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

Informe de avances 2012

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

Informe de avances 2012

Director:
Dr. Fernando González Villarreal

Coordinador Ejecutivo:
Dr. Rafael Val Segura

Coordinador de Balance Hidráulico:
Ing. José Daniel Rocha Guzmán

Coordinadora de Calidad del Agua:
Dra. María Teresa Orta Ledesma

Instituto de Ingeniería:
Dra. María Teresa Orta Ledesma

Instituto de Ecología:
Dra. Marisa Mazari Hiriart

Facultad de Medicina:
Dra. Yolanda López Vidal

Coordinadora de Comunicación / Participación:
M. en C. Cecilia Lartigue Baca

Coordinador del Sistema de Información Geográfica:
M. en C. Javier Osorno Covarrubias

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM

Dr. José Narro Robles
Rector

Dr. Eduardo Bárzana García
Secretario General

Ing Leopoldo Silva Gutiérrez
Secretario Administrativo

Dr. Francisco José Trigo Tavera
Secretario de Desarrollo Institucional

M. C. Miguel Robles Bárcena
Secretario de Servicios a la Comunidad

Lic. Luis Raúl González Pérez
Abogado General

Dr. Héctor Hiram Hernández Bringas
Coordinador de Planeación, Presupuestación y Evaluación

Dra. Estela Morales Campos
Coordinadora de Humanidades

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz
Coordinador de la Investigación Científica

Dra. María Teresa Uriarte Castañeda
Coordinadora de Difusión Cultural

Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro
Coordinador de Innovación y Desarrollo

Lic. Enrique Balp Díaz
Director General de Comunicación Social

Índice de contenido

Índice de contenido 1
Índice de Figuras 3
I. Sistema Automático de Lectura 7
A. Macro medición 10
B. Micro medición 11
1. Trabajos en Ciudad Universitaria 11
2. Trabajos de enlace de micro medidores al sistema de lectura 12
3. Trabajos en FES Aragón 12
a) Trabajos en UNAM campus Juriquilla 13
II. Evaluación de las pérdidas en la red de distribución 15
A. Elaboración de planos de operación de la red 15
B. Pérdidas de agua durante 2012 16
III. Análisis de mediciones 18
IV. Usos del agua en Ciudad Universitaria 22
V. Control de presiones 26
Etapa 1.- Modelación del sistema de agua potable 26
Etapa 2.- Conformación física de los sectores hidráulicos 26
Etapa 3.- Instalación y puesta de equipos de medición 27
Etapa 4.- Puesta en marcha de los equipos de control de presiones 27
VI. Balance Hidráulico 2012 28
VII. Programa de muebles de baño 31
VIII. Proyectos de vinculación 32
A. Estadio Olímpico 32
B. Proyecto Xochimilco 33
C. Propuesta de trabajo para Metepec, Estado de México 34
IX. Acciones durante 2013 35
X. Conclusiones 38
XI. Congresos y tesis elaboradas 41
XII. Colaboradores. Balance Hidráulico 2012 42
XIII. Monitoreo de la Calidad del Agua 43
A. Objetivo 43

B. Agua potable 43
1. Monitoreo en tiempo real, en el *campus* Ciudad Universitaria 43
2. Monitoreo en la red de distribución de agua potable en el *campus* CU 45
3. Monitoreo de cloro residual libre en cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano en el campus CU 50
C. Agua pluvial 56
1. Pozos de absorción en el *campus* CU 56
D. Agua residual tratada 58
1. Planta de tratamiento de agua residual de Cerro del Agua. 59
2. Cisternas de almacenamiento de agua residual tratada proveniente del efluente de la planta de tratamiento de Cerro del Agua. 65
E. Actividades en otros *campi* de la UNAM 70
1. Coordinación de Innovación y Desarrollo 70
2. *Campus* SISAL, YUCATÁN 73
3. *Campus* Cuernavaca, Morelos. 73
4. *Campus* Juriquilla 74
F. Actividades en instituciones externas a la UNAM 87
G. Conclusiones y Recomendaciones 88
1. Monitoreo en tiempo real, en el *campus* CU 88
2. Monitoreo en la red de distribución de agua potable en el *campus* CU 89
3. Monitoreo de cloro residual libre en cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano en el campus CU 90
4. Agua residual tratada 91
5. Actividades en otros *campi* de la UNAM 92
H. Formación de recursos humanos 93
I. Congresos, Publicaciones y Conferencias. 94
J. Participantes 95
XIV. Comunicación / Participación 97
XV. Indicadores de avance 97
XVI. Actividades 97
A. Actividades en Ciudad Universitaria 97
a) Stand itinerante de PUMAGUA 97
b) Realización del festival H20: efecto esperado 2012 98
c) Seguimiento de los concursos del Festival H2O: efecto esperado 2011 100

d) Concurso y Encuentro "Reunamos acciones por el agua", para estudiantes de licenciatura de la UNAM 101

e) Fomento del consumo de agua de la llave en CU 102

f) Taller sobre supervisión de muebles de baño 103

g) Actualización de medios electrónicos 103

h) Plataforma IBM 104

i) Generación de aplicación para ipod 104

B. Actividades en la UNAM, fuera de Ciudad Universitaria 104

a) Diagnóstico del área de comunicación/participación en la Coordinación de Innovación y Desarrollo 105

2. Contacto con campus externos 105

C. Actividades dirigidas a entidades externas a la UNAM 105

a) Evaluación de la efectividad del Programa de Cultura del Agua (PCA) de CONAGUA 105

b) Propuestas para implementar el área de Comunicación/Participación en Municipios y Delegaciones 106

c) Presentación de PUMAGUA a diversas instancias nacionales e internacionales.. 107

XVII. Congresos y artículos de divulgación 107

XVIII. Presencia en medios de comunicación 108

XIX. Bibliografía 109

Índice de Figuras

Figura 1. Medidor electromagnético y válvula reguladora de presión correspondientes al sector hidráulico 1 instalado durante 2012. 10

Figura 2. Avances en los trabajos de montaje del sistema de lectura automática presentados durante 2011. A la izquierda se muestran los avances en Enero de 2011 y a la derecha los avances en Septiembre de 2011. 11

Figura 3. Trabajos de perforación de tapas. 12

Figura 4. Trabajos de perforación de tapas 13

Figura 5. Plano del Sector Hidráulico 1. 15

Figura 6. Evaluación de pérdidas en Ciudad Universitaria. Fuente: PUMAGUA 2012 17

Figura 7. Distribución de la Población en Ciudad Universitaria 2012. 19

Figura 8. Usos del Agua en Ciudad Universitaria. Cobertura del 70%. Fuente: PUMAGUA 2012. 22

Figura 9. Usos del Agua en Dependencias Docentes. Fuente: PUMAGUA 2012. 23

Figura 10. Usos del Agua en Ciudad Universitaria previstos para el 100% de cobertura. Fuente: PUMAGUA 2012. 24
Figura 11. Comparativo de cobertura. Fuente: PUMAGUA 2012. 25
Figura 12. Balance Hidráulico en Temporada de Riego. Ciudad Universitaria, UNAM. Fuente: PUMAGUA 2012 29
Figura 13. Balance Hidráulico en Temporada de Riego. Ciudad Universitaria, UNAM. Fuente: PUMAGUA 2012. 30
Figura 14. Trabajos con en la UAEH (Izquierda) y en el H. Congreso de la Unión (Derecha) 34
Figura 15. Sistema de analizadores en línea del Instituto de Ingeniería, UNAM. 44
Figura 16. Monitoreo en puntos de la red de distribución de agua potable en el campus CU. 46
Figura 17. Panorama general de la concentración de cloro residual libre en el agua de la red de distribución en el campus CU, 2012. 48
Figura 18. Cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano existentes en el campus Universitario. 50
Figura 19. Niveles de cloro residual libre detectados en el agua de las cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano en el *campus* CU durante 2012..... 51
Figura 20. Porcentaje de cisternas para almacenamiento de agua para uso y consumo humano que no cumplieron con la concentración de cloro residual libre establecido en la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) durante 2012. 55
Figura 21. Cisternas de almacenamiento de agua potable con requerimientos de mantenimiento general..... 55
Figura 22. Ubicación de los pozos de absorción en el Campus Universitario. 57
Figura 23. Panorama general de la concentración de sólidos suspendidos totales en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua, 2012. 61
Figura 24. Panorama general de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la planta de tratamiento de agua residual de Cerro del Agua, 2012. 61
Figura 25. Panorama general de coliformes fecales en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua, 2012. 62
Figura 26. Evaluación del parámetro de Coliformes fecales en cisternas de almacenamiento de agua residual tratada durante los meses de agosto y septiembre. 66
Figura 27. Daño estructural en la Cisterna de almacenamiento de agua residual tratada de Química. 67
Figura 28. Evaluación del parámetro de DBO5 en cisternas de almacenamiento de agua residual tratada durante los meses de agosto y septiembre. 68
Figura 29. Evaluación del parámetro sólidos suspendidos totales en cisternas de almacenamiento de agua residual tratada durante los meses de agosto y septiembre 69
Figura 30. Detección de Escherichia coli enterotoxigénica termoestable (ETEC ST) por PCR-Hibridación de las muestras de agua. PCR del gen stA (141 pb) (A) y Placa de Hibridación con la sonda del gen stA (B). 1 genoma = 1 bacteria. 73
Figura 31. Variación de la temperatura en agua de la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio. 76
Figura 32. Variación de la conductividad en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio. 77
Figura 33. Variación de los sólidos disueltos totales (SDT) en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio. 77

Figura 34. Concentración de fluoruros (mg/L) en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento. 78
Figura 35. Variación del pH en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio. 79
Figura 36. Variación del oxígeno (mg/L) en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio. 79
Figura 37. Variación del cloro residual (mg/L) en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio. Las líneas rojas señalan el intervalo permisible de concentración de cloro residual en agua para u 80
Figura 38. Presencia de colífagos detectados con Escherichia coli (HSpAmp) como hospedera. 81
Figura 39. Temperatura del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.. 82
Figura 40. Conductividad (mS/cm) del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla. 83
Figura 41. SDT (mg/L) del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla. 83
Figura 42. Oxígeno (mg/L) del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla. 84
Figura 43. pH del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla. 84
Figura 44. Presencia de bacterias coliformes fecales (CF) en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla. 85
Figura 45. Presencia de enterococos fecales (EF) en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla. 85
Figura 46. Presencia de colífagos utilizando E. coli K12 como bacteria hospedera, en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla. 86
Figura 47. Presencia de colífagos utilizando E. coli HSpAmp como bacteria hospedera, en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla. 86
Figura 48. Cartel con el programa completo del festival H2O: efecto esperado 2012 99
Figura 49. El Rector Dr. José Narro Robles, el Director de PUMAGUA, Dr. Fernando González Villarreal y el Director del Instituto de Ingeniería, Dr. Adalberto Noyola Robles, en el evento del 6 de septiembre 100
Figura 50. Premiación de los concursos H2O: Efecto esperado 2011 100
Figura 51.Imágenes del encuentro Reunamos acciones por el agua 102

Índice de Tablas

Tabla 1. Avances de posicionamiento en relación a los medidores proyectados. Fuente: PUMAGUA 7
Tabla 2. Evolución de las pérdidas de agua en el sistema en 2009 y 2012. 8
Tabla 3. Elementos del sistema de lectura correspondiente a UNAM, Campus Juriquilla 9
Tabla 4. Población Escolar Campus Ciudad Universitaria. Fuente: Dirección General de Administración General 18

Tabla 5. Personal Académico Campus Ciudad Universitaria. Fuente: Dirección General de Personal. 19
Tabla 6. Equipos de Micromedición en Ciudad Universitaria 20
Tabla 7. Usos del Agua en Ciudad Universitaria. Fuente: PUMAGUA 2012. 22
Tabla 8. Usos del Agua en Ciudad Universitaria. Fuente: PUMAGUA 2012. 24
Tabla 9. Orden de colocación del medidor portátil 32
Tabla 10. Características de las tomas de agua potable del Congreso de la Unión 32
Tabla 11. Número de días con eventos de concentración de cloro residual libre fuera de norma, NOM-127-SSA1-1994 (2000). 44
Tabla 12. Número de días con eventos de concentración de cloro residual libre fuera de norma, NOM-127-SSA1-1994 (2000). *Continuación.* 45
Tabla 13. Detección de bacterias coliformes fecales (CF), enterococos fecales (EF) y colífagos (Fagos) en muestras de agua de tomas domiciliarias del campus de Ciudad Universitaria. 49
Tabla 14. Concentraciones de cloro residual libre encontradas en las cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano de CU durante 2012. 52
Tabla 15. Concentraciones de cloro residual libre encontradas en las cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano de CU durante 2012. Continuación. 53
Tabla 16. Número de cisternas donde la concentración de cloro residual libre se detectó fuera de los límites establecidos en la normatividad NOM-127-SSA1-1994 (2000). 54
Tabla 17. Límites permisibles de contaminantes en agua para recarga artificial de acuíferos, y sus métodos de análisis. 58
Tabla 18. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. 59
Tabla 19. Detección de bacterias coliformes fecales (CF), enterococos fecales (EF) y colífagos (Fagos) en muestras de agua residual y residual tratada en la PTAR de Cerro del Agua. 63
Tabla 20. Detección de patógenos gastrointestinales por PCR-Hibridación de influente y efluente de la Planta de Tratamiento de Cerro del Agua. 64
Tabla 21. Detección de bacterias coliformes fecales (CF), enterococos fecales (EF) y colífagos (Fagos) en muestras de agua residual tratada en cisternas de almacenamiento del *campus* de Ciudad Universitaria. Noviembre del 2012. 70
Tabla 22. Resultados microbiológicos y Físico-químicos de las muestras de agua de la Coordinación de innovación y Desarrollo. 71
Tabla 23. Resultados de análisis microbiológico del agua utilizando indicadores alternativos. 72
Tabla 24. Detección de patógenos gastrointestinales por PCR-Hibridación de las muestras de agua para uso y consumo humano. 73
Tabla 25. Parámetros físico-químicos evaluados en agua para uso y consumo humano en el campus Juriquilla. 75
Tabla 26. Parámetros microbiológicos evaluados en agua para uso y consumo humano en el campus Juriquilla. 75
Tabla 27. Servicio Social en el grupo de calidad del agua. 93
Tabla 28. Tesis en desarrollo en el grupo de calidad del agua. 93
Tabla 29. Tesis concluidas en el grupo de calidad del agua. 93

I. Sistema Automático de Lectura

Durante 2012 los trabajos relacionados con el montaje del sistema de lectura automática hicieron posible incrementar 10 puntos porcentuales la cobertura de micro medición en el campus y 100 % la cobertura de macro medición. Actualmente se encuentran instalados 171 micro medidores en Ciudad Universitaria, de los cuales se encuentran en operación 169 y son recibidos remotamente un total de 107 micro medidores (20 % más que el año pasado), **ver Tabla 1**. Este avance sitúa a la cobertura de micro medición en 65 % con lo que es posible la medición promedio mensual de 50 mil metros cúbicos de 200 mil que en promedio se extraen de los pozos.

Se estima que con la instalación de los medidores correspondientes a la totalidad de las entidades académicas[1] así como aquellos institutos y centros que no han instalado sus equipos de medición se llegue a la medición mensual de 70 mil metros cúbicos (aprox. 25 l/s) lo cual representa poco más del 30 % de lo extraído de los pozos. Actualmente las mediciones correspondientes a las entidades que disponen de medidor instalado y funcionando se publican de manera mensual en la página de PUMAGUA en el siguiente enlace: http://www.pumagua.unam.mx/balance_consumo.html.

Uno de los avances más significativos del PUMAGUA en este año es el análisis que se realiza a la mediciones disponible ya que permite determinar cuánta agua demanda Ciudad Universitaria, quien y como la utiliza y sus posibles escenarios respecto al tiempo. Más adelante se muestra un resumen de este análisis y en el anexo correspondiente se detalla más en el tema.

Tabla 1. Avances de posicionamiento en relación a los medidores proyectados. Fuente: PUMAGUA

Equipo	Proyectados (CU)	Instalados	En operación (Con carátula)	Porcentaje de instalación	Porcentaje de avance
Macro medidores (Pozos tanques y sectores hidráulicos)	9	9	6	**100 %**	**67 %**
Gateway (Receptores)	7	7	7	**100 %**	**100 %**
Válvulas Reguladoras de Presión	2	2	0	**100 %**	**0 %**
Micro medidores	261	171	169	**66%**	**65 %**
Sensores de nivel	3	1	1	**30 %**	**30 %**

[1] Las siete entidades que se mencionan son: Las Facultades de Ciencias Políticas y Sociales (8 medidores), Ciencias (11 medidores), Ingeniería (5 medidores), Medicina (2 medidores), Química (15 medidores), Contaduría y Administración (3 medidores) y la Dirección General de Servicios Médicos con un medidor.

Por otra parte, actualmente se encuentran integrados a este mismo sistema los medidores correspondientes a las fuentes de abastecimiento, tres de los cinco sectores hidráulicos y un rebombeo. Los medidores faltantes, que son los instalados en los sectores hidráulicos 4 y 5 se espera ponerlos en marcha durante el próximo año o bien, durante la última semana de Diciembre.

Con las mediciones de los sectores hidráulicos ha sido posible evaluar la evolución de los programas de reducción de pérdidas en el campus. Actualmente en la sistema se pierden un total de 38 l/s, 5 l/s más en relación a las pérdidas del año anterior. El sector hidráulico 2 mostró un incremento de pérdidas en un 100 % al pasar de 5 l/s en 2009 a 10 l/s en 2012, **ver Tabla 2**.

Sin embargo, los otros cuatro sectores muestran un descenso en su nivel de pérdidas en relación al año 2009. Un dato importante que es posible tener con la medición del consumo es la cuantificación de las pérdidas de agua en los edificios, la cual actualmente se sitúa en el 23 % (5.9 l/s) del consumo (25 l/s) y el 7 % de lo suministrado al campus (85 l/s en época de riego).

Tabla 2. Evolución de las pérdidas de agua en el sistema en 2009 y 2012.

Sector Hidráulico	Cobertura de medición (%)	Pérdidas (l/s) 2009	Pérdidas (l/s) 2012	Pérdidas en edificios (l/s) 2012
1	77	20.0	10.0	0.5
2	65	5.0	10.0	2.0
3	69	19.0	8.0	3.2
4	69	1.6	0.0	0.0
5	56	13.0	10.0	0.2
TOTAL		**58.6**	**38.0**	**5.9**

En lo que respecta a la instalación de los concentradores de lecturas (Gateway) en este año ha sido posible instalar la totalidad de estos equipos en el campus de ciudad universitaria, FES

Aragón y UNAM, Campus Juriquilla. Los trabajos de micro medición han permitido la entrega de 231 micro medidores de los 261 (100%) propuestos para instalarse tan sólo en Ciudad Universitaria, de éstos se han instalado hasta Noviembre de 2012 un total de 171 (66 %) medidores. En términos generales, durante este año el avance en el montaje de este sistema presenta un 70% respecto a la meta propuesta a inicio de año.

Durante este año se concluyeron se instaló el sistema de medición correspondiente a UNAM, campus Juriquilla el cual consta de un total de 12 micro medidores, un concentrador de lecturas, dos repetidores y un macro medidor. Todos los equipos se encuentran enlazados y monitoreados al sistema de lectura, ver Tabla 3.

Tabla 3. Elementos del sistema de lectura correspondiente a UNAM, Campus Juriquilla

Equipos de medición	Proyectados	Instalados	Avance %
Macro medidores	2	2	100%
Micro medidores	11	11	100%
Antena	1	1	100%
Repetidores	2	2	100%

Actualmente, el 50% de los medidores instalados en FES Aragón se encuentran monitoreados vía remota por medio de un concentrador de lecturas, esto ha hecho posible la ubicación del 50 % de las fugas totales en tan sólo cuatro edificios de este campus. Esta unidad multidisciplinaria ha presentado varias iniciativas para el ahorro del agua a través de la captación de agua de lluvia, la instalación de sus equipos de medición, la actualización de planos de agua potable, la creación de viveros, la puesta en marcha de estudios sobre humedales, entre otros. PUMAGUA ha brindado la asesoría necesaria para la conclusión de los trabajos de uso eficiente en este campus hasta donde le ha sido posible.

Para el caso de FES Acatlán, Iztacala y Zaragoza se dieron acercamientos con estas entidades y no será sino hasta el próximo año que se den por iniciados de forma mensual acciones que busquen un mejor uso del agua en sus instalaciones.

Uno de los atrasos más importantes en el desarrollo de este sistema de lectura – y en consecuencia de la presente coordinación- es el correspondiente al desarrollo de la Interfaz de medición que tiene como propósito mostrar vía internet la información de las mediciones correspondientes a cada entidad universitaria. Se espera que los trabajos con IBM muestren sus primeros resultados a partir del mes de Marzo de 2013.

A. Macro medición

En lo que respecta a los trabajos de Macro medición, se acordó junto con la DGOyC la instalación de nueve medidores electromagnéticos: uno en la descarga de cada pozo (en total 3 medidores los cuales se encuentran actualmente instalados y en operación), 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). La alimentación eléctrica de los medidores asignados a los Sectores 4 y 5 inicialmente se sugirió hacerlo a través de celdas fotos eléctricas luego de evaluar que esta era la opción más factible en comparación a tender una línea de suministro de corriente eléctrica para los equipos; sin embargo, en los últimos dos meses se ha evaluado a iniciativa de la Dirección General de Obras de la UNAM la conversión de todos los macro medidores a medidores alimentados por baterías, propuesta que definitivamente ayudará a evitar el daño ante un corto circuito en los equipos.

Actualmente se tienen instalados la totalidad de los medidores electromagnéticos de los Sectores Hidráulicos; de los cuales falta por poner en marcha los medidores de los sectores hidráulicos 4 y 5.

También se ha trabajado junto con la DGOyC en la elaboración del proyecto ejecutivo para la conexión hidráulica de los Sectores Hidráulicos 1 y 2 que permitirá disminuir presiones en el Sector Hidráulico I y en consecuencia lograr una disminución en el nivel de fugas. En el anexo correspondiente se podrá encontrar los detalles de este proyecto a ejecutarse durante el mes de Diciembre de 2012.

Figura 1. Medidor electromagnético y válvula reguladora de presión correspondientes al sector hidráulico 1 instalado durante 2012.

B. Micro medición

1. Trabajos en Ciudad Universitaria

Los trabajos de levantamiento de tomas de agua potable dentro de Ciudad Universitaria (en los que se ha colaborado con la Dirección General de Obras y Conservación, así como personal de las propias entidades), han hecho posible sugerir la instalación de 261 medidores de agua en 120 entidades, de estos se han entregado 233 en 90 de ellas e instalado 171 medidores en 66 entidades, mientras que están por entregarse otros 28 medidores. De los 171 medidores instalados, actualmente sólo 169 están registrando lecturas de suministro de agua, debido, entre otras causas, al proceso de instalación de los equipos: PUMAGUA hace entrega de los medidores a las entidades derivado de los trabajos de identificación de tomas, la DGOyC los instala (sólo unidad primaria del medidor), posteriormente cada dependencia construye el registro que albergará al equipo (De acuerdo a las especificaciones establecidas en el Manual) y finalmente PUMAGUA coloca la carátula del medidor (Unidad secundaria) para iniciar la medición de suministro de agua. Este proceso de instalación, dicho sea de paso, es lento y es uno de las causas de los retrasos en la instalación de los equipos. Por otro lado, en el desarrollo de los trabajos algunos medidores han sido dañados por diversas causas: intento de robo, manipulación por personal no autorizado, etc. Actualmente está en proceso la entrega de 31 equipos mismos que se entregarán en los próximos días. Actualmente 107 de los medidores son leídos remotamente por medio de los concentradores de información.

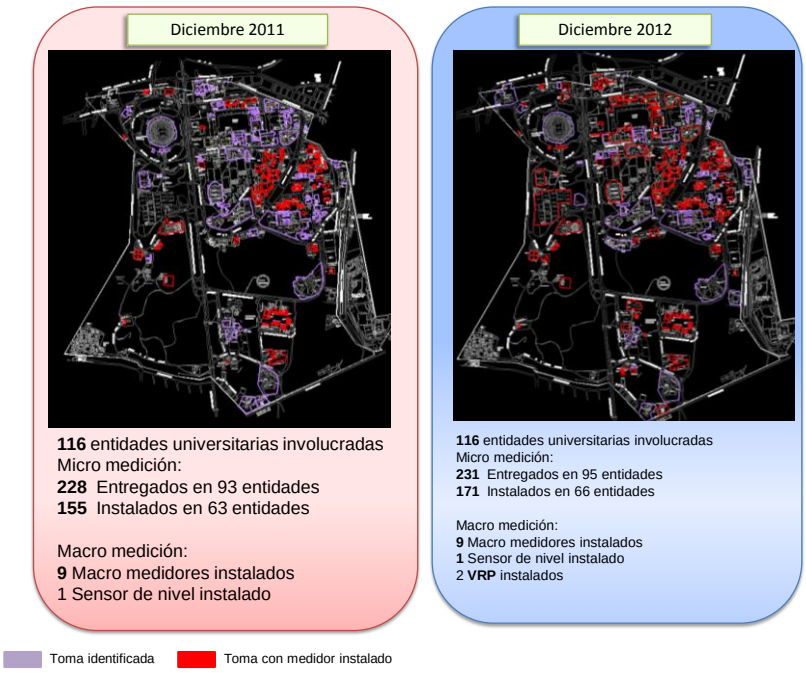


Figura 2. Avances en los trabajos de montaje del sistema de lectura automática presentados durante 2011. A la izquierda se muestran los avances en Enero de 2011 y a la derecha los avances en Septiembre de 2011.

2. Trabajos de enlace de micro medidores al sistema de lectura

En esta nueva etapa de enlaces, comprendida a partir de finales de mes de Septiembre y hasta la fecha actual, se realizo además del procedimiento ya antes mencionado propio del enlace, una parte fundamental e importante para el correcto enlace de los medidores, y es debido a que algunos de ellos se encuentran en situaciones o sitios no muy apropiadas para el enlace, PUMAGUA propone un arreglo que consiste básicamente en un registro con tapa metálica para cada medidor instalado, sin embargo para que la señal de estos medidores pueda ser captada por los Gateways así como por los equipos repetidores es a veces necesario, perforar la tapa metálica de los registros y colocar el radio de estos medidores a nivel de la tapa, esto para que la señal salga libremente y pueda ser captada de mejor manera y así facilitar su enlace.

Figura 3. Trabajos de perforación de tapas.

Durante esta etapa de trabajos se perforaron y se colocaron en las tapas radios transmisores pertenecientes a medidores de diversas dependencias, desde la FMVyZ, Instituto de Fisiología Celular, Coordinación de Estudios de Posgrado, entre otras dependencias. En algunos casos fue necesario realizar cambios de caratula, ya que los medidores contaban con caratulas del tipo integral y se gestiono un cambio por caratula remota que es el tipo de caratula que es necesario para este tipo de trabajos.

3. Trabajos en FES Aragón

Dentro de los trabajos realizados por el PUMAGUA dentro de las dependencias externas pertenecientes a la UNAM, se encuentran los trabajos realizados dentro del campus de la Facultad de Estudios Superiores Aragón. Dichos trabajos son para dar continuidad y

seguimiento a los ya realizados anteriormente en dicho Campus y continuar con la implantación del programa en sus instalaciones.

Los trabajos realizados en la FES ARAGÓN, fueron orientados hacia la micro medición y el sistema de lectura por radiofrecuencia.

Así entonces se realizo un recorrido a través de las instalaciones y en los sitios donde se encuentran instalados cada uno de los micro medidores en este campus, una vez localizados se procedió a la descarga manual de información de todos ellos, esto con la finalidad de realizar un análisis posterior usando dicha información, el cual incluye la actualización de la información, creación de graficas de consumo mensual de cada uno de ellos, así como verificar su buen funcionamiento.

Figura 4. Trabajos de perforación de tapas

Dicho análisis permitirá también el conocer la posible existencia de fugas dentro de la red del campus. Cabe mencionar que dentro de los medidores instalados dentro de la FES, algunos de ellos no presentan dentro de sus componentes, Data logger, por lo cual solo fue posible realizar la descarga de la lectura puntual y con la que contaba el medidor en dicho instante.

