividades diarias.

Uno de los casos de los que se hace mención se refiere el Instituto de Ciencias Nucleares, donde el sistema de captación permite abastecerlo de agua hasta por un periodo de seis meses. Otro caso muy importante se presenta en el estacionamiento del Patronato Universitario y la Dirección General de Servicios Generales, en la zona cultural del campus. Los estacionamientos fueron diseñados de tal manera para permitan la infiltración de agua al subsuelo, lo cual beneficia a esta zona en general, evitando inundaciones. Se tiene conocimiento del sistema de captación de agua de lluvia en la Facultad de Ciencias; sin embargo, este sistema está en desuso.

La Dirección General de Obras y Conservación también ha desarrollado acciones para el aprovechamiento del agua de lluvia, entre las que destacan la construcción de lavaderos en las vialidades para la canalización del agua de lluvia hacia grietas, así como la perforación de 16 pozos de absorción de agua de lluvia en puntos dentro del campus que presentaban serias inundaciones.

Programa de trabajo

Las actividades enfocadas al aprovechamiento del agua de lluvia en la Universidad se han propuesto en tres etapas de trabajo: a) Estado del arte: Mundo, México y la Universidad, b) Propuestas de ejecución de trabajos y c) Ejecución de trabajos y elaboración de manuales.

Avances en el Estado del Arte

Muchas culturas alrededor del mundo han usado la captación de agua de lluvia como una fuente de agua para consumo humano. Estos sistemas tradicionales promueven el abastecimiento permanente de agua y, con ello, la sostenibilidad de las comunidades.

Un sistema de captación de agua de lluvia es la colección de lluvia para su posterior uso en actividades que demanden agua. La base de este sistema es concentrar el escurrimiento de la lluvia y almacenarla en un contenedor o cisterna para un futuro uso.

En México existen 13 millones¹ de habitantes sin acceso al agua entubada, debido, sobre todo, a que más de 150 mil comunidades con menos de 100 habitantes se encuentran muy alejadas de las grandes concentraciones humanas. Por otro lado, las sequías e inundaciones afectan la producción agrícola, ganadera y forestal.

Entre las ventajas que proporcionan los sistemas de captación de agua de lluvia se encuentran a) Proveen de una fuente autosuficiente de agua localizada cerca del usuario, b) Reducen la necesidad y por tanto los costos de bombeo de aguas subterráneas, c) Proveen de agua suave de gran calidad, que es baja en contenidos minerales y d) La captación de agua de lluvia en techos es generalmente más barata que otras fuentes. Por otro lado, las desventajas que pueden traer consigo estos sistemas son las siguientes: a) Alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos, b) La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación y c) Muchas personas se oponen al cambio y esto puede generar problemas.

¹ FUENTE: **CONAGUA**. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de INEGI. Censos Generales y Conteos. Estadísticas del Agua en México 2008

Los componentes de los sistemas de captación de agua de lluvia sean grandes o pequeños son los siguientes:

Área de captación: es la superficie sobre la que cae la lluvia. Puede ser un techo o pavimento impermeable y puede o no incluir áreas de ambientación.

Transporte: canales o tuberías que transportan el agua desde el área de captación hacia su almacenaje.

Roof Washing: sistemas que filtran y remueven contaminantes y desechos. Esto incluye dispositivos de “primer lavado con las primeras lluvias”.

Almacenamiento: cisternas o tanques donde es colectada el agua de lluvia.

Distribución: el sistema que entrega el agua de lluvia, ya sea mediante gravedad o bombeo.

Purificación: incluye equipo de filtrado, destilación y aditivos, para filtrar y purificar el agua.

El componente purificación sólo es requerido para sistemas de agua potable y debe ocurrir generalmente antes de la distribución. Ver **Figura 10**.

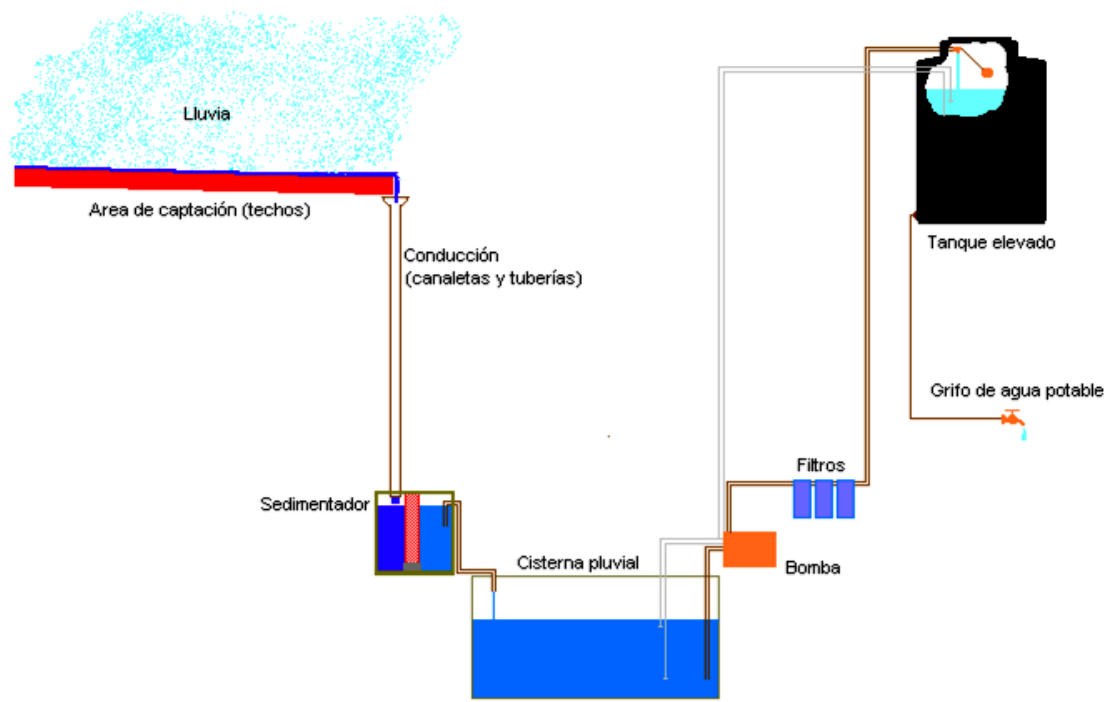
Desinfección solar de agua de lluvia

El agua de lluvia captada puede estar contaminada por microorganismos y químicos peligrosos, requiriendo un tratamiento previo a su utilización. Un enfoque que ha ganado apoyo en los últimos años es el uso de las propiedades desinfectantes de la luz solar SODIS (Solar Disinfection).

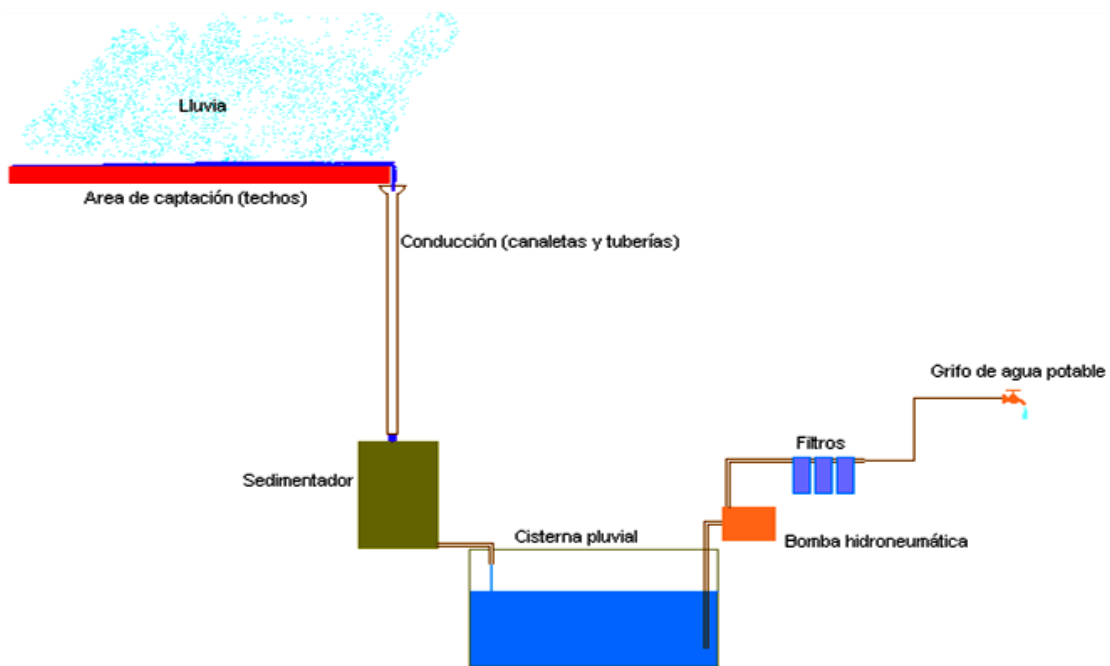
La combinación de rayos UV-A (315-400 nm) y la radiación infra-roja, eleva la temperatura del agua entre 50° y 55°C lo que destruye bacterias y virus. La fotocatalisis heterogénea con TiO_2 ² destruye contaminantes químicos y promueve la remoción de patógenos.

La desinfección solar es un método que se está probando en la remoción de contaminantes y patógenos del agua. Mediante la combinación de los sistemas de captación de agua de lluvia y desinfección solar es posible obtener agua apta para el consumo humano. Esta tecnología representa una oportunidad en lugares de nuestro país en los que existe escasez de agua, o en los sitios en donde se dificulta el acceso a este recurso. Se probará dentro de las instalaciones universitarias si este sistema de desinfección garantiza la salud de la población, con la finalidad de ponerla en uso.

² Dióxido de Titanio



Gravedad



Bombeo

Figura 10. Componentes del sistema.

VII. Monitoreo de calidad del agua

Es necesario contar con un programa de vigilancia y control de la calidad del agua para uso y consumo humano, desde las fuentes de abastecimiento, los sistemas de almacenamiento y la red de distribución de agua. Así como también en las aguas residuales que se generan en las distintas instalaciones, las prácticas y tecnologías actuales de tratamiento y reúso. De esta forma se minimizarán los riesgos para la salud de naturaleza tanto fisicoquímica como microbiológica que representen un peligro para la población. Para tal fin, se ha estado evaluando la calidad del agua en el *campus* de Ciudad Universitaria.

Se integró un equipo de trabajo conformado por tres dependencias universitarias: Instituto de Ingeniería, quien evalúa la calidad del agua considerando lo que se establece en las NOM-127-SSA1-2000 y NOM-003-SEMARNAT-1996. El Instituto de Ecología, quien se encarga del análisis de la calidad del agua a partir de indicadores microbiológicos alternativos no considerados en las Normas Oficiales Mexicanas, como son enterococos fecales, bacteriófagos, enterovirus y adenovirus y la Facultad de Medicina, quien valora la calidad de agua a partir de la presencia de bacterias patógenas o potencialmente patógenas, que son transmitidas por agua y que son agentes causantes de enfermedades gastrointestinales, como son *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Escherichia coli* enterotoxigénica (ETEC) (Nguyen et al., 2005), así como también microorganismos que producen infecciones diversas cuyo vehículo de transmisión es el agua como son los representantes del género *Mycobacterium* (Le Dantec et al., 2002, Falkinham 2009).

a. Abastecimiento, suministro y consumo

Abastecimiento

Con la finalidad de reducir los riesgos por exposición a contaminantes de naturaleza fisicoquímica y microbiológica, se han aplicado metodologías de barreras múltiples en las fuentes de abastecimiento de Ciudad Universitaria. Es importante mencionar que la zona del pedregal donde se ubica el campus universitario es una zona natural de recarga a los mantos acuíferos. Por medio de la extracción de agua de 3 pozos se abastece de agua potable a Ciudad Universitaria, dichos pozos son: el pozo de la Facultad de Química, del Multifamiliar y el del Vivero Alto.

Parámetros microbiológicos

Durante el monitoreo del año 2010 se realizaron 19 muestreos en cada uno de los pozos, con los cuales se evaluó la calidad del agua subterránea durante todo el año. Los parámetros microbiológicos determinados para cada muestra fueron: coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), enterococos fecales (EF), bacteriófagos (Fagos), enterovirus (EV), adenovirus (AdV), *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp., ETEC y *Mycobacterium* spp. De forma paralela se midieron parámetros fisicoquímicos como nitratos, turbiedad, sólidos disueltos totales, cloro residual, conductividad y pH.

Es importante precisar que durante el monitoreo de 2010 (**Figura 11**) se detectó en 7 ocasiones la presencia de CT, uno de ellos fue en el pozo de la Facultad de Química en la temporada cálida-lluviosa (agosto), en dos ocasiones en el pozo Multifamiliar en la temporada cálida-lluviosa (julio y octubre), y cuatro en el pozo del Vivero Alto; en la temporada cálida-seca (marzo, abril y mayo) y en la temporada cálida-lluviosa (octubre).

Con respecto a los CF, se aisló en 3 ocasiones durante el año 2010, dos de ellas en el pozo del Multifamiliar temporadas cálida-seca (abril) y cálida-lluviosa (septiembre) y un caso en el pozo del Vivero Alto en la temporada cálida-seca (mayo), mientras que en el pozo de Química no se detectó la presencia de CF durante todo el año. En cada uno de los aislamientos para los CF detectados se cuantificó una colonia (1×10^0 UFC/100 mL).

Los resultados obtenidos indican que el agua subterránea como fuente de abastecimiento, mantiene una calidad aceptable en los parámetros fisicoquímicos (los cuales se grafican en promedios quincenales y se pueden ver en las Figuras 1 a la 8 del anexo de Calidad del Agua). Cabe mencionar, que esta agua no se ha sometido a un proceso de desinfección, las muestras son antes de la cloración que se tiene en los pozos. En 2010 se encontró, al igual que en 2008 y 2009, la presencia de aislamientos continuos de bacterias de CT y eventos esporádicos de CF.

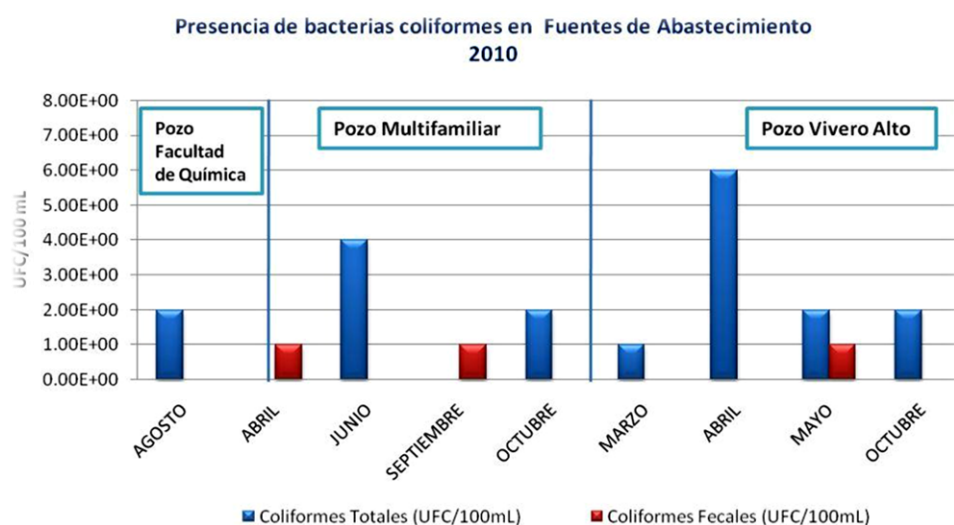


Figura 11. Análisis microbiológico en pozos de abastecimiento en la UNAM, antes del proceso de desinfección.

De los indicadores alternativos se detectó la presencia de Fagos en el Pozo de Química, en las temporadas cálida-seca (entre 5 y 7 UFP/mL), en la cálida-lluviosa (2 UFP/mL) y en la fría-seca (2 UFP/mL). Así mismo, en la temporada cálida-lluviosa fueron detectados EF (2 UFC/100 mL). A pesar de que los Fagos son evidencia de contaminación fecal, debe aclararse que las muestras fueron tomadas antes del sistema de desinfección (Figuras 66, 67 y 68 del anexo de Calidad del Agua). La cantidad de Fagos detectados puede ser removida por medio de desinfección con hipoclorito de sodio a concentraciones entre 0.5 y 2 mg/L, de acuerdo a lo señalado por Kasper (2007) para Centers for Diseases Control and Prevention (CDC).

En las muestras de agua del pozo del Multifamiliar se detectó la presencia de Fagos para las tres temporadas estudiadas (entre 2 y 26 UFP/mL); en la temporada fría-seca también se detectó la presencia de EF (Figura 68 del anexo de Calidad del Agua).

Para el pozo de Vivero Alto, en la temporada cálida-seca se tuvo un conteo de 18 UFP/mL para Fagos, EF solo se detectaron en dos muestras (entre 1 y 11 UFC/100 mL) (Figura 66 del anexo de Calidad del Agua).

En la temporada cálida-lluviosa se detectaron Fagos con conteos entre 2 y 6 UFP/mL mientras que EF solo se detectaron en una muestra con 2 UFC/100 mL (Figura 67 del anexo de Calidad del Agua).

Finalmente, durante la temporada fría-seca, se detectaron Fagos en una muestra (entre 6 y 14 UFP/mL), los EF solo se presentaron en una muestra (3 UFC/100 mL) (Figura 68 del anexo de Calidad del Agua).

Con fines comparativos en la **Tabla 1** se muestran los resultados obtenidos del análisis para la detección de virus entéricos en agua de las fuentes de abastecimiento durante 2009.

Tabla 1. Virus entéricos (genomas/mL), Fagos (PFU/mL) en agua subterránea por tres periodos (2009)

Temporadas 2009	Indicador viral		
	AdV	EV	Fagos
Fría-seca	31	2	<1
Cálida-seca	<1	<1	23
Cálida-lluviosa	<1	<1	20

Con respecto a la detección de bacterias patógenas, es relevante mencionar que fue detectada la presencia de ETEC, por medio de la técnica de PCR-Hibridación utilizando como sonda el gen *e/tB* que codifica para la toxina termolábil, en el pozo de Química en la temporada cálida-seca.

Si bien los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos del agua subterránea muestran conteos bajos de los indicadores microbiológicos estudiados, es importante considerar que su presencia antes de la desinfección es evidencia de que el agua subterránea está siendo contaminada por materia fecal, mostrado en el caso del pozo de Química que a lo largo del 2010 fueron detectados CT, EF, Fagos y ETEC. Por esto, es fundamental que los sistemas de desinfección del *campus* se actualicen a equipos totalmente automatizados dentro de un sistema SCADA de monitoreo y se mantengan en condiciones óptimas de operación.

Además, se recomienda realizar trabajos orientados a identificar la fuente de contaminación del acuífero y en la medida de lo posible controlarla. Por otro lado, es necesario resaltar que las bacterias coliformes, indicador microbiológico incluido en la NOM-127-SSA1-2000, no fueron detectadas en todas las muestras donde se identificó la presencia de otros indicadores. Esto apoya la idea de que la norma vigente de agua para uso y consumo humano, debe complementarse mediante el análisis microbiológico con indicadores como los considerados en este trabajo.

Parámetros Físicoquímicos

La concentración de los componentes físicoquímicos (Figuras 1 a 5 del anexo de Calidad del Agua), se encuentran por debajo de los límites establecidos por la legislación mexicana en materia de agua potable, aunque es necesario mencionar que las muestras de los pozos es agua subterránea sin un proceso de desinfección. La concentración de Nitratos fue un parámetro al que se le dio especial atención dadas las concentraciones que se detectaron en los años 2008 y 2009, muy cercanas a los límites permisibles cuyo valor máximo registrado fue de 6.7 mg/L y el límite máximo que establece la NOM-127-SSA1-1994 modificada en 2000, es de 10 mg/L. De tal manera que en la **Figura 12** se muestran las concentraciones encontradas para 2010, las cuales oscilaron en 1 y 2 mg/L con un valor máximo en el pozo del Vivero Alto de 4.2 mg/L.

En el caso particular del *campus* central de la UNAM, la presencia de Nitratos en el agua subterránea se asocia en parte a la infiltración de aguas residuales. De acuerdo con información disponible, en las colonias aledañas al *campus* (específicamente el Pedregal), la disposición de sus aguas residuales es mediante fosas sépticas, y más aún, aproximadamente el 15% de las entidades en el *campus* lo hacían de esta manera. Otra fuente de nitratos lo constituye el uso de fertilizantes.

Lo anterior conlleva un riesgo potencial de contaminación de las fuentes de abastecimiento si no se toman las medidas preventivas respectivas. Bajo tales condiciones, se prevé a futuro un detrimento en la calidad del agua por la presencia de nitrógeno que mediante la acción de bacterias reductoras pueden liberar nitritos que afectan a la salud. Así también la formación de cloraminas orgánicas. Por lo que, aunque en éste año las concentraciones fueron bajas es importante dirigir atención a éste parámetro.

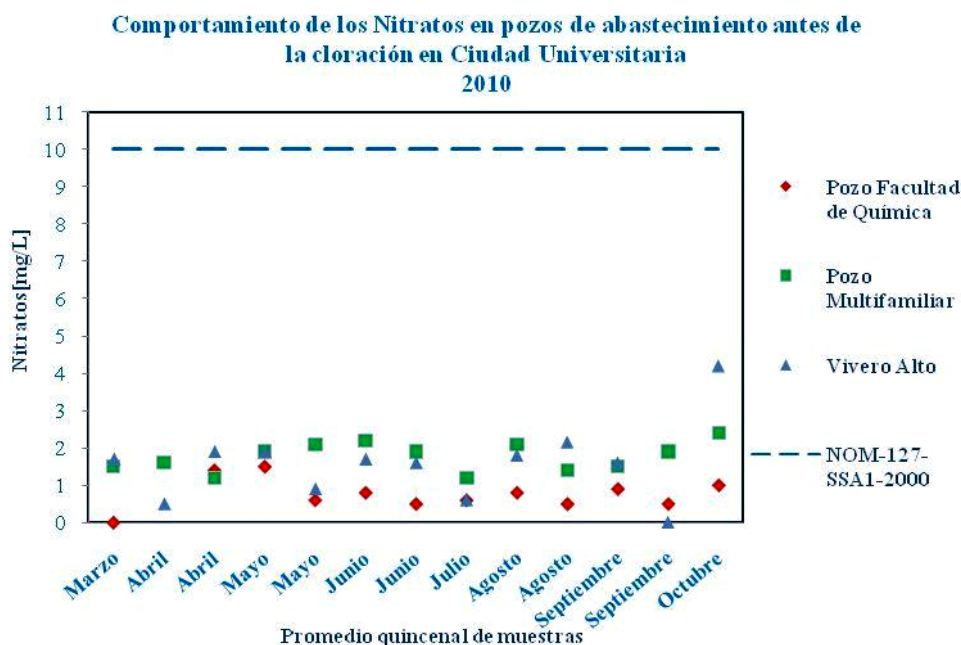


Figura 12. Comportamiento de nitratos en pozos de abastecimiento antes de la cloración en Ciudad Universitaria 2010.

