

SISTEMA INTEGRAL DE MEDICIÓN DE AGUA POTABLE EN CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNAM. PUMAGUA

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

Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, México
fgv@pumas.iingen.unam.mx, rvals@iingen.unam.mx, jrochag@iingen.unam.mx

Introducción

El incremento en la demanda de servicios públicos está relacionado de forma proporcional al crecimiento de la población; sin embargo cuando se rebasa la capacidad originalmente proyectada es necesario una inversión que busque satisfacerla o, más recientemente, hacer más eficiente su uso.

Actualmente, Ciudad Universitaria de la UNAM alberga en sus 700 hectáreas a 132 mil personas en 404 edificios agrupados en más de 140 entidades universitarias, además, cada día recibe a más de 20 mil visitantes quienes, en conjunto con los que diariamente dan vida a sus instalaciones, demandan agua potable.

Hacer un uso eficiente del agua en Ciudad Universitaria es una prioridad ante los problemas actuales que se dan en esta materia en México y el resto del Mundo. PUMAGUA es el programa por el mejor uso y manejo del agua en la UNAM. Sus metas principales a lograrse al año 2011 son: 1). Reducir en un 50% el suministro de agua potable; 2). Mejorar la calidad del agua potable en todas las instalaciones y el agua de reuso para riego de jardines de excelente calidad; 3). Lograr la participación de toda la comunidad universitaria.

La cuantificación del volumen de agua potable proveniente de las diversas fuentes de abastecimiento, distribuida a los usuarios y finalmente depositada a un sistema de alcantarillado que la canaliza hacia una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de donde finalmente se dispone hacia un cuerpo receptor, o bien, es reutilizada en algún proceso o servicio, implica la instalación de un sistema de medición que proporcione información en tiempo, forma y calidad para su posterior análisis. Todos los elementos que integran al sistema deben ser integrados de forma que se conozcan con precisión los volúmenes de agua que ingresan al sistema, se consumen, se pierden en fugas y finalmente se canalizan hacia un sistema de alcantarillado.

La Universidad Nacional Autónoma de México a través del programa PUMAGUA actualmente trabaja en el montaje de un sistema de lectura bajo un sistema de transmisión automática de lectura por radiofrecuencia consistente en una red de equipos distribuidos físicamente, denominados "concentradores", comunicados entre sí (Ver Figura 1). Se captan las lecturas de los medidores cercanos y se transmiten de nodo en nodo hasta que finalmente se concentran todas ellas en uno o más puntos comunes donde se entregan a una computadora. Este sistema utiliza tecnología que se encuentra a la vanguardia y se ajusta de mejor manera a las condiciones de Ciudad Universitaria y a los alcances del proyecto en sus diversas etapas.

El propósito de este artículo es mostrar los avances y beneficios hasta ahora obtenidos con el montaje del sistema, inicialmente, en Ciudad Universitaria y, posteriormente, en toda la Universidad.

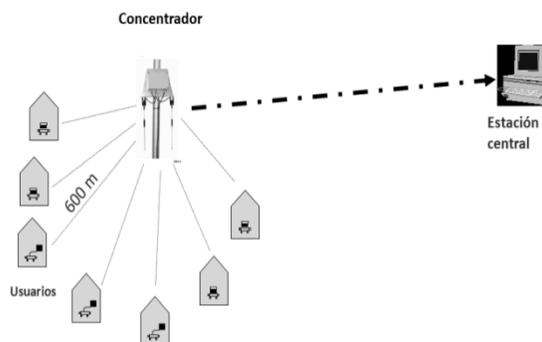


Figura 1. Esquema del sistema de medición por radiofrecuencia actualmente instrumentado por PUMAGUA. FUENTE: Badger Meter de las Américas.

Propósito del sistema de medición.

El propósito que se persigue con la instalación de un sistema integral de medición es el de cuantificar el suministro así como detectar y reparar fugas dentro de cada institución de C.U. Con la instalación de este sistema se podrán instrumentar políticas para un mejor manejo y administración del recurso en la UNAM. Cada entidad universitaria tendrá acceso vía internet a las mediciones de suministro y fugas con este sistema.