Se planteo a las autoridades de la Facultad el realizar un posible cambio de carátulas y se está en platica con las mismas para una futura sustitución de las mismas.

a) Trabajos en UNAM campus Juriquilla

De acuerdo a lo observado durante la visita a las instalaciones hidráulicas de UNAM Campus Juriquilla se puede concluir lo siguiente:

1. El suministro de agua potable es mixto, es decir, el agua se distribuye por gravedad y por bombeo, además depende de un PLC.
2. La distribución por bombeo incrementa las posibilidades de existencia de fugas en la red de distribución.
3. Los sanitarios tienen problemas para hacer la descarga y presentan en general un consumo elevado de agua.
4. Los mingitorios son secos en su totalidad, encontrándose estos muebles muy bien aseados, sin olores y excelente mantenimiento.

II. Evaluación de las pérdidas en la red de distribución

A. Elaboración de planos de operación de la red

Actualmente la red de distribución de agua potable opera sectorizada; sin embargo, en algunas ocasiones las válvulas de seccionamiento que hacen posible la hermeticidad hidráulica se encuentran abiertas o cerradas, según el caso. Por ese motivo el PUMAGUA y la DGOC propusieron la elaboración de planos que contengan los sectores por separado e indicando las válvulas que deben permanecer permanentemente abiertas y aquellas que deben estar permanentemente cerradas, ver figura.

El propósito de estos planos es que los operadores del sistema dispongan de planos actualizados que muestren la forma de operar el sistema de forma sectorizada y, cuando surja alguna emergencia, conozcan cuáles válvulas deben cerrarse y cuáles abrirse de tal manera que se garantice siempre la hermeticidad hidráulica. Actualmente se está en proceso de actualización de dicho plano cual se espera tener concluido en Marzo del siguiente año.

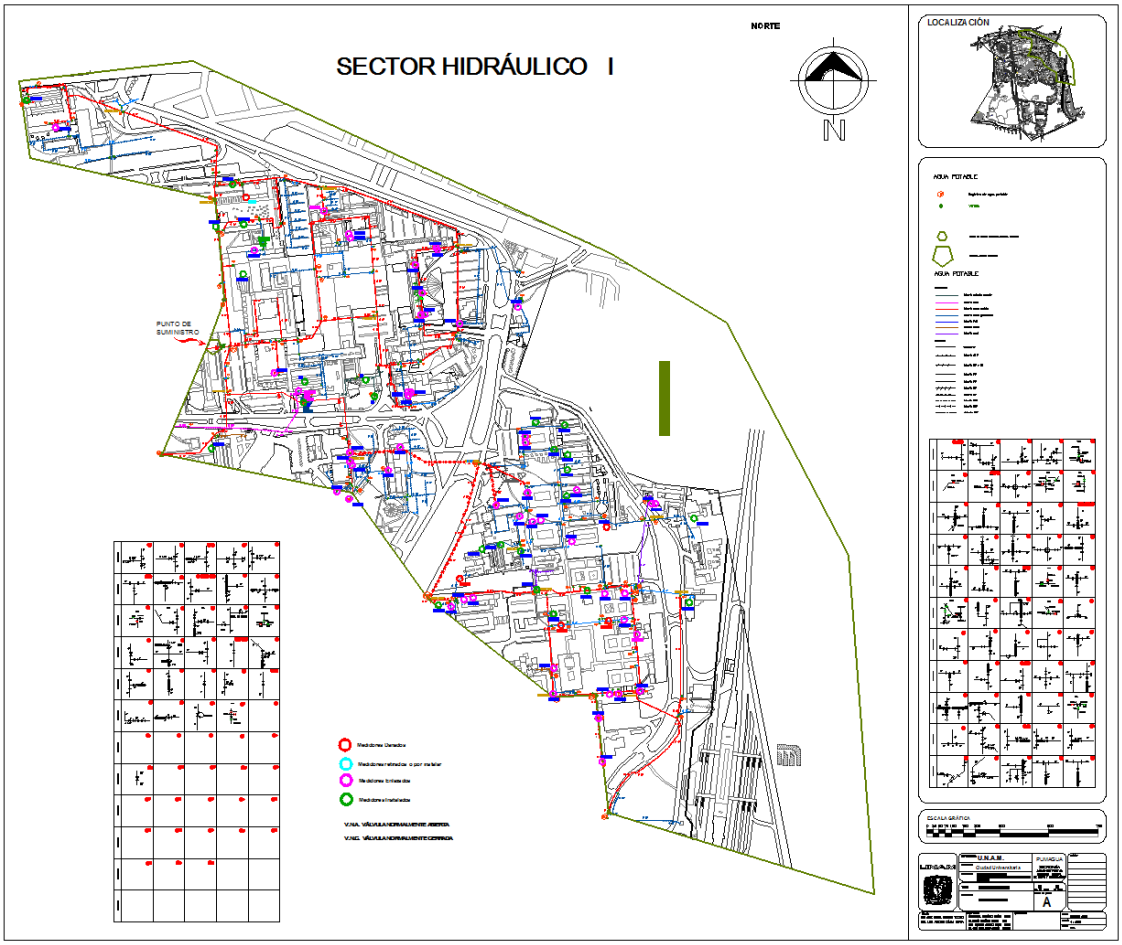


Figura 5. Plano del Sector Hidráulico 1.

Figura 1. Plano del Sector Hidráulico 1.

B. Pérdidas de agua durante 2012

Con la finalidad de aminorar las consecuencias que generan las perdidas en la red de distribución, PUMAGUA ha identificado la zona con mayor índice de fugas y realizado las acciones pertinentes en cada una de ellas para reducir este índice.

Del año 2009 a la fecha, en los sectores hidráulicos 1, 3,4 y 5 las pérdidas en la red de distribución han sido reducidas significativamente, siendo el sector hidráulico 2 el único en el que el nivel de pérdidas se ha duplicado. El resumen de cada uno de estos datos se muestra en la tabla resumen anexada en la ***Figura 6***

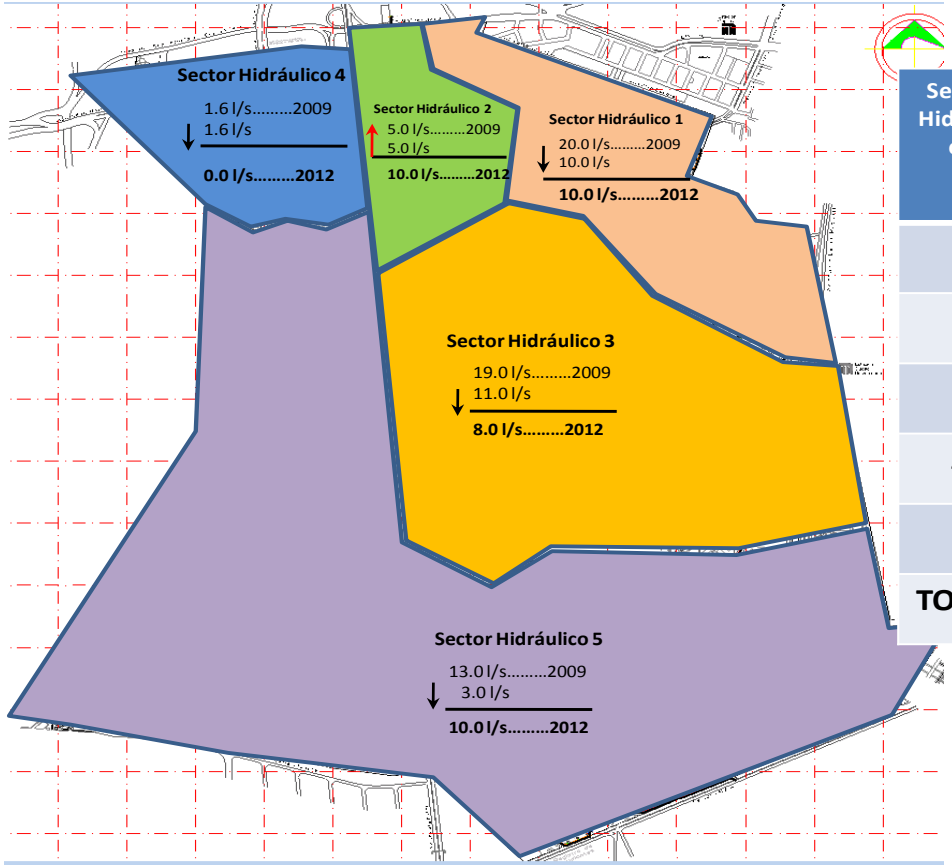
Haciendo uso de equipos para detección de fugas (un geófono y un correlador simple), se puso en marcha un programa, junto con personal de la Dirección General de Obras y Conservación (DGOC), de reducción de pérdidas en la red principal consistente en detectar, localizar y reparar fugas en líneas principales así como de sectorización y control de presiones.

Como resultado de estos trabajos, Balance Hidráulico ha establecido con la Dirección General de Obras y Conservación una vía de comunicación que consiste en solicitar apoyo a esta dirección cuando se detecta una posible fuga para asignar personal y ubicarla lo más pronto posible.

Adicionalmente, con el propósito de controlar presiones y fugas en la red de distribución, se ha instalado una válvula reguladora de presión, con lo cual se espera reducir las fugas hasta en 8 l/s. Actualmente se trabaja con la Dirección General de Obras y Conservación en las primeras pruebas de regulación de presiones.

El sistema de lectura ha permitido detectar fugas por 5.9 l/s en distintas dependencias de Ciudad Universitaria y Unidades Multidisciplinarias como FES Aragón.

Evaluación de pérdidas de agua en el sistema de agua potable.



Sector Hidráulico	Cobertura de medición (%)	Pérdidas (l/s) 2009	Pérdidas (l/s) 2012	Pérdidas en edificios (l/s) 2012
1	77	20.0	10.0	0.5
2	65	5.0	10.0	2.0
3	69	19.0	8.0	3.2
4	69	1.6	0.0	0.0
5	56	13.0	10.0	0.2
TOTAL		**58.6**	**38.0**	**5.9**

Figura 6. Evaluación de pérdidas en Ciudad Universitaria. Fuente: PUMAGUA 2012

III. Análisis de mediciones

Para el periodo 2011- 2012, la población total en Ciudad Universitaria es de 153, 280 habitantes distribuidos en 120 dependencias con las que cuenta el campus. Tomando en cuenta el uso de las instalaciones y el personal que labora en ellas, Ciudad Universitaria ha sido clasificada en cinco núcleos de población; siendo estos:

1. *Dependencias Docentes*
2. *Dependencias de Investigación*
3. *Dependencias Administrativas*
4. *Dependencias Culturales*
5. *Dependencias de Servicios*

Las estadísticas de población han sido proporcionadas por la Dirección General de Administración Escolar y la Dirección General de Personal, mostrados a continuación en la Tabla 4 y 5 respectivamente.

Tabla 4. Población Escolar Campus Ciudad Universitaria. Fuente: Dirección General de Administración General.

UNAM			
POBLACIÓN ESCOLAR CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA			
2011-2012			
Entidad académica	Alumnos		
	Licenciatura	Posgrado	Total[a]
EDUCACIÓN SUPERIOR			
Facultad de Arquitectura	6,720	528	7,248
Facultad de Ciencias	7,184	268	7,452
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	9,949	373	10,322
Facultad de Contaduría y Administración	16,456	2,024	18,480
Facultad de Derecho	11,850	2,195	14,045
Facultad de Economía	4,572	301	4,873
Facultad de Filosofía y Letras	10,300	2,140	12,440
Facultad de Ingeniería	12,263	1,113	13,376
Facultad de Medicina	5,896	9,414	15,310
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	3,171	514	3,685
Facultad de Odontología	3,020	331	3,351
Facultad de Psicología	4,047	895	4,942
Facultad de Química	6,446	1,001	7,447
Escuela Nacional de Trabajo Social	2,925	154	3,079
Institutos y centros de investigación		1,929	1,929
T O T A L	**104,799**	**23,180**	**127,979**

Tabla 5. Personal Académico Campus Ciudad Universitaria. Fuente: Dirección General de Personal.

UNAM							
PERSONAL ACADÉMICO CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA							
2012							
Entidad académica	Nombramientos						
	Profesores de carrera	Investigadores de carrera	Profesores de asignatura	Técnicos académicos (docencia)	Técnicos académicos (investigación)	Otros[a]	Total
EDUCACIÓN SUPERIOR							
Facultad de Ciencias	274	0	1162	167	1	904	2508
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	155	0	1177	80	2	256	1670
Facultad de Contaduría y Administración	129	0	1724	95	1	50	1999
Facultad de Derecho	143	0	1221	10	1	149	1524
Facultad de Filosofía y Letras	246	8	980	41	2	138	1415
Facultad de Ingeniería	258	3	1153	148	0	429	1991
Facultad de Medicina	295	5	2648	316	5	123	3392
Facultad de Química	248	0	775	157	0	139	1319
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	186	0	244	111	1	299	841
Facultad de Odontología	123	0	667	6	0	89	885
Facultad de Psicología	210	9	240	98	1	26	584
Facultad de Economía	113	0	440	45	0	427	1025
Facultad de Arquitectura	115	27	921	56	3	25	1147
Escuela Nacional de Trabajo Social	27	0	362	8	0	3	400
Institutos y centros de investigación	14	1799	1	3	1317	78	3212
Otras dependencias	151	10	466	123	373	266	1389
T O T A L	**2,687**	**1,861**	**14,181**	**1,464**	**1,707**	**3,401**	**25,301**

La distribución demográfica es claramente mayoritaria en población escolar en Ciudad Universidad siendo esta el 83%, mientras la población docente alcanza el 17% del total, datos mostrados en la siguiente grafica.

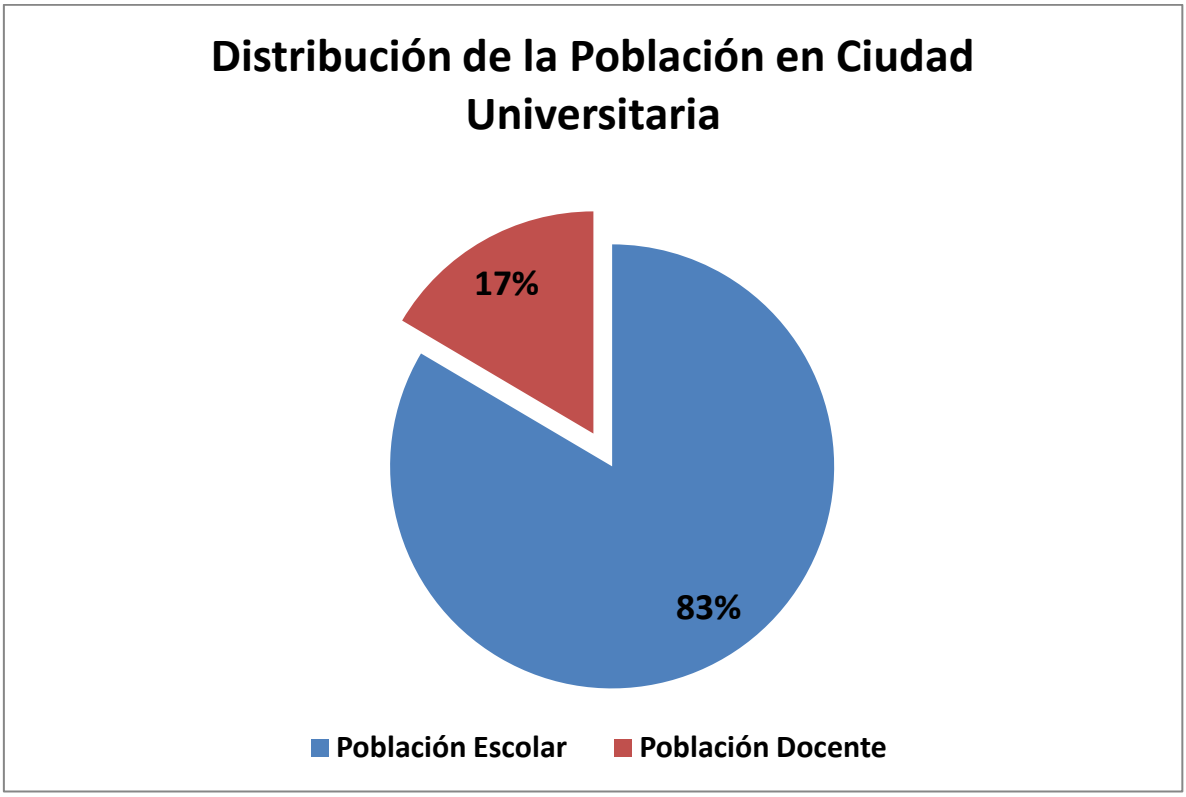


Figura 7. Distribución de la Población en Ciudad Universitaria 2012.

Ciudad Universitaria cuenta con tres pozos de extracción para el abastecimiento de agua potable con gastos discrepantes. El gasto mensual medio para el año 2012 obtenido por PUMAGUA[2], muestra los siguientes resultados: Pozo Multifamiliar 128 605 m^3, Pozo de Vivero Alto 52 594 m^3, Pozo de química 22 629m^3

Ciudad Universitaria cuenta con un inventario de 171 equipos de micro medición, distribuidos en las 120 entidades académicas del campus. La cobertura actual de medición asciende al 65% de lo proyectado por PUMAGUA.

Tabla 6. Equipos de Micromedición en Ciudad Universitaria

SH1	SH2	SH3	SH4	SH5
Instituto de Ingeniería	Consejos Académicos y Dirección General de Presupuesto	Filmoteca	Dirección General de Obras y Conservación	Ins. Inv. Biomédicas
Torre de Ingeniería	Rectoría	PUMA	Unión de Universidades de América Latina	Coord. Humanidades
Comedor Azul y Oro	Facultad de Ingeniería	Ins. Inv. Antropológicas	Talleres de Conservación. DGOC	Ins. Inv. Económicas
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	Dirección General de Servicios Médicos	Ins. Inv. Materiales	Dirección General de Relaciones Laborales	Ins. Inv. Jurídicas
Instituto de Geología	Facultad de Psicología	Dirección General de Tecnologías de la Información y Comunicación	Dirección General de Proveeduría	Ins. Inv. Sociales
Instituto de Geofísica	Facultad de Arquitectura	Facultad de Ingeniería. Anexo	AAPAUNAM	Ins. Inv. Filològicas
Instituto de Química	Facultad de Filosofía y Letras	Instituto de Física	Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas.	Ins. Inv. Filosóficas
Instituto de Geografía	Biblioteca Central	Escuela Nacional de Trabajo Social		Ins. Biología
Coordinación de la Investigación Científica	Facultad de Medicina	Facultad de Contaduría y Administración		Ins. Ecología
Instituto de Astronomía	Centro de Enseñanza Para Extranjeros	Facultad de Ciencias Políticas y Sociales		Dirección General de Tecnologías de la Información y Comunicación
Instituto de Matemáticas	Dirección General de Personal	Diirección General de Actividades Deportivas y Recreativas		UNIVERSUM
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología	Dirección General de Orientación y Servicios Educativos	Dirección General de Servicios Administrativos		Ins. Inv. Est. Hist.
Coordinación de Estudios de Posgrado	Facultad de Derecho	Dirección General de Administración Escolar		Dirección General de Incoroporación y Revalidación de Estudios
Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras	Dirección General de Administración Escolar	Facultad de Química		Unidad de Seminarios. Ingnacio Chávez
Instituto de Fisiología Celular				Museo Universitario de Arte Contemporáneo
Facultad de Medicina				Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial
Facultad de Odontología				Dirección General de Servicios Generales
Facultad de Química				Jardín Botánico
Dirección General de Administración Escolar				Centro Universitario de Teatro
IIMAS				Instituto de Investigación Sobre la Universidad y la Educación
Facultad de Economía				Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas
Centro de Ciencias de la atmósfera				Dirección General de Administración Escolar
Instituto de Investigaciones Biomédicas. Sede central				
Coordinación de áreas verdes				
Instituto de Ciencias Nucleares				
Dirección General de Finanzas				
Torre II de Humanidades				
Diirección General de Actividades Deportivas y Recreativas				
Dirección General de Bibliotecas				

[2] Programa de Manejo Uso y Reuso del Agua en la UNAM.

Los equipos de micro medición se encuentran ubicados en los cinco sectores hidráulicos en los que fue dividida la Ciudad universitaria para realizar el análisis de las mediciones de consumo en cada una de ellas.

La cobertura actual de equipos de micro medición instalados en el campus, permite a PUMAGUA obtener y actualizar mensualmente el consumo de 169 dependencias con la finalidad de conocer el uso del agua en sus instalaciones.

Dentro de los cinco Sectores Hidráulicos (S.H.), se han identificado las dependencias que reportan la mayor demanda de agua potable para sus instalaciones. Siendo estas:

En el SH1, el consumo promedio mensual del sector es de 17, 113.84 m^3. La dependencia con mayor consumo es la Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas con el 27% del suministro mensual y un consumo de 4,300 m^3.

En el SH2, el consumo promedio mensual es de 6, 515.76 m^3. Para este sector, tres son las dependencia con mayor consumo, en orden cronológico: la Dirección General de Orientación y Servicios Educativos con 17.5%, Biblioteca Central con 17% y finalmente la Facultad de Arquitectura con 16.9%.

En el SH3, el consumo promedio mensual es de 8039.7 m^3. En este sector la dependencia con mayor consumo es Tienda UNAM perteneciente a la Dirección General de Servicios Administrativos con 56.4% y un consumo mensual de 4534.5m^3, que en comparación con La Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas resultan ser muy similares.

En el SH4, el consumo promedio mensual es de 3,208.3 m^3. En este sector resulta ser Talleres de Conservación perteneciente a la Dirección General de Obras y Conservación la dependencia que utiliza el 50.25% del suministro mensual con un consumo de 1, 612.2m^3.

En el SH5, el consumo promedio mensual es de 7, 730.45 m^3. En este sector las dependencias con mayor consumo son la Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas con el 31.68% y UNIVERSUM con 21.57%.

A continuación se muestra los gráficos con el promedio mensual para cada una de las dependencias que componen los cinco sectores hidráulicos de Ciudad Universitaria:

IV. Usos del agua en Ciudad Universitaria

Como se describió en el subtema I.1, en Ciudad Universitaria han sido identificados cinco núcleos de población. Partiendo de la identificación del tipo de población y la clasificación de las dependencias en los Sectores Hidráulicos ha sido posible unificar ambas estadísticas.

El producto de este análisis nos conduce a conocer como es usada el agua en Ciudad Universitaria y poder percibir de manera directa como se distribuye el agua en el campus.

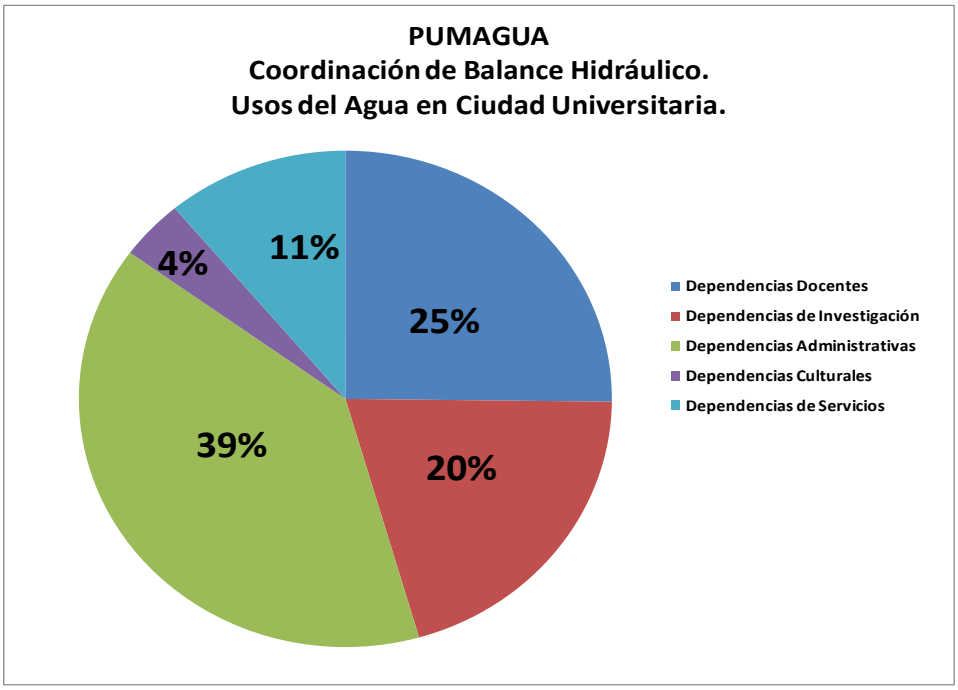


Figura 8. Usos del Agua en Ciudad Universitaria. Cobertura del 70%. Fuente: PUMAGUA 2012.

La recopilación de las mediciones en los equipos de micro medición en las dependencias y el agrupamiento de estas a partir de la población nos permiten visualizar los núcleos y sus consumos mensuales.

Tabla 7. Usos del Agua en Ciudad Universitaria. Fuente: PUMAGUA 2012.

PUMAGUA	
Coordinación de Balance Hidráulico	
Usos del agua en Ciudad Universitaria (Cobertura del 70%)	
Núcleos de Población	**Suministro (m3)***
Dependencias Docentes	12,993.8
Dependencias de Investigación	10,504.6
Dependencias Administrativas	20,374.1
Dependencias Culturales	2,023.5
Dependencias de Servicios	5,705.2

* Consumo mensual para el mes de Octubre del 2012, cobertura del 70% en micro medición.

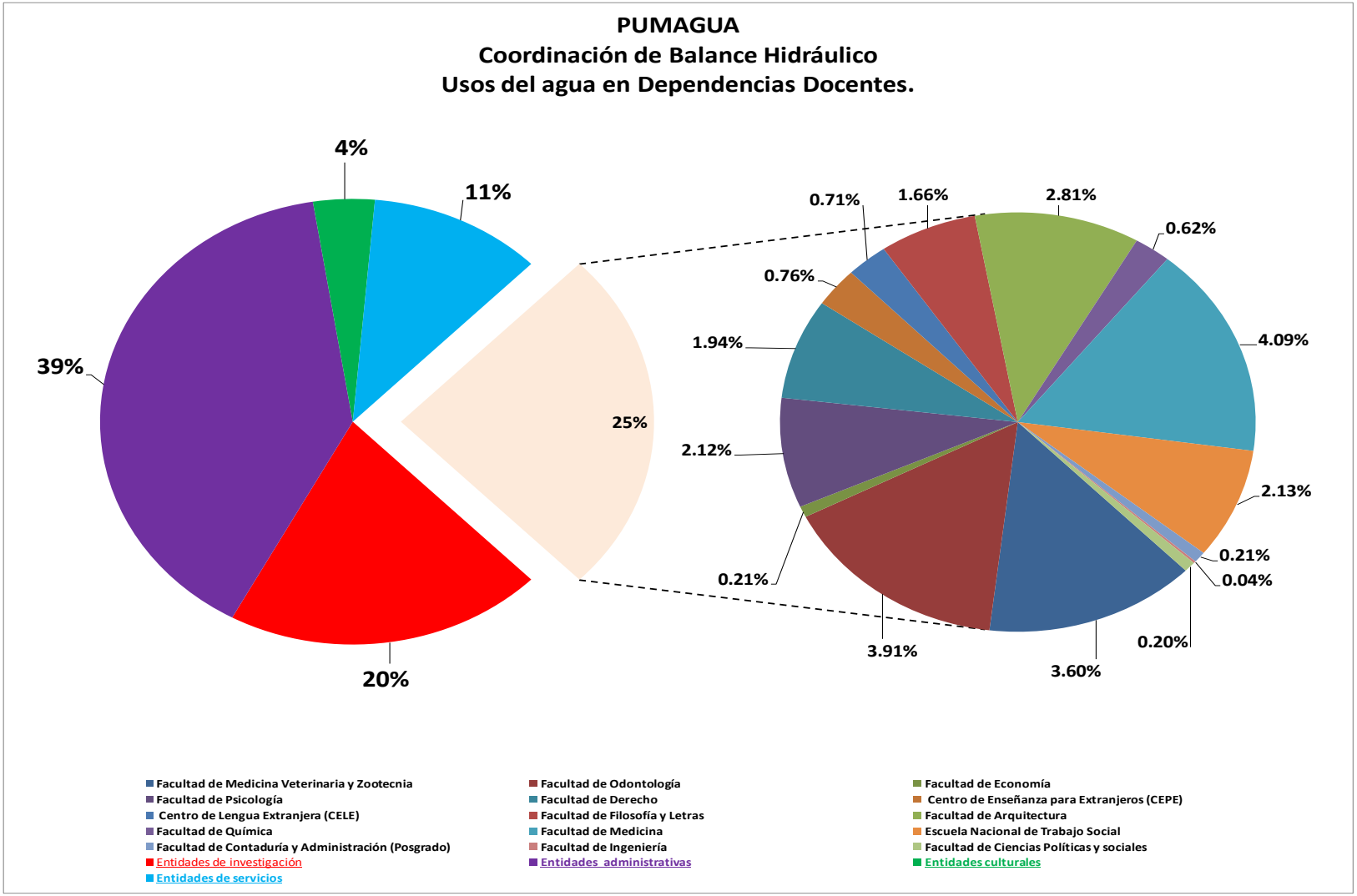


Figura 9. Usos del Agua en Dependencias Docentes. Fuente: PUMAGUA 2012.