Suministro

Se realizó una propuesta para mejorar y modernizar los sistemas de desinfección (ver documento completo en el anexo de Calidad del Agua) basada en actualizar y hacer eficiente el sistema de desinfección que opera actualmente en el *campus*. Entre otros aspectos importantes, se propone la incorporación de la tecnología del ozono (desinfectante primario) al proceso de desinfección, en combinación con el cloro (desinfectante secundario) con el fin de garantizar la inocuidad microbiológica del agua para consumo. El *ozono*, oxidante muy poderoso, ha estado ubicado en el campo del tratamiento de agua potable, ya que tiene la capacidad de lograr niveles más altos de desinfección en comparación con el cloro o la luz ultravioleta.

El uso de una tecnología avanzada como el ozono, tiene ventajas importantes. Además de ser un desinfectante altamente efectivo, contra una amplia gama de organismos patógenos y compuestos orgánicos, tiene la capacidad de mejorar las propiedades organolépticas del agua, minimizando al mismo tiempo la formación de subproductos nocivos a la salud.

Se ha encontrado que el ozono destruye algunos compuestos orgánicos refractarios, tales como las sustancias húmicas, que son precursoras de la formación de trihalometanos (THMs). Por lo que una práctica que comienza a tener auge, es aplicar primero ozono y posteriormente cloro, para mantener un efecto residual y evitar la formación de THMs (García-Villanova, 2003). Otra ventaja es que la ozonación no produce sólidos disueltos como el cloro y no se afecta por el ion amonio o por el pH de la solución.

Los virus entéricos han llamado la atención debido a su presencia en agua por tiempos prolongados y a una mayor tolerancia al cloro en comparación con bacterias fecales. En este sentido, se ha reportado que debido a su mayor poder oxidante, el ozono tiene un mayor efecto de inactivación sobre virus entéricos en agua con respecto al nivel de inactivación que se logra utilizando cloro (Maier *et al.*, 2009).

Las micobacterias no tuberculosas (MNT) son microorganismos ubicuos y se han aislado de diferentes fuentes del medio, entre ellas el agua. Desde 1980 a la fecha se ha observado un incremento de las infecciones por MNT tanto en personas inmunosuprimidas como en inmunocompetentes y una de las fuentes de transmisión de las MNT es el agua en sus diferentes tipos.

Algunos microorganismos en especial MNT, parásitos y algunas bacterias presentan resistencia a métodos de desinfección, en especial el cloro. La cantidad de cloro necesaria para inactivar las micobacterias expresada en términos de coeficiente de letalidad ha sido estimada en una dosis de 60 mg por min por litro. Con esta dosis se inactivan tan solo 1.5 unidades logarítmicas en *Mycobacterium fortuitum*. Por tanto, la desinfección con ozono es recomendable como un segundo tratamiento para el abatimiento de estas bacterias que son altamente resistentes al cloro (Taylor *et al* 2000).

Además de cumplir con el objetivo primordial, que es proteger la salud de la Comunidad Universitaria, con esta medida se busca ubicar a la UNAM a la vanguardia en el uso de tecnologías de punta en sistemas de abastecimiento de agua potable, así como proponer agentes patógenos que actualmente no se encuentran dentro de las normas mexicanas y que de acuerdo a la experiencia de **PUMAGUA** son parámetros importantes en el monitoreo de la calidad del agua tanto potable como de reuso.

Consumo

Análisis de laboratorio

La evaluación de la calidad del agua en los puntos de consumo directo durante el año 2010, fue realizada en tres entidades del campus: Instituto de Ingeniería, Torre de Rectoría y Torre de Ingeniería.

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM se llevaron a cabo muestreos continuos durante todo el año en tres puntos: entrada al edificio, llave y filtro del área de cafetería del edificio 5, esto con la finalidad de evaluar y monitorear la calidad del agua que se abastece a este edificio.

En cada uno de estos puntos se realizó un total de 16 muestreos con los cuales se evaluó la calidad del agua durante este año. Los parámetros analizados en cada muestra fueron: CT, CF, nitratos, turbiedad, sólidos disueltos totales, cloro residual, conductividad y pH. Los resultados obtenidos durante este monitoreo de la calidad del agua en estos tres puntos de consumo directo del edificio 5 (ver Figuras 9 a la 32 del anexo de Calidad del Agua). Para el caso de bacterias coliformes los resultados en 2010 indican que no hay CT ni CF.

De acuerdo a la normatividad es posible constatar 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 que puedan afectar a la salud de la población. No obstante hay que poner especial atención en los resultados de cloro residual libre, que durante este periodo de 2009 a la fecha más de 60 días se ha dejado de clorar el agua.

Es importante mencionar que respecto al cloro libre residual, de los 16 muestreos realizados, hubo dos eventos (primera quincena de abril y primera quincena de mayo) en los que la concentración de éste parámetro se determinó por debajo del límite que establece la NOM-127-SSA1-2000 (0.2-1.50 mg/L) (**Figura 13**), inclusive se obtuvieron lecturas de 0 mg/L. Esto indica la probabilidad de que en esas fechas no se haya llevado a cabo la cloración y que sigue sin existir una operación controlada de los sistemas de desinfección.

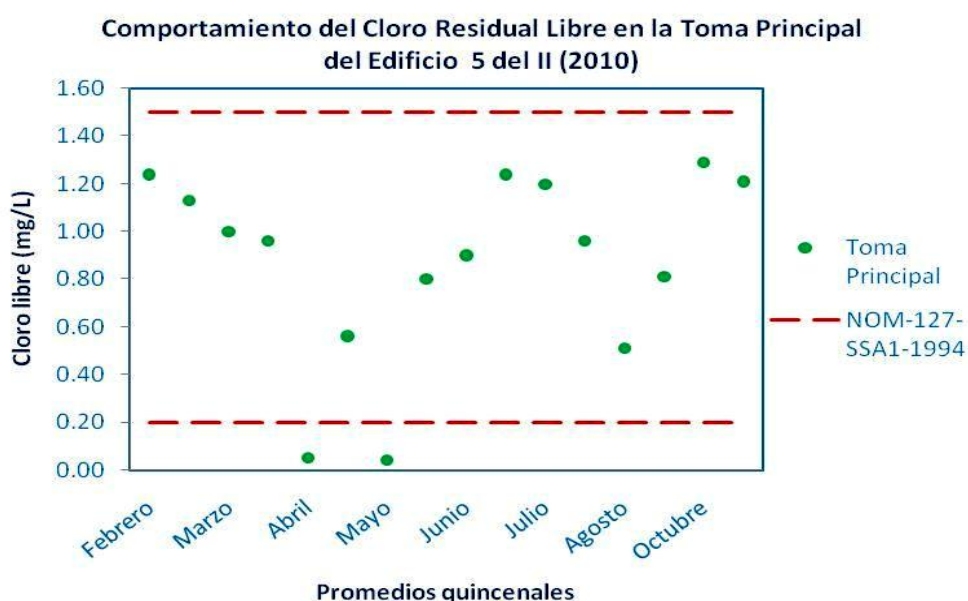


Figura 13. Comportamiento del cloro residual libre en el agua potable que se consume en el edificio 5 del Instituto de Ingeniería

Al igual que en el agua subterránea, al parámetro de Nitratos se le dio seguimiento meticuloso dadas las concentraciones que se detectaron en los años 2008 y 2009, muy cercanas a los límites permisibles (10 mg/L). En la **Figura 14** se muestran las concentraciones encontradas para 2010, las cuales se detectaron entre 2 y 4 mg/L, se observa que están muy por debajo del límite máximo que establece la NOM-127-SSA1-2000.

En los promedios anuales de diez parámetros de control, medidos durante el año 2010, en los 16 muestreos realizados para el agua potable en el Instituto de Ingeniería; se observa que el agua suministrada cumple con los límites permisibles establecidos en la normatividad vigente para el agua para uso y consumo humano. Así también se evaluaron indicadores alternativos de contaminación microbiológica como EF y Fagos, los cuales no fueron detectados en el muestreo puntual realizado.

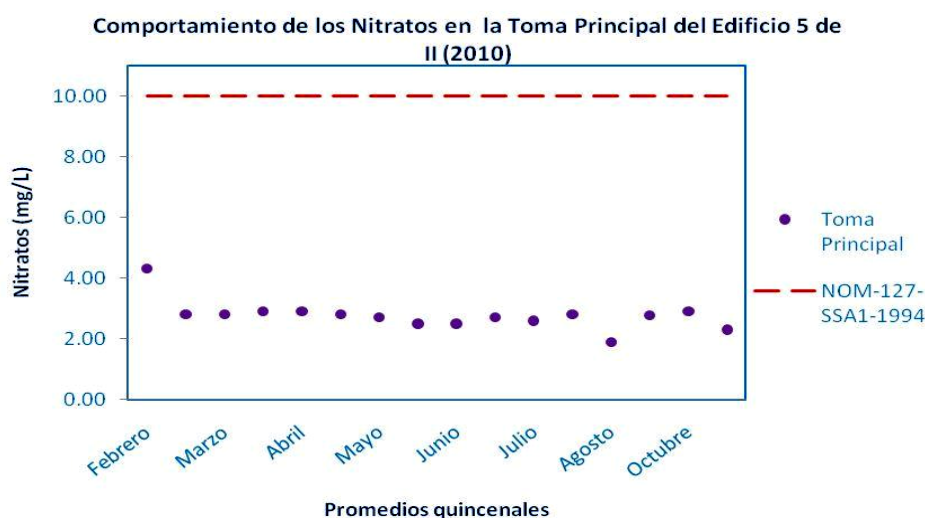


Figura 14. Comportamiento de los nitratos en el agua potable que se consume en el edificio 5 del Instituto de Ingeniería

Los resultados obtenidos de los parámetros analizados en los tres puntos de consumo, muestran que la calidad del agua para uso y consumo humano que se suministró a este edificio durante 2010 se mantuvo dentro de los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 modificada en el 2000. En febrero de 2010 se hizo un análisis completo que incluyó todos los parámetros establecidos por la normatividad, como resultado todos los parámetros se encuentran dentro de la norma.

Los análisis de calidad del agua realizados en la Torre de Rectoría (**Tabla 2**), consistieron en realizar un muestreo puntual durante el mes de diciembre del 2009 con la finalidad de evaluar contaminantes microbiológicos y fisicoquímicos (cloro libre residual), para ello se seleccionaron tres sitios de muestreo que abastecen de agua para uso y consumo humano al edificio. Los sitios muestreados fueron: la Red de distribución (entrada a la cisterna), cisterna y llave del área de cafetería del piso 7.

Tabla 2. Análisis microbiológico y de cloro residual libre en tres sitios específicos que abastecen de agua potable a la Torre de Rectoría

MUESTRA	CT UFC/100 mL	CF UFC/100 mL	EF UFC/100 mL	Fagos UFP/mL	Cloro libre residual
Red de agua potable	0	0	<1	<1	1.19 mg/L
Cisterna	0	0	<1	<1	1.15 mg/L
Llave de tarja	0	0	<1	<1	1.02 mg/L

UFC= Unidades Formadoras de Colonias; UFP= Unidades Formadoras de Placa.

El muestreo fue realizado conforme a la norma NOM-127-SSA1-1994, modificación 2000, donde se llevó a cabo la identificación de los CT, CF, EF y Fagos; los cuales fueron analizados por triplicado. Como resultado no hubo crecimiento bacteriano en los medios de cultivo específicos, así como tampoco de Fagos. En lo referente a las concentraciones de cloro libre residual para las muestras fueron las siguientes: Red de distribución (entrada a la cisterna) 1.19 mg/L, Cisterna 1.15 mg/L y Llave 1.02 mg/L, al comparar los resultados obtenidos con los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 (0.2 – 1.5 mg/L) se estableció que el agua para uso y consumo humano que se suministró a la Torre de Rectoría, cumple con los límites permisibles que establece esta norma, considerando solo esos parámetros microbiológicos.

Es preciso mencionar que los resultados obtenidos fueron puntuales, por lo que se recomienda llevar a cabo un monitoreo de forma continua para realizar una evaluación más representativa de la calidad de agua.

Torre de Ingeniería

El análisis de calidad realizado en la Torre de Ingeniería consistió de un muestreo puntual de 2 puntos en la torre (la cisterna y el filtro de oficinas del piso 5) que abastecen agua para uso y consumo humano. Este muestreo se llevó a cabo el día 27 de octubre del 2010 con la finalidad de evaluar los contaminantes microbiológicos y fisicoquímicos presentes en las muestras de agua colectadas.

El muestreo fue realizado conforme a la NOM-127-SSA1-1994, modificación 2000, analizando las muestras en el Instituto de Ingeniería donde se realizó la determinación de CT, CF, EF y Fagos, cloro libre residual, pH, turbiedad, sólidos disueltos totales y NO₃, los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Resultados del análisis de Calidad del Agua en la Torre de Ingeniería.

Parámetro	Cisterna	Piso 5 (filtro de oficinas)	Límites permisibles NOM-127-SSA1-1994
CT (UFC/100mL)	0	0	0 UFC/100mL
CF (UFC/100mL)	0	0	0 UFC/100mL
EF (UFC/100mL)	<1	<1	Indicador alternativo
Fagos (UFP/mL)	<1	<1	Indicador alternativo
Cloro residual libre (mg/L)	1.23	0.4	0.2 – 1.5
pH	7.72	7.65	6.5-8.5
Turbiedad (UNT)	1.24	1.18	5 UNT
Sólidos disueltos totales (mg/L)	210	210	1000 mg/L
NO ₃ (mg/L)	1.70	1.1	10 mg/L

Como se observa, los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, modificación 2000, es importante recalcar que estos son resultados puntuales, por lo tanto al igual que en el caso de la Torre de Rectoría se recomienda hacer un monitoreo continuo para obtener una evaluación representativa de la calidad del agua.

Análisis en tiempo real, on-line

La evaluación de la calidad del agua on-line de los puntos de consumo directo, se llevó a cabo mediante el sistema de analizadores en línea en un solo punto en particular; la entrada de agua al edificio 5 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El monitoreo en línea se realizó con la finalidad de evaluar en tiempo real la calidad del agua que se suministró en este edificio. El monitoreo se realizó mediante el sistema de analizadores en línea, el cual consta de 6 sensores que determinan la concentración de cloro residual, nitratos, turbiedad, pH, conductividad y temperatura. El sistema de analizadores en línea hace determinaciones cada 30 segundos, sin embargo, se ha configurado para registrar y almacenar datos cada 5 minutos.

Los promedios anuales se muestran en la **Tabla 4**. La calidad del agua en este sitio se mantuvo dentro de los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, modificación 2000 durante este año. Los promedios mensuales de éstos parámetros se presentan en las figuras 33 a 38 del anexo de Calidad del Agua.

Tabla 4. Promedios anuales de cada parámetro analizado mediante el sistema de analizadores en línea para monitorear la calidad del agua a la entrada al edificio 5 del II-UNAM

Parámetro	Unidades	Promedio anual (Analizadores en línea)	Límites permisibles (NOM-127-SSA1-1994)
Cloro residual	mg/L	0.38	0.2 – 1.5
Nitratos	mg/L	6.12	10
Turbiedad	UTN	0.18	5
pH	---	6.9	6.5 – 8.5
Conductividad	mS/cm	0.19	NE
Temperatura	°C	17.9	NE

NE: Parámetro no establecido en la norma.

Es preciso resaltar, el parámetro de cloro libre residual, esto debido a que en el laboratorio se midieron dos eventos en los que éste parámetro no cumplió con la normatividad (0.2-1.50 mg/L) que establece la NOM-127-SSA1-2000. Las lecturas on-line indicaron que la concentración de cloro residual libre estuvo por debajo de 1mg/L. Esto indica que aunque se cumple con la normatividad, hay que dar seguimiento muy estricto a éste parámetro, ya que es un indicador a considerar para una adecuada desinfección al agua de suministro.

De acuerdo a los resultados obtenidos y registrados en la base de datos on-line se concluye que el agua suministrada al edificio 5 del II-UNAM durante 2010 fue apta para su uso y consumo humano, ya que los parámetros monitoreados cumplieron con la normatividad. Sin embargo, se hace hincapié en contar con un sistema de desinfección automatizado que garantice el cloro residual en el abasteciendo, cuestión que por el momento no se tiene.

b. Agua residual

Es importante recapitular los resultados más relevantes de las tecnologías de tratamiento obtenidos desde el inicio del programa **PUMAGUA**, esto debido a que en el año 2010 se han llevado acciones concretas derivadas del diagnóstico realizado, con las cuales se mejora la calidad del agua de los efluentes a fin de cumplir con la normatividad en materia de reuso en servicios al público con contacto directo (NOM-003-ECOL-1997).

Las plantas BRAIN (Bio-Reactor Anaerobio Integrado), en 2009 fueron clausuradas, como acción en el año 2010 se construyó una red de drenaje que canalizará el agua residual generada en la zona cultural hacia la planta de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

De acuerdo al diagnóstico que la planta de tratamiento de “Cerro del Agua” no operaba a su capacidad de diseño (40 L/s), y que su efluente no cumplía con la normatividad (NOM-003-ECOL-1997). Como resultado de ello, derivó en que las autoridades universitarias iniciaran en el año 2010 los trabajos de adecuación al proceso de tratamiento en la planta. Se incluirá un proceso de ultrafiltración en el tratamiento. En una primera etapa generará 25 l/s.

En el caso de la planta de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, se determinó que la planta está diseñada para tratar 7.5 l/s, y debido a la falta de infraestructura para conducir agua residual hasta esta planta, estaba operando entre 1–1.5 l/s. El efluente de esta planta no cumplió con una calidad de agua necesaria para el reuso con contacto directo. Este diagnóstico sugirió la rehabilitación completa de la planta para cumplir con la calidad necesaria para su reuso en servicios al público. La rehabilitación fue terminada en 2010 y el tren de tratamiento se encuentra en proceso de estabilización.

De igual forma, en la planta de tratamiento del Instituto de Ingeniería se llevó a cabo un diagnóstico por el grupo de calidad del agua del Instituto de Ingeniería, se hicieron las adecuaciones convenientes para obtener un efluente que pudiera ser reutilizado en servicios al público con contacto directo. En 2010 el agua tratada por dicha planta cumplió con lo establecido en la normatividad (NOM-003-ECOL-1997), actualmente el agua tratada se reutiliza en sanitarios de uno de los edificios bajando su consumo de agua potable en un 65%.

El monitoreo de la calidad del agua residual realizado durante 2010 se llevó a cabo en dos puntos de monitoreo, el influente de la planta de tratamiento de Cerro del Agua y el influente de la planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

Durante el monitoreo de la calidad del agua de los influentes, se realizó un total de 11 muestreos en la planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, mientras que para el caso de la planta de tratamiento de Cerro del Agua solo se realizaron 4 muestreos durante la primera mitad del año, esto debido a que en esta última se iniciaron trabajos de remodelación desde el mes de julio.

Los parámetros de monitoreo analizados en cada muestra incluyeron CT, CF, indicadores alternativos y bacterias patógenas, demanda bioquímica de oxígeno₅, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, conductividad, pH y temperatura.

El análisis microbiológico del agua residual que ingresa a las plantas de tratamiento muestra la lógica presencia de materia fecal, que idealmente debe ser removida con el tratamiento que se les da en dichas instalaciones. Si bien la presencia de todos los indicadores estudiados puede no ser extraordinario en aguas residuales, las cantidades si están relacionadas con la población que las produce. Ésta información debe dar la pauta para diseñar y decidir el tipo de tratamiento, considerando que el agua producida por la planta de tratamiento será reusada para riego de áreas verdes que son utilizadas como zonas recreativas.

c. Agua tratada para reuso

La calidad del agua, tanto la que se destina al consumo humano como la que se destina al reuso, impacta la salud de la comunidad universitaria. La caracterización de calidad de agua no es un ejercicio abstracto, se da en un contexto específico y está asociado al uso que se propone dar al agua. El reuso define la calidad deseada del agua o si demanda ser tratada para cumplir con la normatividad que permita su posterior aprovechamiento en forma segura, para poder sustituir el uso de agua potable en actividades que no requieran tal calidad. En éste contexto, si las prácticas de reuso del agua tratada están dirigidas principalmente al riego de áreas verdes, y los hábitos de uso practicados por la población universitaria implican un contacto directo, es fundamental desarrollar estrategias para preservar la calidad del agua tratada con fines de reuso.

En los años 2008 y 2009 se llevaron a cabo análisis de la calidad del agua tratada, tanto en los efluentes, en los sistemas de riego (aspersores y bioaerosoles) y en los pastos. Sin embargo un punto crucial sujeto a monitorear y que no había sido posible realizar eran las cisternas de almacenamiento del agua tratada.

Para tal efecto en 2010 el enfoque principal en relación a la calidad del agua tratada con fines de reuso, fue llevar a cabo un diagnóstico del estado físico de las cisternas de almacenamiento, así como la calidad del agua de las mismas, no obstante es importante hacer mención que era conveniente hacer una evaluación en el tren de recorrido del agua tratada hasta llegar al contacto directo con el público.

Plantas de tratamiento (efluentes)

El monitoreo de la calidad del agua para reuso consistió en evaluar la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de Cerro del Agua y Ciencias Políticas y sociales. Durante este periodo se realizaron un total de 11 muestreos en el efluente de la planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, y 4 en el efluente de la planta de tratamiento de Cerro del Agua.

Los parámetros de monitoreo analizados en cada muestra incluyó la determinación de CT, CF, indicadores alternativos y bacterias patógenas, demanda bioquímica de oxígeno⁵, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, conductividad, pH y temperatura. De los parámetros analizados solo los coliformes totales, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno⁵ están normados en la NOM-003-ECOL-1997 (ver Figuras 50 a la 57 y 70 a 74 del anexo de Calidad del Agua). Estos resultados indican que la mayoría de los análisis están fuera de la norma, por lo tanto el agua proveniente de estas dos plantas de tratamiento no cumplió con la calidad necesaria para su reuso durante el año 2010. En las tres temporadas muestreadas se detectó la presencia de CT, CF, EF, Fagos.

Cisternas de almacenamiento para riego

En 2010 se llevó a cabo un inventario de las cisternas de almacenamiento para agua residual tratada existentes en el *campus* Universitario, mediante una inspección física de cada una de ellas. Se encontraron 13 cisternas de este tipo: Estadio olímpico, Campos de calentamiento, Tepozán, Estanque de peces, Unidad de seminarios, Jardín botánico, Pumitas I, Pumitas II, Química, Cisterna Central, Servicios médicos, Campos de beisbol y Veterinaria; en 2 de ellas (Estadio olímpico y Campos de calentamiento) no se obtuvo acceso durante todo el año, por lo cual solo se monitorearon las 11 cisternas restantes. Durante la inspección física se detectó que la mayoría de las cisternas estaba en malas condiciones debido a la falta de mantenimiento, algunas presentaban fugas, otras se encontraban abiertas e incluso algunas no tenían tapaderas.

Lo anterior reforzó la necesidad de monitorear la calidad del agua en cada una de estas cisternas, debido principalmente al riesgo potencial que representan para la población Universitaria. Es necesario resaltar que el agua almacenada en estas cisternas es utilizada para el riego de los jardines del *campus* Universitario, los cuales son utilizados como áreas recreativas para diversas actividades por la comunidad universitaria y visitantes.

Los parámetros monitoreados en cada cisterna fueron; CT, CF, EF, Fagos, bacterias patógenas, demanda bioquímica de oxígeno5, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, conductividad, pH y temperatura. De los cuales solo los CT, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno5 (Ver **Figuras 15, 16 y 17**) están establecidos en la NOM-003-ECOL-1997. Se observa en las figuras que para la mayoría de las cisternas, los parámetros están fuera de lo establecido por la legislación.