Descripción del Sistema de Medición.

El sistema integra: diez medidores electromagnéticos en Pozos, Tanques de Regulación y Sectores Hidráulicos (5), tres sensores de nivel en Tanques de Regulación, 300 medidores volumétricos en las tomas de agua potable de cada dependencia y siete concentradores de información, tal y como lo muestra la figura 2.

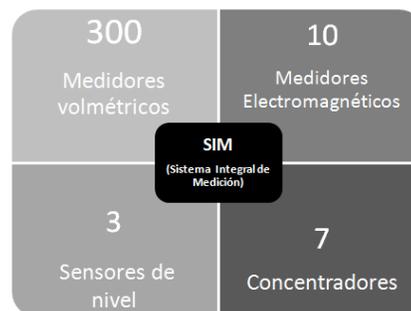


Figura 2. Elementos que Integran el Sistema Integral de Medición.

Todos los equipos de medición cuentan con data logger y un sistema de transmisión de datos, que envía una señal de radio (900 MHz) a un equipo repetidor o bien, la señal es recibida directamente en un equipo concentrador que tiene la capacidad de recibir la señal de hasta 2000 transmisores (medidores) con la finalidad de poder disponer de la información en tiempo, forma y calidad para su posterior análisis. En conjunto, estos elementos forman parte del Sistema Automático de Lectura el cual utiliza transmisión inalámbrica, aunque original de los sistemas de transmisión utilizados por cable permitiendo la recopilación de datos de manera remota.

La información se canaliza vía red en una central donde es procesada mediante un software haciendo posible la obtención de gráficas de consumo al tiempo de hacer más rápido el análisis de la información. PUMAGUA espera tener completado este sistema al término del año 2010.

Avances.

Ciudad Universitaria cuenta con tres pozos profundos con los cuales suministra agua a 140 entidades universitarias, el riego de 100 hectáreas y 132,000 usuarios por día, por lo que resultó imperioso instalar medidores en estos puntos.

Medición del suministro.

El sistema de medición de suministro (Macro medición) y consumo (micro medición) seleccionado cumple con las especificaciones de generar datos íntegros de volumen y gasto disponibles en forma y en tiempo, que permitan ser convertidos en información para la toma de decisiones que reditúan en el ahorro de agua y energía en el campus de Ciudad Universitaria. Desde el punto de vista de procesamiento de información, los datos generados por los medidores presentan la exactitud deseada ($\pm 0.5\%$) y su lectura es confiable. Adicionalmente, presentan características que permiten asegurar una larga vida útil, considerando el entorno de su instalación.

Para la medición del suministro o Macro medición se seleccionaron medidores de tipo electromagnético para uso en líneas presurizadas de agua limpia, que incluyen la unidad de medición (hermeticidad de sumersión IP68), la unidad electrónica (elemento secundario) para la transducción de la señal, el despliegue de la señal, caudal, totalización de volumen y los servicios complementarios. Con respecto a la unidad electrónica, es capaz de resistir daños comunes de intemperie y es de tipo remota (tiene un cable de longitud de hasta 150 m), puede ser programada en sitio sin requerir la utilización de computadoras personales laptop o palm top, cuenta con los esquemas de seguridad necesarios para que no pueda ser accedido el teclado por cualquier transeúnte, tiene comunicación RS232 y utiliza protocolo de comunicación Modbus.

Finalmente, el sistema de lectura seleccionado tiene las siguientes características: cada medidor cuenta con un datalogger que almacena los datos y una antena transmisora, en intervalo horario cada transmisor puede almacenar información hasta 2 años. La última lectura es recibida y almacenada en cada receptor, los concentradores almacenan los datos de los transmisores y pueden ser recuperados cada hora con base de hasta 2000 transmisores por concentrador, en cualquier momento los datos se mantienen disponibles con

sistema al paso y móvil; la información se concentra en una central, donde se puede procesar y obtener gráficas de consumo.