Partiendo de la *Figura 8* en la que se muestra la cobertura actual en un 70%, se plantean los siguientes escenarios planteando una cobertura en el 100% en la medición de los suministros a las dependencias.

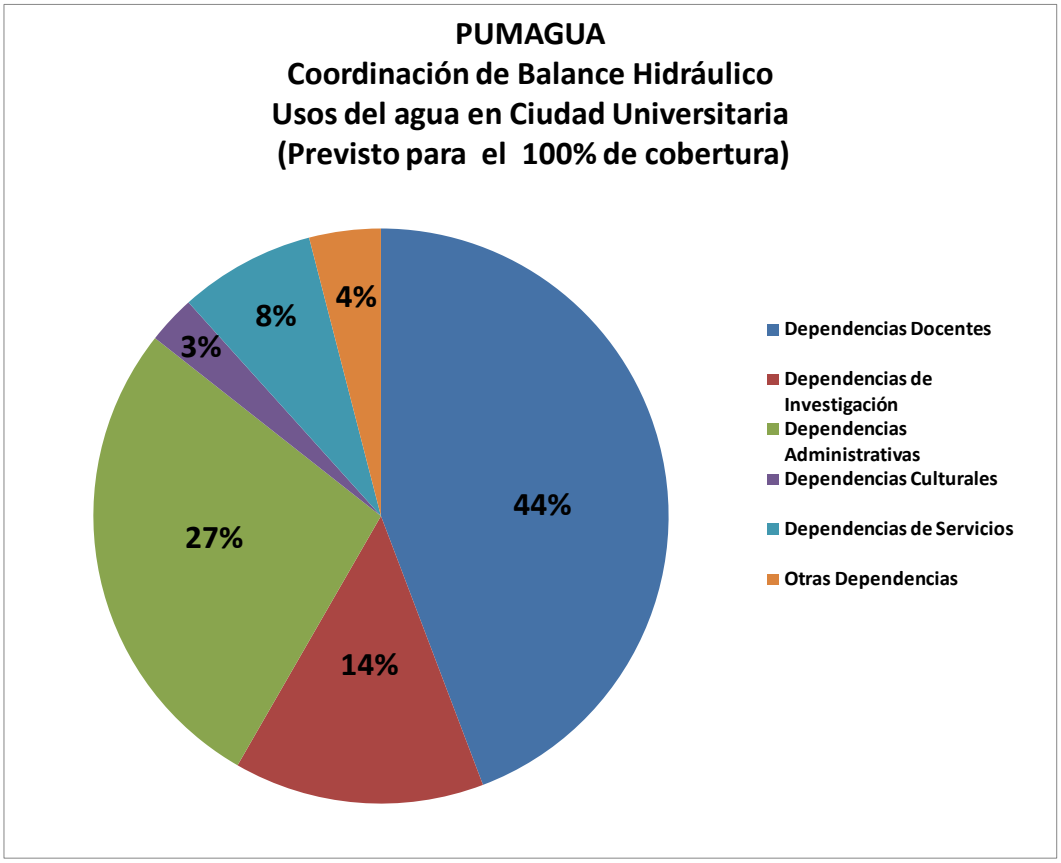


Figura 10. Usos del Agua en Ciudad Universitaria previstos para el 100% de cobertura. Fuente: PUMAGUA 2012.

El escenario previsto es el aumento en 20,000 m^3 en el suministro a las Dependencias Docentes tomando en cuenta el análisis histórico del consumo en ellas, así como las entidades faltantes de este núcleo por medir.

Tabla 8. Usos del Agua en Ciudad Universitaria. Fuente: PUMAGUA 2012.

PUMAGUA	
Coordinación de Balance Hidráulico	
Usos del agua en Ciudad Universitaria (Cobertura del 100%)	
Núcleos de Población	**Suministro (m3)***
Dependencias Docentes	32993.8
Dependencias de Investigación	10504.6
Dependencias Administrativas	20374.1
Dependencias Culturales	2023.5
Dependencias de Servicios	5705.2
Otras Dependencias	3000

* Consumo mensual para el mes de Octubre del 2012, cobertura del 100% en micromedicion.

Se incluye además, un núcleo adicional denominado "Otras Dependencias" en el cual se pronostica un suministro de 3,000 m^3 teniendo el 100% de cobertura.

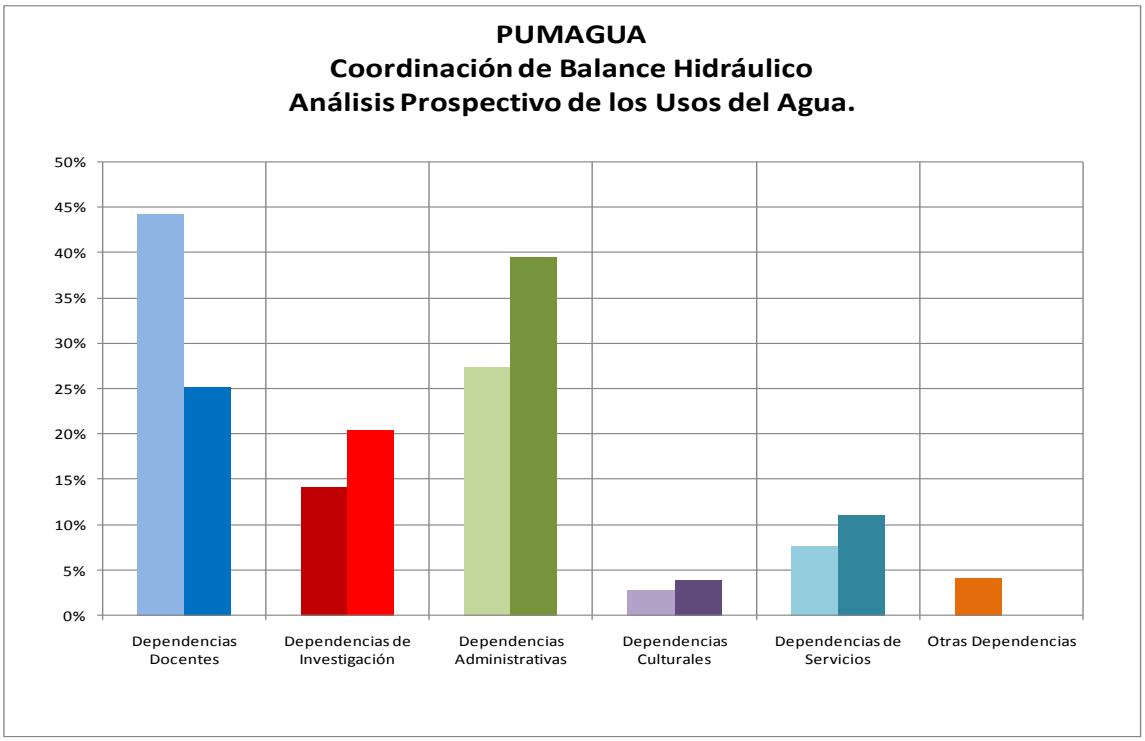


Figura 11. Comparativo de cobertura. Fuente: PUMAGUA 2012.

Los cambios más representativos se observan en las Dependencias Docentes y Administrativas, la primera aumentando su consumo en un 17%, mientras que la segunda disminuye en un 12%. En general la mayoría de las dependencias muestra una tendencia a la baja en el porcentaje de uso del agua, no en la disminución del consumo en las instalaciones.

V. Control de presiones

Para contribuir en la reducción de las pérdidas físicas de agua en el sistema de distribución de Ciudad Universitaria e incrementar su eficiencia, PUMAGUA a través de la coordinación de Balance Hidráulico sugirió a la Dirección General de Obras y Conservación (DGOC) efectuar la sectorización y control de presiones en este campus, para lo cual se establecieron cuatro etapas:

Etapa 1.- Modelación del sistema de agua potable
Etapa 2.- Conformación física de los sectores hidráulicos
Etapa 3.- Instalación y puesta en marcha de equipos de medición
Etapa 4.- Puesta en marcha de los equipos de control de presiones

A continuación se describen de manera breve las etapas mencionadas líneas arriba, centrando el interés en la última de ellas debido a que los avances en los trabajos se sectorización y control de presiones se ubican precisamente en esta etapa.

Etapa 1.- Modelación del sistema de agua potable

Los modelos de simulación matemática son la base para el cálculo hidráulico para diferentes estados que se producen en una red de distribución. Del producto de estas simulaciones se extraen resultados que serán considerados en la planificación, operación y gestión de la red. Es importante tener en cuenta que el problema de análisis está resuelto actualmente a través de programas de cómputo sí se dispone de datos, situación que normalmente no ocurre. Para afrontar este tipo de obstáculos, el análisis hidráulico de las redes de distribución puede dividirse en dos: red de distribución nueva y otra aquella que se encuentre en servicio, tal es el caso de la red de agua potable de Ciudad Universitaria.

Etapa 2.- Conformación física de los sectores hidráulicos

Para la ejecución de los trabajos de sectorización de la red de distribución se realizaron en coordinación estrecha con la DGOyC las siguientes actividades:

1. Se llevó a cabo una inspección en campo de los sectores propuestos, validando aquellas válvulas y cruceros a seccionar durante los trabajos de sectorización.

2. En aquellos casos en donde no existió alguna válvula de seccionamiento requerida, se realizó el levantamiento de las condiciones físicas y las obras civiles que se requerian para la instalación de las mismas.

3. Se identificaron en el plano aquellos puntos donde se pretende instalar cada válvula reguladora de presión. Se realizó el levantamiento en campo de estos puntos estratégicos verificando que exista el crucero indicado en el plano y por otro lado, validando el punto en función de las condiciones físicas para la instalación.

Una vez terminados los recorridos de verificación y validación de las válvulas de seccionamiento y de las ubicaciones de los puntos de instalación de las VRP, se realizaron las pruebas en campo de confirmación de cada sector. Para lo anterior se ejecutaron las siguientes actividades:

a) Se aisló cada sector cerrando todas las válvulas de seccionamiento correspondientes comprobando que no existe suministro de agua por algún punto desconocido por los operadores de la red debido a tuberías que no estén indicadas en el plano.

b) Se hicieron pruebas de presión cero, para evitar el que se purgue la tubería.

c) Se instaló un medidor portátil en el punto donde se propone instalar la VRP, durante siete días consecutivos.

d) Con los curvas de consumo obtenidos con el medidor ultrasónico, se propuso el diámetro de la VRP para cada sector.

Esta metodología fue aplicada en cada sector hidráulico en colaboración con personal de la red de agua (ver ilustración 8). Estas actividades dieron inicio el pasado 30 de Mayo de 2009 y los resultados nos han mostrado la magnitud del problema a resolver.

Etapa 3.- Instalación y puesta de equipos de medición

Con base en la propuesta de sectorización, se determinó la instalación de equipos de medición en el punto de suministro en los sectores sugeridos así como equipos de control de presiones para el caso de los distritos hidráulicos 1 y 3. Las propuestas de instalación de los equipos fueron realizadas por el PUMAGUA y la instalación se realizó por parte de personal de la DGOC. En la Tablas 2 y 3 se muestra el avance en relación a la instalación de estos equipos.

Etapa 4.- Puesta en marcha de los equipos de control de presiones

La puesta en marcha de los equipos de control de presiones o válvulas reguladoras de presión requiere de dos datos:

A. Los horarios de apertura y cierre de las válvulas reguladoras de presión.
B. La presión mínima nocturna de trabajo.

VI. Balance Hidráulico 2012

Para la distribución del agua, la red hidráulica de Ciudad Universitaria se ha divido en 5 zonas de servicio (Sectores Hidráulicos). Partiendo de esta clasificación, se ha establecido el análisis del consumo de agua en el campus para la temporada de riego y de lluvias.

La ***figura 20*** nos muestra el suministro de agua para la temporada de riego, partiendo de las mediciones realizadas por PUMAGUA, podemos concluir que en esta temporada; el balance hidráulico queda de la siguiente manera: Se inyectan 85 l/s al sistema, se consumen 25 l/s en las entidades universitarias, 22 l/s son utilizados para el riego de las áreas verdes; se pierden 35 l/s (45% del suministro). Se vierten al drenaje 24 l/s, de los cuales al colector de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cerro del Agua solo llegan 19 l/s misma cantidad que es tratada y reutilizada para el riego de áreas verdes del campus.

La ***figura 21*** nos muestra el suministro para la época de lluvias, cabe mencionar que en esta época del año el riego de áreas verdes es reducido en su totalidad; por lo cual el balance hidráulico queda de la siguiente manera: Se inyectan 65 l/s al sistema, se consumen 25 l/s en las entidades universitarias, 0 l/s son utilizados para el riego de las áreas verdes; se pierden 35 l/s. Se vierten al drenaje 24 l/s y 19 l/s son reutilizados.

El nivel de pérdidas en ambos casos, representa de acuerdo a esta información el 41 % del suministro. Lo anterior representa un sobre costo de más en energía eléctrica, potabilización, manejo y distribución del agua.

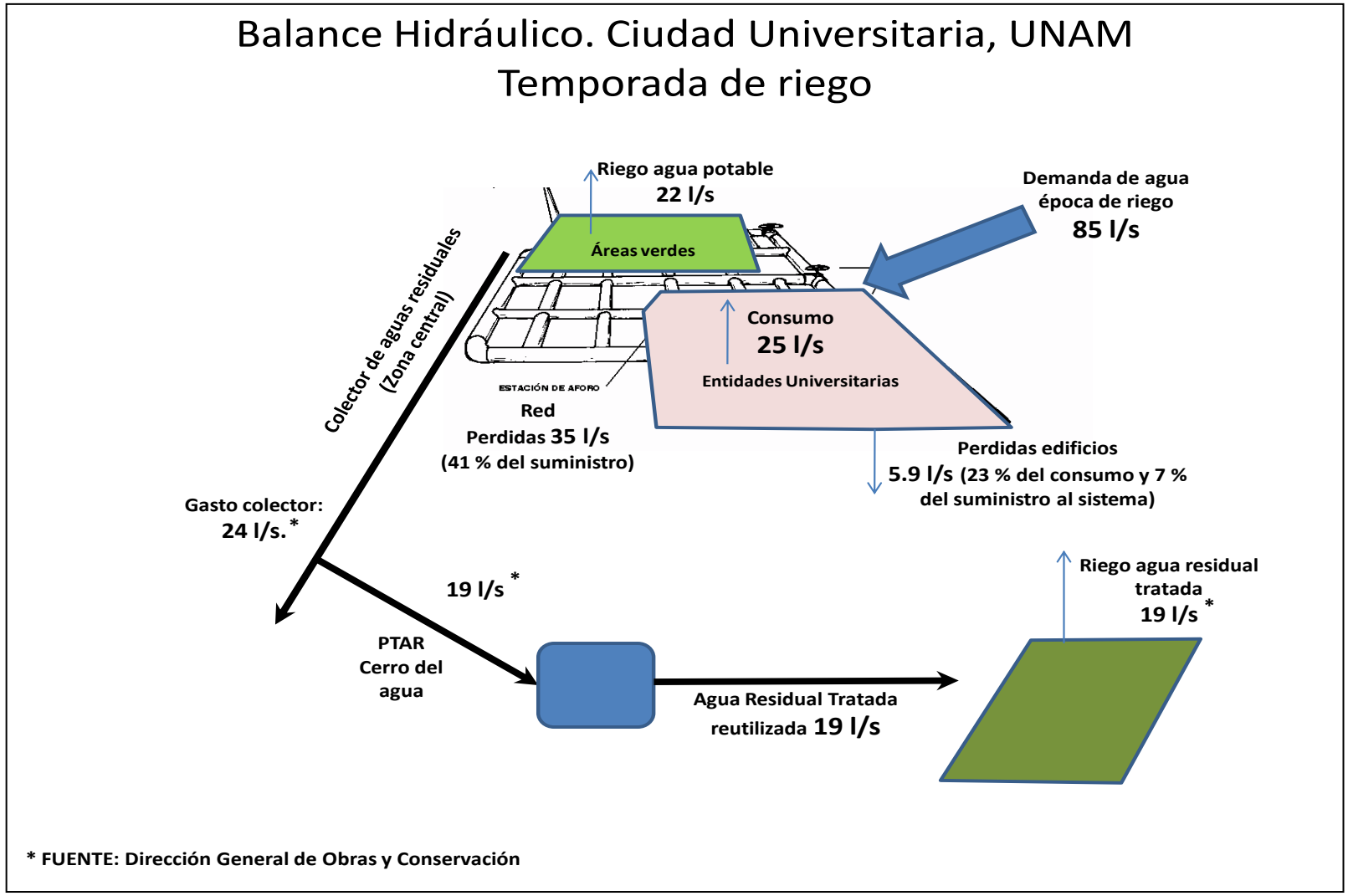


Figura 12. Balance Hidráulico en Temporada de Riego. Ciudad Universitaria, UNAM. Fuente: PUMAGUA 2012

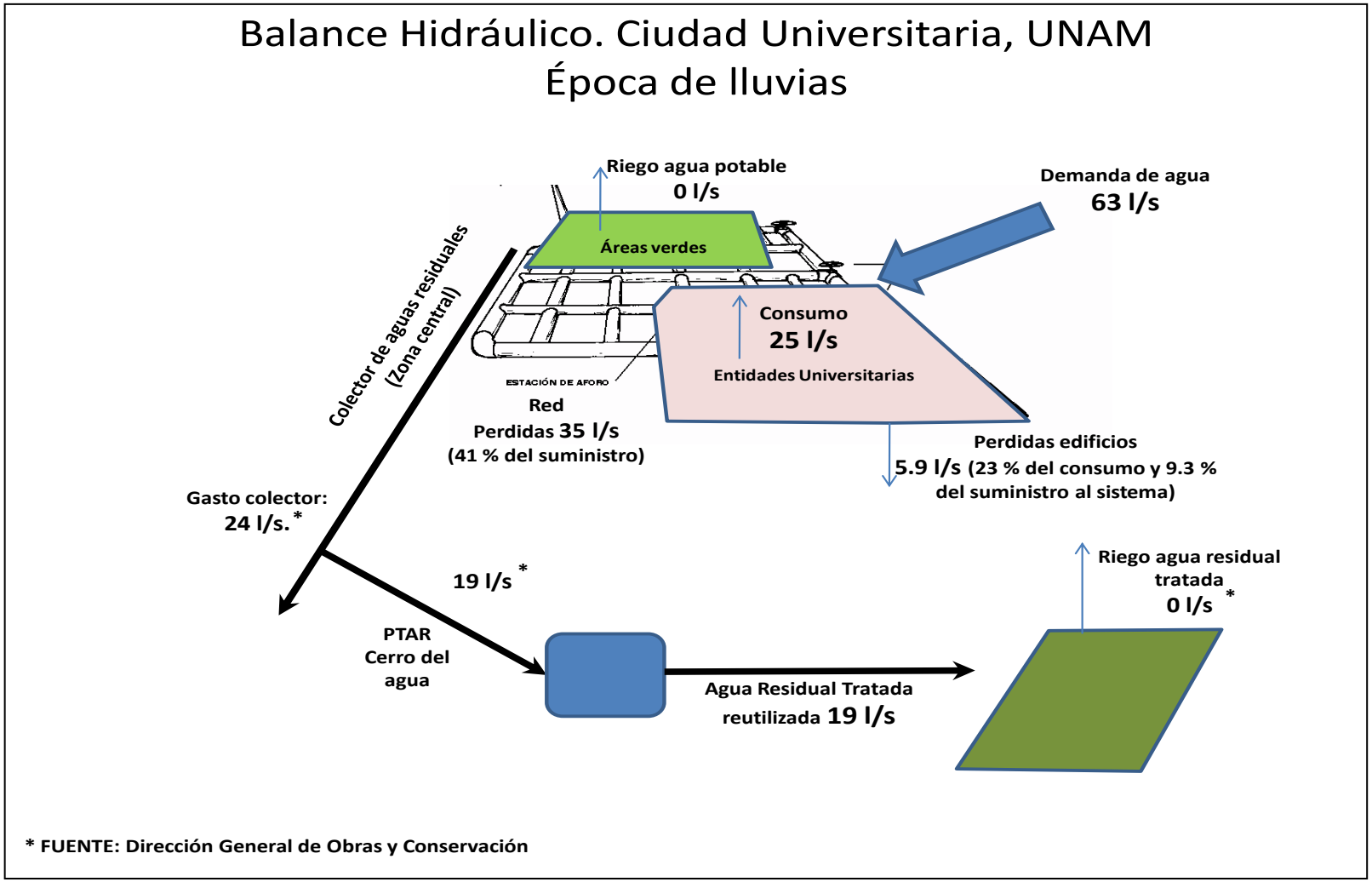


Figura 13. Balance Hidráulico en Temporada de Riego. Ciudad Universitaria, UNAM. Fuente: PUMAGUA 2012.

VII. Programa de muebles de baño

En relación a los trabajos realizados correspondientes a el Programa de sustitución de muebles de baño, con el objetivo de alcanzar las metas propuestas en el programa de uso y re uso del agua en la UNAM, se han llevado acabó los trabajos que permitan tener un mejor manejo del recurso, así como la implementación de las recomendaciones necesarias en las diferentes entidades de la Universidad, con el fin de cumplir las metas propuestas.

Se ha dado continuidad al monitoreo y sustitución de muebles de baño de bajo consumo, se ha llevado a cabo la revisión en algunas entidades de Ciudad Universitaria, que instalaron muebles ahorradores de bajo consumo desde el inicio del programa, se han analizado el funcionamiento y desempeño de estos, en los cuales se puede ver que han tenido que se mantienen dentro de las especificaciones que el programa estableció desde el inicio, pasando todas las pruebas realizadas, por lo que nos da la seguridad de seguir recomendando los muebles propuestos, algunos muebles de baño solo presentaron problemas menores, todos se encuentran funcionando sin fugas, algunos no tienen baterías por lo que se aviso de manera inmediata a los jefes de servicio para resolver este inconveniente, para el buen uso de las instalaciones.

Por otra parte se tienen sustituidos un total de 4,103 muebles ahorradores con especificaciones de PUMAGUA, de los cuales se sustituyeron en el año 2009 que fue el inicio del programa un total de 756 muebles, en el año 2010 se llego a la cantidad de 2, 232, en el año 2011 se llego a un total de 3,711 muebles de baño y en este año 2012 se ha llegado a 4, 103 muebles de baño en toda la UNAM, de estos 4,103 muebles de baño 676, corresponden a entidades externas como son FES Acatlán, FES Zaragoza, FES Iztacala, Fes Aragón, Museo del Chopo, Museo MUAC, ENP 8, Escuela Nacional de Música, Campus Morelia.

Por lo tanto, del total de muebles de baño que se han sustituido en la UNAM, el cambio realizado en entidades de Ciudad Universitaria corresponde a 3,427 muebles de baño ahorradores, quedando así una cantidad de 676 muebles de baño sustituidos en entidades externas.

VIII. Proyectos de vinculación

Durante 2011 se ha tratado de replicar el conocimiento y la experiencia desarrollada por PUMAGUA en diversas entidades externas como por ejemplo: El H. Congreso de la Unión y la Universidad Autónoma del Estado del Hidalgo. Por otro lado se elaboró un manual para la Comisión Estatal del Agua del Estado de México. A continuación de muestra a manera de resumen los trabajos desarrollados por esta coordinación en estas entidades.

A. Estadio Olímpico

El equipo portátil se colocó un día por toma y sólo en un caso se dejó durante un fin de semana para la medición del agua potable que ingresa durante los fines de semana al recinto legislativo y que, de acuerdo a la experiencia de PUMAGUA, corresponde a fugas en las instalaciones hidráulicas.

Tabla 9. Orden de colocación del medidor portátil

	Marzo 2011							
Toma	2	3	4	5	6	7	8	9
Av. Congreso de la Unión								
Av. Eduardo Molina								
Calle Zapata								
Agua Tratada								

De acuerdo a la Tabla 3, fue necesario medir dos veces la toma de agua correspondiente a Av. Congreso de la Unión debido a problemas técnicos con el equipo. La segunda medición coincidió, de hecho, con un periodo de sesión que son de hecho los días en que se presenta un mayor consumo de agua al interior de los edificios.

Tabla 10. Características de las tomas de agua potable del Congreso de la Unión

Toma General	Diámetro (mm)	Material	Medidor	Tipo de Medidor
1	50	Acero Galvanizado	Si	Volumétrico
2	50	Cobre	Si	Volumétrico
3	100	Acero Galvanizado	Si	Turbina
Agua Tratada	100	Acero Galvanizado	Si	Turbina

Se realizó la inspección de las instalaciones sanitarias de los edificios A y B del H. Congreso de la Unión, con el objetivo de conocer las condiciones en las que se encuentran en operación los muebles de baño instalados en los edificios de dicho recinto legislativo.

Las pruebas realizadas fueron a los edificios que cuentan con los baños más utilizados dentro del inmueble y que corresponden a los edificios A y B en niveles planta baja y segundo piso respectivamente, los cuales fueron designados por el jefe de mantenimiento el Ing. Raúl Carrasco quien informo a personal de PUMAGUA que estas instalaciones son las más usadas y las más viejas de todo el conjunto de edificios.

B. Proyecto Xochimilco

El agua para consumo del campus proviene de la red municipal y se canaliza hacia una serie de cisternas de donde, por medio de un equipos hidroneumáticos, se distribuye a los edificios del campus.

- Se colocó el medidor portátil en la toma general del campus por espacio de 24 horas.
- Se registró un flujo nocturno que puede asociarse a la existencia de fugas en el campus. Q = 0.038 l/s igual a 3.2 m^3 de agua por día, es decir, 10% de lo suministrado.
- Se revisaron las instalaciones hidráulicas y sanitarias del campus.

C. Propuesta de trabajo para Metepec, Estado de México

Se trabajó durante dos meses en la elaboración de un manual para el gobierno del Estado del México, cuyo propósito es *Brindar una metodología para planear, ejecutar y evaluar un programa de uso eficiente de agua en edificios públicos.* En este documento se describen estrategias desarrolladas por PUMAGUA para hacer más eficiente el uso del agua en un edificio e institución pública.

Entre los beneficios que implica ejecutar un programa de uso eficiente del agua se encuentran:

1. ***Reducir*** *el suministro de agua, con lo que se disminuye el monto de facturación,*
2. ***Reducir*** *el suministro de energía eléctrica, con lo que se reduce el monto de facturación,*
3. ***Realiza****r las mismas actividades con menos agua,*
4. ***Involucrar*** *y motivar a los usuarios en el uso eficiente del agua del edificio.*

El manual fue entregado ya a la CAEM para su revisión.

Figura 14. Trabajos con en la UAEH (Izquierda) y en el H. Congreso de la Unión (Derecha)

IX. Acciones durante 2013

La propuesta de trabajo para el 2013 se realiza considerando los logros alcanzados por el programa e integrando nuevas acciones orientadas a la transferencia de la experiencia PUMAGUA fuera de la UNAM. Lo anterior implica la elaboración de documentos donde se establezcan los lineamientos base para la adopción de las prácticas PUMAGUA para hacer un manejo, uso y reuso eficiente del agua, desde la fuente de abastecimiento hasta el consumidor.