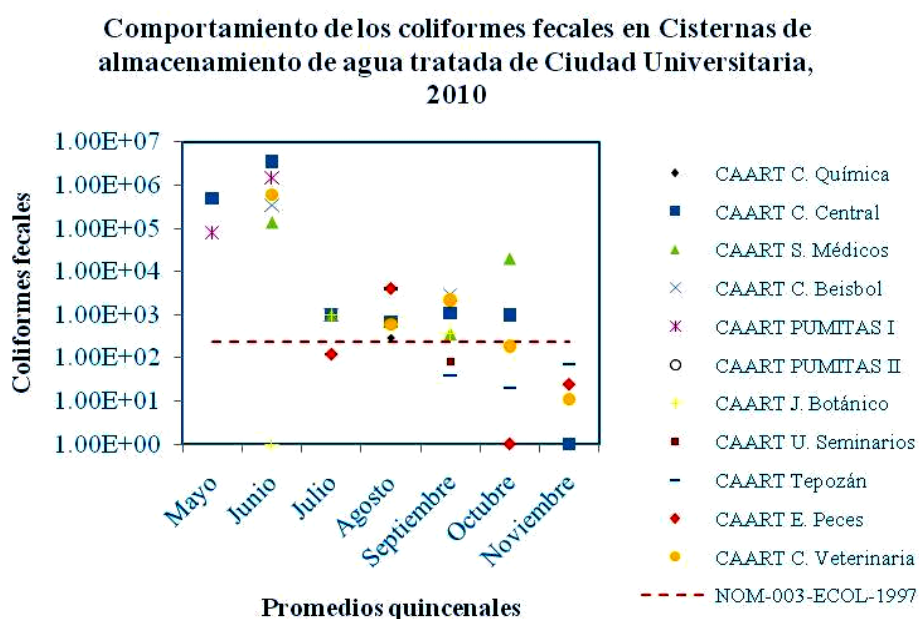


Figura 15. Comportamiento de las bacterias coliformes fecales en cisternas de almacenamiento de agua tratada para reuso. (CAART = Cisterna de Almacenamiento de Agua Residual Tratada).

Comportamiento de los sólidos suspendidos totales en el Cisternas de almacenamiento de agua tratada de Ciudad Universitaria, 2010

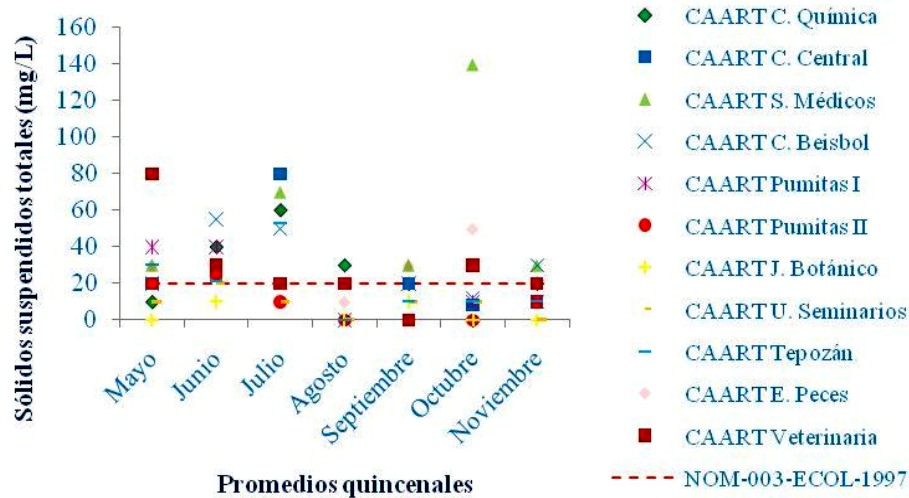


Figura 16. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales en cisternas de almacenamiento de agua tratada para reuso. (CAART = Cisterna de Almacenamiento de Agua Residual Tratada).

Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en Cisternas de almacenamiento de agua tratada de Ciudad Universitaria, 2010

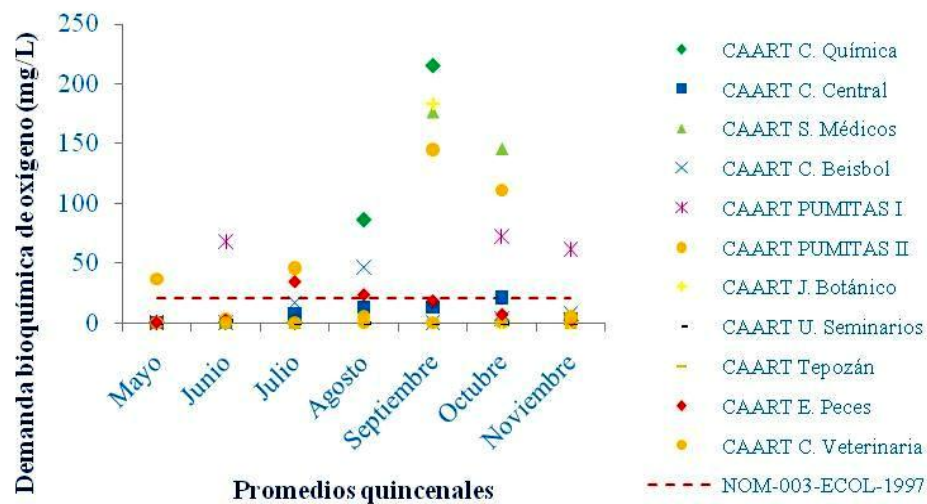


Figura 17. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en cisternas de almacenamiento de agua tratada para reuso. (CAART = Cisterna de Almacenamiento de Agua Residual Tratada).

Actualmente, debido a las condiciones de operación de las plantas de tratamiento de agua residual, solo la cisterna de Veterinaria es llenada con agua residual tratada proveniente de la planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, 4 cisternas mas (Tepozán, Estanque de peces, Unidad de seminarios y Jardín botánico) son llenadas con agua potable, mientras que las 6 cisternas restantes (Pumitas I, Pumitas II, Química, Cisterna Central, Servicios médicos y Campos de beisbol) son llenadas alternadamente con agua potable y agua residual. Por lo tanto, la calidad del agua de las cisternas no fue constante y presentó variaciones a lo largo del año, cumpliendo con la calidad necesaria para su reuso solo en algunas ocasiones (generalmente solo cuando eran llenadas con agua potable). Los resultados obtenidos de parámetros incluidos en la NOM-003-ECOL-1997 durante el monitoreo se presentan en las figuras 58 a la 65 del anexo de Calidad del Agua.

Los resultados obtenidos para los indicadores alternativos muestran que EF rebasaron 3 unidades logarítmicas en dos de las cisternas (Ver **Figura 18**). Por otro lado, para la temporada cálida-lluviosa se detectó una reducción importante de los conteos de CF, EF y de Fagos (Ver **Figura 18**). Desafortunadamente se desconoce si todas las cisternas tuvieron influencia directa de la lluvia; en algunos casos se sabe que las cisternas no cuentan con tapa y es factible que durante esa temporada tengan un aporte de agua pluvial.

Al concluir la temporada de lluvias la DGOyC informó que las cisternas que habían permanecido llenas durante los meses de lluvias se habían vaciado. De tal manera que los últimos análisis de muestras de agua de las cisternas realizados en 2010, que corresponden a la temporada fría-seca, no mostraron datos positivos para ninguno de los indicadores alternativos.

Es recomendable que se establezca un sistema o dinámica para el llenado y vaciado de las cisternas con el propósito de no mezclar los tipos de agua con los que se llenan. Esto favorecería el manejo adecuado de las cisternas y el aprovechamiento de la inversión que representan las plantas de tratamiento cuyo producto es el agua que se almacena y distribuye a través de las cisternas. Lo anterior repercute en la reducción del riesgo potencial para la salud de los usuarios de las áreas verdes del *campus* universitario.

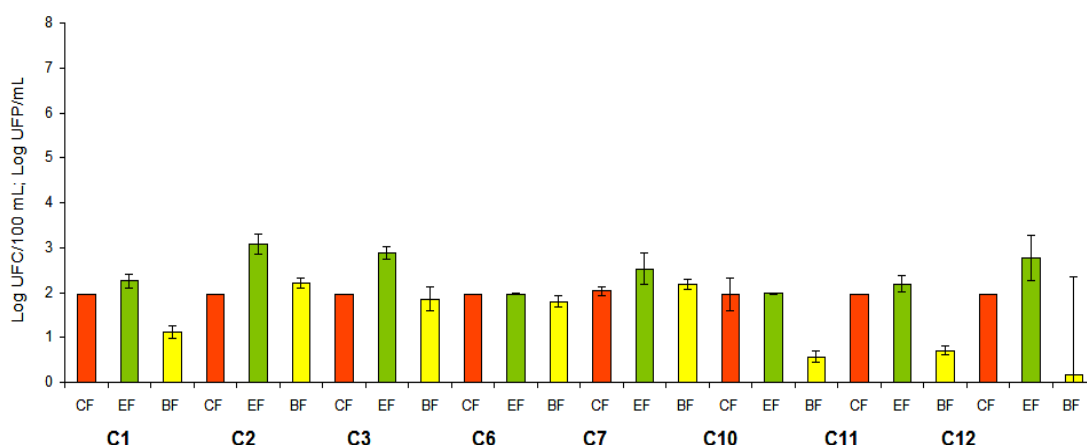


Figura 18. Indicadores de contaminación fecal detectados en agua de las cisternas que almacenan agua residual tratada (C1,C2, C3, C6, C7, C10, C11 Y C12). Temporada cálida-seca. Coliformes fecales (CF), enterococos fecales (EF) y bacteriófagos (BF).

Dentro del riesgo potencial que implica la presencia de patógenos o potencialmente patógenos en el agua de reuso de agua para riego, fueron identificados representantes del género *Mycobacterium* de aislamientos independientes, mediante polimorfismos de perfiles de patrones de restricción (RFLPs) utilizando la amplificación parcial del gen *groELII* que codifica para la proteína de choque térmico hsp65 restringido con las enzimas *BstEII* y *HaeIII* (Kim *et al.*, 2005). Los RFLPs obtenidos a partir de la restricción de la amplificación parcial del gen *groELII* se muestran en la **Figura 19**. Estos perfiles fueron comparados en la base de datos del PRAsite como la herramienta sencilla, es decir independiente de comparación de secuencias nucleotídicas, para obtener la especie más cercana a las cepas correspondientes a los aislamientos de las muestras de agua. La asignación de la especie de micobacteria más semejante se muestra en la **Tabla 5**.

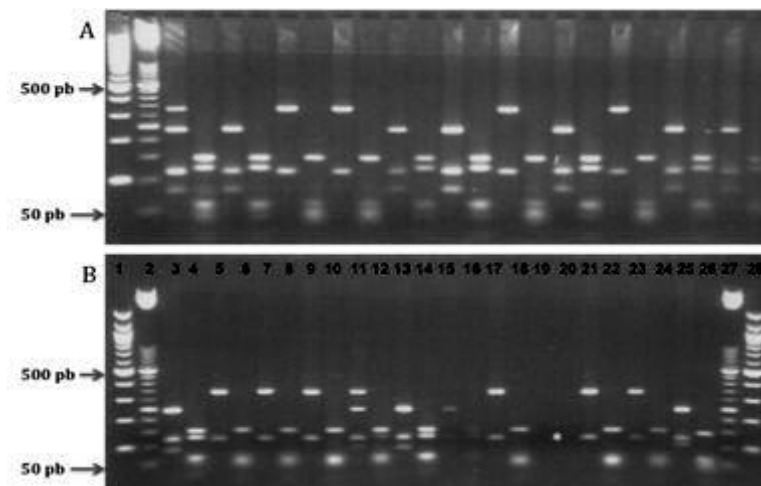


Figura 19. Perfiles de RFLP a partir de la amplificación *groELII* (hsp65) y la restricción con las enzimas *BstEII* y *HaeIII*. A. Gel 1 cepas 1 a 12; B. gel 2, cepas de la 13 a 24. Carriles nones, enzima *BstEII*, carriles pares enzima *HaeIII*, carriles 1 y 28 marcador de peso molecular 100 pb, 2 y 27 marcador de peso molecular 50 pb.* cepa 21 no determinada.

Tabla 5. Especies asignadas a las cepas de *Mycobacterium*. Identificación basada en PRASITE

	ID Glicerol	ID Muestra	Sitio	Época	Fecha	Especie de <i>Mycobacterium</i> asignada
a: no hay una asignación de especie cercana por comparación en PRASITE	UNAM_1	40	C1	CS3	25/06/14	<i>Mycobacterium</i> sp. ^a
	UNAM_2	40	C1	CS3	25/06/14	<i>M. fortuitum</i>
	UNAM_3	40	C1	CS3	25/06/14	<i>M. terreus</i>
	UNAM_4	40	C1	CS3	25/06/14	<i>Mycobacterium</i> sp.
	UNAM_5	40	C1	CS3	25/06/14	<i>M. fortuitum</i>
	UNAM_6	40	C1	CS3	25/06/14	<i>M. terreus</i>
	UNAM_7	40	C1	CS3	25/06/14	<i>M. mageritense</i>
	UNAM_11	41	C2	CS3	24/06/10	<i>M. smegmatis</i> , MTC
	UNAM_12	41	C2	CS3	24/06/10	<i>M. smegmatis</i> , MTC
	UNAM_13	41	C2	CS3	24/06/10	MTC ^b
	UNAM_18	12	C2	CS1	28/05/10	<i>M. agri</i>
	UNAM_19	12	C2	CS1	28/05/10	<i>M. agri</i>
	UNAM_14	30	C7	CS2	10/06/14	<i>M. terreus</i>
	UNAM_23	23	PTECA	CS2	09/06/14	<i>M. terreus</i>
	UNAM_24	23	PTECA	CS2	09/06/14	<i>M. hiberniae</i>
	UNAM_20	22	PTICA	CS2	09/06/14	<i>Mycobacterium</i> sp.
	UNAM_21	22	PTICA	CS2	09/06/14	<i>Mycobacterium</i> sp.
	UNAM_22	22	PTICA	CS2	09/06/14	<i>M. terreus</i>
	UNAM_17	37	PTICA	CS3	23/06/14	<i>Mycobacterium</i> sp.
b: MCT = <i>Mycobacterium tuberculosis</i> complex	UNAM_16	9	PTICP	CS1	26/05/14	<i>M. terreus</i>
	UNAM_15	9	PTICP	CS1	26/05/14	<i>M. terreus</i>
	UNAM_8	38	PTICP	CS3	23/06/14	<i>M. senegalense</i>
	UNAM_9	38	PTICP	CS3	23/06/14	<i>M. terreus</i>
	UNAM_10	38	PTICP	CS3	23/06/14	<i>M. goodii</i>

(PQ = Pozo Química, PM = Pozo Multifamiliar, PVA = Pozo Vivero Alto, PTICA = Planta de tratamiento Cerro del Agua, Influyente, PTECA = Planta de tratamiento Cerro del Agua, Efluente, PTICP = Planta de tratamiento Facultad de Ciencias Políticas, Influyente, PTECP = Planta de tratamiento Facultad de Ciencias Políticas, Efluente, C1 Cisterna 1, C2 Cisterna 2, C3 Cisterna 3, C6 Cisterna 6, C7 Cisterna 7, C10 Cisterna 10, C11 Cisterna 11, C12 Cisterna 12, CS1 = Cálidas Secas 1, CS2 = Cálidas Secas 2, CS3 = Cálidas Secas 3, CL1 = Lluvias 1, CL2 = Lluvias 2, CL3 = Lluvias 3, CL4 = Lluvias 4, SF1 = Secas Frías 1, SF2 = Secas Frías 2, SF3 = Secas Frías 3, SF4 = Secas Frías 4, SF5 = Secas Frías 5)

De las especies de micobacterias aisladas e identificadas en el agua tratada de CU se consideran patógenos oportunistas causantes de infecciones en tejido blando como es el caso de *M. fortuitum* y *M. mageritense*, y de infecciones en hueso y articulaciones como se ha reportado para *M. terreus* (Falkinham et al., 2009). Cabe mencionar que la mayoría de las micobacterias aisladas del medio ambiente presentan resistencia a los antibióticos de primera elección por lo que es importante su identificación para indicar el tratamiento adecuado. Estos resultados nos obligan a mejorar los métodos de desinfección para diversos tipos de agua en el que está incluido el agua residual tratada (Le Dantec et al., 2002).

Sistema de riego (Aspersores y Bioaerosoles) y Pastos.

Es importante recapitular que tanto en los efluentes de las plantas de tratamiento (Cerro del Agua y Facultad de Ciencias Políticas y Sociales) como en las cisternas y los aspersores, las bacterias CF rebasan el límite establecido por la legislación (Ver **Figura 20**); comportamiento que de manera similar se encontró para todos los parámetros de la NOM-003-ECOL-1997.

En los bioaerosoles que se generan en el riego por aspersión se determinó en 2009 también la presencia de CF y 12 especies de bacterias, de las cuales 8 se han reportado como bacterias potencialmente patógenas: *Staphylococcus* sp, *Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter agglomerans*, *Vibrio damsela*, *Vibrio fluvialis* y *Aeromonas hydrophila*. La cuantificación de bacterias presentes en los bioaerosoles permitió concluir que el ambiente en los jardines regados con agua tratada está contaminado.

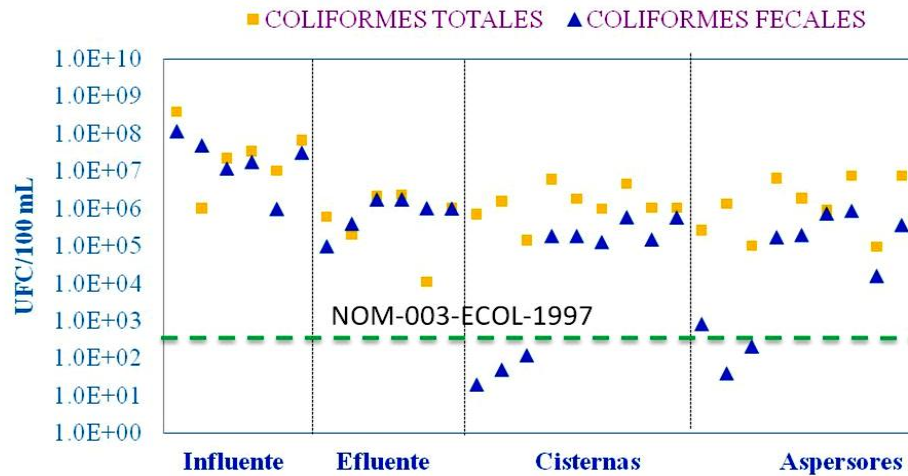


Figura 20. Comportamiento de la calidad microbiológica, en el tren de recorrido del agua tratada con fines de reuso en el campus Ciudad Universitaria-UNAM

La recapitulación anterior es la pauta para dejar claro, que es fundamental desarrollar estrategias para preservar la calidad del agua tratada con fines de reuso y que optimizar las tecnologías de tratamiento permitirá obtener efluentes con la calidad adecuada para reducir el riesgo a la salud.

VIII. Sistema de Información Geográfica

a. Descripción

En términos amplios, un Sistema de Información Geográfica (SIG) es cualquier sistema que sirva para capturar, integrar, almacenar, analizar, administrar y presentar datos ligados a su ubicación geográfica. La tecnología SIG integra conceptos y tecnologías de la cartografía digital, el análisis estadístico, el procesamiento de imágenes y los sistemas administradores de bases de datos. Su propósito es proveer un marco espacial a la información para sustentar el análisis de los factores espaciales que inciden en una situación dada.

Un SIG presenta información a través de mapas. Examinando el mapa se puede saber donde están las cosas, sus características geométricas (forma, tamaño, superficie), sus relaciones topológicas con otros objetos (conexidad, superposición, adyacencia, inclusión) y espaciales (distancia, orientación).

El SIG permite también, diseminar información mediante sesiones interactivas. La interacción del usuario con el sistema, permite obtener información que no es aparente en el mapa estático, por ejemplo, es posible consultar todos los atributos de un objeto, crear una lista de todos los objetos ubicados a partir de un punto en la red o realizar simulaciones para cuantificar procesos como flujo de agua, tiempo de recorrido o procesos de dispersión de contaminantes.

Modelación

En un SIG hay una variedad de formas de modelar un sistema. Por ejemplo una red de distribución de agua se puede modelar:

- Enfatizando la simbología empleada en los distintos elementos para optimizar su legibilidad y claridad en planos impresos, sin ocuparse de la modelación explícita de sus propiedades topológicas.
- Poniendo énfasis en las atributos de los componentes que afectan el comportamiento dinámico del sistema, y las ecuaciones de flujo, sin considerar la interacción espacial los objetos en la red con objetos en otras capas.
- Resaltando la precisión geométrica y topológica para analizar sus interacción espacial con otras capas complementarias.

Ninguna de estas alternativas de diseño es intrínsecamente superior. El tipo de mapas que se desea producir, el contexto y la problemática a resolver definen el modelo más adecuado. Por otro lado en un SIG avanzado es posible cuidar simultáneamente estos aspectos, si se elije el modelo adecuado.

Para entender mejor las ventajas de almacenar la información en una base de datos geoespacial, se revisan las características de los modelos de datos CAD (Computer Aided Design), el modelo georrelacional y el modelo híbrido relacional-orientado-a-objetos característico de las bases de datos geoespaciales, así como la base de datos espacial de **PUMAGUA**.

El modelo de datos CAD almacena la información en archivos binarios que incluyen formas de representación para puntos, líneas y áreas. La información referente a los atributos se mantiene en estos archivos. La representación de los atributos se realiza principalmente separando los objetos del mismo tipo pero con atributos diferentes en capas. A cada capa se le puede asignar una simbología distintiva.

El modelo de datos georrelacional presenta dos mejoras esenciales:

- Para cada rasgo se almacena información espacial e información referente a sus atributos. Los datos espaciales se guardan en archivos binarios indexados optimizados para su despliegue y acceso. Los atributos se almacenan en tablas que tienen un registro para cada rasgo y se mantienen unidos a través de un identificador común.
- Este esquema habilita la posibilidad de almacenar las relaciones topológicas entre los rasgos. Se definen las líneas como una secuencia de nodos conectados y los polígonos como una secuencia de líneas que empiezan y terminan en un mismo punto. Se puede saber entonces, que líneas están conectadas o que polígonos están a cada lado de la línea. Es fácil analizar entonces las relaciones de conexidad, contigüidad y otras propiedades topológicas.

El mayor avance en este modelo reside en que permite al usuario definir los atributos asociados a cada tipo de rasgo. El modelo relacional hizo factible el desarrollo de aplicaciones SIG de alto desempeño y a través de la topología almacenada, facilitó el análisis de sus relaciones topológicas.

Sin embargo, el modelo georrelacional presenta una limitación importante: los rasgos se agregan en colecciones homogéneas de puntos, líneas y polígonos con una "comportamiento" genérico indiferenciado. El "comportamiento" de una línea que representa un camino es idéntico al comportamiento de una línea que representa una tubería.