Ciudad Universitaria cuenta con diez puntos en los cuales se advirtió la necesidad de instalar un medidor electromagnético para la medición del suministro de agua potable al campus y los cinco Sectores Hidráulicos. Durante 2008 se llevó a cabo la instalación de cinco de estos medidores: Dos medidores de 12" en Tanque Bajo, un medidor de 6" para Pozo I y un medidor de 10" en los Pozos II Y III, respectivamente.



Figura 3. Instalación de medidores electromagnéticos en los Pozos.

Una segunda etapa programada para llevarse a cabo durante 2010 contempla la instalación de otros cinco medidores electromagnéticos a instalarse en cada uno de los Sectores Hidráulicos, así como la instalación de tres sensores ultrasónicos de nivel en los Tanques de Regulación.

Hasta el 26 de Julio de 2010 se han instalados otros tres medidores electromagnéticos en los Sectores Hidráulicos II, IV y V, con lo que sólo resta la instalación de dos medidores en los Sectores Hidráulicos I y III, donde, dicho sea de paso, se instalarán Válvula Regulatoras de Presión con el objetivo de ejercer un mayor control operativo de la presión en estos sectores. La alimentación eléctrica de los medidores electromagnéticos recientemente instalados en los Sectores Hidráulicos IV y V se hará mediante celdas fotos eléctricas con lo que se contribuye de alguna manera al cuidado del ambiente en estos trabajos. Al finalizar el año 2010 los trabajos referentes a la macro medición serán concluidos.



Figura 4. Instalación de medidores electromagnéticos en Sectores Hidráulicos

Por otro lado, se tiene contemplado la instalación de sensores de nivel en los tanques de regulación. Los objetivos de estos equipos son:

- a) Conocer la variación de niveles de agua en los tanques de regulación,
- b) Determinar la variación (Diaria y Horaria) de la demanda de agua dentro del campus universitario y
- c) Determinar la cantidad de agua que se envía a los taques y a la red de distribución.

Para cumplir con los objetivos arriba señalados, se instalarán tres medidores ultrasónicos de nivel en los tanques de regulación. De momento se cuenta con un sensor de nivel instalado en uno de los tres tanques de regulación con que cuenta el campus de Ciudad Universitaria.



Figura 5. Instalación de sensores de nivel en los Tanques de Regulación.

Medición del suministro.

La cuantificación del consumo por parte de los usuarios o dependencias de C.U. implica la instalación de micro medidores en la toma de cada dependencia universitaria. Los medidores seleccionados para la micro medición son de tipo volumétrico y funcionan con la misma tecnología que los medidores electromagnéticos.

Los micro-medidores proporcionarán información referente a las fugas y consumos dentro de cada institución, con lo cual se podrán instrumentar políticas para un mejor manejo y administración del recurso.

La instalación de los micro medidores ha implicado la ubicación de las tomas de agua potable de cada dependencia, información de la que no se disponía, por ello, fue necesario instrumentar un programa de detección de tomas en conjunto con la Dirección General de Obras y Conservación de la UNAM así como personal de cada entidad.

Los trabajos de levantamiento de tomas de agua potable han hecho posible sugerir la instalación de 201 medidores de agua en 70 entidades, de estos se han entregado 155 en 55 de ellas e instalado 97 medidores en 38 entidades. De los 97 medidores instalados, actualmente sólo 74 están registrando lecturas de suministro de agua, debido, a que no han sido colocadas las unidades secundarias de estos medidores. Actualmente está en proceso la entrega de 56 equipos.

Para la selección de los diámetros de los medidores instalados se siguieron los criterios establecidos en el Manual de Selección, Instalación y Mantenimiento de Medidores de Agua Fría elaborado por PUMAGUA, que está disponible en su página Web. (www.pumagua.unam.mx)



Figura 6. Instalación de medidores volumétricos en entidades universitarias.

Concentradores de Información.

Actualmente se han instalado tres concentradores de lecturas en Ciudad Universitaria y se cuenta con al menos cuatro sitios en los que, de acuerdo a las pruebas de enlace radioeléctrico efectuadas, es posible instalar un concentrador de lecturas. Con la instalación de estos equipos será posible monitorear el suministro de agua en las dependencias ubicadas dentro de los Sectores Hidráulicos I, II parte del Sector Hidráulico III así como la parte poniente del Sector Hidráulico V.