Para el 2013 se plantea un programa de trabajo organizados en cuatro líneas de acción que son Seguimiento y monitoreo, PUMAGUA en campus externos, Investigación y vinculación y PUMAGUA fuera de la UNAM.

a) Seguimiento y monitoreo

PUMAGUA deberá continuar con el monitoreo y análisis del suministro y consumo de agua en las dependencias universitarias y reportará la presencia de fugas en sus instalaciones. También deberá continuar con el correspondiente a los sectores hidráulicos y fuentes de abastecimiento de tal manera que pueda advertir con anticipación la presencia de consumos extraordinarios y efectuar de forma regular un balance hidráulico.

Se promoverá la conclusión de la instalación de los equipos de medición en las entidades que cuentan con medidor entregado y se apoyará en la propuesta de sistemas de medición a los campus externos de Ciudad Universitaria.

Por otra parte, será necesaria la elaboración de manuales de operación y mantenimiento de los diversos equipos de medición recientemente instalados y hacer responsables de estos a alguna autoridad universitaria. Deberán también elaborarse manuales que contengan la descripción de las nuevas políticas operativas del sistema y un plan emergente ante casos de falla de algunos de sus elementos principales.

b) PUMAGUA en campus externos

Se apoyará a los campus externos para la implementación de PUMAGUA con el propósito de alcanzar las metas del programa en todas las dependencias de la UNAM. Cabe recordar que la UNAM cuenta con más de cuarenta campus a lo largo del país, por lo que lograr la implementación de PUMAGUA en todos ellos tomará varios años.

Se continuará la promoción de las acciones de uso eficiente de agua y asesoría con respecto al manejo y desinfección de agua para uso y consumo humano, y de reúso en los diversos campus de la Universidad ubicados en la Ciudad de México, su zona

metropolitana y en los campus ubicados en otros estados de la república. Asimismo se dará seguimiento a las acciones de calidad del agua ya implementadas en algunos campus.

PUMAGUA deberá establecer la línea base del consumo de agua en las instalaciones de la Universidad y un balance que permita identificar los usos del agua en sus campus. Con los resultados se deberán establecer los indicadores de gestión más representativos. Se sugiere que éstos indicadores no sean más de diez y sean de acceso para todo público y siguiendo el modelo del IBNET creado por el Banco Mundial.

c) Investigación y vinculación.

Durante 2013 se establecerán las líneas de investigación y los mecanismos de financiamiento en las que puede tener un impacto directo el programa PUMAGUA. Los resultados de estos trabajos deberán contribuir al incremento de las eficiencias de los sistemas de agua potable y saneamiento de organismos operadores y entidades públicas o privadas.

Por otra parte, se buscará replicar y hacer efectivas las propuestas de trabajo con otras universidades y entidades públicas y/o privadas. Será necesario establecer alianzas con diversos actores del sector en todos los niveles con la idea de propiciar una sinergia e intercambio de experiencias en la solución a problemas en torno al uso eficiente del agua y la energía. En este sentido se deberá iniciar dentro de los trabajos el correspondiente al uso eficiente de la energía principalmente en los equipos electromecánicos.

PUMAGUA deberá buscar incidir en la regulación de prácticas del uso del agua en el ámbito nacional y local.

d) PUMAGUA fuera de la UNAM

Transferir la experiencia PUMAGUA hacia la población mexicana plantea un reto que pretende abordarse a través de la coordinación y colaboración con instituciones y/o municipios.

Se aplicará y adaptará la metodología desarrollada por el PUMAGUA a las condiciones particulares de cada zona de aplicación. La evaluación de las acciones desarrolladas será a través del monitoreo de los indicadores de gestión propuestos por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Por otra parte, se buscará la colaboración con grupos de investigación y trabajo como el Programa Universitario de Energía de la UNAM, que se ha venido consolidando entre otros, en el tema correspondiente a la edificación sustentable. El programa cuenta con experiencia en transferencia de acciones técnicas hacia la sociedad civil en diferentes partes del país. La idea será aportar lineamientos y códigos para el uso eficiente y seguro del agua en edificaciones concebidas con principios de uso sustentable de energía. La colaboración o cooperación planteada repercutirá en el uso eficiente de dos recursos fundamentales para la vida tanto en zonas urbanas como rurales del país.

X. Conclusiones

El montaje del sistema de lectura automática ha permitido la detección de 8.4 l/s de agua al interior de las entidades universitarias y el monitoreo continuo de suministro de entidades externas a Ciudad Universitaria. Actualmente, de los 155 micro medidores instalados en la Universidad, 60 se están monitoreando de manera continua, el resto se sitúa en lugares en los que aun no se instalan las antenas concentradoras o bien, aun no son enlazados a este sistema. De manera diaria se monitorean los medidores que actualmente están enlazados al sistema y se pone especial énfasis en aquellos en los que el sistema indica una posible fuga; sin embargo, los trabajos de montaje de este sistema aun no son suficientes para poder disponer de un monitoreo completo del suministro y consumo de agua. Con la entrada en operación del concentrador instalado en Torre de Rectoría se espera monitorear al menos otros 60 medidores más, con lo que será posible de manera diaria disponer de información referente a posibles fugas de agua potable.

La importancia de disponer de un sistema de monitoreo permitirá conocer con precisión el volumen de agua que emplea la universidad en las diversas actividades que realiza diariamente y en consecuencia, continuar instrumentando políticas para un mejor uso de este recurso.

La continuidad a las estrategias de recuperación de caudales ha sido fundamental para la Coordinación de Balance Hidráulico. Durante este estos meses se han continuado con la búsqueda de fugas en líneas principales e interior de las dependencias, así como el seguimiento a la sectorización y control de presiones en la red. En este sentido, constantemente se llevan a cabo recorridos con personal de la DGOC para validar el aislamiento hidráulico de los sectores. Como resultado de estos trabajos, se han logrado recuperar 22 l/s que se perdían en fugas lo que prueba que la cooperación entre PUMAGUA y la DGOC

Con la entrada en operación de la válvula reguladora de presión propuesta para el sector hidráulico se podrán ahorrar 8 l/s. Un escenario conservador indica que se puede recuperar del orden de 17 l/s en los sectores con control de presiones. Una vez sectorizada la red, se continuará con un programa de detección y reparación de fugas a través de la estrategia de sub sectorización la cual, en combinación con la sustitución de tuberías principales permitirá recuperar un caudal aproximado de 8 l/s, lo que hace un total de 25 l/s recuperados que se pueden utilizar en otras zonas del Campus.

El año 2012 se vislumbra como el año en donde las estrategias de reducción de caudales se reflejarán en las mediciones de extracción de agua en los pozos, toda vez que se dejará de emplear agua potable para el riego de grandes áreas verdes, se instalarán las Válvulas Reguladoras de Presión y se continuará con la búsqueda de pérdidas en tuberías al tiempo de proponer rehabilitación de líneas principales y proporcionar, tras la calibración de la modelación, mejoras al sistema de agua potable de Ciudad Universitaria.

Es importante mencionar que durante 2010 poco se reflejarán en las mediciones de extracción de agua de los pozos la recuperación llevada a cabo este año por parte de PUMAGUA debido a que durante los últimos meses del año, todas las áreas verdes del campus están siendo

regadas con agua potable ante la ausencia del agua tratada como consecuencia de los trabajos de rehabilitación de las plantas de tratamiento.

La selección de las líneas principales para detección de fugas fue adecuada basada en las estadísticas de reportes de fugas de agua proporcionadas por la DGOC; sin embargo, es evidente que el instrumento más importante para la priorización de los trabajos en estas líneas es la medición, a partir de la cual posiblemente se hubiesen obtenido mejores resultados.

La sub sectorización, por su parte, ayudó tanto al taller de la Red de agua en cuanto al reconocimiento y evaluación de sus instalaciones y abrió su participación con PUMAGUA. Se evidenció que, tanto en lo físico como en el modelo de la red, es posible controlar y reducir presiones mediante sectores y subsectores hidráulicos. Es fundamental de ahora en adelante establecer un control de la hermeticidad hidráulica no sólo de los sectores y subsectores, sino también a las instalaciones hidráulicas en general, ya que al ser alteradas las condiciones de la red, las medidas implementadas para la recuperación de caudales pierden efectividad.

El avance en la instalación de micro medidores en las dependencias ha sido una herramienta sumamente útil para la detección de fugas, además de que los datos forman parte del balance necesario en cada subsector para la localización de las fugas en él.

Por otro lado, la participación activa del personal del taller de la Red de agua ha sido de suma importancia, ya que complementan con su experiencia y conocimiento las técnicas y métodos utilizados para estos procedimientos.

Se debe buscar en lo pronto un modo de cooperación interdisciplinaria entre PUMAGUA y la DGOC, ampliando acuerdos e implementando agendas de actividades efectivas que promuevan resultados más concretos y consistentes.

La poca coordinación entre los diversos actores en el tema de las fugas (DGOC-Dependencias-Balance Hidráulico) y al interior mismo de las agrupaciones es una situación que merma sobremanera las capacidades del programa. Por otra parte, la falta de presupuesto para asignar en atención a fugas hace imposible el avance en la solución a estos problemas. En el año 2011 se apuesta no sólo a determinar el conflicto, sino a proponer soluciones rápidas y viables, tal como se hizo con la evaluación de los productos comerciales para resanado, sellado e impermeabilización.

En general, la cooperación, comunicación, capacitación e implementación efectiva, son acciones de fundamental importancia ahora y en adelante. Dependencias, taller de Red de agua y PUMAGUA deben concebir un objetivo común y avanzar direccionados a él. De no darse esta composición, las medidas tomadas serán insuficientes para lograr la recuperación de caudales esperada.

Los principales conflictos presentados durante los trabajos de detección y localización de fugas, han sido el compromiso de los encargadas de los servicios generales de la mayor parte de las entidades, por lo que se hace necesario un directorio completo de personas de acción en las dependencias (jefes de servicios generales, secretarios técnicos y administrativos); así mismo los tiempos en los que se deben realizar ciertas actividades no coinciden con el tiempo laborable del personal involucrado en los trabajos, para lo cual es indispensable la búsqueda

de instrumentos administrativos que aseguren los trabajos y resultados. Adicionalmente, en los trabajos exteriores se está expuesto a la detención de los mismos por parte del personal de vigilancia que no tiene conocimiento del programa y realiza sus funciones normalmente, afectando las labores de campo.

Este año, dentro del programa de muebles de baño, se ha trabajado en conjunto con 50 entidades de la UNAM en las que se tienen instalados 2,330 muebles de baño representando un ahorro estimado de 2 l/s. Con estas acciones se está logrando reducir los suministros de agua hasta en un 40 %.

XI. Congresos y tesis elaboradas

Durante 2012 la Coordinación de Balance Hidráulico participó en diversos congresos, seminarios y cursos nacionales e internacionales que a continuación se mencionan:

Congresos

- XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Efectuado en San José de Costa Rica. Septiembre de 2012
- XXVI Congreso Nacional de Hidráulica. Efectuado en Acapulco Guerrero. Noviembre de 2012

Tesis en desarrollo

- Programa de sustitución de muebles de baño desarrollado en UNAM, Campus Juriquilla por Guillermo Alberto Montero Medel.
- Cálculo de dotaciones de agua de Ciudad Universitaria. Josué Pablo Hidalgo Jiménez
- Método práctico para detección de fugas en redes de agua potable. José Miguel Segundo Vázquez

XII. Colaboradores. Balance Hidráulico 2012

Los trabajos desarrollados durante estos primeros nueve meses del año por parte de la Coordinación de Balance Hidráulico han sido posibles gracias al trabajo de sus integrantes:

Dr. Fernando J. González Villarreal.	Director del Programa PUMAGUA
Dr. Rafael Val Segura.	Coordinador ejecutivo de PUMAGUA.
Ing. José Daniel Rocha Guzmán	Coordinador Balance Hidráulico. Enero y Febrero
Dra. Ismene Rosales Plasencia	Coordinadora Balance Hidráulico. (Marzo – Julio)
Ing. José Daniel Rocha Guzmán	Coordinador Balance Hidráulico- Agosto - Diciembre

Ing. Tomás Torres Cruz.
Ing. José Miguel Segundo Vázquez
Estudiante de Maestría en Ingeniería. Fernando Reyes Soto
Estudiante de Maestría en Ingeniería. Luis Antonio Dávila Borja
Pasante de Ing. Civil. Guillermo Alberto Montero Medel
Estudiante de Ing. Civil. Iván García Hernández
Estudiante de Ing. Civil. Jonathan Osorio Aguilar
Estudiante de Ing. Civil. Josué Pablo Hidalgo Jiménez
Estudiante de Ing. Industrial. Saúl Morales Rivera
Estudiante de Lic. en Geografía. Ana Marcela Ibarra Coss

XIII. Monitoreo de la Calidad del Agua

A. Objetivo

Analizar la calidad del agua potable y del agua residual tratada para verificar el cumplimiento de la normatividad mexicana vigente y garantizar que sea segura para sus distintos usos: agua para uso y consumo humano y agua residual tratada para riego de áreas verdes; considerando también indicadores microbiológicos complementarios. Así también, analizar la situación actual de los pozos de absorción de agua pluvial existentes en ciudad universitaria para recarga del acuífero.

Durante 2012 se dio seguimiento a la operación del sistema de desinfección de agua subterránea que se destina al uso y consumo humano, ya que el equipo de cloración fue automatizado.

En cuanto a la producción de agua residual tratada, la planta de tratamiento fue remodelada durante 2011 y en el 2012 PUMAGUA realizó un monitoreo de la capacidad de remoción-inactivación de microorganismos del agua partir del proceso central de microfiltración.

B. Agua potable

1. Monitoreo en tiempo real, en el *campus* Ciudad Universitaria

El monitoreo *on-line* de la calidad del agua para uso y consumo humano se llevó a cabo mediante el sistema de analizadores en línea, el cual desde el año 2009 tiene la finalidad de evaluar en tiempo real la calidad del agua que se suministra en el sector en el que se encuentra el edificio 5 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Este sistema de analizadores [Figura 15] está conformado por 5 sensores con los cuales se miden 6 parámetros: cloro residual libre, nitratos, turbiedad, pH, conductividad y temperatura. Los sensores registran y almacenan datos cada 5 minutos, lo cual genera 288 registros por día para cada parámetro.

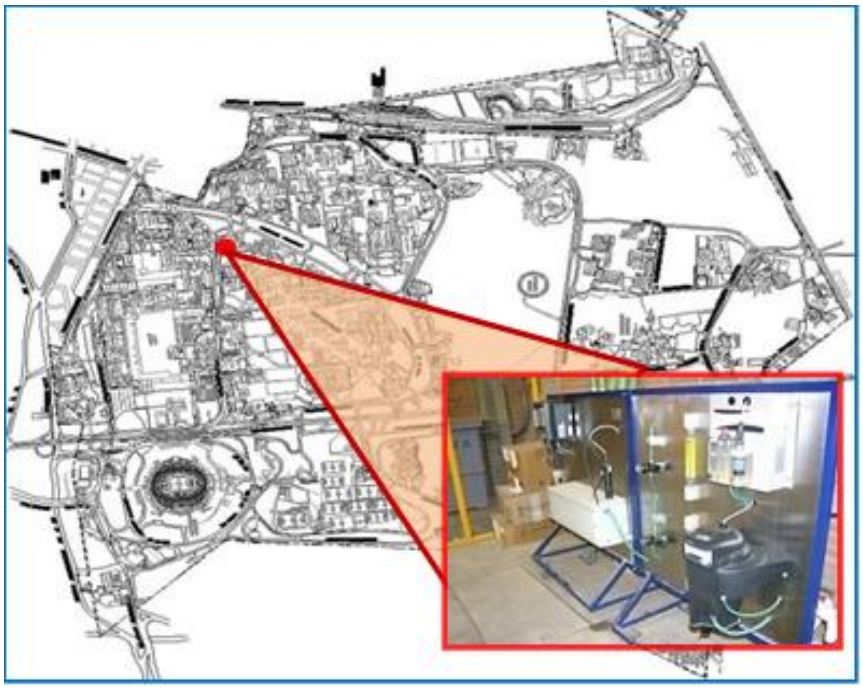


Figura 15. Sistema de analizadores en línea del Instituto de Ingeniería, UNAM.

Los resultados completos del monitoreo en línea durante el periodo de enero a noviembre de 2012 se presentan en las tablas 1 a 58 del anexo de Calidad del Agua. Es conveniente precisar que se cuenta con datos de monitoreo de turbiedad únicamente durante los meses de enero, febrero y marzo, ya que el sensor de turbiedad se encuentra descompuesto y en proceso de reparación. Además, los parámetros de conductividad y temperatura no están normados, por lo que únicamente son parámetros complementarios.

Durante el periodo analizado los parámetros de calidad del agua nitratos, turbiedad y pH, se mantuvieron dentro de los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 (2000), sin embargo, para el caso del cloro residual libre se detectaron eventos [Tabla 11] donde se rebasaron los límites máximos y mínimos (0.2–1.5 mg/L) permisibles por la normatividad.

En las figuras 1 a 6 del anexo de Calidad del Agua se presenta gráficamente el comportamiento mensual de cada uno de los parámetros monitoreados, indicando la concentración promedio, la concentración máxima y la concentración mínima para cada caso.

Tabla 11. Número de días con eventos de concentración de cloro residual libre fuera de norma, NOM-127-SSA1-1994 (2000).

Mes	Total de días con eventos de concentración de cloro residual libre menor al límite mínimo (días)	Total de días con eventos de concentración de cloro residual libre mayor al límite máximo (días)	Total de días con eventos fuera de Norma (días)
Enero	10/31	17/31	24/31
Febrero	6/29	2/29	7/29
Marzo	29/31	7/31	29/31

Tabla 12. Número de días con eventos de concentración de cloro residual libre fuera de norma, NOM-127-SSA1-1994 (2000). *Continuación.*

Mes	Total de días con eventos de concentración de cloro residual libre menor al límite mínimo (días)	Total de días con eventos de concentración de cloro residual libre mayor al límite máximo (días)	Total de días con eventos fuera de Norma
Abril	29/30	1/30	29/30
Mayo	5/31	8/31	10/31
Junio	8/30	13/30	17/30
Julio	1/31	9/31	10/31
Agosto	20/31	1/31	21/31
Septiembre	2/30	0/30	2/30
Octubre	5/31	0/31	5/31
Noviembre	0/30	4/30	4/30
Total del período	**115/335**	**62/335**	**158/335**

En algunas ocasiones se presentaron ambos tipos de eventos (concentración de cloro residual libre menor al límite mínimo y concentración de cloro residual libre mayor al límite máximo) en el mismo día, lo que dio como resultado un total de 158 días con eventos de concentración de cloro residual libre fuera de lo establecido en la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) durante el período monitoreado de enero a noviembre de 2012 [Tabla 11].

Los resultados indican que los meses de marzo y abril [Tabla 11] fue el periodo con el mayor número de eventos de concentración de cloro residual libre fuera de norma NOM-127-SSA1-1994 (2000). Lo anterior se atribuye a que durante estos meses se realizó la mayor parte de los trabajos de instalación y estabilización de los nuevos sistemas de desinfección en los pozos de extracción, lo cual repercutió directamente en la concentración de cloro residual libre.

En el mes de agosto se detectaron 21 días con eventos fuera de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000), de los cuales en 20 días se encontró una concentración de cloro residual libre menor al límite mínimo (0.2 mg/L).

2. Monitoreo en la red de distribución de agua potable en el *campus* CU

Se diseñó un programa de monitoreo para evaluar la calidad del agua potable en la red de distribución de ciudad universitaria.

El monitoreo fue realizado en coordinación con integrantes de las 3 áreas que conforman el área de calidad del agua: Instituto de Ecología, Instituto de Ingeniería y Facultad de Medicina. Dicho monitoreo fue realizado con una frecuencia mensual, de febrero a noviembre de 2012, excepto en el mes de julio.

El grupo de calidad del agua realizó el monitoreo en 5 puntos seleccionados de la red de distribución, los cuales son: Instituto de Ingeniería, Facultad de Medicina, Frontón cerrado, Instituto de Ecología y Dirección General de Obras y Conservación.

Adicionalmente el grupo del Instituto de Ingeniería monitoreó 15 puntos distribuidos en todo el *campus* Universitario [Figura 2], excepto en el mes de febrero en el que se muestreo únicamente los 5 enlistados en el párrafo anterior.

Los 15 puntos de monitoreo fueron seleccionados de acuerdo a un análisis probabilístico sistemático, desarrollado en el Instituto de Ingeniería conforme a las Normas Oficiales Mexicanas NOM-127-SSA1-1994 (2000), NOM-179-SSA1-1998 y NOM-230-SSA1-2002 (Valeriano, 2011), donde conjuntamente se consideraron los siguientes criterios:

- Distancia de recorrido del agua hasta el punto de consumo.
- Puntos prioritarios para la toma de muestra.
- Accesibilidad de los sitios de muestreo.
- Representatividad de la muestra.
- Resultados de programas de muestreo previos.

Figura 16. Monitoreo en puntos de la red de distribución de agua potable en el campus CU.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados por las tres áreas de calidad del agua fueron:

- *Instituto de Ingeniería:* Cloro residual libre, nitratos, turbiedad, pH, sólidos disueltos totales, coliformes fecales y totales.
- *Instituto de Ecología:* coliformes fecales, enterococos fecales y colífagos.
- *Facultad de Medicina:* ETEC ST, ETEC LT, *Salmonella* spp, *Shigella* spp, *Campylobacter* spp, *Helicobacter pylori*, *Mycobacterium* spp.

Resultados fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución de agua potable en el *campus* CU, obtenidos por el Instituto de Ingeniería

En las tablas 59 a 67 del anexo de Calidad del Agua se incluyen los resultados mensuales obtenidos para cada punto de la red de distribución monitoreado.

En las figuras 7, 8, 9 y 10 del anexo de Calidad del Agua, se observa que los resultados obtenidos en el periodo de monitoreo de los parámetros analizados de pH, turbiedad, sólidos disueltos totales y nitratos se encuentran dentro de norma NOM-127-SSA1-1994 (2000).

En el caso del parámetro de cloro residual libre presentó variaciones significativas que van desde 0.00 mg/L a 2.20 mg/L. De un total de 165 muestras analizadas en 20 puntos de la red de distribución durante el periodo de monitoreo de 2012, se detectaron concentraciones de cloro residual libre menor al límite mínimo en el 18.8% (31/165) de las muestras y concentraciones de cloro residual libre mayor al límite máximo en el 24.8% (41/165) de las muestras, para un porcentaje total de incumplimiento de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) en el parámetro de cloro residual libre en el 43.6% (72/165) de las muestras analizadas.

Los puntos de monitoreo de la red de distribución donde se detectó un mayor porcentaje de eventos de concentración de cloro residual libre superior al límite máximo (1.5 mg/L) de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) fueron: frontón cerrado 66.6% (6/9) de las muestras analizadas, DGSM y Estación de Bomberos 50% (4/8) de las muestras analizadas. Mientras en DGAE el 50% de las muestras analizadas (4/8) y tienda UNAM con 37.5% (3/8) fue donde se presentó el mayor porcentaje de eventos de concentración de cloro residual libre inferiores al límite mínimo (0.2 mg/L) de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000).

Por otra parte, se detectaron coliformes fecales y coliformes totales (ver figura 11 y 12 del anexo de Calidad del Agua) durante el muestreo de marzo y agosto. En marzo se detectó en el punto de muestreo de Patrimonio Universitario, y en agosto se encontró en los puntos de muestreo de la DGAE, Base 1 de Vigilancia, Base Pumabus, y Patrimonio Universitario; además de los coliformes totales detectados en UNIVERSUM (Ver tabla 60 y tabla 64 del anexo de Calidad del Agua).

La presencia de estas bacterias coliformes se atribuye a las variaciones de cloro residual libre que se presentaron durante los meses de marzo y agosto, donde la concentración de cloro residual libre en el 35% (7/20) y 55% (11/20) de los puntos de monitoreo fue inferior al límite mínimo de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) respectivamente. Además, a través del

sistema de sensores de calidad del agua en tiempo real ubicado en el Instituto de Ingeniería, se detectaron en la red de distribución 29 días con eventos de cloro residual libre inferior al límite mínimo de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) durante marzo y 20 días durante agosto (Ver tabla 8 del anexo de calidad del agua).

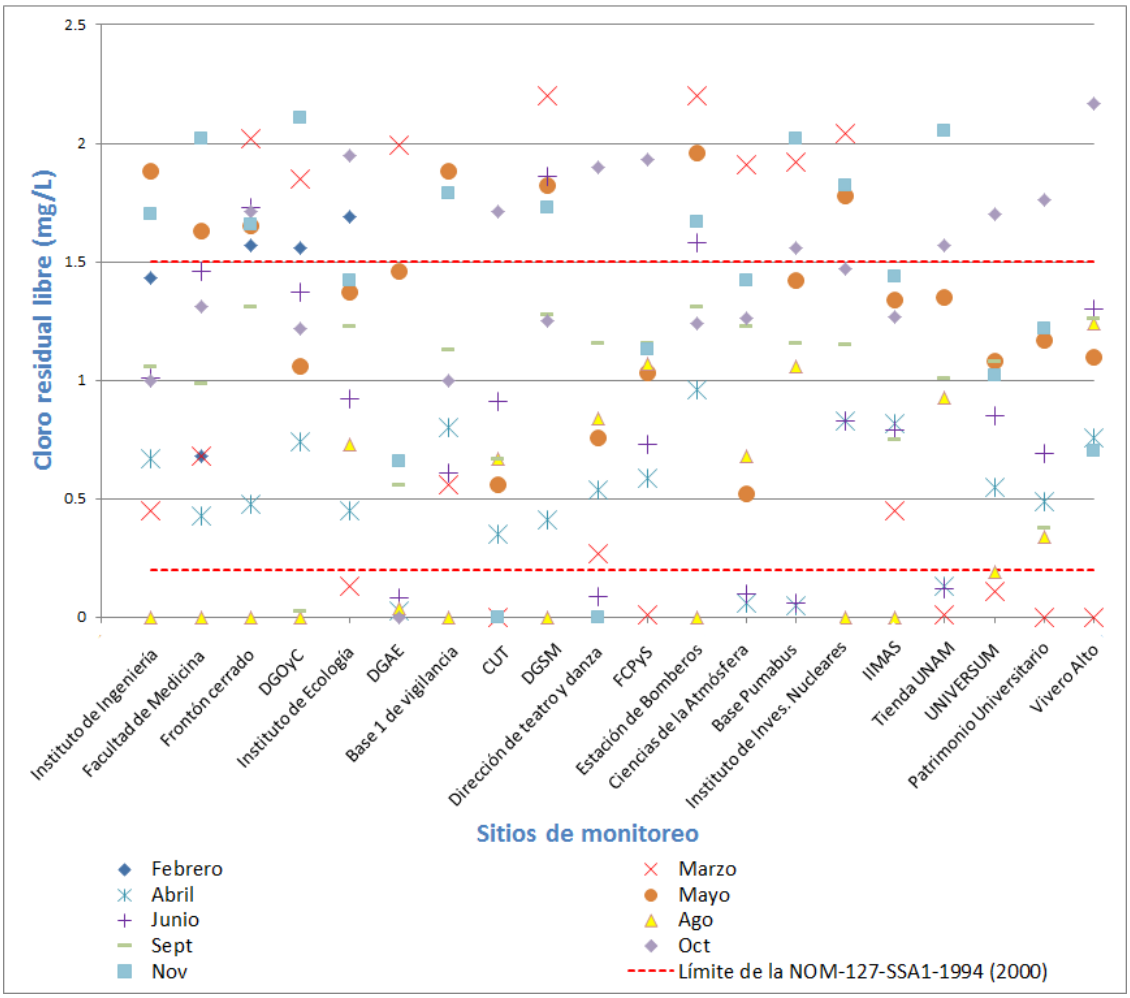


Figura 17. Panorama general de la concentración de cloro residual libre en el agua de la red de distribución en el campus CU, 2012.

Resultados microbiológicos en la red de distribución de agua potable en el *campus* CU, obtenidos por el Instituto de Ecología.