El comportamiento genérico del modelo relacional refuerza la integridad topológica del conjunto de datos. Por ejemplo, al agregar una línea que corta un polígono, este se segmenta en dos automáticamente. Más allá de esto, es deseable que el modelo refleje el comportamiento especial de objetos como cursos de agua, caminos y otros, por ejemplo, los cursos de agua fluyen cuesta abajo, cuando se unen dos flujos el flujo resultante es la suma de los dos que lo originan. Otro ejemplo lo ilustra la modelación de dos caminos que se cruzan, en el punto de cruce debe definirse una intersección de tráfico a menos que exista una puente o un túnel, estas características son difíciles de implementar en un modelo georrelacional.

Bases de Datos Geoespaciales

La motivación central de este modelo es obtener rasgos más "inteligentes" extendiendo la capacidad del diseñador de la bases de datos para definir y atribuir comportamientos a las clases de rasgos. El modelo de datos orientado-a-objetos (base de datos espacial o geodatabase) permite acercar el modelo de datos físico al modelo de datos lógico. Los objetos de la base de datos espacial se aproximan a los objetos que uno define en el modelo de datos lógico, tales como edificios, parcelas, caminos, tuberías etc.

El modelo de datos orientado-a-objetos permite implementar muchos de los comportamientos más comunes sin necesidad de escribir un código, a través de la atribución de dominios, reglas de validación y otras funciones.

Algunas de las ventajas de las bases de datos geoespaciales son:

- Almacenamiento uniforme y centralizado
- Mecanismos automatizados de validación durante la edición
- Objetos definidos de manera más intuitiva
- Contexto definido en términos de relaciones topológicas, espaciales y generales

- Despliegue dinámico en el mapa
- Mapa continuo: no se requieren mosaicos u otras particiones
- Edición concurrente: el modelo de datos geoespacial habilita flujos de trabajo en los que una multitud de personas pueden editar rasgos de manera simultánea con la capacidad de resolver las inconsistencias que puedan generarse.

b. Aplicaciones del Sistema de Información Geográfica de la Red de Agua Potable de la UNAM (SIG PUMAGUA)

La integración de la información referente a la red de agua potable en un SIG apoya y facilita la realización de tareas de administración, mantenimiento, planeación y operación cotidiana de la red ¿Cuáles son los aportes específicos en cada uno de estos rubros?

Administración y mantenimiento de la red

El SIG coadyuva a mantener información actualizada sobre los múltiples componentes que integran la red, esto incluye la descripción de las características de los componentes, su estado de operación actual e información sobre su desempeño.

El SIG ofrece un marco espacial para vaciar datos como el seguimiento de rupturas y fugas detectadas, las lecturas de medidores y la integración de datos SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

La administración eficiente de la red de parte de la compilación en una base de datos geográfica de los elementos de que la componen a partir de una variedad de fuentes tales como planos arquitectónicos en papel, archivos CAD, planos de urbanización, observaciones e inspecciones in situ, rastreos GPS y reportes de mantenimiento.

Análisis y planeación

El SIG apoya las operaciones cotidianas relacionadas con el mantenimiento preventivo y correctivo de la red. Algunas de estas tareas son:

- El análisis de las consecuencias de la apertura o cierre de una válvula durante las operaciones de mantenimiento
- La planeación de recorridos para realizar lecturas de medidores
- La ubicación de fugas y registros de mantenimiento

En cuanto al análisis y planeación a largo plazo, el SIG ayuda a estimar la demanda prevista y sustentar los planes de inversión para adecuar y extender las operaciones.

Movilidad para los equipos de trabajo en campo

Al sistematizar la información en SIG, los equipos de campo cuentan con información más actualizada y completa para realizar sus tareas.

En sentido inverso, los equipos de trabajo en gabinete reciben datos de campo con mayor frecuencia y de mejor calidad. La integración ágil de ambos elementos facilita la organización eficiente de las operaciones.

Monitoreo operativo

El SIG puede contribuir a lograr un mejor entendimiento del sistema, al facilitar la integración de datos referentes al desempeño, la logística, los requerimientos y cómo repercute todo esto sobre la calidad del servicio.

El administrador del sistema puede utilizar el SIG para “espacializar” la respuesta a preguntas como:

- Cuál es el desempeño actual de la red, integrando información de los sensores SCADA
- Qué consumidores se ven afectados por una interrupción no planeada del servicio
- En dónde están las cuadrillas de campo y qué tareas han completado el día de hoy
- Cuál es el estatus de cada uno de los proyectos de inversión

Involucramiento de las partes interesadas

Los mapas estáticos y dinámicos generados por el SIG de **PUMAGUA** aportan una forma sencilla y entendible de compartir información con las partes involucradas. El análisis espacial de la infraestructura contribuye a un mejor entendimiento sobre la manera en que opera el servicio.

El SIG se utiliza normalmente para apoyar la participación de las partes involucradas a través de actividades como las siguientes:

- Difusión de información para transparentar las operaciones y gastos del sistema
- Análisis espacial para difundir información sobre las condiciones actuales de operación y los planes de mejora
- Desarrollo de aplicaciones de mapas dinámicos por Internet para habilitar solicitudes de servicio y notificación de interrupciones por parte de los usuarios
- Desarrollo de aplicaciones de mapeo en línea para mejorar la atención a los usuarios
- Análisis espacial de contingencias y su notificación a los operadores

c. Avances

Estandarización de la base de datos

Criterios

Con la finalidad de habilitar la integración de la información cartográfica del proyecto en una base de datos geoespacial multiusuario, se realizaron las siguientes tareas de estandarización de nomenclatura de las capas.

- Se eliminaron los espacios en el nombre de los directorios y archivos
- Los nombres compuestos por varias palabras se combinaron en una sola capitalizando la primera letra de cada palabra.

Ej.: SIG PUMAGUA se convierte en SIGPumagua:

- En el caso de nombres que empiezan con un número se antepuso una letra como prefijo que alude al contenido de la capa.

Ej.: el nombre de archivo “1 Pulgada” se convierte en T1Pulgada

Referenciación Geográfica

Se realizaron tareas de identificación y estandarización de los parámetros de proyección de cada una de las capas. En los casos en que el archivo carecía de información de proyección explícita, se averiguó la proyección por ensayo y error.

Se cambió el Sistema de Coordenadas de Referencia (SCR) de todos los archivos a una proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) zona14, con datum WGS84.

Se reproyectaron los archivos que lo requerían.

Estructura de la base de datos

La base de datos consta de variedad de elementos que agrupamos en tres conjuntos principales: mapa base, elementos contextuales y elementos de la red **PUMAGUA**. Ver **Figura 21**.

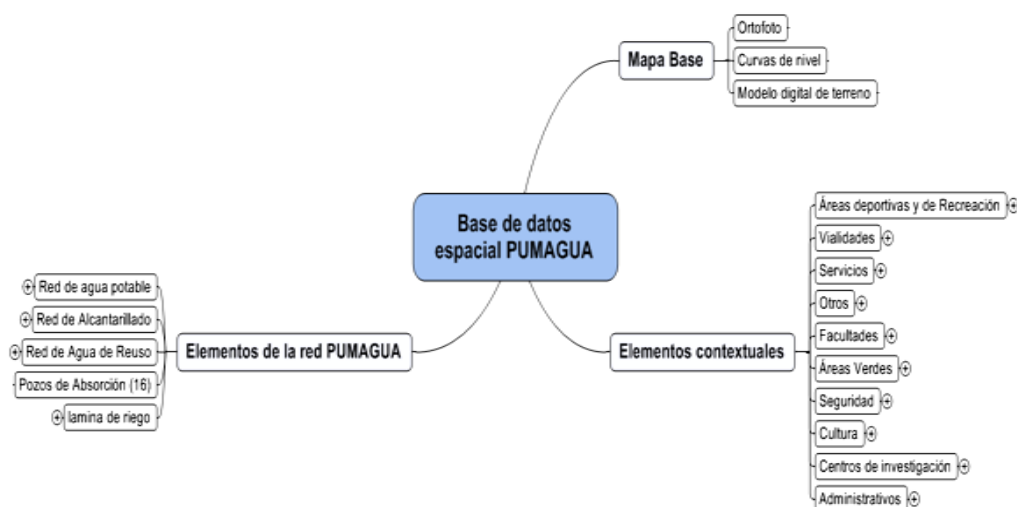


Figura 21. Estructura de la base de datos espacial PUMAGUA

La red **PUMAGUA** contiene las siguientes clases de objetos, como se muestra en la **Figura 22**.

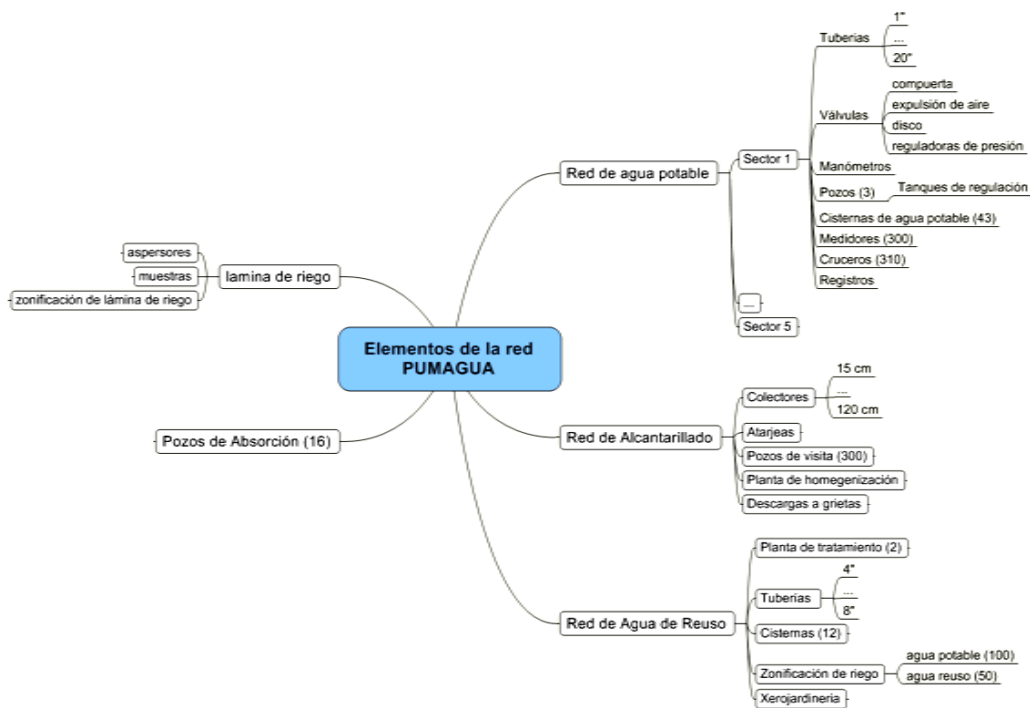


Figura 22. Elementos cartográficos que integran la red de PUMAGUA

Los elementos contextuales los agrupamos en 10 categorías que incluyen cientos de capas, los cuales se pueden ver en la **Figura 23**.

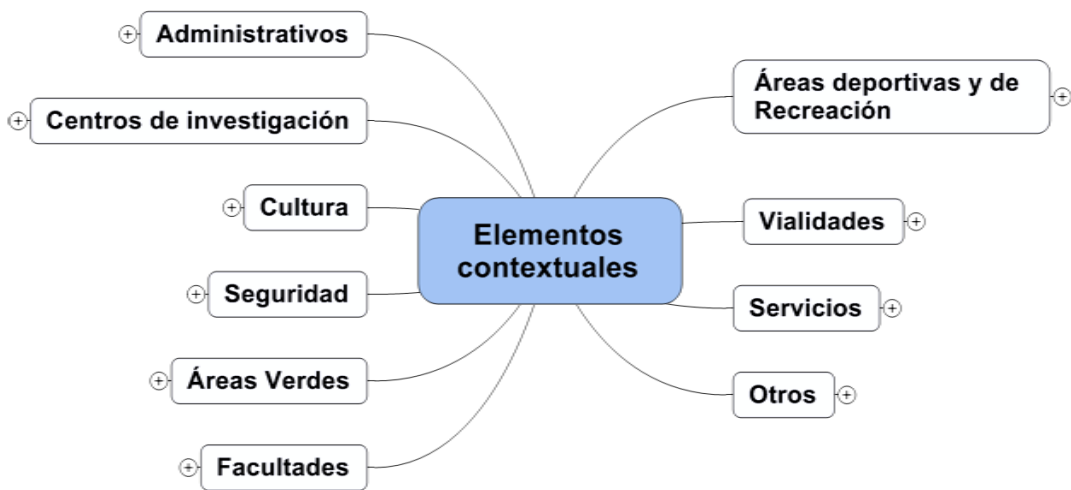


Figura 23. . Organización de los elementos contextuales

Implementación

El acceso a la base de datos se implementa a través de ArcCatalog. Este esquema permite el acceso distribuido y concurrente a la información del proyecto. Ver **Figura 24**.

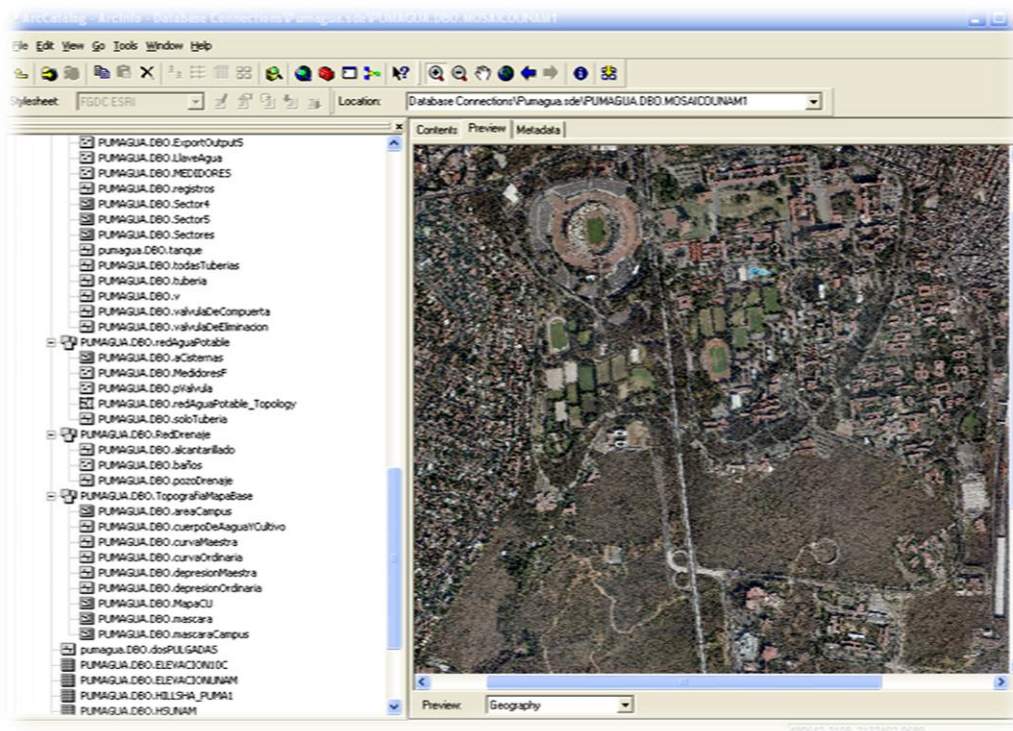


Figura 24. Acceso a la base de datos

El procedimiento de conexión remota incluye mecanismos para habilitar el control de versiones. Ver **Figura 25**.

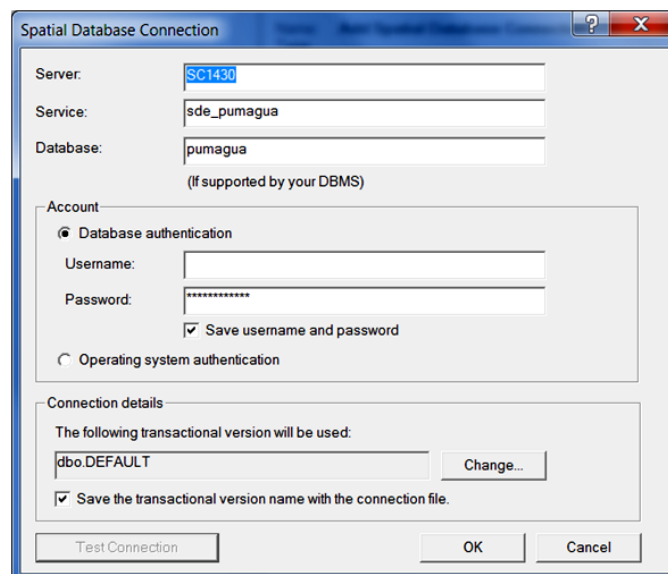


Figura 25. Ventana de conexión remota

En el anexo del Sistema de Información Geográfica se muestran algunos ejemplos de la integración y digitalización de la información obtenida sobre Ciudad Universitaria y la red Hidráulica.

IX. Aplicación de herramientas de análisis

Durante 2009 y con el fin de aportar herramientas que permitan implementar las estrategias propuestas por **PUMAGUA**, se publicaron dos manuales:

El “Manual de pruebas a instalaciones sanitarias”: Guía práctica para la instalación de muebles y aparatos sanitarios, el cual se dirigió al público en general e instituciones, pertenecientes a la UNAM o no, interesados en conocer el estado actual de sus instalaciones sanitarias y tomar las acciones pertinentes en la búsqueda del ahorro de agua. Surgió como resultado de la implementación del programa de mejoramiento de instalaciones sanitarias en diversas instituciones e incluyó una descripción simplificada de las pruebas necesarias de acuerdo a las Normas Mexicanas.

El “Manual de selección, instalación y mantenimiento a medidores de agua fría”, cuyo objetivo fue proporcionar de manera sencilla recomendaciones para la selección, instalación y mantenimiento de medidores de agua potable que actualmente se están instalando en la UNAM, se elaboró exclusivamente para medidores volumétricos; sin embargo, la secuencia del contenido sigue el ciclo de cualquier medidor.

A estas herramientas, se sumaron durante 2010 dos nuevos manuales que a continuación se describen.

a. Manual de técnicas analíticas para un diagnóstico de la calidad del agua

Este manual presenta los procedimientos analíticos de parámetros que han sido seleccionados de acuerdo al tipo de agua, con el objetivo de:

Aportar datos suficientes que permitan emitir alertas, sobre la pertinencia de aplicar medidas de control inmediatas, para evitar que el agua sea portadora de agentes microbiológicos y/o sustancias químicas tóxicas, que impliquen un riesgo a la población.

Para ello se elaboró un formato que resume de una manera concentrada los aspectos fundamentales y relevantes que conforman una guía de procedimientos analíticos para la evaluación de la calidad del agua: para uso y consumo humano, residual y residual tratada. Por otra parte, se contribuye en aspectos puntuales de las metodologías, los cuales son aportaciones de los autores en función de la experiencia adquirida, durante el desarrollo de las investigaciones realizadas sobre calidad del agua en el Instituto de Ingeniería-UNAM. Las metodologías descritas contemplan parámetros de vigilancia básicos, sustentados en primera instancia en los lineamientos establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) vigentes y en el manual de métodos estandarizados para el análisis de agua (APHA, 1998).

Se describen de manera práctica, los procedimientos analíticos que se requieren para llevar a cabo un programa de vigilancia y control de la calidad del agua. Entendiéndose por calidad del agua, al conjunto de características físicas, químicas y biológicas (microbiológicas), que presenta determinado tipo de agua, dichas características son evaluadas mediante la determinación de sus componentes tanto cualitativa como cuantitativamente, por lo que se obtienen valores numéricos que indican el estado actual del agua analizada y su posible uso en función de este valor. La evaluación cuantitativa, permite determinar si las concentraciones existentes de algún contaminante presente en el agua cumplen con los límites establecidos en las normas vigentes y si representan un riesgo potencial para la salud de la comunidad.

El manual incluye herramientas que permiten abordar la aplicación de los procedimientos básicos, de la manera más práctica posible; inclusive en las entidades foráneas de la UNAM en donde se pretenda implementar el programa **PUMAGUA**. Sin dejar de considerar que, de acuerdo con la legislación mexicana, existen programas específicos de vigilancia de la calidad del agua, que incluyen un análisis de todos los parámetros que establece la norma aplicable, los cuales se deben realizar con la periodicidad que se especifica en la normativa.

Los procedimientos descritos, incluyen los análisis requeridos tanto para el diagnóstico de agua para uso y consumo humano, como para el agua residual y residual tratada con el enfoque de preservar la salud, considerando que en el campus Ciudad Universitaria de la UNAM, el agua tratada es reutilizada en el riego de jardines, los cuales son frecuentemente visitados por la comunidad, siendo esto un riesgo inminente.

b. Manual para un diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua

La experiencia del grupo de calidad del Agua se presenta en este manual que resume los aspectos relevantes que requieren ser considerados para instrumentar acciones de mejoramiento y preservación de calidad del agua que es suministrada por medio de la red y que debe asegurar la calidad potable. Así también los aspectos a vigilar de la calidad del agua residual tratada que se reutiliza principalmente en el riego de áreas verdes y que también en algunos casos se filtra en el suelo; estos tipos de reuso son los que actualmente se practican en Ciudad Universitaria.

El control de la calidad del agua potable es fundamental para prevenir la transmisión de enfermedades y afectaciones a la salud de los consumidores. Para ello es necesario verificar que se cumpla límites máximos permisibles de las normas correspondientes. De la misma manera, el monitoreo de la calidad del agua residual tratada y su reuso en el riego de áreas verdes, es de suma importancia por el riesgo que representa para la salud de la población universitaria, la exposición directa o indirecta con efluentes que no cumplen con la calidad necesaria. El monitoreo es una herramienta útil para conocer en forma permanente las condiciones de potabilidad del recurso y la factibilidad de su reuso. Permite detectar en forma oportuna la presencia y la evolución de contaminantes así como la implementación de medidas correctivas.

Es por ello, que surge la necesidad de diseñar programas de monitoreo y llevar a cabo de forma permanente muestreos y análisis de la calidad del agua residual tratada para riego de áreas verdes y otras actividades, con la finalidad de que cumpla con la normatividad aplicable.

Este manual ofrece ser una guía para la realización de un monitoreo rutinario de la calidad del agua para consumo, incluyendo la toma y manejo de muestras, parámetros indicadores de calidad, normatividad oficial aplicable que se debe cumplir y técnicas de análisis utilizadas.

El documento tiene por objetivo principal servir de guía para las Instituciones y Dependencias ya sean de la UNAM o externas que deseen realizar un diagnóstico y monitoreo de calidad de agua para consumo humano y de aguas residuales municipales tratadas con fines de reuso. Así mismo proporciona:

- Criterios normativos para realizar un diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua.
- Lineamientos básicos de un programa de monitoreo de calidad de agua.
- Recomendaciones prácticas para llevar a cabo muestreos de agua para consumo humano y agua residual municipal tratada.
- Un programa de monitoreo de la calidad de agua (potable y residual tratada) para el *campus* Central de la UNAM.

Los lineamientos descritos en este manual pueden ser aplicados para fuentes de abastecimiento de agua de origen subterráneo, sistemas de almacenamiento y redes de distribución; plantas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de almacenamiento de agua residual tratadas.

X. Participación de dependencias

Dentro de un esquema de manejo integral del agua en la UNAM, el área de Comunicación/Participación se ha avocado a involucrar a la comunidad universitaria en el uso responsable del agua.