Figura 7. Concentrador instalado en Torre II de Humanidades.

La decisión de instalar los concentradores se tomó tras efectuar pruebas de enlace radioeléctrico que mostraron la conveniencia de los sitios para la colocación de estos equipos. Durante el segundo semestre de 2010 estos cinco equipos se instalarán en su totalidad.

También se está elaborando un sistema de análisis de información (Interfaz) que permitirá llevar a cabo ésta de manera más expedita e integrar una base de datos que contenga información referente a las condiciones físicas y de operación de los medidores instalados, así como disponer de alarmas de existencia de fugas, fechas de mantenimiento a medidores, responsables de las instalaciones, etc. Esta base de datos suministrará información a la página web de PUMAGUA y al Sistema de Información Geográfica.

Avance general

El avance General de los trabajos del montaje del sistema automático de lectura PUMAGUA es de un 50 %.

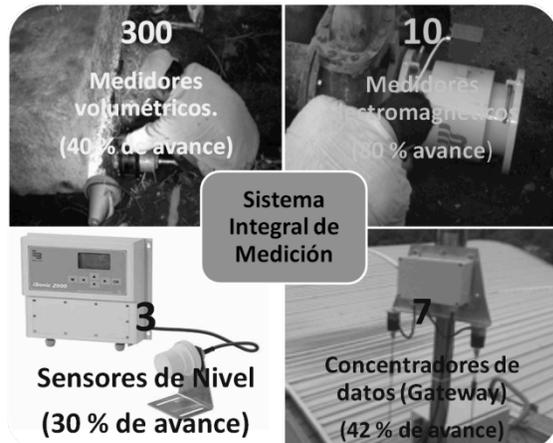


Figura 8. Avance general del montaje del sistema de lectura.

Medición de suministro y pérdidas de agua.

Se cuenta con medición desde abril de 2009 con un total de 84,486.7 m³ de agua, de los cuales se han perdido en fugas 30,974.8 m³, lo que representa el 36.0 % del caudal suministrado a los edificios. 50.3 % de estas pérdidas, en relación al volumen total medido, se concentran en el Sector Hidráulico 1, seguido del 27.4 % del Sector 3. El Sector Hidráulico 4 carece de momento con datos de suministro de agua, toda vez que recién se ha iniciado la instalación de medidores en este sector.

Tabla 1. Medición de suministro y fugas de agua total y por Sector Hidráulico.

Medición de suministro de agua (m ³) por Sector Hidráulico				
SECTOR	SUMINISTRO MEDIDO (m ³)	FUGAS MEDIDAS (m ³)	% (Respecto al total por sector hidráulico)	% (Respecto al total medido)
Sector Hidráulico 1	50,830.2	15,582.0	30.7%	50.3%
Sector Hidráulico 2	678.7	53.2	7.8%	0.2%
Sector Hidráulico 3	12,396.4	8,475.0	68.4%	27.4%
Sector Hidráulico 4	0.0	0.0	0.0%	0.0%
Sector Hidráulico 5	20,583.0	6,851.9	33.3%	22.1%
	84,488.2	30,962.0	36.6%	100.0%

De acuerdo a la tabla anterior, el Sector Hidráulico con mayor índice de fugas (respecto al total medido por sector hidráulico) es el Sector Hidráulico 3 con 68.4 %, seguido del 33.3 % del Sector 5 y 30.7 % del Sector 1.

La principal causa del incremento de fugas ha sido la detección de fugas importantes en la Facultad de Economía (0.20 l/s ó 17.3 m³/día ó 570.2 m³/mes), Derecho (0.03 l/s ó 2.7 m³/día ó 85.5 m³/mes) y edificio 8 del Instituto de Ingeniería (0.12 l/s ó 10.4 m³/día ó 247.10 m³/mes) sumando estas, durante el mes de Junio 902 m³ (0.35 l/s) de agua.