Los resultados obtenidos se presentan en la [Tabla 12]. Los microorganismos analizados fueron ausentes con excepción del mes de junio, ya que se detectaron colífagos en la muestra colectada en el Instituto de Ingeniería. Es importante señalar que la presencia de colífagos coincidió con una baja concentración de cloro residual (<0.2 mg/L) en el agua para consumo.

Tabla 13. Detección de bacterias coliformes fecales (CF), enterococos fecales (EF) y colífagos (Fagos) en muestras de agua de tomas domiciliarias del campus de Ciudad Universitaria.

Puntos de muestreo	feb	mar	abr	may	jun	ago	sep	oct	nov
Frontón cerrado									
CF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fagos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instituto de Ingeniería									
CF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fagos	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Facultad de Medicina									
CF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fagos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DGOyC									
CF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fagos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instituto de Ecología									
CF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fagos	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Por lo anterior es necesario insistir en que la medida mínima para proteger el agua de contaminación microbiológica, es la operación eficiente del sistema de desinfección, lo cual en el caso de Ciudad Universitaria implica continuidad en la cloración para mantener una concentración de cloro residual libre entre 0.2 y 1.5 mg/L, como lo señala la NOM-127-SSA1-2000.

Considerando que durante 2013 sea posible realizar análisis virales, se preservaron alícuotas de las muestras concentradas a -70° C, en el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad del Instituto de Ecología de la UNAM.

Se coordinó el muestreo acreditado de la empresa IDECA en cinco tomas domiciliarias del *campus*, donde se evaluaron con una frecuencia semanal los CT, CF y cloro.

Resultados microbiológicos en la red de distribución de agua potable en el *campus* CU, obtenidos por la Facultad de Medicina

No se detectó la presencia de bacterias patógenas responsables de infecciones gastrointestinales. Así también, no se detectó la presencia de Mycobacterium spp.

3. Monitoreo de cloro residual libre en cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano en el campus CU

Como bien se sabe, la calidad del agua para uso y consumo humano debe ser garantizada en cualquier punto de un sistema de abastecimiento. Por lo cual se debe asegurar un residual de cloro residual libre de acuerdo a los límites establecidos (0.2 – 1.5 mg/L) en la NOM-127-SSA1-1994 (2000), ya que éste es un parámetro que garantiza que no habrá crecimiento bacteriano en el agua, además es de fácil determinación. El monitoreo de cloro residual libre en las cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano, es una actividad que se ha venido desarrollando desde principios de 2011.

Monitoreo de cloro residual libre.

A noviembre de 2012 en el *Campus* Universitario se tienen contabilizadas 74 cisternas de almacenamiento para agua potable, de las cuales 61 son exclusivamente de agua para uso y consumo humano (8 están fuera de servicio), y 13 tienen usos diversos (cisternas de agua contra incendios, riego, recirculación y enfriamiento).

El programa de monitoreo implementado contempla una evaluación mensual de las cisternas de almacenamiento que son exclusivas para uso y consumo humano en el *Campus* Universitario [Figura 4].

Figura 18. Cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano existentes en el campus Universitario.

La toma de muestras fue realizada de acuerdo a los procedimientos descritos en la NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo de agua.

Una vez colectadas las muestras, se evalúa *in situ* la concentración de cloro residual libre contenida en el agua. El acceso a cada una de las cisternas es efectuado en coordinación con el personal de los Talleres de Conservación de la UNAM y con los responsables de cada Dependencia.

La Figura 19 muestra el panorama general de la concentración de cloro residual libre de cada una de las cisternas de almacenamiento de agua exclusivas para uso y consumo humano.

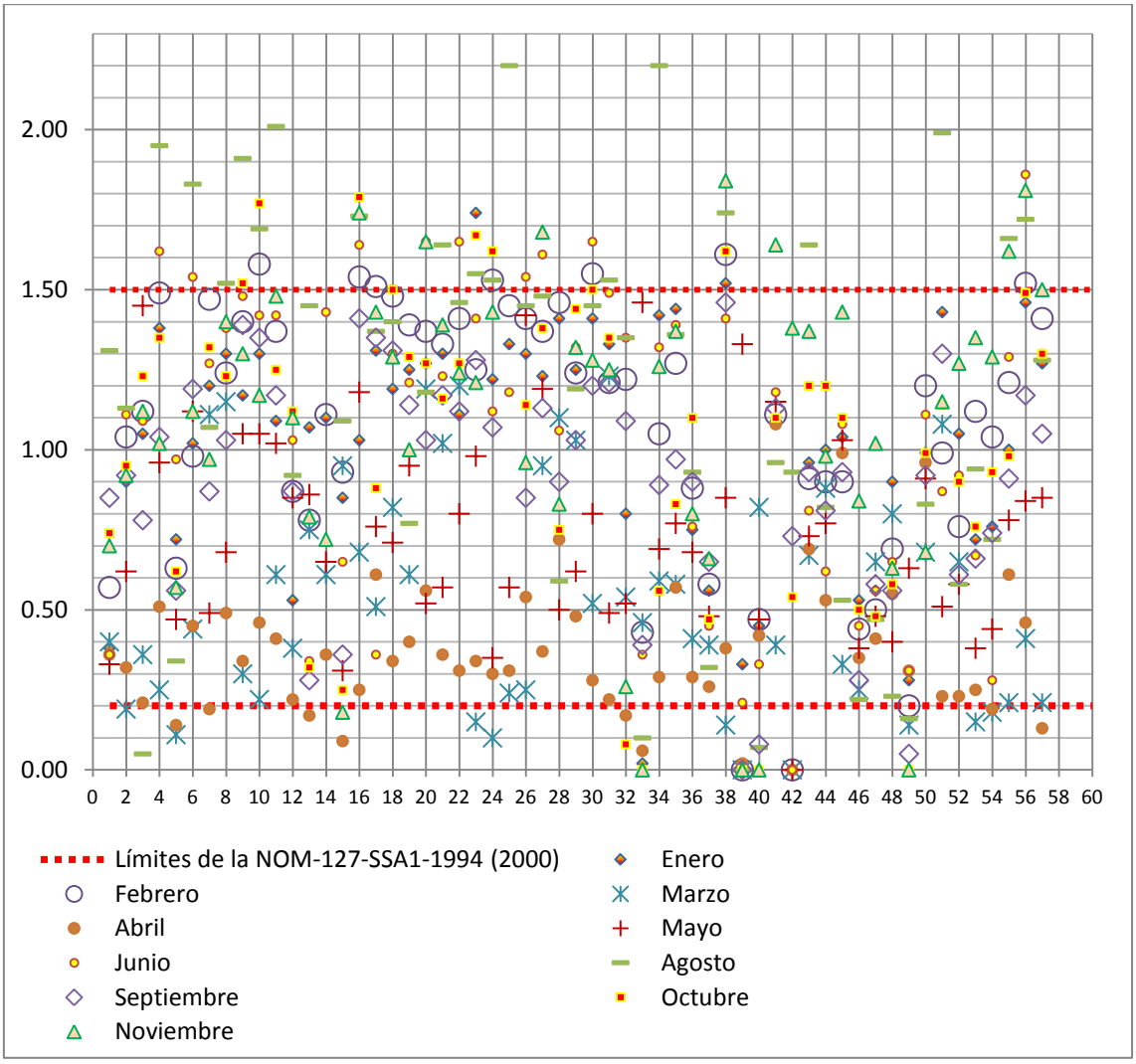


Figura 19. Niveles de cloro residual libre detectados en el agua de las cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano en el *campus* CU durante 2012.

En la tabla 14 se presentan los resultados obtenidos de cloro residual libre durante el periodo de monitoreo de 2012.

Tabla 14. Concentraciones de cloro residual libre encontradas en las cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano de CU durante 2012.

#° de Cisternas	Sitio / Dependencia	Resultados en mg/L									
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
1	Instituto de Química	0.38	0.57	0.40	0.36	0.33	0.36	1.31	0.85	0.74	0.70
2	Instituto de Fisiología Celular	0.90	1.04	0.19	0.32	0.62	1.11	1.13	0.92	0.95	0.92
3	Instituto de Geología	1.05	1.12	0.36	0.21	1.45	1.09	0.05	0.78	1.23	1.12
4	Centro de Desarrollo Infantil	1.38	1.49	0.25	0.51	0.96	1.62	1.95	1.04	1.35	1.02
5	Facultad de Medicina, torre de Investigaciones	0.72	0.63	0.11	0.14	0.47	0.97	0.34	0.56	0.62	0.57
6	Torre de Humanidades II	1.02	0.98	0.44	0.45	1.12	1.54	1.83	1.19	1.11	1.12
7	Bicipuma CU	1.20	1.47	1.11	0.19	0.49	1.27	1.07	0.87	1.32	0.97
8	Hospital de Mascotas Banfield	1.30	1.24	1.15	0.49	0.68	1.38	1.52	1.03	1.23	1.40
9	Torre de Rectoría	1.17	1.40	0.30	0.34	1.05	1.48	1.91	1.39	1.52	1.30
10	Biblioteca Central	1.30	1.58	0.22	0.46	1.05	1.42	1.69	1.35	1.77	1.17
11	Facultad de Filosofía y Letras	1.09	1.37	0.61	0.41	1.02	1.42	2.01	1.17	1.25	1.48
12	Posgrado de Derecho	0.53	0.87	0.38	0.22	0.85	1.03	0.92	0.87	1.12	1.10
13	Facultad de Psicología	1.07	0.78	0.75	0.17	0.86	0.34	1.45	0.28	0.32	0.79
14	Filmoteca UNAM 1	1.10	1.11	0.61	0.36	0.65	1.43	*	*	*	0.72
15	Filmoteca UNAM 2	0.85	0.93	0.95	0.09	0.31	0.65	1.09	0.36	0.25	0.18
16	Tienda UNAM #3	1.03	1.54	0.68	0.25	1.18	1.64	1.73	1.41	1.79	1.74
17	Facultad de Química, conjunto E (Exterior)	1.31	1.51	0.51	0.61	0.76	0.36	1.37	1.35	0.88	1.43
18	Facultad de Química, conjunto E (Interior)	1.19	1.48	0.82	0.34	0.71	1.30	1.40	1.31	1.50	1.29
19	Facultad de Química, conjunto D	1.25	1.39	0.61	0.40	0.95	1.21	0.77	1.14	1.29	1.00
20	Posgrado de Contaduría	1.27	1.37	1.19	0.56	0.52	1.65	1.18	1.03	1.27	1.65
21	Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico	1.30	1.33	1.02	0.36	0.57	1.23	1.64	1.17	1.16	1.39
22	Dirección General de Servicios de Cómputo Académico	1.11	1.41	1.20	0.31	0.80	1.65	1.46	1.12	1.27	1.24
23	Instituto de Investigaciones en Materiales, edificio C	1.74	1.25	0.15	0.34	0.98	1.41	1.55	1.28	1.67	1.21
24	Instituto de Investigaciones en Materiales, edificio E	1.22	1.53	0.10	0.30	0.35	1.12	1.53	1.07	1.62	1.43
25	Instituto de Investigaciones en Materiales, edificio B	1.33	1.45	0.24	0.31	0.57	1.18	2.20	*	*	*
26	Instituto de Matemáticas	1.30	1.41	0.25	0.54	1.42	1.54	1.45	0.85	1.14	0.96
27	Facultad de Ciencias, Tlahuizcalpan	1.23	1.37	0.95	0.37	1.19	1.61	1.48	1.13	1.38	1.68
28	Facultad de Ciencias, principal	1.41	1.46	1.10	0.72	0.50	1.06	0.59	0.9	0.75	0.83
29	Torre de Ingeniería	1.25	1.24	1.03	0.48	0.62	1.32	1.19	1.03	1.44	1.32
30	Talleres de Conservación	1.41	1.55	0.52	0.28	0.80	1.65	1.45	1.2	1.50	1.28
31	Relaciones Laborales, subestación	1.33	1.21	1.23	0.22	0.49	1.49	1.53	1.21	1.35	1.25

* Información No Disponible.

Tabla 15. Concentraciones de cloro residual libre encontradas en las cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano de CU durante 2012. Continuación.

#° de Cisternas	Sitio / Dependencia	Resultados en mg/L									
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
32	Dirección General de Obras y Conservación	0.80	1.22	0.54	0.17	0.52	1.35	1.35	1.09	0.08	0.26
33	Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras	0.02	0.43	0.46	0.06	1.46	0.36	0.10	0.39	0.00	0.00
34	Unión de Universidades de América Latina y el Caribe	1.42	1.05	0.59	0.29	0.69	1.32	2.20	0.89	0.56	1.26
35	Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas	1.44	1.27	0.58	0.57	0.77	1.39	1.36	0.97	0.83	1.37
36	Estadio Olímpico Universitario, palomar	0.75	0.88	0.41	0.29	0.68	0.76	0.93	0.9	1.10	0.80
37	Posgrado de Economía	0.56	0.58	0.39	0.26	0.48	0.45	0.32	0.65	0.47	0.66
38	Multifamiliar	1.52	1.61	0.14	0.38	0.85	1.41	1.74	1.46	1.62	1.84
39	Laboratorio central de la Dirección General de CCH	0.33	0.00	0.00	0.02	1.33	0.21	*	*	*	*
40	TV UNAM	0.45	0.47	0.82	0.42	0.47	0.33	0.07	0.08	*	*
41	Museo Universum	1.09	1.11	0.39	1.08	1.15	1.18	0.96	1.13	1.1	1.64
42	Museo Universum, Casita de las Ciencias	*	*	*	*	*	*	0.93	0.73	0.54	1.38
43	Dirección de Teatro y Danza (1)	0.96	0.91	0.67	0.69	0.73	0.81	1.64	0.93	1.2	1.37
44	Dirección de Teatro y Danza (2)	1.00	0.90	0.88	0.53	0.77	0.62	0.82	0.81	1.2	0.98
45	Salas Culturales	1.04	0.90	0.33	0.99	1.03	1.08	0.53	0.93	1.1	1.43
46	Museo Universitario de Arte Contemporáneo	0.53	0.44	0.25	0.35	0.38	0.45	0.22	0.28	0.5	0.84
47	Instituto de Investigaciones Sobre la Universidad y la Educación	0.56	0.50	0.65	0.41	0.48	0.56	0.47	0.58	0.48	1.02
48	Hemeroteca Nacional	0.90	0.69	0.80	0.55	0.40	0.65	0.23	0.56	0.58	0.63
49	Instituto de Investigaciones Económicas	0.28	0.20	0.14	0.31	0.63	0.31	0.16	0.05	*	*
50	Instituto de Investigaciones Sociales	0.99	1.20	0.68	0.96	0.91	1.11	0.83	0.92	0.99	0.68
51	Unidad de Seminarios	1.43	0.99	1.08	0.23	0.51	0.87	1.99	1.3	1.14	1.15
52	Jardín Botánico	1.05	0.76	0.65	0.23	0.58	0.92	0.58	0.61	0.90	1.27
53	Instituto de Biología, edificio A-B	0.72	1.12	0.15	0.25	0.38	0.67	0.94	0.66	0.76	1.35
54	Instituto de Biología, edificio C-D	0.76	1.04	0.18	0.19	0.44	0.28	0.72	0.74	0.93	1.29
55	Instituto de Investigaciones Biomédicas	1.00	1.21	0.21	0.61	0.78	1.29	1.66	0.91	0.98	1.62
56	Coordinación de Servicios Urbanos	1.46	1.52	0.41	0.46	0.84	1.86	1.72	1.17	1.49	1.81
57	Gimnasio-Tae kwon do	1.27	1.41	0.21	0.13	0.85	1.30	1.28	1.05	1.30	1.50

* Información No Disponible.

La cisterna del Multifamiliar (N° 38) fue la que presentó un mayor número de eventos fuera de norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) durante el periodo de monitoreo mensual de enero a

noviembre de 2012 (en el 50% de los muestreos realizados en esta cisterna, se encontró fuera del límite máximo y en el 10% de los muestreos fuera del límite mínimo). Mientras que en la cisterna del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras fue donde se detectó un mayor número eventos con concentración de cloro residual libre fuera del límite mínimo (en el 50% de los muestreos realizados en ésta cisterna se encontró eventos de este tipo).

Durante todo el periodo monitoreado, 18 cisternas cumplieron en todo momento con la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000): Instituto de Química, Posgrado de Derecho, Estadio Olímpico Universitario, Filmoteca UNAM 1, Facultad de Química conjunto E (Interior), Facultad de Química conjunto D, Facultad de Ciencias Principal, Torre de Ingeniería, Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas, Posgrado de Economía, Museo Universum Casita de las Ciencias, Dirección de Teatro y Danza 2, Salas Culturales, Museo Universitario de Arte Contemporáneo, Instituto de Investigaciones Sobre la Universidad y la Educación, Hemeroteca Nacional, Instituto de Investigaciones Sociales y Jardín Botánico. En la tabla 16 se presenta el número de cisternas donde la concentración de cloro residual libre se detectó fuera de los límites mínimo y máximo (0.2 – 1.5 mg/L) de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000).

Tabla 16. Número de cisternas donde la concentración de cloro residual libre se detectó fuera de los límites establecidos en la normatividad NOM-127-SSA1-1994 (2000).

Tipo de Incumplimiento	Número de cisternas fuera de norma NOM-127-SSA1-1994 (2000).									
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Fuera del límite mínimo	1/56	1/56	9/56	9/56	0/56	0/56	4/55(1)	2/54(2)	2/52(3)	2/53(4)
Fuera del límite máximo	2/56	7/56	0/56	0/56	0/56	9/56	18/55(1)	0/54(2)	6/52(3)	7/53(4)
Total	3/56	8/56	9/56	9/56	0/56	9/56	22/55(1)	2/54(2)	8/52(3)	9/53(4)

(1) Cisterna de Filmoteca UNAM 1 fuera de operación por mantenimiento.
(2) Cisterna de Instituto de Investigaciones en Materiales, Edificio B. y Cisterna de Filmoteca UNAM 1 fuera de operación. La Cisterna del Laboratorio Central de la Dirección General de CCH debido al uso que se le da, se clasifica de ahora en adelante como de usos diversos, por lo que es retirada del listado de cisternas de agua para uso y consumo humano. Se agregó la cisterna "UNIVERSUM, Casita de las Ciencias" al listado de cisternas de agua para uso y consumo humano.
(3) Las Cisternas de TV UNAM y de Instituto de Investigaciones Económicas debido al uso que se les da, se clasifican de ahora en adelante como de usos diversos, por lo que son retiradas del listado de cisternas de agua para uso y consumo humano.
(4) Cisterna de Filmoteca UNAM 1 entra en operación.

En la tabla 16 se puede observar que el mes de agosto fue el mes en el que más se detectaron cisternas con concentraciones de cloro residual libre fuera de norma (22/55). En los meses de marzo (9/56) y abril (9/56) se rebasó en mayor medida el límite mínimo de concentración de cloro residual libre de norma NOM-127-SSA1-1994 (2000). Lo cual se atribuye a fluctuaciones de cloro residual libre en la red de distribución durante la instalación de los sistemas de desinfección y su estabilización, además de otros factores que influyen como las condiciones de limpieza, operación y uso continuo de las mismas.

Durante el año 2012 se detectaron en las cisternas de agua potable para uso y consumo humano variaciones significativas en los niveles de cloro residual libre que van desde 0.0 mg/L mínimo registrado y hasta 2.20 mg/L máximo registrado. Con lo cual, de 550 muestras analizadas en el periodo de monitoreo de 2012, el 5.5% (30/550) no cumplió con el límite mínimo de cloro residual libre (0.2 mg/L) establecido en la NOM-127-SSA1-1994 (2000).

En la figura 20 se muestra el porcentaje calculado mensualmente referente al número de cisternas utilizadas para el almacenamiento de agua para uso y consumo humano que no cumplen con los límites de concentración de cloro residual libre establecido en la NOM-127-SSA1-1994 (2000).

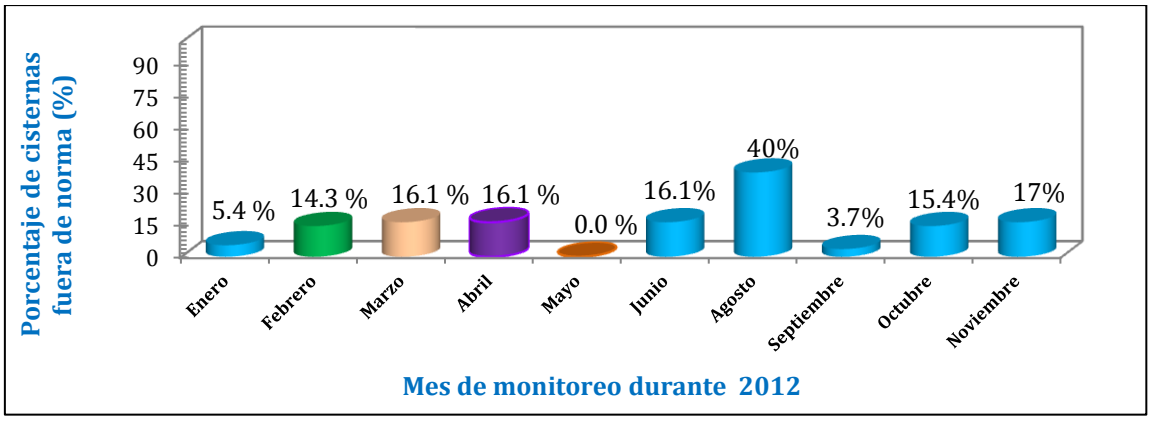


Figura 20. Porcentaje de cisternas para almacenamiento de agua para uso y consumo humano que no cumplieron con la concentración de cloro residual libre establecido en la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) durante 2012.

Mantenimiento en cisternas.

De acuerdo a la información proporcionada por personal de los Talleres de Conservación de la DGOyC, de las 54 cisternas que se tienen contabilizadas actualmente para uso y consumo humano, en el último año (diciembre de 2011 a noviembre de 2012) se ha brindado mantenimiento a 48 (Ver tabla 68 del anexo de Calidad del Agua). Se observan cisternas que requieren mantenimiento de tapaderas, escaleras y recubrimiento [Figura 21].

Cisterna de almacenamiento de agua potable de Hemeroteca Nacional.

Cisterna de almacenamiento de agua potable de la Dirección General de Obras y Conservación.

Cisterna de almacenamiento de agua potable del Instituto de Fisiología Celular.

Figura 21. Cisternas de almacenamiento de agua potable con requerimientos de mantenimiento general.

Es muy importante que el lavado y mantenimiento en general de cisternas se realice al menos dos veces al año, ya que existen factores medioambientales que pueden modificar desfavorablemente la calidad del agua almacenada, por lo que se requiere de los cuidados pertinentes.

C. Agua pluvial

En la actualidad el agua subterránea de la que puede disponer la población para abastecerse de agua potable ha disminuido considerablemente, no solo en cantidad, sino también en calidad, debido a que la mayor parte de las zonas de recarga natural han sido alteradas, ya sea modificando la cantidad de agua y/o por la creciente contaminación de estos sitios por la creciente urbanización.

Por ello surge la necesidad de implementar medidas de seguridad que ayuden a preservar y mejorar las condiciones de operación de estos sitios de recarga, los cuales impactan directamente sobre los mantos freáticos. Con esta medida se puede evitar una alteración del acuífero por verter aguas con altas cargas de contaminación. Bajo esta perspectiva el área de calidad del agua del Instituto de Ingeniería de la UNAM ha tomado la iniciativa de implementar un programa para evaluar los sitios de recarga artificial (pozos de absorción de agua pluvial) existentes en el *campus* universitario.

1. Pozos de absorción en el *campus* CU

Se llevó a cabo un recorrido por el *campus* universitario para ubicar físicamente los pozos de absorción existentes. El recorrido fue realizado en coordinación con la DGOyC quien es el encargado de la operación de los pozos de absorción, así mismo se recabó información técnica y operativa de cada uno de estos pozos. La información recabada refiere que la construcción de los pozos de absorción fue realizada por un proyecto ejecutado entre los años 1994 y 1996, los cuales desde sus inicios han sido utilizados como medida preventiva contra inundaciones.

Actualmente se tienen contabilizados en el *campus* universitario 9 pozos de absorción [Figura 8], los cuales se enlistan a continuacion:

1. Rectoría
2. Estadio Olímpico
3. Filosofía y Letras
4. Economía
5. Torre de Humanidades
6. Medicina I
7. Medicina II
8. Química
9. Campo de Beisbol

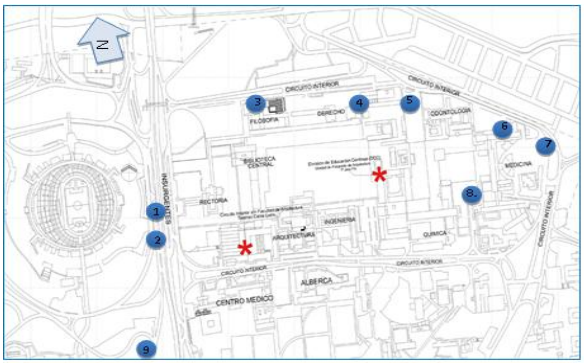


Figura 22. Ubicación de los pozos de absorción en el Campus Universitario.

Mantenimiento.

De acuerdo a la información proporcionada por la DGOyC, el mantenimiento de los pozos es realizado en 2 etapas a lo largo del año, la primera se realiza durante el mes de diciembre y comprende la limpieza del cárcamo, mientras que la segunda se realiza durante abril y mayo abarcando la limpieza de tuberías.

El mantenimiento se lleva a cabo de forma manual, y consiste en introducir un cepillo para remover todo el material que obstruye el flujo del agua a través de la malla de filtración, al mismo tiempo que se bombean los lodos que se encuentran al fondo de la cisterna, una vez concluida la limpieza se introducen 20m^3 de agua limpia para verificar que el pozo está filtrando adecuadamente, sino es así; se introduce una bomba que extrae el azolve para permitir el paso del agua.

Calidad del agua pluvial

De acuerdo a información proporcionada por la DGOyC, no se cuenta con estudios de evaluación de la calidad del agua que se infiltra al acuífero, así como tampoco se tienen evaluados los impactos por la infiltración de agua con carga orgánica y grasas, ya que algunas áreas de recolección son estacionamientos, lo cual conlleva al arrastre de grasas y aceites de los automóviles.

Debido a lo anterior, el Instituto de Ingeniería propuso llevar a cabo el monitoreo de los pozos de absorción existentes en el *campus* CU. Para lo cual se realizó la selección de los puntos de monitoreo en base a los siguientes criterios: condiciones de operación, ubicación y entorno, representatividad, precipitación pluvial, y capacidad de análisis e infraestructura. Con lo cual los pozos seleccionados a monitorear fueron:

- Pozo de absorción de Rectoría.
- Pozo de absorción de Medicina 1.

- Pozo de absorción de Economía.

A este respecto la NOM-015-CONAGUA-2007, establece las características y especificaciones que deben cumplir las obras y el agua para infiltración artificial en acuíferos, así mismo propone contar con un sistema de tratamiento que garantice que el agua en el punto de infiltración cumplirá con los límites permisibles. En la tabla 17, se pueden observar los parámetros y los límites permisibles de contaminantes con que debe cumplir el agua para recarga artificial de acuíferos de acuerdo a la NOM-015-CONAGUA-2007.

Tabla 17. Límites permisibles de contaminantes en agua para recarga artificial de acuíferos, y sus métodos de análisis.

Contaminante	Unidad de medida	Límite	Método de prueba	Método de muestreo
Grasas y Aceites	mg/L	15	NMX-AA-005-SCFI-2000	NMX-AA-009-1980
Materia Flotante	Unidad	0	NMX-AA-006-SCFI-2000	
Sólidos Sedimentables	mg/L	2	NMX-AA-004-SCFI-2000	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	150	NMX-AA-034-SCFI-2001	
Nitrógeno Total	mg/L	40	NMX-AA-026-SCFI-2001	
Fósforo Total	mg/L	20	NMX-AA-029-SCFI-2001	
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	No detectable	NMX-AA-042-1987	

En el presente año (2012) se obtuvieron datos preliminares, los cuales actualmente están en proceso de análisis para emitir un diagnóstico de los pozos de absorción de agua pluvial.