Como indicadores de avance sobre la meta del Programa de involucrar a toda la comunidad universitaria se señalan los siguientes:

- Mediante la realización de 25 reuniones con las autoridades de las dependencias universitarias, así como de presentaciones en diversos foros y del envío de documentos sobre el Programa, se ha logrado involucrar a más de 90 en acciones concretas. El área de Comunicación/Participación se ha encargado de involucrar a las dependencias en las acciones propuestas por **PUMAGUA**, de llevar a cabo las actividades necesarias para su implementación.
- Se ha tenido una asistencia de más de 60% del total de personas invitadas a los talleres organizados por **PUMAGUA**, mediante sus respuestas a los cuestionarios aplicados después de estos eventos, se sabe que todos han otorgado una calificación igual o mayor a 8 los exponentes, han manifestado su interés por asistir a otro taller y todos hicieron alguna sugerencia sobre los temas que les gustaría conocer.
- Se ha logrado involucrar a 148 estudiantes en investigaciones relacionadas con el uso del agua en la UNAM, a lo largo de los dos años en que se ha llevado a cabo esta actividad. De éstos, 82 corresponden a estudiantes de Biología, 50 estudiantes de Diseño Industrial, 4 de Ingeniería y 12 de Veterinaria. Esto ha permitido, por un lado, aumentar su capacidad para realizar investigaciones sólidas desde el punto de vista científico y, por otro lado, involucrarlos en la solución de los problemas ambientales del país.
- La página web de **PUMAGUA** mensualmente recibe visitas de más de mil personas de 25 países, en promedio.
- Se ha logrado generar el interés de instituciones externas a la UNAM. Así, **PUMAGUA** forma parte de los Programas Hidrológicos Internacionales de UNESCO e instituciones nacionales como la Secretaría de Seguridad Pública y el Congreso de la Unión han manifestado su deseo de que el Programa sea instrumentado en sus instalaciones.

Un aspecto que falta por atender es la difusión masiva del Programa, por lo cual, para el año 2011, se prevé llevar a cabo la campaña de comunicación que difunda el Programa y que promueva el uso responsable del agua entre todos los sectores involucrados, tanto de la UNAM como externos a ella.

A continuación se detallan las actividades realizadas en 2010, a través de las cuales se ha logrado el avance mencionado anteriormente.

a. Reuniones con dependencias

Se acudió al *Campus* Juriquilla de la UNAM, en donde se presentó el Programa al personal del *campus* y se le invitó a implementarlo en sus instalaciones. Dicha reunión fue organizada por el Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA).

En septiembre se organizó una reunión en el Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras, a la cual asistió personal del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), del Centro Universitario de Universidad Abierta y Educación a Distancia (CUAED), del Sistema de Universidad Abierta y del propio CELE. Se presentó el Programa, así como las acciones que pueden implementar las dependencias y se acordó la instalación de medidores en las dependencias participantes.

En octubre se efectuó una reunión en el Instituto de Investigaciones Antropológicas, a la cual asistió el Director de la Dirección General de Servicios Administrativos, así como personal de los CENDI, de la Facultad de Arquitectura, de la Dirección General de Personal, de la Dirección General de Servicios Médicos, de AAPAUNAM, de TVUNAM, de la Dirección General de Actividades Cinematográficas y de Patronato Universitario.

Al igual que en la reunión en el CELE, además de presentar **PUMAGUA** a los asistentes, así como las acciones en las que puede participar cada dependencia universitaria, en esta reunión se acordó la instalación de medidores en cada una de estas dependencias participantes.

Con el propósito de extender **PUMAGUA** fuera de Ciudad Universitaria, se recurrió al Director de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, Maestro García Santamaría, de tal manera que fuera él quien invitara a los directores del resto de las FES y de las dependencias externas a CU a una reunión. En noviembre se llevó a cabo la reunión, a la cual asistió el Director de la FES Iztacala, al igual que personal de la FES Cuautitlán, Zaragoza, así como de la Escuela Nacional de Enfermería y Obstetricia, de la Escuela Nacional de Música, y de la Escuela Nacional de Artes Plásticas. El Maestro García presentó los avances de PUMAGUA en la FES Aragón y el resto de las dependencias se comprometió a implementar el Programa, en particular, el director de la FES Iztacala, Dr. Sergio Cházaro.

Cabe mencionar que la realización de este tipo de reuniones ha sido el mecanismo más fructífero para integrar a las dependencias universitarias a **PUMAGUA**. Gracias a estas acciones, más de noventa dependencias universitarias ya colaboran en una o más acciones del Programa.

b. Comunicación con estudiantes

Dirección General de Orientación y Servicios Educativos (DGOSE)

Se llevó a cabo una reunión con la Directora de la DGOSE, Dra. Elisa Celis y con personal administrativo de la dependencia. En ella se acordó comenzar a trabajar, en una fase piloto, con los alumnos de una escuela preparatoria y de un Colegio de Ciencias y Humanidades, con el propósito de fomentar las buenas prácticas entre los alumnos de los mismos.

También se hizo la propuesta de trabajar con estudiantes de primarias públicas, quienes tienen un tutor que es estudiante universitario. Así, se capacitará a los alumnos de licenciatura para que ellos comuniquen las buenas prácticas a los niños de primaria. Asimismo, se cuenta con la posibilidad de enviar material electrónico directamente a todos los alumnos de la UNAM cuyas direcciones se encuentran en la base de datos de la DGOSE. Finalmente, la Directora de la DGOSE propuso elaborar un cuestionario sobre el funcionamiento de las instalaciones hidráulicas, dirigido a los estudiantes de preparatoria. El llenado del cuestionario tiene dos propósitos: el principal es fomentar la participación de los estudiantes en el tema del uso eficiente del agua y el segundo es obtener información específica sobre el manejo del agua en los planteles de educación media de la UNAM.

Se construyó una primera versión del cuestionario, la cual fue enviada al personal de la DGOSE. Éste propuso una segunda versión (ver Anexo), a la cual el área de comunicación/participación hizo sugerencias. En cuanto se tenga la siguiente versión, será consultada con el equipo de **PUMAGUA** para que en el mes de enero el cuestionario sea enviado a alrededor de 60.000 estudiantes.

Centro de Desarrollo Infantil (CENDI)

Como resultado de una de las reuniones para involucrar a las dependencias universitarias en **PUMAGUA**, la jefa de oficina del CENDI CU, Lic. Elena Sevilla, señaló su interés por efectuar una intervención en los CENDI, de tal manera que se sensibilice a los niños en el tema del uso eficiente del agua. Posteriormente, se sostuvo una reunión con la delegada administrativa de la institución, Lic. Rosa María Hernández y se acordó efectuar una propuesta, en la cual se incluyera al personal docente, de mantenimiento, así como a las cocineras de los Centros. Se elaboró la propuesta (ver Anexo de Comunicación / Participación), la cual consiste en actividades para cada uno de los sectores. El sector a abordar con mayor profundidad es el de los niños, para quienes se planea una intervención de dos semanas, una hora diaria. La propuesta contempla la capacitación de las educadoras, así como la entrega de un manual de actividades, de tal manera que, en un futuro, la actividad sea llevada a cabo por las educadoras, en ausencia de **PUMAGUA**.

XI. Campi Universitarios, Fes Aragón

Las actividades del programa **PUMAGUA** en la FES Aragón, iniciaron de forma oficial en octubre de 2009, con el nombramiento de las personas que dirigirían cada uno de los grupos de trabajo para desarrollar el programa **PUMAGUA** en la FES. La coordinación general del programa la tiene el M. en I. Martín Ortiz León, Coordinador del Centro Tecnológico Aragón. A continuación se relacionan las actividades más significativas de este centro.

a. Metas

Disminuir las fugas en las tuberías, fomentar un uso eficiente del agua, implementar sistemas de tratamiento para el aprovechamiento del agua residual y pluvial, contar con información actualizada de la topografía y de las redes hidráulicas en formato digital, conocer la calidad del agua, así como, el diseño e implementación de campañas de cultura del agua.

b. Conferencias

“La hidráulica en la Ingeniería Civil”, impartida por el Mtro. Víctor Franco, Investigador del Instituto de Ingeniería. 18 de noviembre de 2009.

“El Túnel Emisor Oriente dentro del programa de sustentabilidad hídrica de la cuenca del Valle de México”, impartida por el Dr. Rafael Bernardo Carmona Paredes, Coordinador Adjunto Técnico en la Coordinación de Proyectos de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México, de la CONAGUA. 27 de noviembre de 2009.

c. Cultura del agua

Las siguientes son las principales actividades realizadas por el grupo encargado de Cultura del Agua:

- “Canto Nuevo, Vibraciones, Agua y Color”. 17 de marzo. Teatro “José Vasconcelos” del Centro de Extensión Universitaria. Asistencia aproximada: 300 alumnos. 18:00 hrs.
- Serie de pláticas “En torno al Día Mundial del Agua. Agua Limpia para un Mundo Sano”. 22 – 25 de marzo.
- “Agua sobre poesía”. 6 y 15 de abril. Sala “Diego Rivera”, Centro de Extensión Universitaria. Asistencia aproximada: 95 alumnos.
- Kilómetro por la evaporación UNAM. 18 de abril. Licenciatura en Comunicación y Periodismo. Sobre avenida Paseo de la Reforma, en respuesta a la convocatoria mundial emitida por Live Earth. Participaron 50 voluntarios de la UNAM.
- Teatro “Eso es lo malo”. 21 de abril. Teatro “José Vasconcelos”, Centro de Extensión Universitaria. Asistencia aproximada: 200 alumnos. 18:00 hrs.
- Mural – Pintura. 3 de mayo. Salones de Pedagogía. Asistencia aproximada 150 alumnos.
- Concurso de carteles: “Una mirada a través del agua”. 11 de mayo. Sala “Diego Rivera”, Centro de Extensión Universitaria. Coordinación de Servicios a la Comunidad. Alumnos inscritos: 109. Número de carteles: 86.

- Oratoria Itinerante sobre el Agua. 13 de mayo. Salones de Pedagogía. Asistencia aproximada 120 - 125 alumnos.
- Concurso de mural: "Aguas con el Agua". Mayo.
- Concurso de cortometrajes: "El agua se va en corto". 19 de mayo. Coordinación de servicios a la comunidad. Auditorio "A1". Alumnos: 232. Número de cortometrajes: 56. Instancias: Servicios a la comunidad, Comunicación y periodismo.
- Video sobre el uso y cuidado del agua de la FES Aragón. 27 de mayo de 2010.
<http://www.youtube.com/watch?v=42MYhAG0YAg>.

Se generó una encuesta para diagnosticar el cuidado y cultura del agua en los estudiantes de la FES Aragón, a la cual se tiene acceso a través de la página de la Facultad www.aragon.unam.mx.

Finalmente, la Coordinación de Servicios a la Comunidad de la FES Aragón promovió el proyecto ecológico *Ahorro del Agua y Mejora tu Jardinera*, el cual se llevó a cabo para mejorar una jardinera ubicada frente al edificio A6. Ver **Figura 26**.



Figura 26. Proyecto ecológico *Ahorro del Agua y Mejora tu Jardinera*

d. Geomática

Objetivo

Elaborar el plano en proyección horizontal (planta) que contenga la ubicación precisa de las diferentes instalaciones de infraestructura, especialmente la hidráulica, que conforman la Facultad de Estudios Superiores Aragón.

Actividades realizadas

Revisión de información desarrollada en ejercicios académicos (tesis, trabajos realizados por los responsables del gabinete de topografía).

Captación y capacitación de recursos humanos, principalmente prestadores de servicio social, interesados en participar en el grupo de Geomática.

Ejecución del levantamiento topográfico.

Procesamiento informático y organización digital de la información topográfica obtenida.

Resultados

Se cuenta con el plano en planta de la FES Aragón en formato digital, con un avance del 90%. Cabe aclarar que es difícil llegar al 100%, debido a que existe una modificación continua de la infraestructura.

Se reunió a 25 alumnos de Ingeniería Civil, quienes han trabajado por brigadas realizando los levantamientos de campo principalmente.

Se realizó el trazo de los sitios para las actividades de forestación, en el lindero sur de la Facultad, durante marzo de 2010.

La información generada se ha compartido con el grupo encargado de desarrollar el proyecto de la red de agua potable y se han realizado actividades de nivelación paralelas en sitios críticos para completar dicho proyecto, en los meses de mayo y junio de 2010.

e. Diseño de la red de agua

Se llevó a cabo un exhaustivo trabajo de investigación documental, consultando tesis relacionadas con la temática, trabajos previos institucionales, reportes presentados por otros grupos del Programa **PUMAGUA** de esta entidad académica, así como registros de diversas instancias administrativas y operativas de la misma, de la cual, la relativa a infraestructura, se verificó en campo. Con la verificación en campo se elaboró un reporte, que forma parte del informe del diagnóstico del estado actual de la red.

A partir de la información recopilada y analizada, se determinaron los datos básicos del proyecto, como la dotación asignada a cada miembro de la comunidad, el gasto demandado por edificio, el gasto total requerido de la red municipal, así como la capacidad recomendada de almacenamiento en las cisternas.

Problemática de la red de distribución

Con base en la revisión física de la red, así como la demanda de agua potable, se concluye lo siguiente:

- La red rebasa por mucho la vida útil considerada para un sistema de distribución de agua potable, de 20 años.
- El gasto suministrado por la red municipal es irregular e insuficiente.

- La mayoría de las instalaciones de la facultad son abastecidas a partir de los equipos del edificio de mantenimiento.
- Los asentamientos de los edificios afectan las conexiones de las tuberías en las cajas de operación.
- La vegetación afecta la estabilidad de las tuberías, al modificar las condiciones de trazo y profundidad de las mismas.
- La erosión en las áreas de tránsito ha reducido el colchón de suelo sobre las tuberías, el cual las protege de las cargas superficiales.
- Los materiales de relleno utilizados en la reparación de fugas no son los apropiados.

Propuestas

La red actual resulta inoperante, ya cumplió su vida útil, por lo que se propone una nueva red de distribución, considerando nuevos trazos a fin de librar las interferencias existentes. En la construcción de la red se contemplará el encofrado de la tubería, poniendo especial atención en la protección de las conexiones de las líneas con las cajas. El arreglo de la red de distribución se considerará separado de la red de riego.

Se propone incrementar la capacidad de regularización (cisterna), con la construcción de una cisterna que pertenezca al sistema del edificio de mantenimiento, que permita incrementar la reserva de agua. Se hará una distribución más equitativa del gasto suministrado, aprovechando las instalaciones electromecánicas del edificio de vestidores y gimnasio. Para lo anterior, se hará un replanteamiento de los dos sistemas de abastecimiento existentes.

A partir de la información que se ha proporcionado por el grupo de Geomática, se ha conformando el plano base de proyecto y se ha generado la base de datos en el programa EPA NET, que servirá para el proyecto final.

Los medidores que se han instalado de acuerdo con las especificaciones que se proporcionaron por **PUMAGUA** son en total 14 medidores de 21 necesarios. Se están sustituyendo las válvulas de seccionamiento, a efecto de garantizar el corte de agua adecuadamente.

En lo referente a sustitución de muebles ahorradores de agua en los sanitarios del plantel así como válvulas economizadoras al día de hoy se han instalado: 25 WC de 4.8 L, 25 Mingitorios de 0.5 L, 20 Lavabos, 3 WC de Tanque bajo ahorradores, 30 Fluxómetro P/WC de 4.8 L, 30 Fluxómetro P/Mingitorio de 0.5 L, 137 Llaves Economizadoras. La suma total de dichos dispositivos y equipos es de 270 piezas que representan el 27.43% del total de muebles y dispositivos instalados en el plantel.

También se desarrolló un catálogo de plantas existentes en la periferia de la FES Aragón, con la finalidad de aprovechar estas especies para mejorar el entorno.

Agua Pluvial

A partir de los datos anteriores se procedió a calcular el gasto de agua pluvial que se puede obtener durante la época de lluvias sería de, aproximadamente, $4.60 \text{ m}^3/\text{s}$; con un área de $74,540 \text{ m}^2$, de los cuales $19,500 \text{ m}^2$ son de edificios, $19,040 \text{ m}^2$ de plazas y andadores y $36,000 \text{ m}^2$ de estacionamiento.

Con esta información, lo que se buscaría captar sería el agua de lluvia de los estacionamientos, a través de canales paralelos a las guarniciones de las banquetas, con rejillas a nivel de superficie de rodamiento, cuyo gasto será concentrado en estructuras de concreto. Las aportaciones pluviales de los edificios que están próximos a los estacionamientos, se canalizarán hacia dichas estructuras. El agua recibirá tratamiento para la remoción de sedimentos así como de otros agentes contaminantes detectados en estudios de caracterización, para ser enviada posteriormente a la cisterna principal del edificio de mantenimiento para abastecer la red de distribución.

La obra se llevaría a cabo en espacios abiertos perimetrales a los edificios, lo que ocasionaría menos molestias a los miembros de la comunidad, no implica la modificación de la infraestructura existente y el gasto que puede captarse es considerable. Con estas modificaciones, el gasto a captar sería de $2.22 \text{ m}^3/\text{s}$, que representaría, aproximadamente, el consumo de 5 días de la comunidad de toda la Facultad, considerando solamente el área de los estacionamientos.

Proyecto Experimental de reforestación

A principios de marzo de 2010 se inició el programa experimental de reforestación en la FES-Aragón, UNAM. El área elegida consta de $2,000 \text{ m}^2$ está localizada junto a la barda perimetral sur de la facultad que colinda con la avenida Prados del Roble. Es una de las zonas más deterioradas de la escuela y que no contaba con presencia de vegetación. Ver **Figura 27**.

Los análisis de suelo indican presencia considerable de sales y un pH muy alcalino por lo que se seleccionaron especies halófitas, esto es árboles y arbustos que crecen en medios salinos y alcalinos. También se consideró la escasez de agua por lo que se seleccionaron especies que toleran un riego escaso o moderado. Se decidió realizar la reforestación de la zona comenzando con la colocación de una doble cortina de árboles que funcione como barrera contra viento y permita el posterior desarrollo de otras plantas.

Hasta la fecha se ha recibido la donación de árboles y arbustos del vivero Nezahualcóyotl y del vivero de Bordo Poniente los cuales consisten en: 50 ejemplares de *Tamarix aphylla* (tamarix), 100 *Fraxinus udhei* (fresno), 20 *Buddleia cordata* (tepozán), 20 *Acacia retinoides* (acacia), 20 *Dodonaea viscosa* (chapulixtle) y 40 *Crassula ovata* (siempreviva).



Figura 27. Proyecto Experimental de reforestación. Antes y después de la reforestación

Vivero experimental

Se está trabajando en un vivero experimental para la propagación de plantas suculentas (cactáceas, agaváceas, crasuláceas), son plantas que almacenan agua en sus hojas o tallos por lo que requieren poco riego y mantenimiento, además de ser plantas vistosas de gran importancia biológica y cultural.

Se construyó un área de sombreadero de 4 x 7.5 metros donde se está propagando material vegetal proveniente de donaciones del Jardín Didáctico de Cactáceas y Suculentas “In Atecocolli”, Bosque de Tláhuac. Estas plantas serán utilizadas para el embellecimiento de áreas verdes de la escuela, así como del interior de los edificios, tal como se ha hecho en el Centro Tecnológico donde se han colocado 17 macetones en los pasillos.

Se realizó el rescate y adopción de 70 ejemplares de *Crassula ovata* (siempreviva) de un domicilio particular al sur de la Ciudad de México.

Reciclaje de agua

Lo primero que se hizo fue la determinación de algunos parámetros mencionados en la NOM-002-SEMARNAT- 1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a sistemas de alcantarillado, de una muestra compuesta proveniente del colector.

Derivado de lo anterior se identificaron las siguientes situaciones:

- El colector principal presenta contra pendientes considerables, provocando azolves y estancamientos de agua.
- El colector descarga de oriente a poniente de la facultad hacia la calle bosques de África, en dirección opuesta de donde se localiza el terreno disponible para albergar una planta de tratamiento de aguas residuales.
- El tipo de suelo posee una baja capacidad de carga.

- El flujo del agua residual disminuye, durante la noche, fines de semana y períodos vacacionales.
- Se carece de equipo para la medición de gastos reales dentro de la red de alcantarillado.
- Falta mantenimiento en la red y colector, pues hay presencia de grandes cantidades de sedimento, así como de residuos de gran tamaño como vasos, hojas, envases de refresco, etc.
- De acuerdo a la medición de conductividad eléctrica que se hizo se pueden inferir infiltraciones del suelo.
- El agua residual puede considerarse como de carga débil, ligeramente alcalina y en condiciones anaerobias.



Figura 28. Análisis de la calidad de agua residual en el laboratorio de la FES Aragón

XII. Difusión del Programa

a. Material electrónico

Se elaboraron presentaciones, que fueron enviadas a todos los directores de las dependencias universitarias, así como a secretarios de servicios escolares, a los responsables de comunicación de algunas dependencias (Facultad de Medicina, de Arquitectura, de Ciencias, de Ingeniería, entre otras), a los asistentes a las reuniones de **PUMAGUA** y a una lista de direcciones electrónicas elaborada a lo largo del año. Ver Anexo de Comunicación / Participación.

Las presentaciones cubrieron los siguientes temas:

Objetivos y avances del Programa.

Lista de las dependencias activas en **PUMAGUA**, en cada una de las acciones propuestas por el Programa; así como las acciones de **PUMAGUA** en institutos pertenecientes a la Coordinación de Humanidades, del Instituto de Ingeniería, del Instituto de Investigaciones Biomédicas, así como de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Rehabilitación de plantas de tratamiento para mejorar calidad del agua procesada.

Con el objetivo de dar a conocer a la comunidad del Instituto de Ingeniería las acciones que realiza el Instituto con respecto a **PUMAGUA** se elaboró una presentación; la cual explicaba las acciones con mayor profundidad que en el material enviado a toda la comunidad universitaria. Asimismo, se elaboró una presentación acerca del funcionamiento y de las innovaciones de la planta de tratamiento del Instituto de Ingeniería.

b. Material impreso

Se elaboró un tríptico para dar a conocer los cuatro ejes del Programa, así como los objetivos de cada uno de ellos y las estrategias a seguir en etapas subsecuentes. Este material ha sido distribuido en diversos foros, tales como la reunión de la Sociedad de Ex alumnos de la Facultad de Ingeniería (SEFI), la reunión con integrantes de la Universidad de Purdue, de Estados Unidos, la reunión del Inventario Nacional de Humedales, así como en la Convención Anual de la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento (ANEAS). Se elaboró una versión del tríptico en inglés para ser distribuido en la reunión del Inventario Nacional de Humedales.

Por otro lado, se diseñó un cartel sobre los objetivos, componentes y avances del Programa, el cual fue presentado en el Congreso Nacional de Hidráulica (ver Anexo de Comunicación / Participación). También, se elaboró un cartel sobre la puesta en marcha de la planta de tratamiento del Instituto de Ingeniería. Ejemplares del mismo fueron colocados en diversos sitios de la dependencia.

Por último, se elaboró un tríptico sobre las acciones recomendadas para fomentar el buen funcionamiento de la planta de tratamiento (ver Anexo de Comunicación / Participación).

c. Realización de talleres

Talleres con jardineros

Para fomentar el riego eficiente de las áreas verdes de CU, se llevaron a cabo tres talleres para jardineros en las instalaciones de la Coordinación de Áreas Verdes y Forestación de la DGOyC.