Las fugas detectadas en los dos primeros casos se hicieron tras la instalación del medidor de agua, la correspondiente al edificio 8 se presentó tras la ruptura de una válvula en el arreglo del medidor, la cual ha sido reparada en tanto que la fuga de la Facultad de Economía se ha ubicado y en la Facultad de Derecho se está en este proceso. Para el caso del

Sector 5 también se han detectado fugas importantes durante el último mes equivalentes a 725 m³ de agua por mes. Un caso importante se presentó en el Instituto de Investigaciones Filosóficas al registrarse una fuga de 1.3 l/s (112.3 m³/día) durante 4 días la cual ha sido reparada. Hasta el momento, se desconocen las causas de esta fuga.

La Figura siguiente muestra la medición histórica de suministro de agua de todos los Sectores Hidráulicos de Ciudad Universitaria.

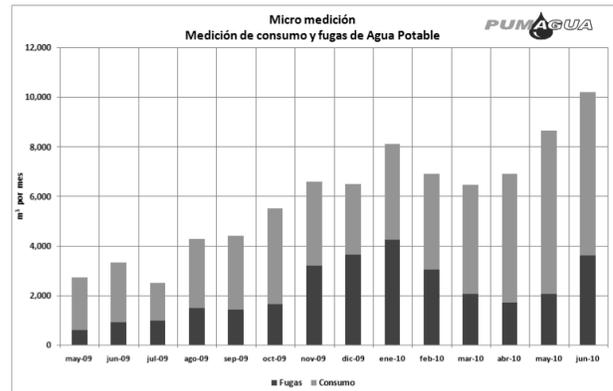


Figura 9. Registro histórico de medición.

En esta gráfica se observa una tendencia siempre ascendente, esto es debido a que cada mes se instalan nuevos medidores en un mayor número de edificios. Esta misma situación la comparten las fugas detectadas. De los 74 medidores que actualmente se encuentran proporcionando información referente a suministro de agua, en sólo 10 (13.5 %) de ellos se han ubicado el 90.0 % de las fugas detectadas hasta el momento.

Esta gráfica muestra también los resultados de los trabajos de reparación de fugas en las instalaciones hidráulicas de las entidades que cuentan con medidor instalado, estos trabajos han permitido un ahorro de hasta 2,000 m³ de agua, tal y como lo muestra la Figura 123.

Durante el mes de Junio se registró un aumento de 1,600 m³ de agua perdida en fugas, incremento que se explica a raíz de la detección de las fugas en la Facultad de Economía, Derecho, Edificio 8 del Instituto de Ingeniería, UNIVERSUM, Instituto de Investigaciones Filosóficas y el Instituto de Investigaciones Biomédicas.

Recuperación de pérdidas de agua.

Una de las virtudes del sistema automático de lectura actualmente instalándose en la Universidad, es la correspondiente a la detección de fugas con los equipos de medición. Debido a esto, se han detectado en fugas un total de 3.6 l/s. De estas, se han recuperado 2.6 l/s y se tienen detectados 1.0 l/s. Las siguientes figuras muestran los caudales recuperados a través de la micro medición.

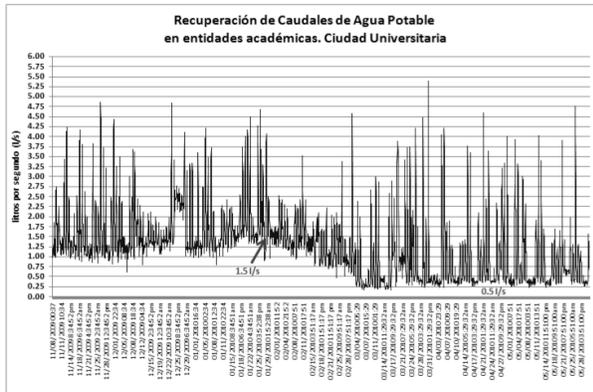


Figura 10. Caudales recuperados de Fugas. 1.0 l/s en seis entidades universitarias

Los caudales recuperados en fugas al interior de los edificios equivalen a 225 m³ de agua por día. Esto equivale a llenar la alberca olímpica de Ciudad Universitaria con capacidad para 6,000 m³ de agua en un mes.