D. Agua residual tratada

El tratamiento del agua residual es un aspecto muy importante y necesario en la sociedad actual, no solo para disminuir los riesgos e impactos a la salud y al ambiente, sino porque la disponibilidad del agua es cada vez menor (en cantidad y calidad), mientras que la necesidad y demanda es cada vez mayor.

Por lo anterior es importante buscar e implementar alternativas y acciones encaminadas a reducir, preservar, mejorar y aprovechar con mayor eficiencia este recurso.

Acorde a lo anterior las plantas de tratamiento de agua residual brindan una alternativa para reducir el consumo de agua potable sustituyendo ésta por agua residual tratada en algunas actividades que no requieren agua de primera calidad (riego de parques y jardines, lavado de autos, lavado de banquetas y recarga artificial de acuíferos).

El *campus* Ciudad Universitaria de la UNAM cuenta con cuatro plantas para tratar el agua residual que se genera en el *campus*, las plantas son las siguientes: planta de Cerro del Agua, planta de la Facultad de Ciencias Políticas, planta del Instituto de Ingeniería y la planta del Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación (IISUE).

1. Planta de tratamiento de agua residual de Cerro del Agua.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua, que es la principal planta de Ciudad Universitaria, estuvo en proceso de rehabilitación a partir de 2010 hasta julio de 2011 y posteriormente estuvo en etapa de estabilización, motivo por el cual hasta diciembre de 2011 la planta comenzó a operar de forma normal. Por esta razón a partir de febrero de 2012 el grupo de calidad del agua inició un programa de monitoreo para evaluar el tren de tratamiento de esta planta y monitorear la calidad del agua tratada que es destinada para su reúso en el riego de jardines.

A este respecto la NOM-003-SEMARNAT-1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. En este caso en particular agua tratada para riego con contacto directo [Tabla 18].

Tabla 18. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Tipo de reúso	Promedio Mensual				
	Coliformes fecales NMP/100ml	Huevos de Helminto (h/L)	Grasas y Aceites (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SST (mg/L)
Servicios al público con contacto directo.	240	≤ 1	15	20	20

El monitoreo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua fue realizado en coordinación con integrantes de las 3 áreas que conforman el grupo de calidad del agua: Instituto de Ecología, Facultad de Medicina e Instituto de Ingeniería.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados por las tres áreas de calidad del agua fueron:

- *Instituto de Ingeniería:* coliformes totales y fecales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), pH y turbiedad.
- *Instituto de Ecología:* coliformes fecales, enterococos fecales y colífagos.
- *Facultad de Medicina:* ETEC ST, ETEC LT, *Salmonella* spp, *Shigella* spp, *Campylobacter* spp, *Helicobacter pylori*, *Mycobacterium* spp.

El programa de monitoreo en la planta de tratamiento de Cerro del Agua establece dos puntos de muestreo, mismos que fueron evaluados durante los años 2008 y 2010. El primer punto es a la entrada de la planta (influente) y el segundo punto a la salida de la planta (efluente). Con estos puntos se evaluó la eficiencia del tren de tratamiento, así como el cumplimiento de la calidad del agua tratada para riego por contacto directo, en función con lo establecido en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

El periodo de monitoreo en la planta de tratamiento de Cerro del Agua está comprendido de febrero a noviembre de 2012, excepto los meses de julio (temporada vacacional) y septiembre (no se contó con muestra en el efluente de la PTAR).

Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua, obtenidos por el Instituto de Ingeniería

Los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados en el influente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua pueden consultarse en las tablas 69 a 77 del anexo de Calidad del Agua. Los parámetros que se determinaron y que se encuentran establecidos en la norma son: coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales. Mientras los parámetros coliformes totales, demanda química de oxígeno (DQO), pH y turbiedad son complementarios. Durante el periodo analizado el parámetro sólidos suspendidos totales se mantuvo dentro de los límites establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997 [Figura 23].

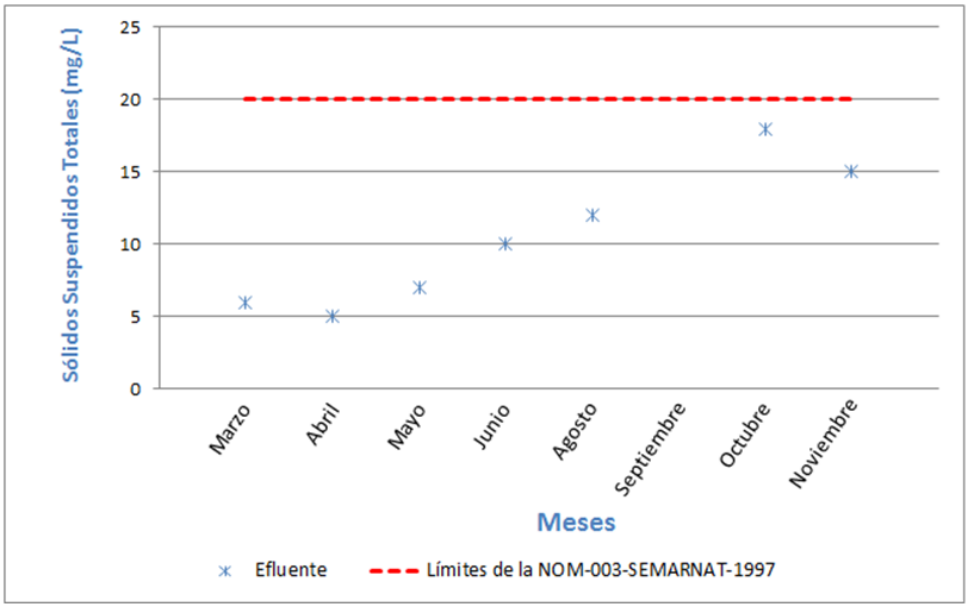


Figura 23. Panorama general de la concentración de sólidos suspendidos totales en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua, 2012.

En el caso del parámetro demanda bioquímica de oxígeno, se observa [Figura 24] que la calidad del agua para riego se encuentra dentro de los límites de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (20 mg/L), excepto en el mes de febrero donde está fue rebasada (42 mg/L).

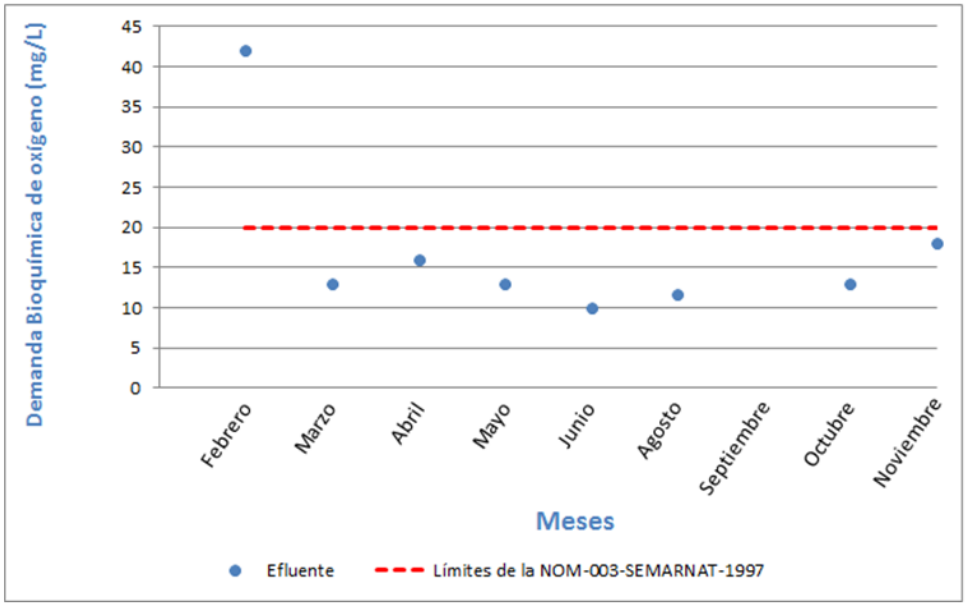


Figura 24. Panorama general de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la planta de tratamiento de agua residual de Cerro del Agua, 2012.

En lo que respecta a coliformes fecales [Figura 25], en el periodo de monitoreo de 2012 se detectó su presencia en el efluente de la Planta de tratamiento durante los meses de junio (4000 UFC/100 ml) y agosto (700 UFC/100 ml), rebasando el límite de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (240 UFC/100 ml), lo cual se atribuye a que en el momento del muestreo la planta de tratamiento todavía estaba en proceso de ajustes técnicos y no se encontraba en

operación el sistema de desinfección. En el mes de noviembre nuevamente se detectó la presencia de coliformes fecales (8100 UFC/100 ml) en el efluente de la planta, rebasando el límite de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (240 UFC/100 ml), aun cuando estaba funcionando el sistema de desinfección.

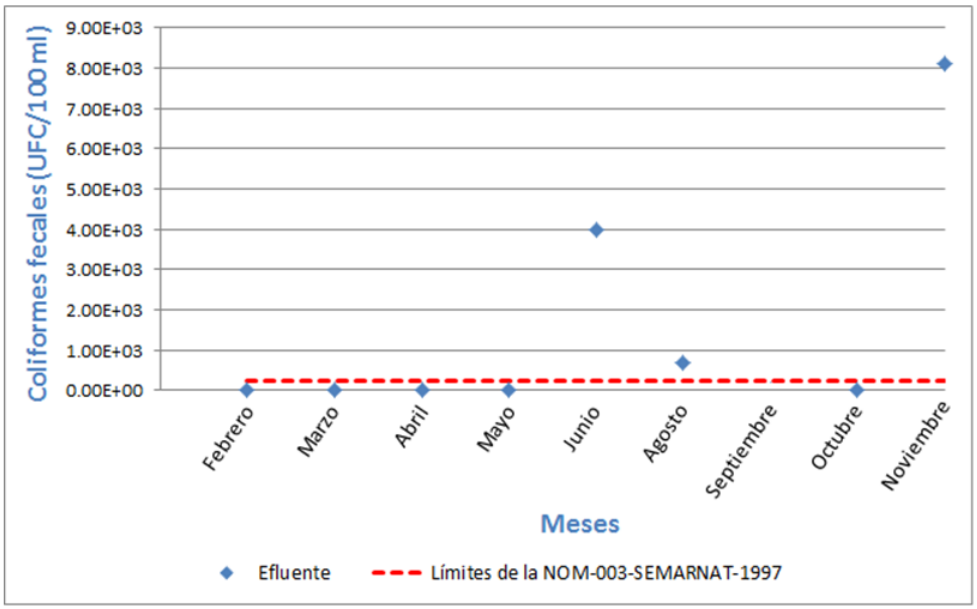


Figura 25. Panorama general de coliformes fecales en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua, 2012.

Resultados microbiológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua, obtenidos por el Instituto de Ecología.

En el 2012 se realizó un monitoreo de la capacidad de remoción de microorganismos por medio de ultrafiltración, que es el proceso central de la PTAR. Se evaluaron los conteos de coliformes fecales, enterococos fecales y colífagos como indicadores de contaminación fecal.

Debido a que el agua que produce la PTAR se reúsa en riego de áreas verdes del *campus*, y a que dichas áreas son utilizadas intensivamente por la comunidad universitaria, el límite máximo permisible de bacterias fecales es de 240 unidades formadoras de colonia en 100 mililitros de agua (240 UFC/100 mL), como se establece en el NOM-003-SEMARNAT-1997 para agua residual tratada que se reúsa con contacto directo.

Los resultados obtenidos en los análisis se presentan en la Tabla 19. El funcionamiento de la PTAR ha sido satisfactorio durante todo el periodo de muestreo. La capacidad de remoción de la PTAR es > 7 unidades logarítmicas (99.99999%), lo cual ha sido consistente y nos da certeza para el reúso del agua producida.

Tabla 19. Detección de bacterias coliformes fecales (CF), enterococos fecales (EF) y colífagos (Fagos) en muestras de agua residual y residual tratada en la PTAR de Cerro del Agua.

Puntos de muestreo	feb	mar	abr	may	jun	ago	sep	oct	nov
Influente									
CF	+	+	+	+	+	+	+	+	+
EF	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Fagos	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Efluente									
CF	-	+	-	-	-	-	-	-	+
EF	-	+	-	-	-	-	-	-	+
Fagos	-	-	-	-	-	-	-	-	+

+ corresponde a conteos > 240 UFC/100 mL del indicador; - corresponde a conteos <240 UFC/100 mL del indicador.

Sin embargo, hay que señalar que en el mes de marzo fueron detectadas coliformes fecales y enterococos fecales en cantidades superiores a 240 UFC/100 mL. Este evento pudo haber estado relacionado con algún trabajo en las instalaciones de la PTAR. Para el mes de noviembre fueron detectados tanto CF, EF como colífagos. Por lo anterior es recomendable evitar el reúso de agua residual tratada ante cualquier cambio en el proceso, sin antes realizar un análisis microbiológico del agua producida.

Resultados microbiológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua, obtenidos por la Facultad de Medicina.

Se evaluó la calidad de agua de la planta de tratamiento de “Cerro del Agua” (PTCA) posterior a su remodelación.

En la tabla 8 se presentan los resultados microbiológicos obtenidos en el influente y el efluente de la planta de tratamiento durante el periodo de monitoreo de febrero a junio de 2012.

Tabla 20. Detección de patógenos gastrointestinales por PCR-Hibridación de influente y efluente de la Planta de Tratamiento de Cerro del Agua.

Muestras	ETEC ST	ETEC LT	*Helicobacter pylori*	*Campylobacter* spp.	*Salmonella* spp.	*Shigella* spp.	Mycobacterium spp.
Influente							
Febrero	N	N	+	+	N	N	+
Marzo	N	N	N	+	N	N	+
Abril	N	N	+	+	N	N	+
Mayo	N	N	N	+	N	N	+
Junio	N	+	N	+	N	N	+
Efluente							
Febrero	N	N	N	N	N	N	N
Marzo	N	N	N	+	N	N	N
Abril	N	N	N	N	N	N	N
Mayo	N	N	N	N	N	N	N
Junio	N	N	N	N	N	N	N

ETEC LT = *Escherichia coli* enterotoxigénica toxina termolábil; ETEC ST = *Escherichia coli* enterotoxigénica toxina termoestable; N = Negativo

Del análisis de los resultados microbiológicos obtenidos en el influente de la planta de tratamiento se determinó:

- El total de las muestras fueron positivas para la presencia de ***Campylobacter* spp.**
- Dos muestras positivas para la presencia de ***Helicobacter pylori***
- Una muestra positiva para la presencia de **ETEC LT** [Tabla 20].
- 5 muestras positivas para el cultivo de ***Mycobacterium* spp**. Entre las especies identificadas por el método PCR-PRA se encuentran: *M. terrae*, *M. fortuitum, M. smegmatis, M. peregrinum, Mycobacterium senegalense, M. boenickeiy, M. agri, M. arupense y M. intracellulare*

Así también, del análisis de los resultados microbiológicos obtenidos en el efluente de la planta de tratamiento se determinó:

- Se determinó la presencia de ***Campylobacter* spp**. en una de las muestras.
- No se detectó la presencia de los otros patógenos gastrointestinales en las muestra por PCR-Hibridación.
- Ausencia de ***Mycobacterium* spp.**

En el influente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua se detectaron bacterias patógenas responsables de infecciones gastrointestinales, así como de

micobacterias no tuberculosas (MNT) causantes de enfermedades en diferentes órganos y tejidos no consideradas en la norma oficial mexicana para los diferentes tipos de agua.

Por otra parte, en el efluente de la planta de tratamiento se observó la ausencia de la mayoría de las bacterias patógenas con excepción de *Campylobacter* spp en una de todas las muestras analizadas. La detección **en el efluente** de la presencia de *Campylobacter* spp. en la muestra del mes de marzo, probablemente se deba a contaminación externa ya que en primer lugar no se volvió a aislar en los meses posteriores además de que tampoco se detectó ninguna otra bacteria.

2. Cisternas de almacenamiento de agua residual tratada proveniente del efluente de la planta de tratamiento de Cerro del Agua.

Con el fin de dar seguimiento a la calidad del agua tratada de reúso que se distribuye para el riego de jardines, proveniente del efluente de la planta de tratamiento de Cerro del Agua. Los participantes del Instituto de Ingeniería reiniciaron en agosto de 2012 el monitoreo de las cisternas de almacenamiento de agua residual tratada. En el caso del Instituto de Ecología y de la Facultad de Medicina los muestreos iniciaron en noviembre de 2012.

Las cisternas de almacenamiento de agua residual tratada monitoreadas son: Cisterna de *Campus* Central, Cisterna de Camellón Química, Cisterna de Camellón Veterinaria, Cisterna de Centro Médico, Cisterna de Pista de Calentamiento, y Cisterna de Canchas de Beisbol.

Es importante tener en cuenta que en época de lluvia se suspende el bombeo de agua residual tratada de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua hacia las cisternas, debido a que las áreas verdes en Ciudad Universitaria se riegan normalmente en tiempo de secas, esto es, del mes de enero a finales del mes de mayo y se interrumpe el riego cuando empieza la época de lluvias, del mes de junio a septiembre aproximadamente; posteriormente se reanuda el riego de finales de octubre a diciembre.

Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de las cisternas de almacenamiento de agua residual tratada proveniente de la planta de tratamiento de Cerro del Agua, obtenidos por el Instituto de Ingeniería.

Los resultados fisicoquímicos y microbiológicos del periodo de monitoreo de 2012 en las cisternas de almacenamiento de agua residual tratada se pueden consultar en las tablas 78 a 80 del anexo de Calidad del Agua.

En principio se considera que el monitoreo de las cisternas durante los meses de agosto y septiembre corresponden a los de agua residual tratada almacenada desde junio de 2012, tal como lo informó la DGOyC. En el mes de octubre no se encontró agua en las cisternas, y en noviembre se reinicia el bombeo de agua residual tratada del efluente de la Planta de tratamiento de Cerro del Agua hacia las cisternas.

Antes de iniciar con el análisis de los resultados es preciso mencionar que de acuerdo a la información proporcionada por la DGOyC, el agua retenida durante los meses de agosto y septiembre no fue usada para riego, y una vez terminada la temporada de lluvias, las cisternas fueron vaciadas, limpiadas y desinfectadas antes de reiniciar el llenado de las mismas. También cabe mencionar que la última vez que se llenaron las cisternas fue en junio, mes en el cual se detectó la presencia de coliformes fecales en el efluente de la planta de tratamiento de Cerro del Agua [Figura 26].

Se analizó el agua residual tratada de las diferentes cisternas señaladas en la figura 26 y cuya agua no se movilizó en dos meses (agosto y septiembre). Los resultados indican la presencia e incremento en el número de coliformes fecales de un mes a otro en las cisternas de *Campus* Central (se incrementó de 30 a 100 UFC/100 ml, manteniéndose dentro de lo establecido en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 que son 240 UFC/100 ml), Pista de Calentamiento (pasó de 1100 a 4000 UFC/100 ml, con lo cual no cumple con la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 en ninguno de los dos meses), y Canchas de Beisbol (se incrementó de 100 a 1000 UFC/100 ml, pasando de cumplir la norma a no cumplirla).

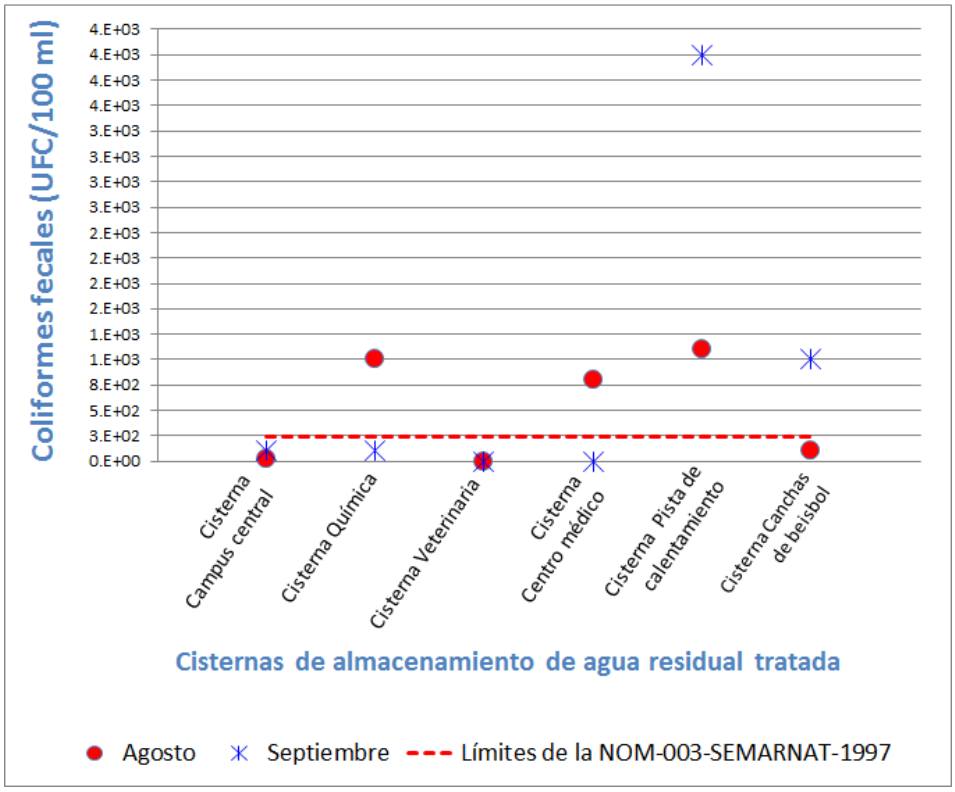


Figura 26. Evaluación del parámetro de Coliformes fecales en cisternas de almacenamiento de agua residual tratada durante los meses de agosto y septiembre.

En el caso de la Cisterna de Veterinaria, el resultado fue no detectable durante los dos meses de análisis]. En la Cisterna de Química se observa una reducción del número de bacterias coliformes fecales presentes de 1000 a 100 UFC/100 ml de un mes a otro. Así como en Centro Médico se encontraron presentes en el mes de agosto (800 UFC/100 ml) y en septiembre no se detectaron. El anterior resultado se puede atribuir a que la Cisterna de Química y Cisterna de

Centro Médico, hayan presentado infiltración de agua lluvia debido a la ubicación o a condiciones estructurales actuales de las mismas. En la cisterna de Química por ejemplo se observa la "losa tapa" (cubierta superior de la cisterna) rota, así como la tapa de acceso a la cisterna en malas condiciones [Figura 27]. Mientras la tapa de acceso a la cisterna de Centro Médico se encuentra al nivel de la "losa tapa", lo que permite el ingreso de agua de escorrentía.

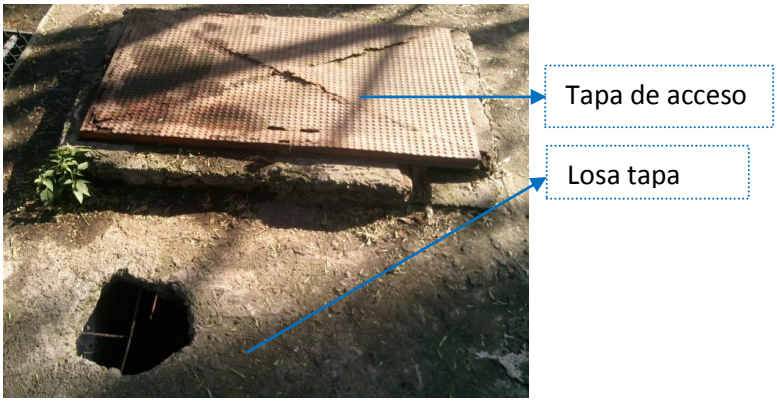


Figura 27. Daño estructural en la Cisterna de almacenamiento de agua residual tratada de Química.

En lo que respecta al parámetro demanda bioquímica de oxígeno, se encontró que las únicas cisternas que cumplieron con lo establecido en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (20 mg/L) durante los meses de agosto y septiembre fueron: Cisterna de Veterinaria y Cisterna de Pista de Calentamiento. Los datos obtenidos en noviembre en las cisternas de *Campus* Central (22 mg/L), Química (24 mg/L) y Veterinaria (28 mg/L), indican que no cumplen con lo establecido en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (20 mg/L) [Figura 28].

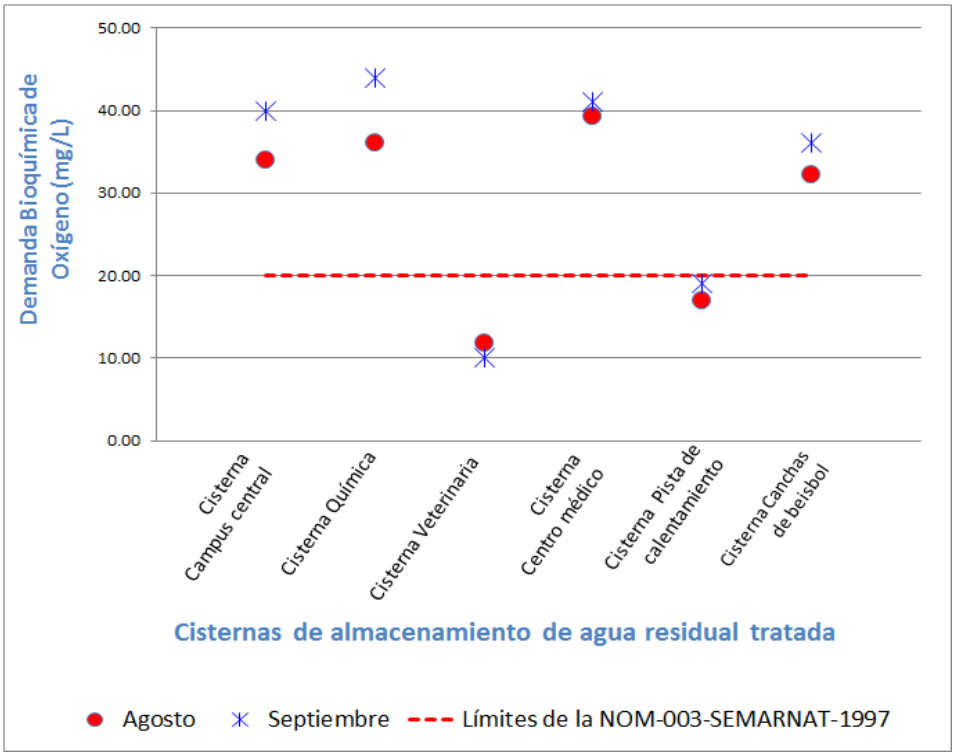


Figura 28. Evaluación del parámetro de DBO5 en cisternas de almacenamiento de agua residual tratada durante los meses de agosto y septiembre.

En cuanto a lo establecido en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 para el parámetro sólidos suspendidos totales (20 mg/L), todas las cisternas de almacenamiento monitoreadas cumplieron durante los meses de agosto y septiembre [Figura 15]. Respecto a los resultados obtenidos en noviembre del parámetro sólidos suspendidos totales de las cisternas de *Campus* Central (25 mg/L), Veterinaria (50 mg/L), Centro médico (28 mg/L), y Canchas de Beisbol (21 mg/L), se determinó que no cumplen con lo establecido en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (20 mg/L). Mientras las cisternas de Química (20 mg/L) y Pista de Calentamiento (20 mg/L) cumplen con la norma encontrándose en el tope máximo del límite de la norma (20 mg/L).