Los temas fueron los siguientes:

- Tiempo y clima: el caso de Ciudad Universitaria
- El riego automatizado
- Diagnóstico sobre el riego en CU
- Consideraciones generales sobre el riego
- Taller sobre riego eficiente
- La vegetación de la REPSA
- Taller sobre propuestas para ahorrar agua en el riego

Un mes después del taller se efectuaron entrevistas a los asistentes para evaluar el impacto del mismo (ver Anexo de Comunicación / Participación). De acuerdo con los comentarios de los jardineros, se modificó el programa para el segundo taller de la siguiente manera:

- Estrés, temperatura y sus efectos en las plantas y árboles con relación al agua
- Diagnóstico sobre el riego en CU.
- Tipos de suelo
- Práctica para distinguir tipos de suelo
- Práctica de suelo
- La vegetación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel
- Taller sobre riego eficiente
- Taller sobre propuestas para ahorrar agua en el riego

Por último se llevó a cabo un tercer taller en septiembre, incorporando las recomendaciones hechas por los jardineros:

- Discusión de su propia experiencia sobre riego en sus áreas verdes de trabajo
- Lámina de Riego
- Práctica de suelo
- Plática y demostración de sistemas y/o equipos de riego
- La vegetación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) y trabajos de jardinería. Arq. Pedro Camarena de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA)
- Discusión grupal (tiempos de riego)
- Discusión sobre propuestas para ahorrar agua en el riego

Con el fin de reducir el consumo de agua potable en el riego significativamente, se solicitó a la Dra. Christina Siebe, del Instituto de Geología, determinar la lámina de riego para distintos puntos de CU. Dos becarios de **PUMAGUA** tomaron muestras de suelo de la zona de “las Islas” y, con estos datos, además de datos climatológicos (precipitación y evaporación) provenientes de la Estación Meteorológica, la Dra. Siebe está determinando la lámina de riego, primero para esta zona y, posteriormente, para el resto del campus. Una vez que se cuente con esos datos, se dará continuidad a los talleres con jardineros.

Talleres con personal de mantenimiento

Los días 19, 20 y 21, así como 26, 27 y 28 de mayo se llevaron a cabo el taller “Uso eficiente del agua dentro de las dependencias UNAM”. Se invitó a las personas de mantenimiento de las dependencias que colaboraban con el Programa en ese momento. El propósito principal del taller fue detectar las áreas de oportunidad para disminuir el consumo de agua potable y dar capacitación en aspectos específicos, como la reparación de fugas y el mantenimiento de fluxómetros. Al evento asistieron representantes de 29 dependencias. En el Anexo de Comunicación / Participación se presenta el análisis del cuestionario aplicado a los asistentes, con el objetivo de conocer su opinión del taller, así como la información recabada de la participación de los asistentes y las conclusiones del taller.

Debido a que el robo de fluxómetros es un problema recurrente en la UNAM, el 11 y 12 de noviembre se llevó a cabo el taller “Seguridad en fluxómetros”. Fueron invitadas las 48 dependencias universitarias que han sustituido sus muebles de baño por otros ahorradores, con especificaciones de **PUMAGUA**. Asimismo, se invitó a las dos empresas fabricantes de los muebles y a dos alumnos de la carrera de diseño industrial, de la UNAM. Lo anterior con el fin de proponer dispositivos anti-vandalismo que tuvieran un diseño homogéneo, incorporado desde fábrica.

El programa del evento se presenta a continuación:

Seguridad en fluxómetros de muebles PUMAGUA	
11 y 12 de Noviembre. Torre de Ingeniería. UNAM	
Programa de actividades	
Jueves 11 de Noviembre	
Hora	Participante
9:00 a 9:30	Registro de participantes
9:30 a 9:45	Introducción sobre el Programa de Muebles de Baño (Dr. Rafael Val Segura, Coordinador Ejecutivo PUMAGUA)
9:45 a 10:30	Problemas de vandalismo de los fluxómetros en la UNAM (Jefes de Servicios Generales)
10:30 a 12:00	Acciones implementadas para evitar el vandalismo de los fluxómetros (Jefes de Servicios Generales)
Viernes 12 de Noviembre	
Hora	Participante
9:00 a 9:30	Propuesta de dispositivo para evitar el vandalismo de fluxómetros Helvex
9:30 a 10:00	Propuesta de dispositivo para evitar el vandalismo de fluxómetros Sloan
10:00 a 11:00	Participación y sugerencias sobre el diseño de la propuesta (Jefes de Servicios Generales)
11:00 a 12:00	Lineamientos generales para el diseño de los dispositivos anti-vandalismo (Estudiantes de Diseño Industrial, UNAM)

Figura 29. Taller “Seguridad en fluxómetros de muebles”

Además de la fabricación de un dispositivo anti-vandalismo, el taller facilitó el intercambio de ideas sobre otras acciones que impiden el vandalismo, tales como la vigilancia, mecanismos preventivos y disuasivos, así como acciones de comunicación. Las conclusiones del taller se presentan en el Anexo de Comunicación / Participación. Se propuso realizar otro taller en el mes de febrero de 2011 para que las empresas fabricantes presenten sus propuestas de dispositivos, así como para que el personal de las dependencias universitarias presente sus sugerencias a la DGOyC acerca de los puntos que se tienen que tomar en cuenta en las remodelaciones de los sanitarios, con el fin de propiciar el buen funcionamiento de los muebles sanitarios y de evitar el vandalismo de los mismos.

XIII. Estudios Específicos

a. Estudio QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment) para PUMAGUA

Con el objetivo de evaluar la exposición de la comunidad universitaria al consumir agua del *campus* y al tener contacto indirecto con agua residual tratada que se reusa para riego de las áreas verdes, se planteó utilizar la metodología QMRA tomando como estudio de caso el *campus* de Ciudad Universitaria.

Para lograr el objetivo del estudio se decidió utilizar encuestas como una herramienta para la obtención de información con respecto al consumo de agua y al uso de áreas verdes que son regadas con agua residual tratada. Se diseñaron dos encuestas que se aplicaron a integrantes de la comunidad universitaria (estudiantes, académicos, administrativos-trabajadores), conservando las proporciones en las que está representada cada subpoblación y a usuarios de áreas verdes del *campus*. Para el análisis de resultados de este estudio se cuenta con la colaboración del Dr. Carlos Díaz Ávalos, investigador de Instituto de Investigación en Matemáticas Aplicadas y Sistemas de la UNAM (IIMAS-UNAM).

Con la participación voluntaria de 36 estudiantes de la Facultad de Ciencias, Instituto de Ecología, Facultad de Ingeniería, Instituto de Ingeniería y Facultad de Filosofía y Letras, se levantaron 1166 encuestas.

En la **Tabla 6** se muestran los resultados obtenidos sobre el agua que consumen los universitarios, tanto en volumen como la fuente. Los resultados dan clara evidencia del alto consumo de agua embotellada, lo cual tiene implicaciones en cuanto a los costos de esta práctica y en cuanto a la producción de residuos sólidos debido a las botellas de plástico.

Tabla 6. Porcentaje de la comunidad universitaria que consume agua dentro del campus y el volumen promedio de consumo.

	Agua de la red de distribución	Agua embotellada	No toman agua en el campus
Población (%)	13.5	82.8	3.7
Consumo promedio mL/día/persona)	8.7	977.3	

Cuando se preguntó sobre las razones por las que no consume agua de la red de distribución se obtuvo respuestas que se pueden clasificar en tres categorías:

- Organolépticas: sabor, olor, color/turbidez
- Salud: temor a que no esté desinfectada, desconfianza del sistema de desinfección, aseguran que no es potable, aseguran que está contaminada.
- Otras: si beben agua de la red del *campus*, beben otras bebidas, traen agua de sus casas, exclusivamente beben agua embotellada.

De acuerdo con las respuestas, los universitarios no consumen agua de la red en primer lugar por características organolépticas, en segundo lugar por temor a afectar su salud y en tercer lugar por otros motivos. Esto coincide con trabajos reportados donde el consumo de agua de las redes de distribución está dado por la percepción de sabor, olor y color del agua (Doria, 2006), sin que esto necesariamente esté relacionado con salud.

Los resultados de la encuesta sobre consumo de agua dentro del campus, están integrados en un manuscrito sometido para su posible publicación en la revista internacional especializada *Water Research*. Las encuestas que se aplicaron en el estudio se presentan en el Anexo de Calidad del Agua.

Con respecto a los resultados obtenidos en la encuesta sobre hábitos de uso de las áreas verdes se encontró que los usuarios realizan principalmente las actividades que se muestran en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Actividades que realizan los usuarios de las áreas verdes del campus.

Actividad
Descansar/dormir
Leer/estudiar
Comer
Jugar
Pasear mascotas

Un resultado interesante fue que el 30% de los usuarios de las áreas verdes no forman parte de la comunidad universitaria, lo que deja claro que las áreas verdes de Ciudad Universitaria tienen una función recreativa para los ciudadanos que las visitan principalmente los fines de semana.

Los hábitos de uso de las áreas verdes que implicarían una mayor exposición a microorganismos, presentes en el agua de reuso para riego o en la superficie del pasto, son en orden de mayor exposición:

- Uso de las áreas en las temporadas de riego,
- Uso de las áreas con una frecuencia de 3-5 días/semana,
- Permanencia de una hora o más
- Ingesta de alimentos sobre el pasto

Se encontró que el 30% de los usuarios coincidieron con los cuatro criterios que sugieren una mayor exposición al agua de reuso y a los microorganismos que en ella se encuentran así como también en los pastos.

Por último, se tiene la base de datos para obtener la estadística descriptiva y para aplicar la metodología de análisis QMRA, que nos permitirá conocer el riesgo potencial de salud que implica hacer uso de las áreas verdes bajo los niveles actuales de calidad de agua de reuso en riego; estos resultados se integran en un manuscrito para su publicación en revista especializada.

b. Campaña de prácticas eficientes de uso de agua en CU

Antecedentes

Los avances realizados por **PUMAGUA** hasta el momento han brindado diversos elementos de análisis para comprender la problemática del agua al interior de Ciudad Universitaria y desde el programa se vienen realizando diversas acciones encaminadas al mejoramiento de estas situaciones. Asimismo se ha logrado dar a conocer el Programa nacional e internacionalmente e involucrar a la mayor parte de las autoridades de las dependencias universitarias en acciones concretas para disminuir el suministro de agua, lo cual ha resultado en un número significativo de litros ahorrados.

Para involucrar con mayor efectividad a la población universitaria, como parte de su tesis de maestría, la Psic. Carolina Escobar Neira lleva a cabo un estudio que busca encontrar las formas de acercamiento que conlleven a la adopción de conductas de ahorro por parte de toda la comunidad universitaria. Este estudio toma en cuenta que la población de CU se conforma de diversos actores, los cuales fueron considerados en la encuesta que el área de comunicación/participación llevó a cabo en 2008.

Lo que se busca saber con el estudio es la estrategia de intervención más efectiva para promover el ahorro de agua en toda la comunidad de ciudad universitaria, partiendo de las características propias de su quehacer cotidiano.

Objetivo General

Promover el ahorro de agua en diferentes dependencias de Ciudad Universitaria, a través de estrategias enmarcadas en la conciencia del problema, el control conductual percibido, la norma social y la norma personal

Objetivos Específicos

- Identificar factores sociales, personales, contextuales y de cultura que inciden en la conducta de ahorro de agua.
- Determinar la potencia predictiva de esos factores en la ejecución de acciones de ahorro de agua.

Para el diseño del estudio se consideraron como variables independientes, es decir, aquellos elementos que se van a implementar, tres estrategias enmarcadas en la Educación Ambiental:

Instruccional: Busca atraer la atención sobre una conducta y un tema específicos, se pretende instruir, mostrar paso a paso la mejor forma de hacer algo y de esta manera mejorar una conducta, de modo que se convierta después en un hábito.

De apoyo: Busca generar prácticas eficientes, rutinas y hábitos, es útil cuando se quiere verificar que una conducta de ahorro se haga bien, en esta estrategia es muy importante el apoyo de los pares para garantizar que la retroalimentación sea bien recibida.

Motivacional: Esta estrategia requiere motivación externa, el beneficio que se obtiene por realizar el comportamiento de ahorro, se verá recompensado a mediano o largo plazo.

Como variables dependientes, es decir lo que se quiere modificar, se consideraron las conductas de ahorro de agua y la intención de implementar acciones de ahorro de agua, para lo cual se diseñó un cuestionario y se tendrán en cuenta las mediciones objetivas de consumo, obtenidas de los medidores.

Con el fin de obtener una muestra de las diferentes poblaciones presentes en CU, como participantes del estudio se escogieron las dependencias que han sido clasificadas según el uso que hacen del agua en tres tipos de usuarios: académico, administrativo y de investigación. De cada una de estas categorías se escogieron aleatoriamente tres dependencias para un total de nueve y a cada una de ellas se asignó uno de los tres tipos de intervención, de acuerdo con la **Tabla 8**.

Tabla 8. Dependencias que se encuentran en el estudio.

Estrategia	Dependencia
Instruccional	Facultad: CELE Dependencia Administrativa: Dirección Gral. Servicios de Cómputo Dependencia de Investigación: Instituto de Ingeniería
De Apoyo	Facultad: Ciencias Políticas y Sociales Dependencia Administrativa: Dir. Gral. De incorporación y revalidación Dependencia de Investigación: Instituto de Estéticas
Motivacional	Facultad: Medicina Veterinaria y Zootecnia Dependencia Administrativa: Dir. Gral. de Actividades Cinematográficas Dependencia de Investigación: Instituto de Biología

Instrumentos

Como se mencionó anteriormente, se contará con los datos objetivos de los medidores para registrar el consumo de las dependencias escogidas. Adicionalmente se diseñó un cuestionario conformado por cinco escalas y sus sub elementos para un total de catorce escalas, con el fin de medir la conducta de ahorro de agua y evaluar la intención de ahorro del agua, el control percibido, la norma social, la norma personal y la conciencia del problema.

Estos elementos forman parte del estudio como variables mediadoras y surgen de la revisión teórica que para su formulación se realizó, principalmente de un meta - análisis acerca de conducta pro ambiental realizado en 2007 por Bamberg, S. & Möser, G., en el cual aparecen estas variables como predecesoras de la intención de ahorro y esta última como antecedente inmediato de la conducta de ahorro.

Como control conductual percibido se entiende la evaluación del grado de control que tienen las personas sobre algo, es decir, la forma como evalúan su propia capacidad para modificar un resultado; por norma social se entiende la presión social ejercida por el grupo para hacer algo; la norma personal se refiere a la presión interna surgida de los propios valores, al sentimiento de obligación o de culpa que produce el hacer o dejar de hacer algo; finalmente, con creencia se hace referencia a los conocimientos que la persona cree tener respecto a un tema, lo que cree que es cierto y que por tanto orienta sus acciones.

Para el desarrollo del estudio se plantean varias fases y se espera contar con resultados definitivos para el primer semestre de 2011:

Fase 1 Diagnóstico

En esta fase se elaboró y realizó el pilotaje del cuestionario a validar con 402 personas en toda Ciudad Universitaria. A partir del análisis de los resultados se elaboró la versión final del instrumento. Se diseñaron las estrategias de intervención y se seleccionaron las dependencias a intervenir.

Fase 2 Intervención

Se aplicó la versión final del cuestionario a 667 personas de las nueve dependencias escogidas, teniendo en cuenta su ocupación (estudiante, administrativo, académico) y género. Se implementaron las estrategias de apoyo e instruccional y se llevó a cabo registro y levantamiento de la información. La estrategia motivacional se desarrollará en el primer trimestre de 2011.

Fase 3 Evaluación

Se aplicará el instrumento a los nueve grupos a manera de post – test y se evaluará cada estrategia.

Resultados preliminares de la fase de diagnóstico

Las acciones para ahorrar agua con las que más se está de acuerdo son el cambio de muebles por ahorradores y el establecimiento de sanciones a dependencias que desperdicien. En cuanto a responsabilidades frente al desperdicio, éstas se orientan más hacia autoridades universitarias y académicos, respecto a estudiantes las respuestas se equilibran para el total de la población encuestada.

La muestra encuestada considera muy importante que se incluyan en el reglamento universitario sanciones a las personas y dependencias que desperdicien.

En cuanto a las medidas que las autoridades de cada dependencia toman respecto al uso del agua, se menciona que lo que menos hacen es informar acerca de medidas de ahorro y promover el consumo responsable, mientras que lo que más hacen es el reemplazo de muebles y la reparación de fugas, es decir que en lo que menos se ocupan es en la labor educativa con los miembros de la comunidad.

El 89,2% de los encuestados cree que el ahorro de agua que se hace en su dependencia depende del cambio de hábitos de todos. El reporte oportuno de fugas y el intercambio de agua potable por tratada para realizar el riego de jardines son las acciones que se considera contribuyen más al ahorro de agua. Las campañas de concientización son consideradas por el 77% como la estrategia que lograría mayor efectividad en la propia dependencia.

Finalmente, hay gran desconocimiento en cuanto al manejo de agua en CU y se evalúa el propio comportamiento como correcto y afín al ahorro de agua.

Alcances

Finalmente, lo que se busca es la creación de una propuesta de modelo de análisis respecto a la generación de conductas de ahorro de agua, a partir de las variables control percibido, norma social, norma personal y conciencia del problema y la formulación de una estrategia orientada a la generación de conductas de ahorro en población universitaria. En general se espera contribuir en términos metodológicos al campo de la educación ambiental en general y al diseño de estrategias efectivas de comunicación de **PUMAGUA** en particular, aportando elementos para el trabajo con población universitaria que conlleven al ahorro efectivo de agua en CU, de modo que se den herramientas para un programa integral de ahorro que se pueda ampliar a otros campi universitarios.

c. Observatorio del agua

El Observatorio del Agua es un proyecto de la Red del Agua UNAM. A partir de la información generada en la Universidad sobre el funcionamiento del servicio de agua, tanto con respecto a cuestiones de calidad, de cantidad, como de responsabilidad de la comunidad en el uso del agua. El Observatorio identificará los atributos, criterios de diagnóstico e indicadores pertinentes y creará foros de discusión entre académicos especialistas en el tema, usuarios y asociaciones diversas de la UNAM para emitir recomendaciones encaminadas a lograr un sistema de agua eficiente y con visión de largo plazo. Asimismo, divulgará la información entre el público no especializado; promoverá conductas responsables en el uso y manejo del agua; y llevará a cabo actividades de capacitación en aspectos teóricos y técnicos relacionados con el agua.

Entre los atributos, criterios de diagnóstico e indicadores se sugiere aquellos relacionados con la prestación del servicio (eficiencia hidráulica, satisfacción de demanda, calidad adecuada, etc.) y aquellos referentes a la responsabilidad de los usuarios (actitudes y conductas positivas, participación activa de las dependencias universitarias, etc.). Debido a que en la actualidad no se cuenta con toda la información sobre los temas relevantes y que obtenerla en su totalidad tomará alrededor de dos años, se plantean tres fases del Observatorio para completar su conformación en dicho plazo.

XIV. Formación de Recursos Humanos

a. Tesis

- Autor: José Daniel Rocha Guzmán.

Título: Diagnóstico y Sectorización del Sistema de Agua Potable de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil.

Fecha: Abril de 2010

- Autor: Aragón Romero Eduardo y Quiñones Sandoval Marco Antonio

Título: Sistema de planeación estratégica enfocada a la sustentabilidad de un programa para la captación de precipitaciones pluviales en la Facultad de Ingeniería.

Fecha: 2009

- Autor: García García Carlos y Pérez Ávila Marco Antonio

Título: Propuesta metodológica para la implantación de los sistemas de captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería.

Año: 2009

- Autor: Segura Flores Sinhue Alonso

Título: Programa de concientización del uso y cuidado del agua en la Facultad de Ingeniería

Año: 2009

- Autor: Yared Alonso y Daniel Peña

Título: Estudio de localización de un sistema de tratamiento ecológico de aguas residuales en el campus de ciudad universitaria.

Año: 2009

- Autor: Erick Iván García Santiago

Título: Análisis de potencialidad de reuso de agua residual en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Tesis para obtener el título de Ingeniero.

Fecha: 2009

- Autor: Claudia Silva Sandoval

Título: Diagnóstico fisicoquímico del agua para reuso en Ciudad Universitaria, UNAM.

Tesis para obtener el título de Ingeniero.

Fecha: 2009

- Autor: María Guadalupe Corona García

Título: Análisis microbiológico del efluente de las plantas BRAIN y determinación de bioaerosoles en la zona de riego de las islas de C.U.

Tesis para obtener el título de Ingeniero.

Fecha: 2009

- Autor: Rut Sarait Vargas Ramírez

Título: Evaluación del proceso de microfiltración para mejorar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Tesis para obtener el título de Ingeniero.

Fecha: 2010

- Autor: María Alejandra Fonseca Salazar

Título: Bacteriófagos como indicadores de la calidad del agua en Ciudad Universitaria.

Tesis para obtener el título de Bióloga.

Fecha: 2010

- Autor: Germán Castro Hernández

Título: Propuesta de mejoras del sistema de desinfección de ciudad universitaria.

Tesis para obtener el título de Ingeniero.

Fecha: En revisión

- Autor: Juan Carlos Maravillas Aparicio

Título: Evaluación del proceso de ultrafiltración para mejorar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Tesis para obtener el título de Ingeniero.

Fecha: En revisión

- Autor: Miguel Atl Silva Magaña

Título: Uso de indicadores virales para la evaluación de la calidad del agua en Ciudad Universitaria, México.

Fecha: En revisión

- Autor: María Teresa Valeriano González

Título: Evaluación de contaminantes para determinar la eficiencia de tratamiento, en diversas matrices ambientales.

Fecha: En desarrollo

- Autor: Fernando Bautista Arriaga

Título: Situación actual de la calidad de agua destinada para uso y reuso en Ciudad Universitaria de la UNAM

Fecha: En desarrollo

- Autor: Ricardo Nava Shimada, y Gabriel Eduardo Olivares Watson

Título: Propuesta de dimensionamiento de los sistemas de desinfección por medio de ozono e hipoclorito de sodio para los pozos de Ciudad Universitaria (Mancomunada)

Fecha: En desarrollo

- Autor: Nallely Vázquez Salvador

Título: Permanencia de virus entéricos en la matriz vegetal (pastos) regada con agua residual y residual tratada

Fecha: En desarrollo

Estancias Posdoctorales

Ana Cecilia Espinosa García: Coordinación de muestreos y análisis de agua para la detección de indicadores alternativos y virus entéricos. Estudios de evaluación de exposición de usuarios de las áreas verdes regadas con agua residual tratada.