Análisis de Información.

Con las mediciones hasta el momento disponibles se ha comenzado a llevar a cabo un primer análisis a la información. Éste ha mostrado los patrones de consumo para diferentes tipos de dependencias universitarias o tipos de usuario presentes en el campus. Además, ha permitido calcular consumos per cápita para usuarios en diferentes tipos de dependencias y por sector hidráulico. Los análisis muestran los consumos mensuales por dependencia, permitiendo establecer patrones de tipo estacional de suministro de agua y al mismo tiempo, evaluar las reducciones de pérdidas ante la implantación de medidas de reducción de fugas al interior de sus instalaciones.

El modo y la cantidad de agua utilizadas por las diferentes dependencias de C.U. cambia en función de las actividades que se llevan a cabo en las instalaciones de cada una de ellas; por ejemplo, una dependencia de tipo administrativo utiliza el agua en modo muy diferente a una dependencia de tipo académico. Estas divergencias en cuanto a la forma y cantidad de agua fundamentan lo que se ha convenido denominar “tipo de usuario”. Un tipo de usuario se describe como la actividad a la cual está dedicada una dependencia universitaria, o bien, en la cual muestra una mayor tendencia. PUMAGUA ha definido cinco tipos de usuario con fines meramente de clasificación y análisis, todos ellos presentes en Ciudad Universitaria:

Académico	(Usuario tipo A)
Investigación	(Usuario tipo B)
Cultural	(Usuario tipo C)
Administrativo	(Usuario tipo D)
Servicios	(Usuario tipo E)

La clasificación anteriormente mostrada resulta útil dada la relación que existe entre un tipo de usuario, el modo y, en consecuencia, la cantidad de agua usada por éste. Mediciones recientes hechas por PUMAGUA muestran que un usuario dedicado a la investigación consume hasta cinco veces más agua que un usuario administrativo. (Ver Figura 11)

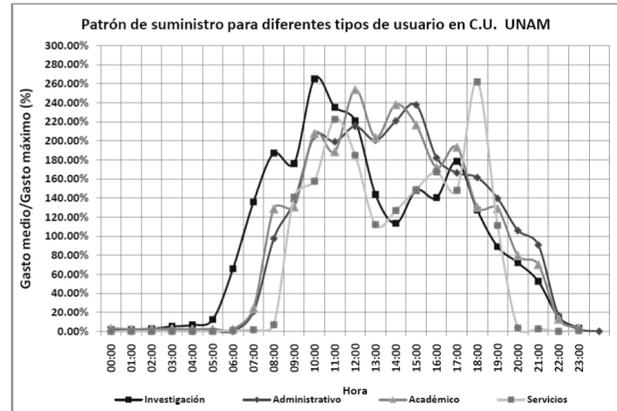


Figura 11. Patrón de suministro para diferentes tipos de usuario presentes en Ciudad Universitaria.

Para este análisis se tomó exclusivamente el consumo, teniendo como referencia las mediciones de un edificio por cada tipo de usuario definido y se obtuvo un patrón de suministro en términos de porcentaje respecto al gasto promedio, el cual fue comparado con los patrones de los demás usuarios. Los resultados indican que, por ejemplo, el patrón de suministro para cada tipo de usuario es diferente: Hora de inicio de actividades, horas de receso, cambios clase, término de actividades, Hora de término, etc. La razón de ello puede deberse a que en una dependencia dedicada a la investigación se cuenta con gran número de equipos de laboratorio que demandan agua durante las 24 horas del día, o bien, que estos equipos demandan una gran cantidad de agua cuando operan. En cambio, en una dependencia exclusivamente académica y administrativa el agua se utiliza mayoritariamente en los sanitarios por parte de los alumnos y personal del edificio. Un usuario de servicios emplea la mayor parte del agua una vez terminada la hora de la comida o cuando es necesario lavar los utensilios del establecimiento. En cambio, en una dependencia exclusivamente académica y administrativa el agua se utiliza mayoritariamente en los sanitarios por parte de los alumnos y personal del edificio. Un usuario de servicios emplea la mayor parte del agua una vez terminada la hora de la comida o cuando es necesario lavar los utensilios del establecimiento.