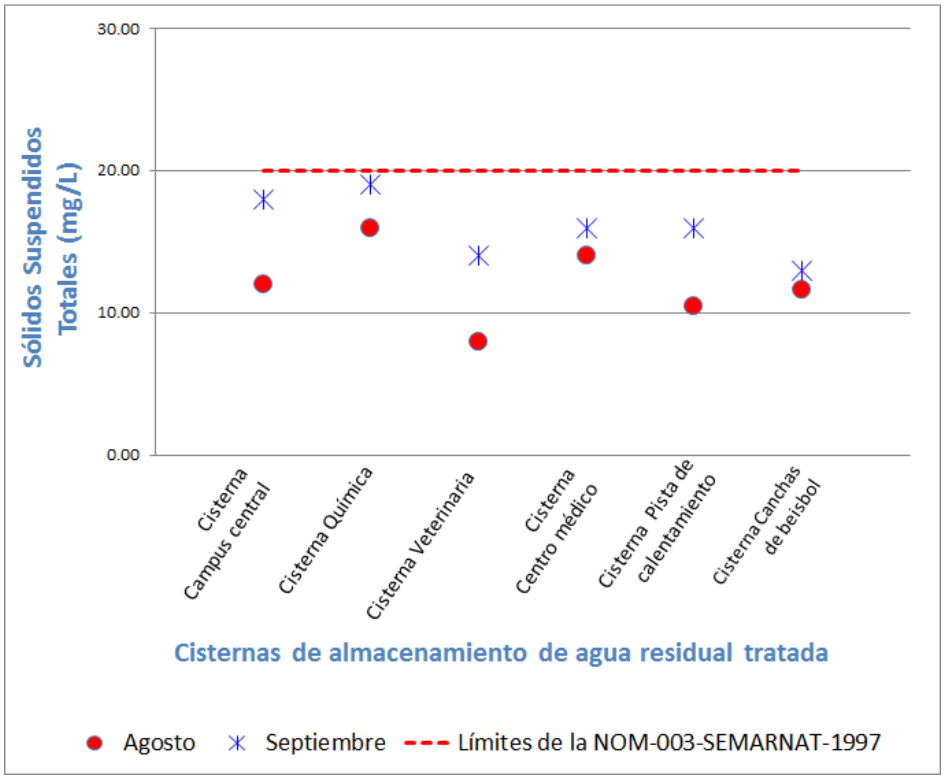


Figura 29. Evaluación del parámetro sólidos suspendidos totales en cisternas de almacenamiento de agua residual tratada durante los meses de agosto y septiembre

Resultados microbiológicos de las cisternas de almacenamiento de agua residual tratada proveniente de la planta de tratamiento de Cerro del Agua, obtenidos por el Instituto de Ecología

En el plan de manejo del agua residual tratada de reúso se conduce el agua proveniente de la PTAR a cisternas de almacenamiento de las cuales se abastece el agua para riego de áreas verdes. La cisternas mantienen condiciones adecuadas para el recrecimiento de bacterias (temperatura y oscuridad), por este motivo en el mes de noviembre se realizaron análisis del agua almacenada proveniente de la PTAR. Los resultados de los análisis mostraron conteos de coliformes fecales en cantidades superiores a 240 UFC/100 mL [Tabla 21].

Esto deberá ser corregido, ya sea evitando el almacenamiento del agua producida en la PTAR, o dando mantenimiento y desinfección de las cisternas de almacenamiento. Esto es fundamental ya que durante los muestreos es evidente la presencia de material sedimentado además de que las condiciones físicas de las cisternas no son adecuadas.

Tabla 21. Detección de bacterias coliformes fecales (CF), enterococos fecales (EF) y colífagos (Fagos) en muestras de agua residual tratada en cisternas de almacenamiento del *campus* de Ciudad Universitaria. Noviembre del 2012.

Cisternas de agua residual tratada	CF	EF	Fagos
Campus Central	+	+	+
Química	+	+	+
Veterinaria	+	+	+
Centro Médico	+	+	+
Pista de calentamiento	+	+	+
Campo de beisbol	+	+	+

+ corresponde a conteos > 240 UFC/100 mL del indicador; - corresponde a conteos <240 UFC/100 mL del indicador.

Si bien se trata de los resultados del primer muestreo de la temporada de secas, hay que insistir en este punto ya que actualmente Ciudad Universitaria cuenta con una PTAR eficiente, con una capacidad de remoción de microorganismos elevada, pero en la que la inversión que se hace para el tratamiento de agua residual con el propósito de reusarla se pierde al almacenarla en cisternas que no tienen las condiciones para preservar la calidad del agua de reúso de acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1997.

E. Actividades en otros *campi* de la UNAM

Dentro de las actividades que desarrolla el grupo de Calidad del Agua del proyecto PUMAGUA de la Universidad Nacional Autónoma de México, se encuentra el apoyo a las distintas dependencias de la UNAM.

Como parte de las actividades desarrolladas durante 2012, se apoyó a otras dependencias de la UNAM, como es el caso de la Coordinación de Innovación y Desarrollo (CID), donde participaron en conjunto las tres áreas del grupo de calidad del agua de PUMAGUA, Instituto de Ingeniería, Instituto de Ecología y Facultad de Medicina. Además del apoyo que se brindó al "*Campus* SISAL, YUCATÁN", "*Campus* Cuernavaca, Morelos" y "*Campus* Juriquilla".

1. Coordinación de Innovación y Desarrollo

Las tres áreas que conforman el grupo de Calidad del Agua de PUMAGUA (Instituto de ingeniería, Instituto de Ecología y Facultad de Medicina), participaron en una visita a las oficinas de la Coordinación de Innovación y Desarrollo de la UNAM durante la cual las tres áreas realizaron muestreos de agua y análisis puntuales in situ en cuatros puntos estratégicos.

Estas actividades fueron realizadas el día 17 de mayo del 2012 con la finalidad de recabar información sobre el estado en que se encuentran las instalaciones de almacenamiento y

distribución de agua potable, así como realizar un diagnóstico de la calidad del agua del edificio.

Los parámetros monitoreados se definieron en función de lo establecido en las normas oficiales mexicanas en materia de agua potable, además de otros parámetros microbiológicos complementarios. Considerando la capacidad de análisis del grupo de Calidad del agua.

En conjunto con personal del CID se seleccionaron cuatro puntos representativos dentro de las instalaciones, siendo estos los siguientes: Entrada principal de agua, Cisterna de almacenamiento, Tinaco elevado y Cocineta.

Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua obtenidos por el Instituto de Ingeniería durante el apoyo brindado a la Coordinación de Innovación y Desarrollo.

El Instituto de Ingeniería evaluó siete parámetros para cada muestra, los cuales están propuestos en la NOM-127-SSA1-1994 (2000) como indicadores de contaminación en agua.

Parámetros microbiológicos: coliformes fecales, coliformes totales. Parámetros Físico-químicos: cloro residual libre, nitratos, turbiedad, sólidos disueltos totales, y pH.

La toma de muestras y la preservación, se realizó conforme a lo descrito en la NOM-230-SSA1-2002, la cual establece criterios, recomendaciones y requisitos sanitarios para la toma y manejo de muestras. Los resultados obtenidos del análisis microbiológico y fisicoquímico se presentan en la tabla 22, donde además se incluyen los límites establecidos en la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) para cada caso.

Tabla 22. Resultados microbiológicos y Físico-químicos de las muestras de agua de la Coordinación de innovación y Desarrollo.

Punto de monitoreo	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	Cloro residual libre (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sólidos disueltos totales (mg/L)	pH	Turbiedad (NTU)
Entrada principal	No detectado	No detectado	1.64	1.6	172.2	7.3	0.73
Cisterna de almacenamiento	No detectado	No detectado	1.32	1.7	176.7	7.4	0.78
Tinaco elevado	No detectado	No detectado	1.10	1.8	167.2	7.4	0.73
Cocineta	No detectado	No detectado	0.24	2.1	175.3	7.5	0.69
Límites de la NOM-127-SSA1-1994 (2000)	No detectable	No detectable	0.2 – 1.5	10	1000	6.5 – 8.5	5

Todos los parámetros monitoreados en la Coordinación de Innovación y Desarrollo cumplen con los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 (2000) [Tabla 28]. Excepto

en la entrada principal donde se encontró una concentración de cloro residual libre (1.64 mg/L) superior al límite máximo de la norma (1.5 mg/L).

Resultados microbiológicos de la calidad del agua obtenidos por el Instituto de Ecología durante el apoyo brindado a la Coordinación de Innovación y Desarrollo (CID).

Se realizó un muestreo y análisis microbiológico del agua abastecida en la Coordinación de Innovación y Desarrollo de la UNAM, así mismo se dieron recomendaciones a fin de mejorar la calidad del agua para uso y consumo dentro de las instalaciones.

En el Instituto de Ecología se procesaron muestras de agua a fin de detectar bacterias colifomes fecales, enterococos fecales y colífagos. Los dos últimos como indicadores alternativos que complementan a los establecidos en la normatividad vigente.

El método para la detección de bacterias coliformes y enterococos fecales fue la técnica de filtración a través de membrana y utilizando medios selectivos mFC (Bioxon) y KF (Bioxon).

En cuanto a la detección de colífagos, se procesaron las muestras inicialmente por la técnica de concentración por ultrafiltración y posteriormente se infectaron bacterias hospederas (*Escherichia coli* HS) por medio del método de doble capa de agar. En la Tabla 23 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 23. Resultados de análisis microbiológico del agua utilizando indicadores alternativos.

Punto de monitoreo	Coliformes fecales (UFC/100mL)	Enterococos fecales (UFC/100mL)	Colifagos (UFP/mL)
Entrada principal	No detectado	No detectado	No detectado
Cisterna de almacenamiento	No detectado	No detectado	No detectado
Tinaco elevado	No detectado	No detectado	No detectado
Cocineta	No detectado	No detectado	No detectado

Resultados microbiológicos de la calidad del agua obtenidos por la Facultad de Medicina durante el apoyo brindado a la Coordinación de Innovación y Desarrollo (CID).

La detección de bacterias patógenas que causan infecciones gastrointestinales, se realizó por medio de la técnica de PCR-Hibridación. Se detectó la presencia de *Escherichia coli enterotoxigénica termoestable (ETEC ST)* en las cuatro muestras analizadas [Figura 30], referente a *Campylobacter spp., Helicobacter pylori, Salmonella spp.* y *Shigella spp.*, no fueron

detectados en ninguna de las muestras [Tabla 24]. Por otro lado, no se detectó la presencia *Mycobacterium spp.* por PCR-PRA en las muestras analizadas.

Tabla 24. Detección de patógenos gastrointestinales por PCR-Hibridación de las muestras de agua para uso y consumo humano.

Punto de monitoreo	ETEC ST	ETEC LT	*Helicobacter pylori*	*Campylobacter* spp.	*Salmonella* spp.	*Shigella* spp	Mycobacterium spp.
Entrada principal	+	N	N	N	N	N	N
Cisterna de almacenamiento	+	N	N	N	N	N	N
Tinaco elevado	+	N	N	N	N	N	N
Cocineta	+	N	N	N	N	N	N

ETEC LT = *Escherichia coli* enterotoxigénica toxina termolábil; ETEC ST = *Escherichia coli* enterotoxigénica toxina termoestable; N = Negativo

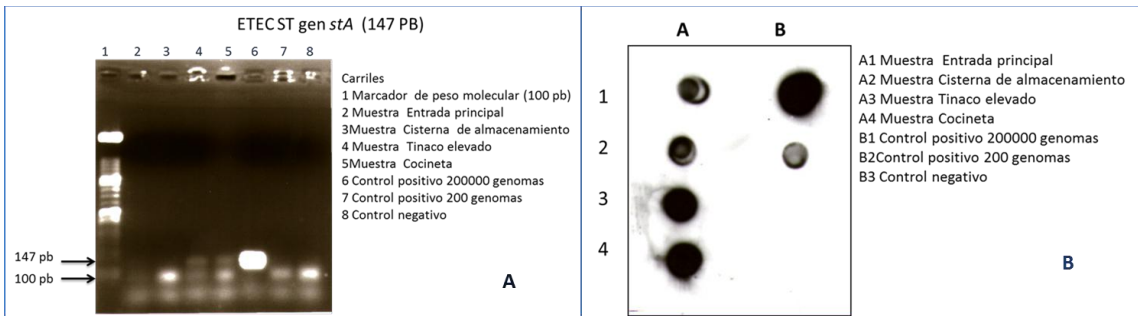


Figura 30. Detección de Escherichia coli enterotoxigénica termoestable (ETEC ST) por PCR-Hibridación de las muestras de agua. PCR del gen stA (141 pb) (A) y Placa de Hibridación con la sonda del gen stA (B). 1 genoma = 1 bacteria.

2. *Campus* SISAL, YUCATÁN

El Instituto de Ecología realizó una visita al *campus* de la UNAM en Sisal, Yucatán para presentar el proyecto PUMAGUA e identificar los puntos de intervención para la implementación del programa. Se elaboró una propuesta de diagnóstico que brinde la base a partir de la cual se propongan las acciones que lleven a una mejora en el manejo del agua en el *campus* UNAM-Sisal.

3. *Campus* Cuernavaca, Morelos.

El grupo del Instituto de Ecología, realizó una visita al CRIM en Cuernavaca, Morelos, con el objetivo de dar a conocer el proyecto PUMAGUA y conocer la problemática que enfrentan respecto al agua.

En particular se nos presentó el proyecto de construcción de plantas de tratamiento de agua residual (4). El equipo de PUMAGUA se dio a la tarea de conocer el proyecto y algunos datos técnicos sobre el mismo. Se emitieron comentarios sobre el proyecto de plantas de tratamiento licitado, principalmente con respecto a la verificación de la calidad del agua residual tratada que se producirá y los aspectos a considerar para el reúso de la misma.

4. *Campus* Juriquilla

A partir de una primera visita al *campus* Juriquilla de la UNAM, se planteó que era necesario tener una idea más completa sobre la calidad del agua tanto de la que se abastece a la comunidad universitaria como del agua residual que es tratada en instalaciones propias del *campus*, y que se destina para reúso.

Uno de los aportes de PUMAGUA es que, al reconocerse las limitaciones en la normatividad vigente para agua que se destina al uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-1994, modificación 2000), ha implementado el análisis de indicadores alternativos y complementarios a las bacterias coliformes, que tradicionalmente se han venido utilizando alrededor del mundo como indicadores de contaminación fecal.

El uso de enterococos fecales y colifagos, como indicadores complementarios de contaminación fecal del agua, permite identificar sitios contaminados en los cuales debido a sus condiciones fisicoquímicas, no es posible la permanencia de las bacterias coliformes. De tal manera que la detección de enterococos fecales y colifagos es evidencia de contaminación fecal.

Por otro lado, no le restamos importancia a los parámetros señalados en la normatividad vigente y es por esto que también se solicitaron análisis a un laboratorio certificado para muestras de todos los sitios muestreados por el equipo de PUMAGUA.

Los resultados presentados corresponden al estudio de calidad del agua realizado en el *campus* Juriquilla en el periodo que va de octubre del 2011 a marzo del 2012 y que comprenden tres muestreos realizados en los meses de noviembre 2011, enero y febrero del 2012.

Objetivo de los trabajos

1. Evaluar la calidad del agua considerando los parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, modificación 2000. Salud Ambiental. Agua de uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

2. Evaluar la calidad del agua residual tratada para reúso de acuerdo con los parámetros establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Métodos

El estudio de calidad del agua del *campus* Juriquilla comprendió tres muestreos realizados en los meses de noviembre, enero y febrero (2011-2012). Los sitios de muestreo fueron el pozo de extracción, siete cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano, el influente y el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para el análisis de calidad del agua se evaluaron por parte de PUMAGUA los parámetros físico-químicos que se presentan en la Tabla 25 en la que se señala el método utilizado para cada medición.

Tabla 25. Parámetros físico-químicos evaluados en agua para uso y consumo humano en el campus Juriquilla.

Parámetro	Método
Temperatura (°C)	Sonda multiparámetros YSI
conductividad (mS/cm)	Sonda multiparámetros YSI
pH	Sonda multiparámetros YSI
sólidos disueltos totales (SDT) (mg/L)	Sonda multiparámetros YSI
oxígeno (mg/L)	Sonda multiparámetros YSI
cloro residual (mg/L)	DPD, espectrofotometría HACH

En cuanto al análisis microbiológico, en la Tabla 26 se muestran los parámetros y métodos utilizados para su evaluación.

Tabla 26. Parámetros microbiológicos evaluados en agua para uso y consumo humano en el campus Juriquilla.

Parámetro	Método
Bacterias coliformes fecales (UFC/100 mL)	Filtración a través de membrana
Enterococos fecales (UFC/100 mL)	Filtración a través de membrana
Colífagos con hospederas *Escherichia coli* K12 y HspAmp	Ultrafiltración/Doble capa de agar

Con respecto a los análisis certificados, todos los parámetros tanto de la NOM-127-SSA1-1994 modificada en el 2000 como de la NOM-003-SEMARNAT-1996, se realizaron por los métodos oficiales señalados en las normas mexicanas (NMX).

Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua obtenidos por el Instituto de Ecología durante el apoyo brindado al *Campus* Juriquilla.

Fuente de abastecimiento y agua para uso y consumo humano

Análisis físico-químico

Los resultados obtenidos de las mediciones directas de temperatura en los sitios de muestreo se presentan en la siguiente figura, donde se observa una estabilidad general durante el periodo de estudio y en los sitios muestreados.

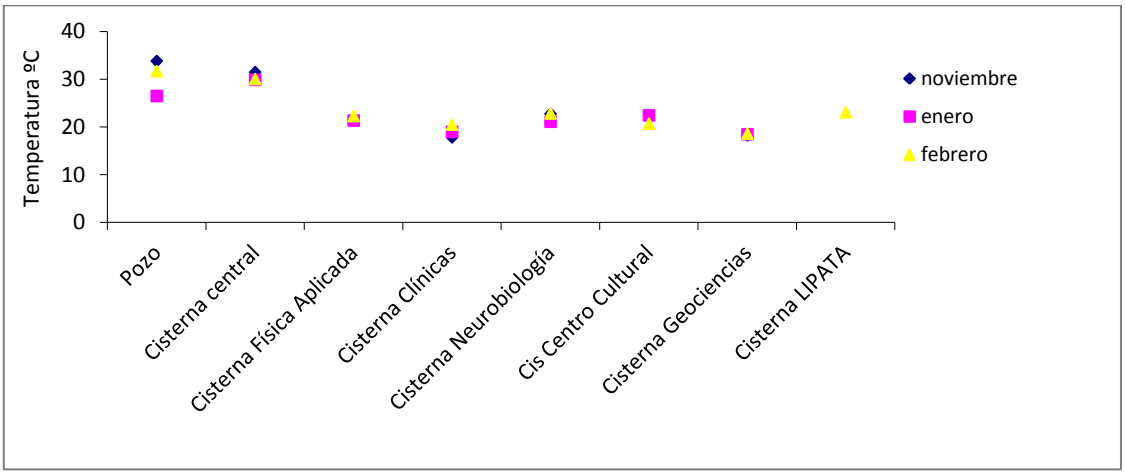


Figura 31. Variación de la temperatura en agua de la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio.

La conductividad es un parámetro que está directamente relacionado con la cantidad de sales disueltas en el agua (iones). En la Figura 32se observa que la conductividad tuvo poco cambio entre las cisternas de almacenamiento, sin embargo, el agua subterránea mostró las conductividades más elevadas, lo que indica una mayor cantidad de sales disueltas.

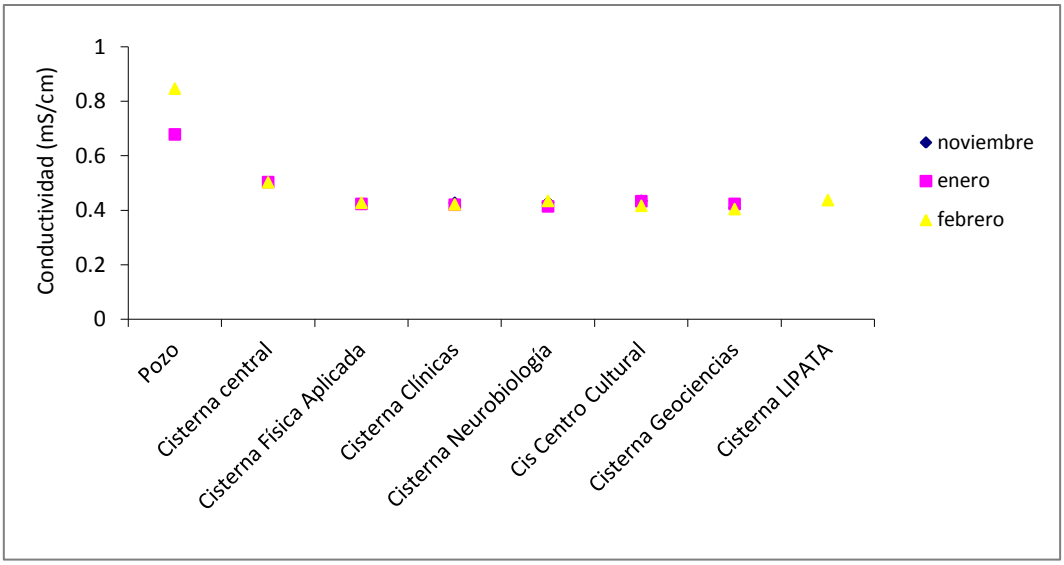


Figura 32. Variación de la conductividad en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio.

Un parámetro relacionado a la conductividad son los SDT y se refiere a la cantidad de sólidos que permanecen disueltos en el agua. Al respecto, la tendencia que se observó es similar a lo que se obtuvo para la conductividad; los SDT en agua del pozo fueron en general más elevados con respecto a las cisternas [Figura 33]. En la misma figura se presentan los resultados obtenidos por el laboratorio certificado (IDECA S.A. de C.V.) para éste parámetro.

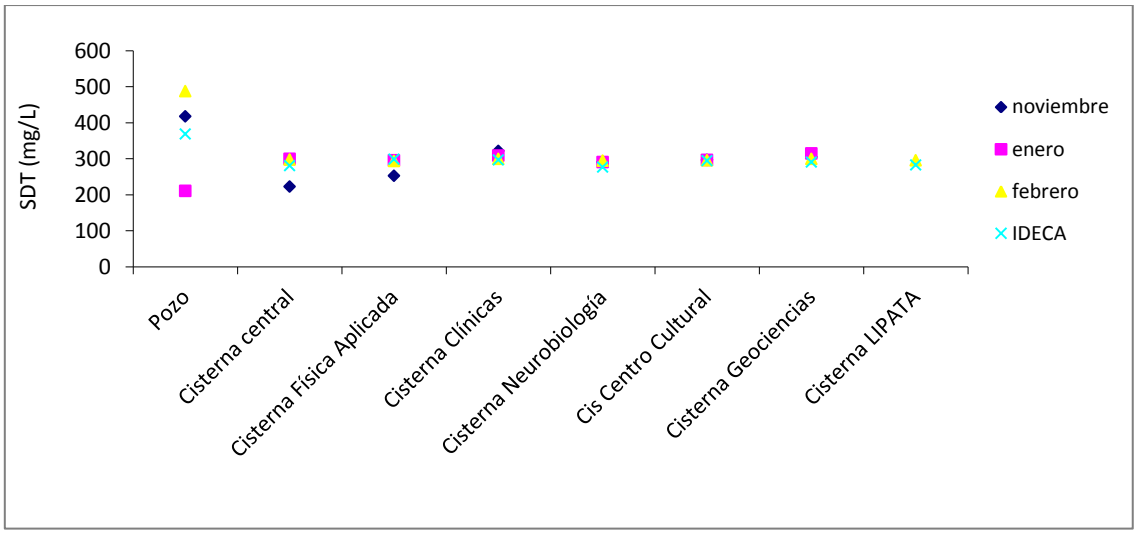


Figura 33. Variación de los sólidos disueltos totales (SDT) en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio.

Uno de los parámetros que podría explicar el valor elevado tanto de conductividad como de SDT en el agua de pozo son los fluoruros [Figura 34]. En ésta gráfica es claro como la concentración de fluoruros en agua del pozo fue más elevada con respecto a las cisternas. Esto nos indica que los iones y sales podrían estar asociados con las características propias del agua del acuífero. La concentración de fluoruros detectada en el agua del pozo de 4,06 mg/L está por encima del límite máximo permisible el cual es de 1,5 mg/L. Ya que este resultado es un dato puntual, es recomendable que éste parámetro sea medido de una manera representativa por un periodo de tiempo al menos de un ciclo anual (frecuencia mensual) para determinar cuál es la dinámica de los fluoruros en el agua del acuífero.

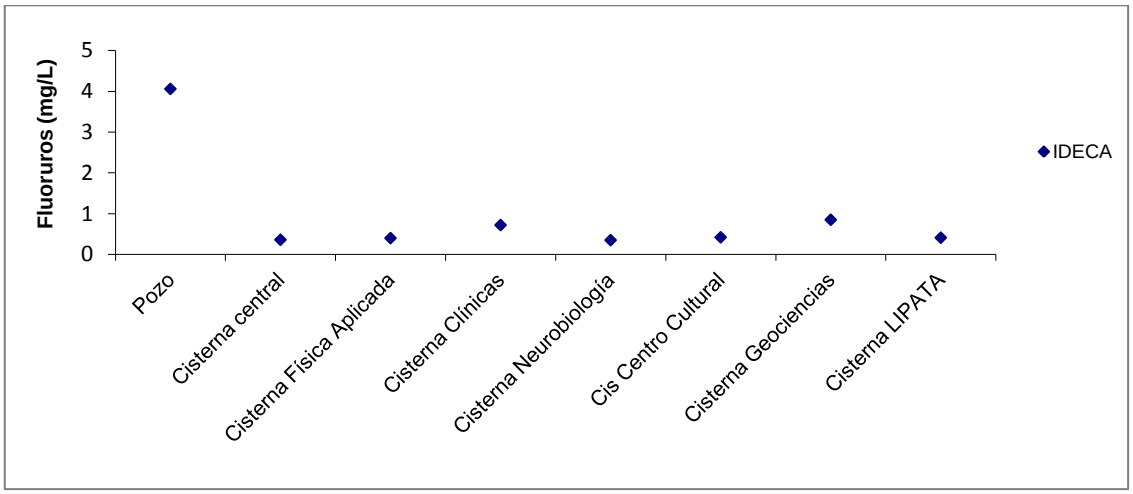


Figura 34. Concentración de fluoruros (mg/L) en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento.

El pH es un parámetro que nos muestra el nivel de acidez/alcalinidad del agua. Los resultados que se presentan en la Figura 21 indican que el agua tanto del pozo como de las cisternas tienen un pH cercano a 7 (neutralidad) con variaciones que van de 4,97 a 8,07. Llama la atención los valores ácidos (Cisterna Geociencias) ya que se aleja demasiado de la neutralidad, que es apropiada para uso y consumo humano.

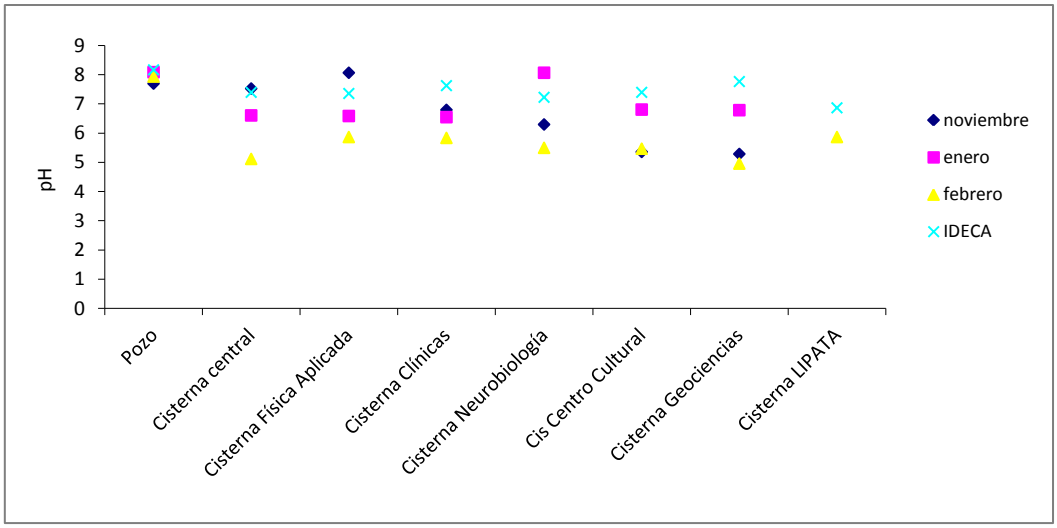


Figura 35. Variación del pH en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio.

Otro parámetro que nos da información acerca de la calidad del agua es el oxígeno. La concentración de oxígeno indica indirectamente el contenido de material oxidable en el agua. Una mayor cantidad de material oxidable en el agua nos dará como resultado una lectura baja de oxígeno y viceversa. En la Figura 36 se muestran las concentraciones de oxígeno medidas durante el periodo de estudio. Se observa una clara tendencia a incrementar la concentración de oxígeno desde el pozo hacia las cisternas, lo cual puede estar señalando tanto una disminución en el material oxidable pero también una mayor dilución de oxígeno atmosférico al agua por la turbulencia generada en el vaciado/llenado de las cisternas.