Lourdes Lloret y Sánchez: Detección de bacterias patógenas en agua de uso y reuso a partir de métodos moleculares. Coordinación de las actividades de concentración y procesamiento de muestras para la detección de patógenos bacterianos.

b. Trabajos con valor curricular

Alumnos de Biología

Cuarenta y tres alumnos de la carrera de Biología, que cursaron la materia de Recursos Naturales con la Dra. Lucía Almeida Leñero y con la Dra. Irama Núñez, participaron en **PUMAGUA**, mediante la realización de investigaciones diversas:

- Análisis de percepción de la vegetación nativa del Pedregal de San Ángel para reintroducción en dos dependencias de Ciudad Universitaria.
- Captación pluvial en la Facultad de Ciencias, una alternativa de abastecimiento.
- Evaluación de la percepción sobre el consumo de agua embotellada con respecto al agua potable en la Facultad de Ciencias.
- Localización de Zonas aptas para el restablecimiento de vegetación nativa del Pedregal de San Ángel en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.
- Guía del jardín demostrativo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.
- Análisis de percepción de la vegetación nativa del Pedregal de San Ángel para reintroducción en dos dependencias de Ciudad Universitaria.

Asimismo, los alumnos elaboraron un video sobre una de las acciones impulsadas por PUMAGUA, junto con la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) y el Jardín Botánico: la sustitución de algunos jardines por plantas nativas del Pedregal de San Ángel. El área de comunicación/participación hizo tres revisiones del guión (ver Anexo de Comunicación / Participación) y participó en la grabación del video.

Por parte de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, los alumnos de la materia de Recursos Naturales, realizaron trabajos de investigación sobre la cantidad de agua potable que se consume en diversas actividades de los Centros de Enseñanza, Producción e Investigación de la FMVZ (ver Anexo de Comunicación y Participación).

Alumnos de Diseño Industrial

Se solicitó al Coordinador de la licenciatura de Diseño Industrial, D.I. Héctor López Aguado, que invitara a alumnos de dicha licenciatura a realizar dos propuestas de bebederos para la UNAM: una para exteriores y otra para interiores. El D.I. López Aguado presentó cincuenta propuestas de alto nivel (ver Anexo de Comunicación / Participación). A continuación, el equipo de **PUMAGUA** seleccionó tres propuestas de bebederos para exteriores y tres para interiores, con base en los siguientes criterios:

- Ausencia de filtros (para evitar problemas de mantenimiento).
- Alta resistencia al vandalismo.
- Imposibilidad de contacto entre la boca de los usuarios y el bebedero.
- Imposibilidad de acumular basura dentro de ellos (en el caso de los exteriores).
- Dificultad para subirse en ellos (en el caso de exteriores).

Alumnos de Calidad del Agua

En el área de Calidad del Agua se ha contado con la colaboración de estudiantes prestadores de Servicio Social que han participado en diversas actividades.

Erick Montes Sevilla: Elaboración de manuales y muestreo de cisternas. 2010-2

Josele Rosas Nava: Elaboración de manuales y muestreo de cisternas. 2010-2

Jaqueline J. Noguéz: Muestreo y concentración de muestras de agua para la detección de quistes y ooquistes de parásitos. 2011-1

Germán Atzin Mora Roldán: Concentración y procesamiento de muestras de agua de uso y reuso, para la detección de bacterias patógenas. 2011-1

XV. Congresos, Publicaciones, Conferencias y Medios Masivos

a. Congresos

- Evento: XXXII Congreso de AIDIS. Del 7 al 11 de noviembre de 2010. República Dominicana

Nombre de la ponencia: Importancia de un programa de control de calidad del agua para el buen uso y manejo del agua en la UNAM. Resultados y acciones

Participantes: Ma. Teresa Orta L. de Velásquez, Isaura Yáñez Noguez, Fernando González Villarreal, Rafael Val Segura, Erick Iván García Santiago

- Evento: XXXII Congreso de AIDIS. Del 7 al 11 de noviembre de 2010. República Dominicana

Nombre de la ponencia: Relevancia del monitoreo de la calidad del agua tratada, en las prácticas de reuso en la UNAM

Participantes: Isaura Yáñez Noguez, María Teresa Orta De Velásquez, María Neftalí Rojas Valencia, Fernando González Villarreal, Erick Iván García Santiago.

- Evento: Congreso IWA-YWP 2010 (Young water professionals). 12-14 de abril. Querétaro, México

Nombre de la ponencia: Colifagos como indicadores de la calidad del agua en ciudad universitaria, Distrito Federal.

Participantes: Fonseca-Salazar, M.A., A.C. Espinosa y M. Mazari-Hiriart.

- Evento: World Congress of Virus and Infections (WCVI 2010), Busan, Corea del Sur. 30 jul-4 de agosto.

Nombre de la ponencia: Enteric viruses in water as an environmental risk factor in a megacity.

Participantes: Espinosa-García, A.C., C. Díaz Ávalos, M. Mazari Hiriart y F. González Villarreal.

- Evento: 1er Congreso Internacional de Salud Ambiental Zapopan, Jalisco. 18-22 de octubre.

Nombre de la ponencia: Hábitos de uso de áreas verdes regadas con agua residual tratada y exposición a contaminación fecal.

Participantes: Espinosa, A.C., C. Díaz Ávalos, M. Mazari Hiriart y F. González Villarreal.

- Evento: 1er Congreso Internacional de Salud Ambiental, Zapopan, Jalisco, 18-22 de octubre.

Nombre de la ponencia: Estudio comparativo entre enterovirus y colifagos como indicadores de contaminación fecal y viral en agua

Participantes: Silva-Magaña, M.A. A.C. Espinosa y M. Mazari Hiriart.

- Evento: XXI Congreso Nacional de Hidráulica. Guadalajara, Jalisco del 27 - 30 de Octubre.

Nombre de la ponencia: Sistema Integral de Medición de Agua Potable en Ciudad Universitaria de la UNAM. PUMAGUA.

Participantes: Fernando J. González Villarreal, Rafael Val Segura y José Daniel Rocha Guzmán.

- Evento: XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Efectuado en Punta del Este, Uruguay del 21 al 25 de Noviembre de 2010.

Nombre de la ponencia: Sistema Integral de Medición de Agua Potable en Ciudad Universitaria de la UNAM. PUMAGUA.

Participantes: Fernando J. González Villarreal, Rafael Val Segura y José Daniel Rocha Guzmán.

- Evento: Asistencia al 7° Seminario Nacional de Eficiencia en Agua y Energía. Wategy. Efectuado en Acapulco, Guerrero del 29 al 30 de Octubre de 2010

Nombre de la ponencia: Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM. PUMAGUA.

Participantes: José Daniel Rocha Guzmán.

Integrated Water Management Conference Perth, Australia, febrero de 2011

Se envió un resumen del trabajo del área de comunicación/participación al Congreso de Manejo Integral del Agua (Integrated Water Management), que se llevará a cabo en Perth, Australia, en Febrero de 2011. El trabajo fue aceptado para presentación oral.

Foro Nacional Agenda del Agua 2030

Se presentó PUMAGUA en el Foro Nacional Agenda del Agua 2030 con la intención de aportar ideas a la mesa de trabajo de Cultura del Agua..

Convención Nacional de ANEAS

Se presentó un stand de PUMAGUA en el Convención Nacional de ANEAS, los días 10 al 13 de noviembre. En el mismo se distribuyeron trípticos y se informó sobre el programa a los visitantes al stand, tales como personal del Sistema de Aguas de Veracruz y de Aguascalientes.

Reunión del Inventario Nacional de Humedales

En la reunión del Inventario Nacional de Humedales, que se celebró los días 4 y 5 de noviembre, se presentó el material interactivo de PUMAGUA y se distribuyeron trípticos del Programa, tanto en inglés como en español.

Exposición de cien años de la UNAM

En el Palacio de Minería se montó una instalación de PUMAGUA para la conmemoración de los cien años de la UNAM. La instalación consistió en el material interactivo sobre objetivos y componentes del Programa, un lavabo, una foto aérea de CU, en donde se señalaban elementos importantes del sistema de manejo de agua.

b. Publicaciones

Espinosa, A. Díaz, C, Mazari-Hiriart, M., González-Villarreal; F. Trends in water consumption and water quality perception, UNAM study case. *Water Research*, En revisión.

Espinosa, A.C. Mazari-Hiriart, M., González-Villarreal, F, Díaz, C.. QMRA Methodology for Assess Wastewater Reuse Risk of Health. En proceso 40% de avance.

González Villarreal, F., Lartigue Baca, C. y Val Segura, R. (2010) PUMAGUA: Programa universitario del uso eficiente del agua. *¿Cómo ves?* Año 12, Número 138. p. 30-32.

González Villarreal, F., Lartigue Baca C. y Val Segura, R. (2010) PUMAGUA: Haciendo más eficiente el uso del agua en la UNAM. *Revista AAPAUNAM*. Año 2, Número 2, Abril-Junio 2010.

González Villarreal, F., Val Segura, R. Lartigue Baca, C. y Domínguez Mares, M. (2010) La Red del Agua y PUMAGUA: respuestas de la UNAM ante la crisis hídrica. *Teorema ambiental*. Diciembre 2010-Enero 2011.

2010. PUMAGUA., UNAM *Gaceta del Instituto de Ingeniería*. Número 62. Junio-Julio.

Ojeda Ramírez, M. 2010. PUMAGUA en la Recuperación del agua potable. *Revista AAPAUNAM*. Año 2, No. 4. Octubre-Diciembre 2010.

c. Conferencias, Cursos y presencia en medios masivos

Mirador universitario, canal 22

Se presentaron PUMAGUA y la Red del Agua UNAM en el programa de televisión Mirador Universitario, en el canal 22, conducido por la Maestra Mireya Imaz, coordinadora del PUMA.

Presentación a investigadores de la Universidad de Purdue

Se presentaron los objetivos y avances del Programa a un grupo compuesto, tanto de investigadores de la Universidad de Chapingo, de la UAM, así como de la Universidad de Purdue, Indiana, Estados Unidos. Estos últimos se encontraban visitando diversas instituciones de investigación (UAM, Chapingo, UNAM) con el objetivo de identificar proyectos de colaboración con dichas dependencias.

Diplomado en Geomática

El Instituto de Geografía de la UNAM organiza anualmente un diplomado en Geomática, al cual asisten personas de la Universidad y externas a ésta. En ocasión del VI Diplomado y por segunda vez, el área de Comunicación/Participación presentó los objetivos y avances del Programa, así como la información que está siendo vertida en el SIG, como una introducción a la plática presentada por el Maestro Javier Osorno, referente a la parte técnica de la construcción del SIG.

Radio UNAM

Se acudió a una entrevista para el programa Ingeniería en Marcha, de Radio UNAM, conducido por el Ing. Ernesto Mendoza y la Ing. Alexandra Torres. Ahí se presentaron los avances del Programa, así como los objetivos de la Red del Agua UNAM. El programa será transmitido el día 4 de enero de 2011.

Impartición del curso: Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro los días 23 y 24 de Septiembre de 2010

Impartición del curso: Los planes de seguridad del agua. XXIV Convención Nacional de Aneas. 9 al 13 de Noviembre de 2010.

Espinosa-García, A.C. 2010. Detección de virus entéricos como herramienta para la evaluación de la calidad del agua. Ciclo de conferencias del Departamento de Gastroenterología del Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán (INNSZ), 13 agosto.

Espinosa-García, A.C. 2010. Detección de virus entéricos como herramienta para la evaluación de la calidad del agua. Ciclo de conferencias del Departamento de Gastroenterología del Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán (INNSZ), 13 agosto.

XVI. Presencia externa de PUMAGUA

a. Secretaría de Seguridad Pública (SSP)

Una de las instituciones interesadas en la implementación de PUMAGUA es la Secretaría de Seguridad Pública (SSP). Se asistió a una reunión donde se señaló el método a utilizar para implementar esta área en la SSP. Se generó una propuesta de trabajo, la cual consiste, de manera general, en la realización de un diagnóstico sobre el funcionamiento de la SSP en términos de estructura organizacional, así como de los conocimientos, actitudes y prácticas en torno al tema del agua que prevalecen en la comunidad y los canales de comunicación más efectivos dentro de la institución.

b. Metepec

Se elaboraron los términos de referencia, para ser implementada en el Municipio de Metepec. Las fases propuestas para el mismo fueron las siguientes:

- Balance Hidráulico de sus instalaciones.
- Recuperación de caudales.
- Técnicas para ahorro de agua.
- Mejoramiento en la calidad de agua de suministro.
- Campaña de comunicación.
- Diseño de estrategia de comunicación.
- Evaluación de impacto de acciones.

c. Programas Hidrológicos Internacionales para América Latina y el Caribe – UNESCO

PUMAGUA forma parte de los Programas Hidrológicos Internacionales de la UNESCO a través del Programa de Responsabilidad Hídrica, dentro del Programa Marco de Desarrollo de Capacidades en Agua para las Américas y El Caribe.

Con el fin de determinar la orientación de dicho Programa y poder implementarlo en organismos de Sudamérica, se llevó a cabo una reunión con el Dr. Marcelo Gaviño, de la Universidad de la Plata. Se acordó que trabajaría en la certificación de las entidades con responsabilidad hídrica, en la cual se le daría prioridad a la parte de cultura del agua.

XVII. Referencias

Acra, A., Jurdi, M., Muallen, H., Karahagopian, Y., Raffoul, Z. (1990), Water disinfection by solar radiation, Ottawa: International Development Research Centre. Ottawa Canada.

Alliance to Save Energy. Prohidro. (2008) La sectorización como solución. V Seminario Nacional de Agua y Energía. Watergy. Comunicación personal.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation (2005) Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21^a ed. United Book Press. Washington. D.C.

ANAYA, G.M. (2004). Manual de Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe; IICA. Ed. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México.pp.20-31,765-76.

APHA, AWWA, WEF (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21^a ed., American Water Works Association Washington, DC, USA.

APHA, AWWA and WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edn, American Public Health Association, Washington D.C., USA, 1998.

Arbuthnot, J. (1977). The roles of attitudinal and personality variables in the prediction of environmental behavior and knowledge. *Environment and Behavior* 9,217-232.

Arcury, T. (1990). Environmental attitude and environmental knowledge. *Human Organization* 49, 4, 300-304.

Arctur, D. and M. Zeiler (2004). Desinging Geodatabases: Case studies in GIS data modeling. Redlands, California, ESRI.

Bamberg, S. & Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford and Tomera: a new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behavior. *Journal of Environmental Psychology*, 27, 14-25.

Blanco-Galvez, J., Fernandez-Ibanez, P. & Malato-Rodriguez, S. Solar photocatalytic detoxification and disinfection of water: Recent overview. *J. Solar Energy Eng.* 129, 4–15 (2007).

Blanco J. "El reactor solar fotocatalítico: estado del arte " Capítulo 17 del libro "Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación de agua". M.A. Blesa and J. Blanco Eds. ISBN in process, pp. 271-294, 2005a.

Boutin, P.; Torre, M.(1987) Bacterial and fungal atmospheric contamination at refuse composting plants: a preliminary study. In: Compost: Preparation and Use (De Bertoldi et al., eds), London and New York, Elsevier Applied Science. pp. 266-275.

Crittenden, J. C., Trussl, R. R., Hand, D.W., Howe, K. J., Tchobanoglous, G. (2005), *Water Treatment: Principles and Design*, Second edition, USA. pp 1040-1041.

DOF. (2000) Modificación a la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994.Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México, D.F., 22 de noviembre.

DOF (1998) Norma Oficial Mexicana, NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. México, D. F. , 21 de septiembre, 1998.

Doria, M.F. (2006). Bottled water vs. tap water: understanding consumers' preferences. *J Water Health* 4(2):271-276.

Environmental Protection Agency (2001). Method 1601: Male-specific (F+) and Somatic Coliphage in Water by Two-step. Enrichment Procedure. United States Office of Water Environmental Protection. Washington D.C. 20460. April 2001. EPA 821-R-01-030.

Environmental Protection Agency (2005) Water Distribution System Analysis. Field Studies, Modeling and Management. A reference guide for utilities. EPA. Cincinnati, Ohio. Pp 70 - 84.

Falkinham JO 3rd (2009). Surrounded by mycobacteria: nontuberculous mycobacteria in the human environment. *J Appl Microbiol* 107(2):356-67.

Fernández, P.(2005) "Desinfección con reactores solares: experiencia operativa", *Solar Safe Water*. Catalysis Today, Navarra ESP. Pp. 35-45.

Florian Hernández Martínez (2003), "Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso". MWA ediciones, Mexico, Mexico.pp. 12-36.

García Sánchez, J.(2002) Introducción al diseño de zonas de riego y drenaje. Hidráulica. Instituto de Ingeniería, UNAM.

Gill, L., Price, C. (2009), "Continuous flow solar disinfection system for a rural community in Kenya", 34th WEDC International Conference, Addis Ababa, Ethiopia.

Gómez, H., Fontán, M., Sichel, C., Fernández, P., Ares, E.(2009), "Efficacy of the solar water disinfection method in turbid waters experimentally contaminated with *Cryptosporidium parvum* oocyst under real field conditions", *Tropical Medicine and International Health*, Vol. 14, No.6, pp. 620 – 627.

González Villarreal, F.J., Orta de Velázquez M.T., Yáñez Noguez, I., Monje Ramírez, I., Val Segura, R. García Santiago, E.I., Castro Hernández, G. Valeriano González, M.T., Rosas Nava, J., Montes Sevilla, E., Bautista Arriaga, F., Watson, G. y Nava Shimada, R. (2009). Informe PUMAGUA Diagnóstico, Programa de Manejo, Uso y Reuso del agua en la UNAM-Calidad del agua. Universidad Nacional Autónoma de México.

Heather Kinkade Levario (2007) Design for water. Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate water reuse. New Society Publishers. Gabriola Island, Canada.

Hines, J. M., Hungerford, H. R. & Tomera, A. N. (1986). Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: a meta-analysis. *Journal of Environmental Education* 18, 1-8.

Huguet Jordi Lluís.(2003). "El agua en la Bioconstrucción, pluviales y grises". Centro de Documentación del Agua.Barcelona. pp. 56-68.

INDAGA (2008)Alliance to Save Energy. Herramientas y tecnologías para el ahorro del agua y energía en los organismos operadores. V Seminario Nacional de Agua y Energía Watergy. Comunicación personal

Jahn, Reinhold (2009). Manual de Incremento de Eficiencia Física. Hidráulica y Energética en sistemas de Agua Potable. Versión Preliminar. CONAGUA. México, D.F. 146 pp.

Jhonson, L. E. (2009). Geographic information systems in water resources engineering, IWA.

Joyce, T. M., Mc. Guigan K. G., Elmore-Meegan, M., Conroy, R. M.(1996)Inactivation of Faecal Bacteria in Drinking Water by Solar Heating, Applied and Environmental Microbiology, 62(2): 399 – 402.

Kaiser, L.G, Wölfiging, S, & Fuhrer, U. (1999). Environmental attitude and ecological behavior. Journal of Environmental Psychology 19, 1-19

Kasper, A. (2007) Safe water system-Effect of chlorination on inactivating selected pathogens. http://www.cdc.gov/safewater/about_pages/CTfactor-final.pdf

Kim H., Kim S. H., Shim T. S., Kim M. N., Bai G.H., Park Y. G., Lee S. H., Cha C. Y., Kook Y. H., Kim B. J. (2005) PCR restriction fragment length polymorphism analysis (PRA)-algorithm targeting 644 bp Heat Shock Protein 65 (hsp65) gene for differentiation of Mycobacterium spp. J Microbiol Methods 62(2):199-209.

Le Dantec C, Duguet JP, Montiel A, Dumoutier N, Dubrou S, Vincent V. (2002). Chlorine Disinfection of Atypical Mycobacteria Isolated from a Water Distribution System. Applied and Environmental Microbiology 68(3):1025-1032.

Leal, M. (2005)Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. Solar Safe Water. Drl ED. Bogota Col. pp 25 - 36

Longley, P. A., M. F. Goodchild, et al. (2005). Geographic Information Systems and Science, Wiley.

Maidment, D. and D. Djokic (2000). Hydrologic and Hydraulic modeling suport: with Geographic Information Systems. Redlands, ESRI.

Maier R. M., Pepper I. L., Gerba C. P. (2009) Environmental Microbiology. Academic Press. Beijing, China. 598 pp.

Newhouse, N. (1990). Implications of attitude and behavior research for environmental conservation. Journal of Environmental Education 22, 26-32.

Nguyen, TV, Le Van P, Le Huy C, Gia KN, and Weintraub A. (2005). Detection and characterization of diarrheagenic Escherichia coli from young children in Hanoi, Vietnam. J Clin Microbiol 43:755-60.

Polaczyk AL, Narayanan J, Cromeans TL, Hahn D, Roberts JM, Amburgey JE, Hill VR. (2009). Ultrafiltration-based techniques for rapid and simultaneous concentration of multiple microbe classes from 100-L tap water samples. J Microbiol Methods 73(2):92-99.

Ramsey, C. E. & Rickson, R.E.(1976). Environmental Knowledge and Attitudes. Journal of Environmental Education 8, 10- 18

Shamsi, U. M. (2005). GIS applications for water, wastewater, and stormwater systems, CBC press.

Siebe, C. (2007) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. En: Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de agua potable. CONAGUA. México, D.F.

Singer, P.C. and Sheng-der-Chang (1998) Impact of ozone on the removal of particles, TOC, and THM precursors. AWWA. 152 pp.

Stahr, Karl (2006). Manual para la descripción y evaluación geológica de suelos en campo. Instituto de Geología, UNAM. México, D.F.

Stockholm Environment Institute (2009). Rainwater harvesting: a lifeline for human well-being. UNESCO. Stockholm, Sue. Pp 25 -36

Taylor RH, Falkinham JO 3rd, Norton CD, Le Chevallier MW. (2000). Chlorine, chloramine, chlorine dioxide, and ozone susceptibility of *Mycobacterium avium*. *Appl Environ Microbiol* 66(4):1702-5.

Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural (UNATSABAR). (2003). Guía de diseño para captación de agua de lluvia. Cepis/OPS - COSUDE Ed. Lima Per.

Ventura, Jr Eusebio. (2002) Captación "in situ" del agua de lluvia para la producción de cultivos en regiones semiáridas Universidad Autónoma de Querétaro. C.U. Cerro de las Campanas, My G Ed. Querétaro Mexico.

Wegelin, M., Canonica, S., Mechsner, K., Fleischmann, T., Pesaro, F., Metzler, A. (1994) Solar water disinfection: scope of the process and analysis radiation experiments, *J Water SRT – Aqua*, 43(3): 154 – 169.

Wegelin, M., Sommer, B. (1997) "Solar water disinfection (SODIS) – destined for worldwide use", *Waterlines* 16: 30 – 32.

Zeiler, M. (1999). *Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design*. Redlands, California, ESRI Press.

"Rainwater harvesting"; <http://www.aboutrainwaterharvesting.com/rwh.htm>

"Indicadores de agua";
<http://www.conagua.gob.mx/ConsultaIndicadores.aspx?Id=Indicadores%20del%20Agua%20Potable,%20Alcantarillado%20y%20Saneamiento%20a%20diciembre%202007> | AGUAS NACIONALES|3|0|0|0|0

"Solution to water crisis"; <http://www.rainwaterharvesting.org/Solution/Solution.htm>

XVIII. Participantes

El trabajo desarrollado durante este año ha sido posible gracias a la participación de un grupo multidisciplinario universitario de profesionales y especialistas en la materia:

DIRECTOR DEL PROGRAMA PUMAGUA

Dr. Fernando J. González Villarreal.

COORDINADOR EJECUTIVO DE PUMAGUA

Dr. Rafael Val Segura.