En términos generales, la demanda de agua por parte de los diferentes tipos de usuario se expresa de la siguiente manera: de las 00:00 hrs. a las 7:00 hrs. se presenta el 1.21% de la demanda, en tanto que de las 07:00 hrs. a las 22:00 hrs. el 98.23%, y de las 22:00 hrs. a las 24:00 hrs. el 0.57%.

Conclusiones

Un beneficio directo del PUMAGUA será el ahorro de 50% del consumo de agua potable. Al disminuir la extracción de agua de los 3 pozos de CU se mejorará la condición del acuífero que abastece el campus universitario. Además, el ahorro de agua conllevará una disminución significativa en el uso de energía eléctrica, resultando en beneficios ambientales

y económicos considerables. Estos mismos beneficios, en magnitudes diversas, resultarán de los esfuerzos que se realicen en campi externos a CU.

El monitoreo del volumen de agua que se inyecta al sistema y se suministra a cada edificio es una acción prioritaria para el PUMAGUA toda vez que éste servirá como un instrumento de evaluación de los alcances del programa. Actualmente el avance general es de un 50.0 % y, de acuerdo a los objetivos del programa, a finales del segundo semestre del año se espera concluir con estos trabajos. La información derivada de la medición de agua a cada entidad será de acceso a diferentes niveles vía web. A cada entidad universitaria se le proporcionará una clave de acceso

En todas las acciones e investigaciones de PUMAGUA se seguirá aplicando tecnología de punta, con lo cual la UNAM también fungirá como modelo en el ámbito tecnológico. Una de las prioridades de PUMAGUA ha sido y seguirá siendo la generación de conocimiento en todos los dominios del Programa, la cual tiene un efecto directo en la producción de publicaciones tanto especializadas, como de divulgación. Asimismo, la formación de recursos humanos es una acción prioritaria para el Programa, tanto en el nivel curricular (licenciatura, maestría, doctorado), como en la capacitación técnica, a través de los talleres y seminarios señalados. Así, los beneficiarios directos de la formación de recursos humanos serán universitarios de todos los niveles y trabajadores de la UNAM.

El Programa también tendrá relevancia en la difusión de la cultura, un asunto primordial para la Universidad, a través de diversos medios y estrategias para difundir el uso eficiente del agua en los diversos campi. En particular, el Programa está diseñado para incidir positivamente en los conocimientos, actitudes y conductas de los universitarios con respecto al uso del agua dentro y fuera de los campi. Se vislumbra incidir sobre estos aspectos, tanto en el caso de las autoridades de cada dependencia, como en cada uno de los usuarios del agua en la UNAM.

Otro asunto importante para la UNAM es la resolución de los problemas nacionales. Es de conocimiento generalizado que la escasez y contaminación del agua forman parte de los principales problemas del país, por lo que las acciones de PUMAGUA inciden directamente sobre una de las prioridades universitarias y nacionales. Por otro lado, en el nivel global, cabe resaltar que el Programa generará una metodología orientada a resolver problemas en regiones de alto riesgo respecto al manejo del agua (Kasperson et al. 1995). En concreto, diversas universidades del país y extranjeras, así como algunos organismos operadores han mostrado su interés en que el Programa les sea transferido.

Referencias Bibliográficas

González Villarreal, Fernando J., Val Segura, Rafael y Rocha Guzmán, José Daniel. (2009). "Resultados del programa piloto de uso eficiente de agua en el edificio 5 del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. IX Seminario Iberoamericano sobre Planeación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua. Valencia (España), 24 – 27 de Noviembre de 2009.

Informe PUMAGUA. 2009. pp. 72 - 77

Rocha Guzmán, José Daniel. (2010). Diagnóstico y Sectorización del Sistema de Agua Potable de Ciudad Universitaria de la UNAM. PUMAGUA. Tesis que para obtener el título de Ingeniero Civil. Capítulo II y III. Director de Tesis. Dr. Fernando J. González Villarreal.