BALANCE HIDRÁULICO

Ing. José Daniel Rocha Guzmán

Coordinador

Ing. Víctor Alberto Parra Eguializ
Estudiante de Maestría en Ing. Civil. José Miguel Segundo Vázquez
Estudiante de Maestría en Ing. Mecánica. Ricardo Resendiz
Pas. Ing. Civil Maricela Ojeda Ramírez
Pas. Ing. Computación. Carlos David Servín
Estudiante Ing. Civil. Guillermo Alberto Montero Medel
Estudiante Especialidad en Ing. Civil. Tomás Torres Cruz.
Estudiante Ing. Civil. Ehecalt Caballero
Estudiante Ing. Civil. Fernando Reyes Soto
Estudiante Ing. Civil. Iván García Hernández
Estudiante Ing. Civil. Luis Antonio Dávila Borja
Estudiante Ing. Civil. Pablo Alberto Roa Ramírez
Estudiante Ing. Eléctrica. Daniel Mondragón Rodríguez
Estudiante Ing. Eléctrica. Nayeli Sánchez Peralta
Estudiante Ing. Industrial. Saúl Morales Rivera
Estudiante Ing. Tele comunicaciones. Alejandro Bernal Velázquez
Estudiante Ing. Tele comunicaciones. Mario Alberto Espinosa Téllez

CALIDAD DEL AGUA

Instituto de Ingeniería

Dra. Ma. Teresa Orta Ledesma

Coordinadora

M. en C. Isaura Yáñez Noguez
Dr. Ignacio Monje Ramírez
I. Q. Erick Iván García Santiago
Pas. I. Q. Germán Castro Hernández
Pas. I. Q. María Teresa Valeriano González
Pas. Mario Alberto Ramírez Rivera
Pas. Biol. Fernando Bautista Arriaga
Pas. I. Q. Josele Rosas Nava
Pas. I. Q. Erik Montes Sevilla
Pas. I. Q. Ricardo Nava Shimada
Pas. I. Q. Gabriel Eduardo Olivares Watson

Instituto de Ecología

Dra. Marisa Mazari Hiriart

Coordinadora

Dra. Ana Cecilia Espinosa García
Biol. Ma. Alejandra Fonseca Salazar
Pas. Biol. Miguel Atl Silva Magaña
Pas. Biol. Nallely Vázquez Salvador
Pas. Biol. Jaqueline Jeniffer Noguez Lugo

Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas

Dr. Carlos Díaz Ávalos

Coordinadora

Pas. Mat. Velvet Malvaez Orozco

Facultad de Medicina

Dra. Yolanda López Vidal

Coordinadora

Dra. Antonia Isabel Castillo Rodal
Dr. Gonzalo Castillo Rojas
Dra. Lourdes Lloret y Sánchez
Pas. Biol. Germán Atzin Mora Roldán

COMUNICACIÓN Y PARTICIPACIÓN

M. en C. Cecilia Lartigue Baca

Coordinadora

Estudiante de Biología Karen López Estrada
Estudiante de Comunicación Verónica Idalia Natal Cosío
Pas. Comunicación Marben Acosta Terán
Pas. Comunicación Berenice Hernández Mastache

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

M. en C. Javier Osorno Covarrubias

Coordinador

Biól. Gabriela Haro Sedeño

ESTUDIOS ESPECÍFICOS

Dra. Ana Cecilia Espinosa García	<i>Estudio QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment) para PUMAGUA</i>
Estudiante de M. en Psic. Amb. Carolina Escobar Neira	<i>Campaña de prácticas eficientes de uso de agua en CU.</i>
Estudiantes de Pisc. Sandra Santiago Sandoval	<i>Campaña de prácticas eficientes de uso de agua en CU.</i>
Estudiante de Psic. Fernanda Ledesma Ortega	<i>Campaña de prácticas eficientes de uso de agua en CU.</i>
M. en C. I. D. Malinali Domínguez Mares	<i>Observatorio del Agua</i>
M. en C. Cecilia Lartigue Baca	<i>Observatorio del Agua</i>
Ing. José Daniel Rocha Guzmán	<i>Observatorio del Agua</i>
Pas. Comunicación Marben Acosta Terán	<i>Observatorio del Agua</i>

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN (DGOYC)

Ing. Francisco de Pablo Galán	Director General
Ing. Francisco Montellano Magra	Director de Planeación y Evaluación de Obra
Ing. Edgar Lizano Soberón	Director de Conservación

RESERVA ECOLÓGICA DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL (REPSA)

Dr. Antonio Lot Helgueras	Secretario Ejecutivo de la REPSA
Arq. Pedro Camarena Berruecos	

JARDÍN BOTÁNICO

Dr. Javier Caballero Nieto	Jefe del Jardín Botánico
----------------------------	--------------------------

RESPONSABLE DE ARQUITECTURA DEL PAISAJE

M. en U. Fabiola Pastor Gómez.	Coordinadora
--------------------------------	--------------

Arq. Psj. Esmeralda Castellanos Rojas
Arq. Psj. Karla García Estrada
Estudiante Arq. Psj. Gabriela Castillo Flores
Estudiante Arq. Psj. Gisela Varela Chavarría
Estudiante Arq. Psj. M. en C. María del Carmen Meza Aguilar
Estudiante Arq. Psj. Omaris Isadora Zúñiga Tores
Estudiante Arq. Psj. Paola Patricia González Ordaz

XIX. Informe financiero

Para llevar a cabo los trabajos considerados, se ejercieron 3.7 millones de pesos de enero a diciembre de 2010; de la siguiente manera:

Tabla 9. Informe financiero 2010

GASTOS GENERADOS EN EL PROYECTO PUMAGUA 2010		
PARTIDAS	CONCEPTO	GASTO
182	*HONORARIOS	\$ 822,000.00
216	GASTOS POR REUNIONES DE TRABAJO	\$ 627.00
218	PASAJES URBANOS Y RURALES	\$ 260.00
223	ENCUADERNACIONES E IMPRESIONES	\$ 194,608.00
232	SERVICIO DE MANTENIMIENTO POR CONTRATO PARA EDIFICIOS E INSTALACIONES	\$ 13,920.00
243	PROYECTOS EJECUTIVOS Y OTROS SERVICIOS	\$ 446,361.00
311	*BECAS	\$ 850,000.00
411	MATERIAL DE LABORATORIO	\$ 869,720.00
413	COMBUSTIBLE	\$ 1,813.00
431	EQUIPO MENOR	\$ 13,632.00
512	EQUIPO INSTRUMENTAL Y DE LABORATORIO	\$ 428,812.00
514	EQUIPO DE COMPUTO	\$ 104,315.00
TOTAL		\$ 3,746,068.00

*Partidas que han sido financiadas por el Instituto de Ingeniería con recursos de proyectos patrocinados durante el segundo semestre de 2010; con \$ 822,000.00 pesos para honorarios y \$ 200,000.00 pesos para becas.

XX. Perspectivas 2011

a. Balance Hidráulico

Durante el año 2011, la Coordinación de Balance Hidráulico ha planteado continuar y finalizar con los trabajos de montaje del sistema de lectura automática y dar continuidad a los programas de muebles de baño, riego de áreas verdes y por supuesto, al programa de recuperación de caudales. Los ejes de acción de esta coordinación, se describen a continuación:

Análisis de la información del sistema de monitoreo de suministro de agua potable

Analizar la información de los caudales suministrados y consumidos que se reportan en la base de datos que contiene las mediciones de los medidores instalados en los campi de la UNAM. De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de la información, se darán las recomendaciones correspondientes a cada una de las dependencias que se están monitoreando; con la finalidad de bajar el consumo o bien recuperación de caudales fugados en la red principal o dentro de los edificios. La base de datos proporcionará información de caudales en tiempo real de cada medidor instalado en cada una de las dependencias de la UNAM.

Detección y reparación de fugas

Detección de fugas en la red primaria de distribución en cada uno de los campi, utilizando equipos de vanguardia. La reparación de las fugas en la red principal se ejecutará por parte de la DGOyC y en su caso por el responsable de cada uno de los campi, el grupo de **PUMAGUA** supervisará los trabajos. Recuperación de caudales en el interior de las dependencias, a través de información periódica a las dependencias sobre las fugas y desperdicios detectados en sus instalaciones.

Mejoramiento en la eficiencia de los pozos en Ciudad Universitaria

Establecer un programa de mantenimiento y mejoramiento en la eficiencia de cada uno de ellos a partir de un diagnóstico de eficiencia de los tres pozos que abastecen de agua a CU.

Reducción de caudales con el cambio de muebles de baño

Supervisión y asesoramiento a las dependencias en el cambio de muebles de baños por los de bajo consumo, para alcanzar un ahorro del 40% del agua que se abastece a los edificios, equivalente a un volumen hasta de 2 litros por segundo.

Reducción de caudales para el riego de áreas verdes

Promover la sustitución de vegetación exótica por vegetación nativa del Pedregal de San Ángel o de bajo consumo de agua, de acuerdo las necesidades de cada campi; esto en coordinación con la Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC), la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) y el Jardín Botánico.

Formación de recursos humanos

Integrar al equipo de trabajo del Programa estudiantes de diversas carreras y postgrados como parte de su formación curricular; así como en proyectos en los que realicen sus trabajos de tesis o colaboren haciendo su servicio social.

Proyectos de investigación

Desarrollar proyectos de investigación de diversos temas, como los relativos a, tecnologías ahorradoras de agua, recarga del acuífero. Existen proyectos que iniciaron sus actividades como parte del monitoreo, y otros están por emprenderse, ya que tendrán repercusión en el desarrollo de los trabajos de 2011.

b. Calidad del Agua

Uno de los proyectos más ambiciosos dentro del área de calidad del agua es la propuesta de dos normas específicas para la UNAM: la de agua potable para uso y consumo humanos y la de agua tratada para reuso en riego de áreas verdes. La intención es que las normas universitarias sirvan de modelo para proponer la actualización o modernización de las dos normas oficiales mexicanas, con lo que se esperaría una repercusión a nivel federal en el mediano plazo.

Se realizará el monitoreo aerobiológico de ciudad universitaria, que consiste en la realización de análisis, cuantificación y determinación de microorganismos que se pueden distribuir por aspersión, para lo cual se realizará un muestreo en el efluente de la PTAR de Cerro del Agua una vez que se terminen los trabajos de remodelación, uno en Cisternas de almacenamiento llenadas con agua residual de la planta cerro del agua, otro en aspersores en la zona de “Las Islas” y uno más de aerosoles mediante un equipo de Andersen

Otro monitoreo que se llevará a cabo es el de parámetros indicadores de la calidad del agua en fuentes de abastecimiento (pozos) y puntos críticos en la red de distribución de agua potable, el cual se realizará trimestralmente, de acuerdo con el MADICA.

Finalmente, se programará y supervisará un análisis completo (anual), realizado por un laboratorio externo certificado, que incluya todos los parámetros que establece la NOM-127-SSA1-1994 modificada en el 2000, en fuentes de abastecimiento (pozos) y puntos críticos en la red de distribución de agua potable

Muestreos 2011

- PTAR de Cerro del Agua
- PTAR Ciencias Políticas y Sociales,

Objetivo: cuantificar la remoción de virus entéricos, colifagos como indicadores alternativos, en virtud de que ambas plantas de tratamiento han sido remodeladas, con el propósito de evaluar la eficiencia de las plantas y el cumplimiento de la normatividad vigente para reuso de agua en riego de las áreas verdes del campus.

- Muestreos sistemáticos de agua para uso y consumo humano en tomas domiciliarias de CU

Objetivo: una vez que se hayan instalado los nuevos equipos de desinfección, evaluar la calidad del agua que se distribuye en el campus.

Análisis de muestras concentradas 2010

- Análisis de resultados de CF, EF y Fagos
- Análisis para la detección de quistes de Giardia y ooquistes de Cryptosporidium (Tesis: Jaqueline Noguez)
- Análisis de estabilidad de virus entéricos en superficie vegetal (Tesis: Nallely Vázquez S.)

Objetivos: Aplicar el uso de protozoarios parásitos como indicadores de calidad del agua

Conocer el tiempo que pueden permanecer estables los virus entéricos sobre el pasto de las áreas verdes de Ciudad Universitaria

Modificación de la NOM-127-SSA-2000

Participación en la discusión para la modificación de la norma de calidad de agua para uso y consumo humano. UNAM-COFEPRIS.

Una vez que se discutió el proyecto de NOM, en el 2011 se continuará participando en el proceso de consulta pública

Publicación en revistas especializadas (2009 y 2010)

Ana Cecilia Espinosa, Carlos Díaz, Marisa Mazari-Hiriart, Fernando González-Villarreal. Trends in water consumption and water quality perception, UNAM study case. Water Research

Ana Cecilia Espinosa, Marisa Mazari-Hiriart, Fernando González-Villarreal, Carlos Díaz. QMRA Methodology for Assess Wastewater Reuse Risk of Health. Environmental Health

Preparación de Manuscritos

Experiencia en el uso de indicadores alternativos de calidad de agua: enterovirus, adenovirus y colifagos.

Con información de las Tesis de: Alejandra Fonseca Salazar y Miguel Silva Magaña

c. Comunicación / Participación

Implementar la campaña de comunicación prevista para 2011

Campaña en tres fases:

- a) Posicionar PUMAGUA. Comunicar a la comunidad de Ciudad Universitaria el privilegio que significa contar con un programa que asegura el abastecimiento de agua de calidad adecuada.
- b) Informar sobre los avances del Programa. Para inducir el sentimiento de corresponsabilidad, dar a conocer los esfuerzos realizados por las autoridades de la UNAM para alcanzar un manejo eficiente del agua.
- c) Exhortar a la participación en el uso eficiente del recurso. Invitar a los usuarios a realizar cinco acciones para ahorrar agua en el campus, cinco para conservar su calidad en el campus y cinco para ahorrar agua en casa.

Los medios de comunicación que servirán de apoyo para la campaña son:

- Impresos (carteles, volantes, trípticos, lonas, periódico)
- Electrónicos (página web, mensajes, animaciones)
- Auditivos (radio y jingle) Fortalecer los canales de comunicación con las dependencias participantes.
- Festival
- Concurso
- Presentación de performances

Involucrar a las dependencias de la UNAM de Ciudad Universitaria y externas

Invitar a las dependencias de Ciudad Universitaria que todavía no participan con el Programa a realizar las acciones propuestas para el manejo eficiente del agua e involucrar a las dependencias externas a Ciudad Universitaria.

Continuar con los talleres de jardineros para cubrir a los 150 jardineros restantes

Dado que ya se cuenta con el dato sobre la lámina de riego que se debe aplicar en Ciudad Universitaria, en los próximos talleres, además de continuar con la realización del diagnóstico de los métodos de riego utilizados y con el desarrollo de propuestas para mejorar el sistema por parte de los jardineros, se les hará saber la cantidad de agua que realmente requieren las áreas verdes.

Llevar a cabo segundo taller de seguridad de fluxómetros y un taller con personal de limpieza

Realizar la segunda parte del taller para diseñar estrategias y dispositivos para evitar el robo y la destrucción de fluxómetros, con la participación de las empresas fabricantes, de los alumnos de la carrera de Diseño Industrial y del personal de mantenimiento de las dependencias que cuentan con muebles con las especificaciones de PUMAGUA.

Dar a conocer el Programa e involucrar a los estudiantes de diversos niveles en el manejo eficiente del agua

De acuerdo con los acuerdos establecidos con la DGOSE, el CENDI CU y las Facultades de Psicología y de Ciencias, se llevarán a cabo intervenciones en las preparatorias de la UNAM y en el CENDI CU. Asimismo se realizarán intervenciones, primero, en las facultades mencionadas y luego en el resto de las facultades y escuelas de Ciudad Universitaria.

Involucrar a los estudiantes de la UNAM en el desarrollo de investigaciones con valor curricular.

Continuar exhortando a los estudiantes de diversas carreras a realizar investigaciones útiles a **PUMAGUA** y con valor curricular, así como asesorarlos en el desarrollo de sus trabajos. Asimismo, dar seguimiento a los trabajos ya elaborados, como los bebederos propuestos por los alumnos de Diseño Industrial.

Difundir el Programa a través de artículos de divulgación y especializados en el área de Comunicación

Como se ha efectuado durante la existencia de PUMAGUA, se seguirá redactando ponencias para congresos nacionales e internacionales, así como artículos para revistas de divulgación.

Implementar el área de comunicación/participación en instituciones externas a la UNAM.

De acuerdo con las solicitudes de instituciones externas a la UNAM, se implementará el área de comunicación/participación como parte de la instrumentación de PUMAGUA.

d. Sistema de Información Geográfica

Durante el 2011 se continuará trabajando en el Atlas en línea y en la visualización tridimensional de los elementos de la base de datos y la visualización dinámica de estadísticas, actualmente se cuenta con un prototipo del atlas en línea que permitirá visualizar las capas de **PUMAGUA** desde un navegador de Internet.

El diseño contempla la visualización interactiva de las capas del proyecto sobre las imágenes de alta resolución de Google Maps. El usuario podrá encender y apagar capas de la red **PUMAGUA**, seleccionar objetos para examinar sus atributos y consultar los metadatos.

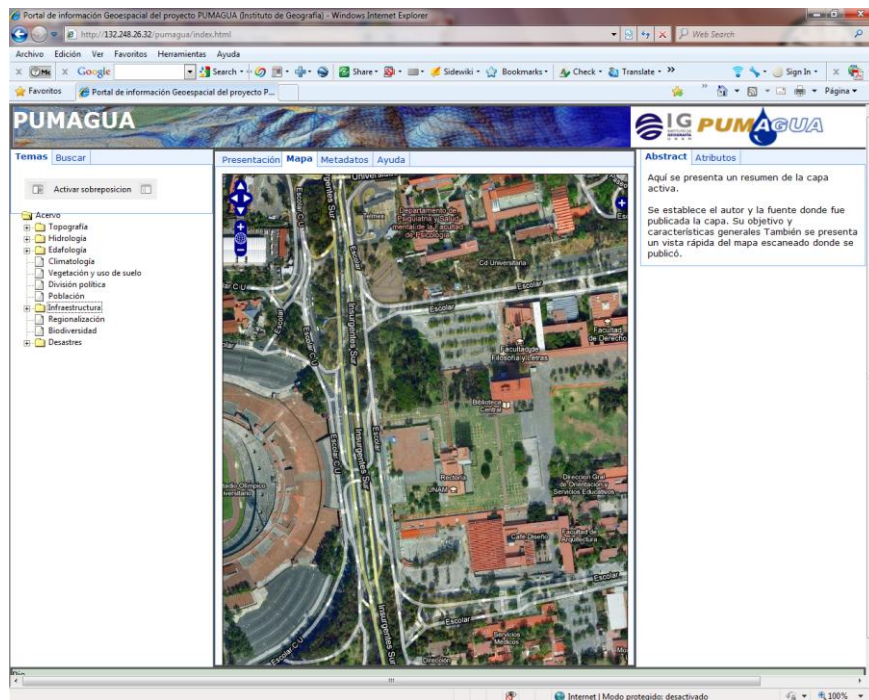


Figura 30. Prototipo del Atlas de PUMAGUA

Otros aspectos a desarrollar son:

- *Datos:* Se realizarán recorridos de campo para verificar la precisión posicional de los elementos definidos en la cartografía
- *Base de datos:* Se afinará el modelo de datos para convertir las capas CAD a una representación de red geométrica con topología planar con el objeto de facilitar las tareas de modelación
- *Cartografía impresa y digital:* Se elaborarán mapas digitales e impresos para apoyar las tareas de los otros grupos de trabajo
- *Servicios web:* Se implementarán servicios Web bajo los estándares de la OGC, para habilitar el consumo de los datos desde una variedad de aplicaciones
- *Visualización:* Existe la propuesta de integrar el atlas en línea
- *Documentación:* Se elaborará el metadato básico de cada capa (origen, propósito, creador etc.)

e. Fes Aragón

Proyecciones 2011

Se aprovechará la dinámica que representa la administración y actualización de la información topográfica, para la renovación e incorporación de prestadores de servicio social en dichas actividades.

Se iniciará la gestión para la adquisición de la plataforma informática del Sistema de Información Geográfica, para la administración integral del **PUMAGUA** en la FES Aragón.

Se capacitará al recurso humano en el manejo del software para administrar el Sistema de Información Geográfica.

Actividades por realizar

Muestreo y análisis de agua residual en estiaje y lluvia en conjunto con el grupo de Calidad de Agua.

Evaluar y recopilar la información existente de tesis, planos y documentos referentes a la FES Aragón en materia de agua residual.

Establecimiento de las consideraciones y lineamientos que ha de cumplir una planta de tratamiento para la FES Aragón.

Evaluar si es posible diseñar un sistema de distribución y riego del agua tratada haciendo uso de la infraestructura disponible para minimizar el costo de crear una completamente nueva.

Participación con la conferencia “Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la FES Aragón, PUMAGUA”, en el evento “En torno al día mundial del agua”, organizado por la Dirección General de Atención a la Comunidad Universitaria. Llevado a cabo del 22 al 25 de marzo de 2010.

Acciones por realizar

Continuar con los análisis bimestrales de laboratorio en todo el sistema de distribución de agua potable.

Dar seguimiento a la calidad del suelo cercano a los árboles sembrados por la Biól. Araceli Gutiérrez.

Conocer la concentración de los parámetros importantes para establecer las bases de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales. La medición se debe hacer en época de estiaje y en época de lluvias, para conocer su variación. Trabajo conjunto con el grupo de Reciclaje de Agua.

Mantener el contacto con la Dirección de Planeación para la construcción de un sistema de tratamiento de agua residual, a través del Ing. Mario Ugalde Salas, Coordinador de Planta Física.

Fomentar la participación de alumnos como voluntarios, prestadores de servicio social y tesis.

f. Presupuesto 2011

Para llevar a cabo los trabajos considerados en el 2011, se estima necesario disponer de 4.5 millones de pesos distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 10. Presupuesto 2011

PRESUPUESTO PUMAGUA 2011		
PARTIDAS	CONCEPTO	GASTO
182	HONORARIOS	\$1, 800,000.00
211	VIÁTICOS PARA PERSONAL	\$ 40,000.00
212	BOLETOS DE AVIÓN	\$ 40,000.00
215	GASTO DE TRABAJO DE CAMPO	\$ 15,000.00
216	GASTOS POR REUNIONES DE TRABAJO	\$ 5,000.00
218	PASAJES URBANOS Y RURALES	\$ 5,000.00
223	ENCUADERNACIONES E IMPRESIONES	\$ 200,000.00
232	SERVICIOS DE MANTENIMIENTO POR CONTRATO PARA EDIFICIOS E INSTALACIONES	\$ 50,000.00
243	PROYECTOS EJECUTIVOS Y OTROS SERVICIOS	\$ 600,000.00
248	INSCRIPCIÓN Y AFILIACIÓN A CONGRESOS, CURSOS, DIPLOMADOS Y TALLERES	\$ 25,000.00
311	BECAS	\$ 500,000.00
348	UNIFORMES DE PROTECCIÓN	\$ 15,000.00
411	MATERIAL DE LABORATORIO	\$570,000.00
413	COMBUSTIBLE	\$ 5,000.00
512	EQUIPO INSTRUMENTAL Y DE LABORATORIO	\$ 385,500.00
514	EQUIPO DE COMPUTO	\$ 244,500.00
TOTAL		\$4,500,000.00



www.pumagua.unam.mx