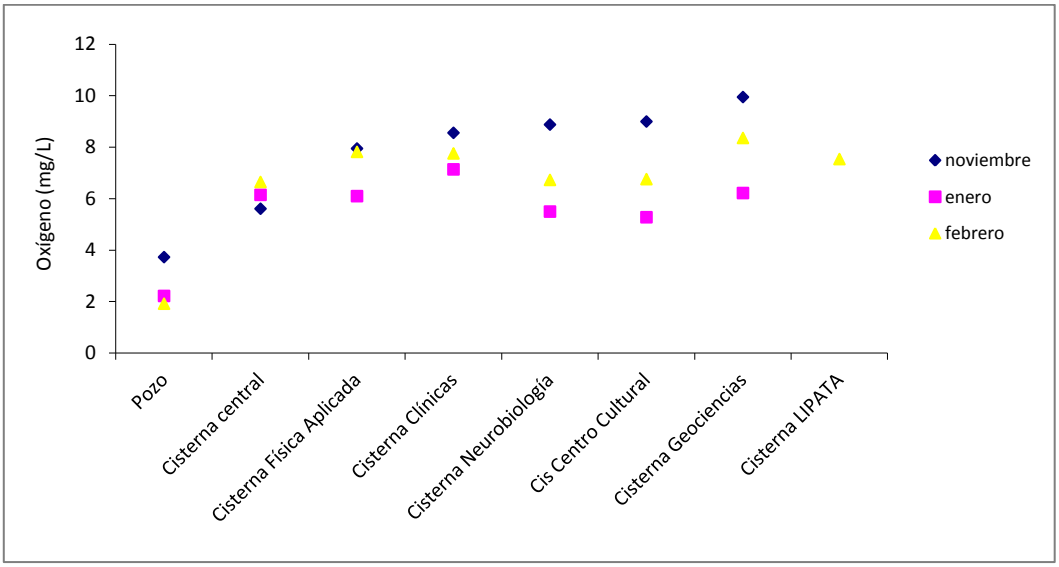


Figura 36. Variación del oxígeno (mg/L) en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio.

El cloro el desinfectante que comúnmente se utiliza en México para el control de la calidad microbiológica del agua. La norma oficial mexicana establece que el agua que se destinará al uso y consumo humano debe tener una concentración residual de cloro libre que tiene como función mantener el agua desinfectada libre de posibles presencias bacterianas. El intervalo para el cloro residual en agua es entre 1.5 a 0.2 mg/L. La evaluación de cloro residual en las cisternas de almacenamiento es presentada en la Figura 37. Como puede observarse se registraron algunos puntos por fuera del intervalo de cloro residual (señalado con las líneas rojas). En necesario mencionar que todas las mediciones del agua del pozo están por debajo de la concentración mínima de cloro residual, lo cual se explica porque las muestras fueron colectadas antes de que el agua fuera desinfectada con cloro.

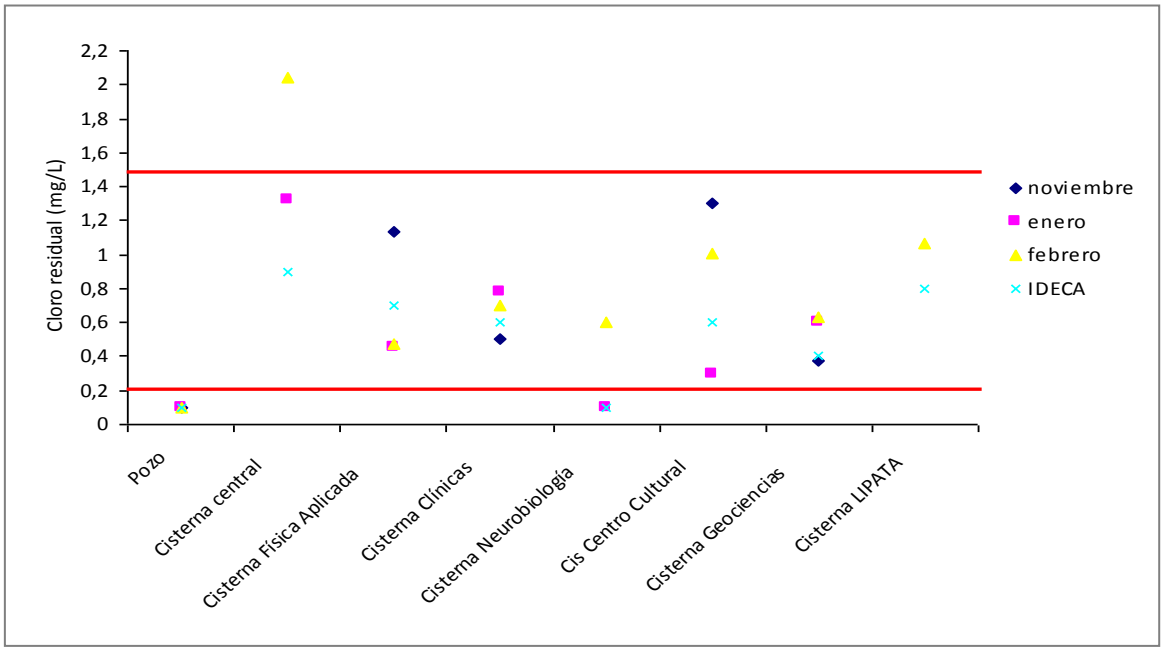


Figura 37. Variación del cloro residual (mg/L) en la fuente de abastecimiento (pozo de extracción) y las cisternas de almacenamiento, durante el periodo de estudio. Las líneas rojas señalan el intervalo permisible de concentración de cloro residual en agua para u

Análisis microbiológico

A continuación se describen los resultados de los análisis para la detección de bacterias coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos fecales (EF).

En el agua de pozo (fuente de abastecimiento) fueron positivos en una ocasión para CT y en otra ocasión para CF. Por otro lado, EF fueron detectados en una ocasión en la cisterna de las Clínicas y una la cisterna de Neurobiología.

Los conteos bacterianos de cada muestra positiva fueron entre 1 y 2 UFC/100mL, lo cual es fácilmente controlable con un sistema de desinfección eficiente.

Con respecto al análisis de colífagos, los resultados utilizando a *Escherichia coli* K12 como bacteria hospedera fueron es su totalidad negativos. Sin embargo, utilizando a *Escherichia coli* HSpAmp se obtuvieron conteos que se muestran en la Figura 24.

Los colífagos son virus que infectan y se replican dentro de bacterias coliformes de origen fecal, como es el caso de *Escherichia coli*, sin embargo, se sabe que las diferentes cepas y medios para realizar ensayos en doble capa de agar dan como resultado detecciones más o menos específicas. En el caso de *Escherichia coli* HSpAmp se utilizan dos antibióticos que inhiben el crecimiento de otras bacterias que pueden estar presentes en las muestras y que interfieren con la detección de los colígafos de interés.

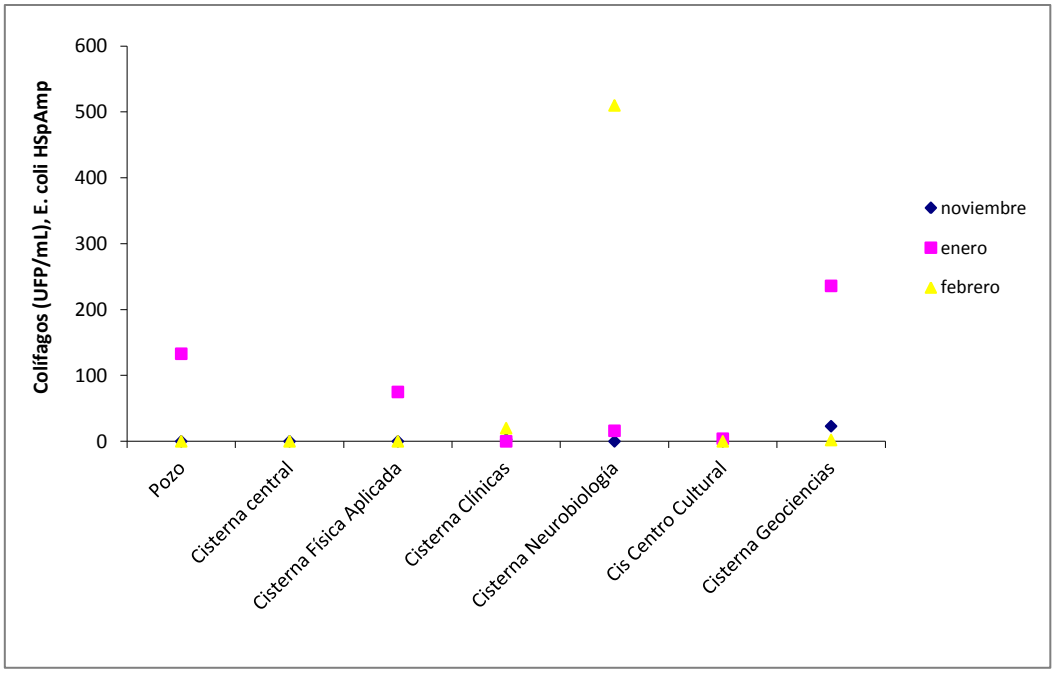


Figura 38. Presencia de colífagos detectados con Escherichia coli (HSpAmp) como hospedera.

La presencia de colífagos en el agua de pozo es posible controlarla con desinfección y tiempos de contacto suficiente (20 min). Por lo que respecta a la presencia de colífagos en las cisternas, esto podría estar relacionado con un sistema de desinfección que no permita el contacto con agua cuyos niveles de cloro residual sean > 0,2 mg/L; pero también puede relacionarse con un manejo inadecuado de las cisternas como es no tenerlas cerradas, no lavarlas, recambio de agua poco frecuente.

Agua residual y residual tratada (PTAR)

Se realizaron tres muestreos de agua residual, colectada directamente en la planta de tratamiento, así mismo se colectaron muestras de agua residual tratada obtenida del efluente

de la planta. La toma de muestras se realizó en los meses de noviembre, enero y febrero (2011-2012).

Los parámetros evaluados en estos tipos de agua fueron temperatura (^{o}C), conductividad (mS/cm), sólidos disueltos totales (mg/L), oxígeno (mg/L) y pH [Tabla 13]. Con respecto a los indicadores microbiológicos se realizaron análisis para la detección de bacterias coliformes fecales, enterococos fecales y colifagos [Tabla 14]. Cabe señalar que, el agua del influente y del efluente de la PTAR tuvo que ser diluida para poder realizar los conteos tanto de bacterias como de colífagos.

Análisis físico-químico

Los resultados obtenidos mostraron que la temperatura no tiene variación significativa, aunque se observó una temperatura ligeramente mayor en el agua de las cámaras de entrada de la planta; esto puede estar asociado al tiempo que permanece el agua estancada en dichas cámara que tienen tapas metálicas que pueden estar favoreciendo el incremento de temperatura [Figura 39].

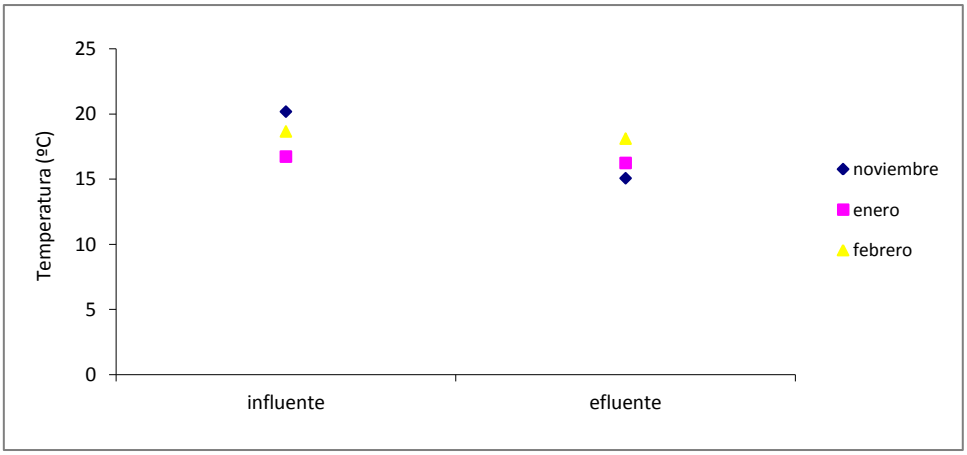


Figura 39. Temperatura del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.

La conductividad mostró cambios durante el tiempo de estudio presentándose un incremento en los valores del efluente con respecto a lo registrado en el influente [Figura 40] de la planta. Esta información muestra que el tratamiento del agua residual no tuvo un efecto sobre este parámetro a fin de tener registros menores, lo cual se esperaría.

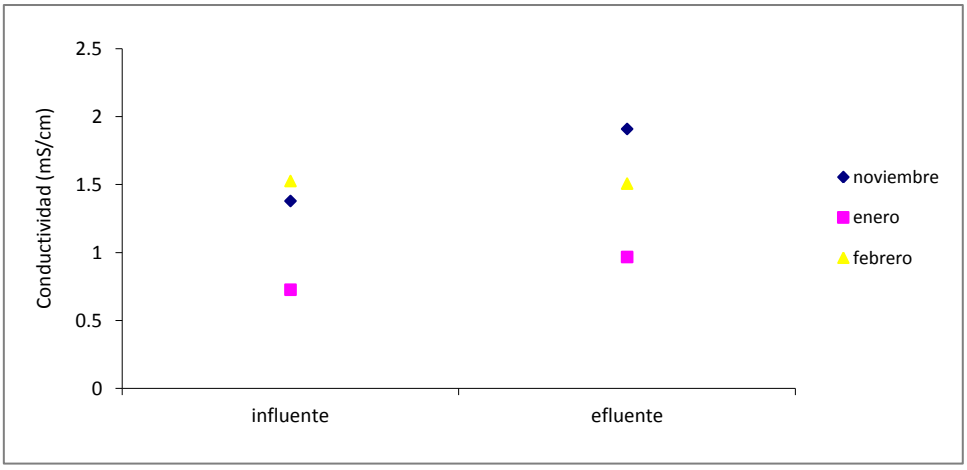


Figura 40. Conductividad (mS/cm) del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.

Esta misma tendencia fue observada para sólidos disueltos totales (SDT). Lo anterior sugiere un efecto de concentración que tiene lugar a lo largo del tratamiento [Figura 41].

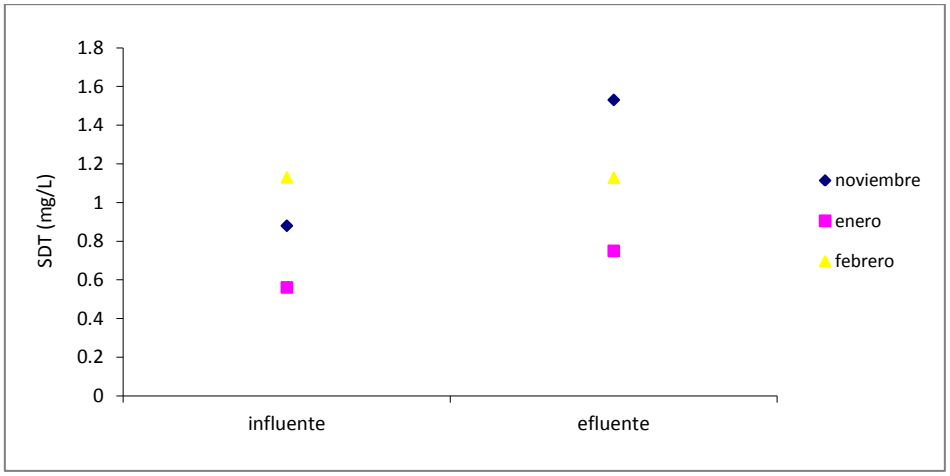


Figura 41. SDT (mg/L) del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.

El oxígeno registrado en el influente y efluente, tuvo un incremento que puede estar asociado al movimiento del agua durante el tratamiento, esto es, el paso del agua a través de las diferentes etapas de tratamiento se favorece la incorporación de oxígeno atmosférico [Figura 42].

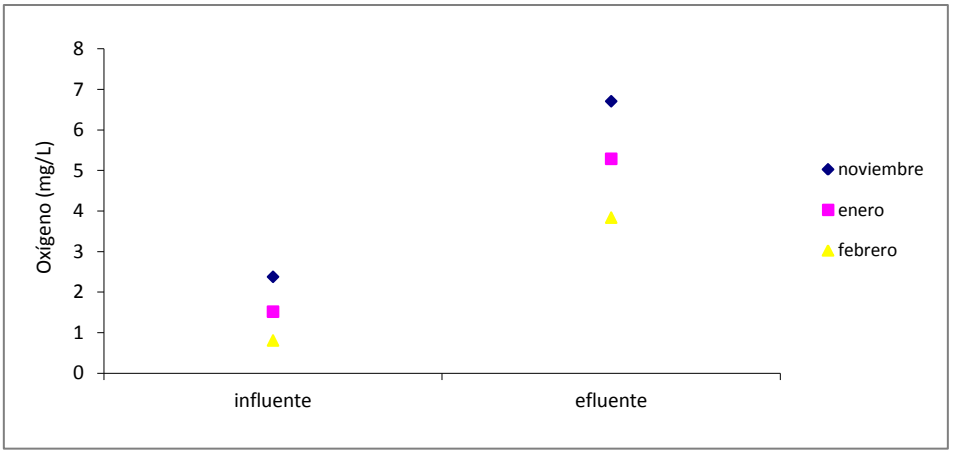


Figura 42. Oxígeno (mg/L) del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.

Finalmente los registros de pH no mostraron cambios importantes desde que el agua ingresa a la PTAR hasta que sale. En general se observa un pH alcalino, lo cual puede estar asociado al contenido del agua residual y a la concentración que tiene lugar en la PTAR.

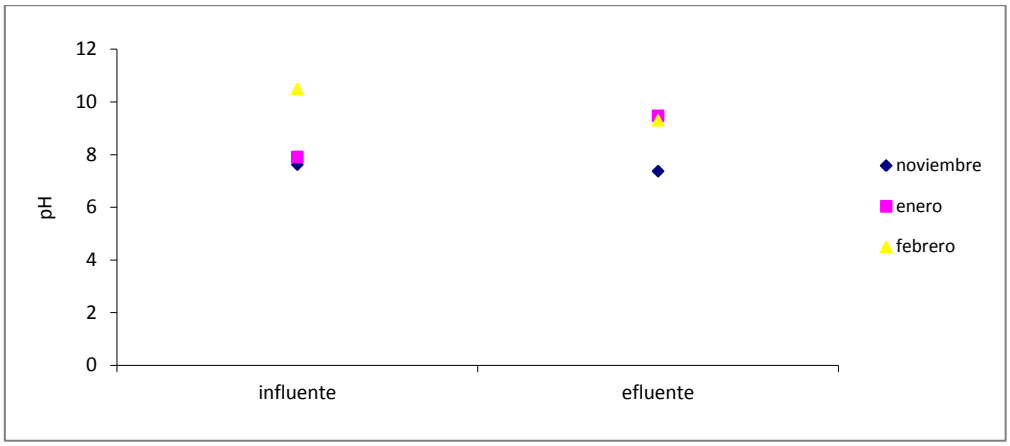


Figura 43. pH del agua en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.

Análisis Microbiológico

Los resultados de los análisis microbiológicos mostraron la remoción de entre una y cuatro unidades logarítmicas de la carga de bacterias coliformes fecales, aunque esto fue muy variable [Figura 44] de tal manera que no se logra cumplir regularmente con lo que establece la NOM-003-SEMARNAT-1996 de tener en el agua del efluente un máximo de 1000 UFC/100 mL (NMP/100 mL).

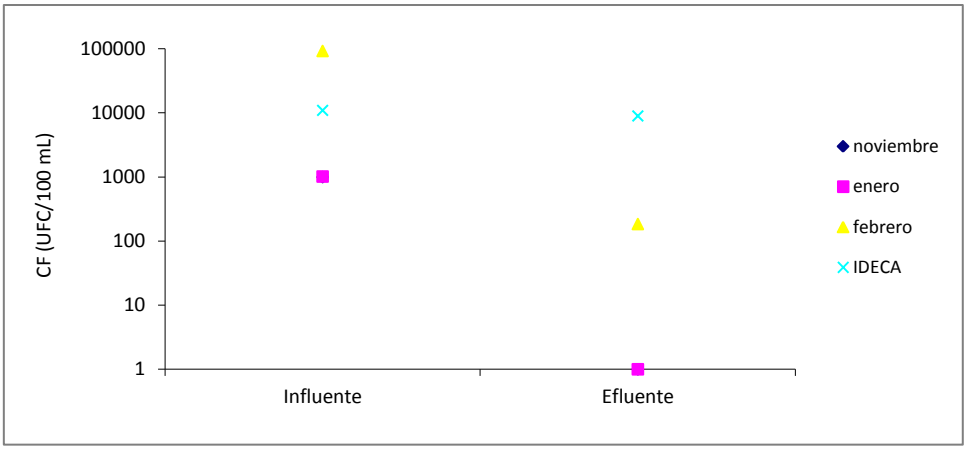


Figura 44. Presencia de bacterias coliformes fecales (CF) en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.

La remoción registrada para enterococos fecales fue de entre una y dos unidades logarítmicas [Figura 45], y aunque se trata de un parámetro microbiológico no considerado en la norma vigente, se considera que no debe estar en número mayores a 1000 UFC/100 mL. Por otro lado, es importante mencionar que los EF son más tolerantes a la salinidad que las bacterias coliformes fecales, por lo que son indicadores que favorecen el control de la remoción de bacterias fecales en el agua residual tratada en las que es común el incremento de la salinidad.

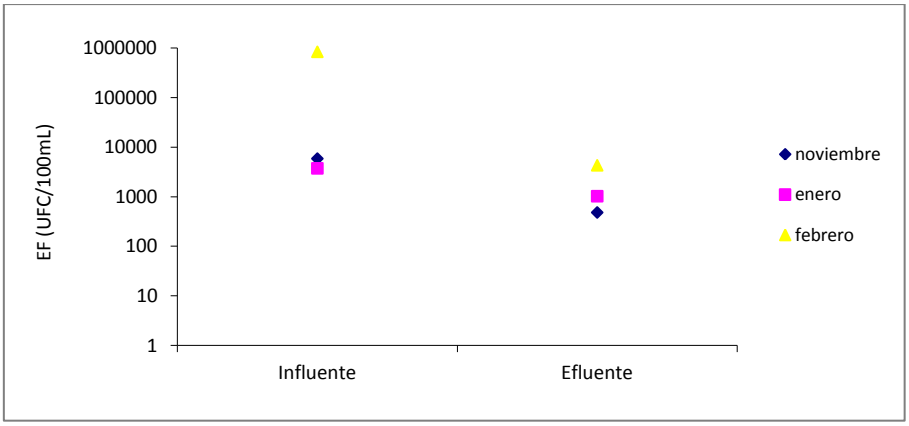


Figura 45. Presencia de enterococos fecales (EF) en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.

Por último, para la cuantificación de colífagos como indicadores de contaminación fecal y viral mostró que la PTAR no tiene la capacidad de remover-inactivar ya que los títulos obtenidos del influente (entre 10^2 y 10^4 UFP/mL) son del mismo orden de magnitud que los obtenidos en el efluente (entre 10^2 y 10^4 UFP/mL) [Figura 46].

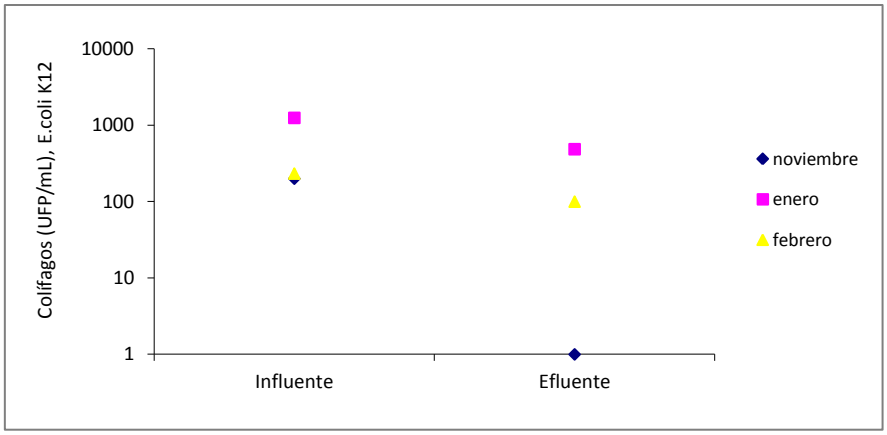


Figura 46. Presencia de colífagos utilizando E. coli K12 como bacteria hospedera, en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.

En la Figura 47 se puede observar que la remoción de colífagos del agua del influente de la PTAR fue detectada claramente utilizando a E. coli HSpAmp como hospedera. Así, es posible notar que la cantidad de colífagos detectados en el influente no es muy distinta de la cantidad evaluada en el efluente de la PTAR. Idealmente una PTAR que produce agua para reúso debe tener la capacidad para remover cuatro unidades logarítmicas de colífagos.

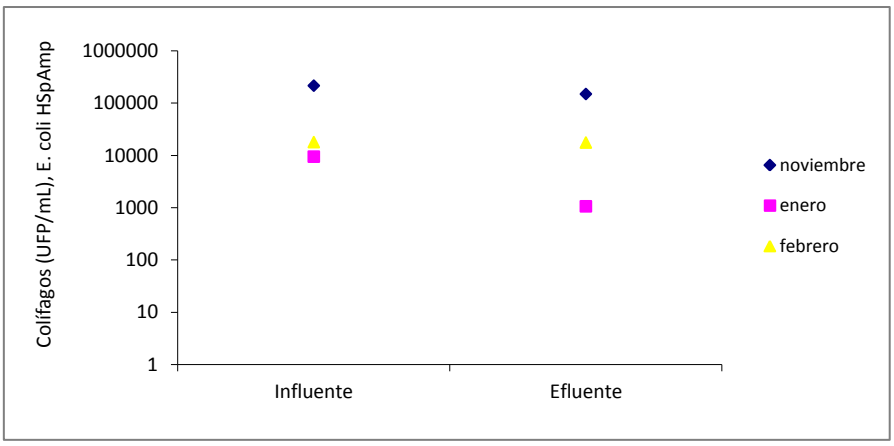


Figura 47. Presencia de colífagos utilizando E. coli HSpAmp como bacteria hospedera, en el influente y efluente de la PTAR del campus Juriquilla.

Por último, los resultados obtenidos de los análisis de agua del influente y efluente de la PTAR, realizados por la empresa IDECA S.A. de C.V. tomando los valores establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1996, señalan que los valores fuera de norma corresponden al DBO_5 (rebasado por 2.7 veces) y a los conteos de bacterias coliformes fecales (rebasado 9 veces).

A partir de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos en el *campus* Juriquilla, se determinó que es recomendable que las acciones a seguir sean la instalación de un sistema

automatizado de cloración en el pozo, que desinfecte el agua conforme es extraída del acuífero.

Es recomendable el diseño de un plan de manejo de las cisternas, con el cual sea posible, además de tener control sobre el mantenimiento de las mismas, dar el suficiente tiempo de contacto para permitir que el cloro inactive a los microorganismos que pudieran estar presentes en el agua.

En cuanto a la Planta de tratamiento de aguas residuales del c*ampus* Juriquilla es necesario revisar las opciones para rehabilitar o en su caso sustituir la instalación actual debido a que no muestra capacidad para producir agua residual tratada que pueda reusarse bajo los lineamientos de la NOM-003-SEMARNAT-1996.

F. Actividades en instituciones externas a la UNAM

Se participó en reuniones de trabajo con el organismo operador del municipio de Aguascalientes (Proactiva) para la integración de una propuesta con una visión de PSA (Plan de Seguridad del Agua) para el municipio. La propuesta fue elaborada y entregada.

Se revisó y comentó la propuesta de un dispositivo de reciclado de aguas grises de la empresa DOLMEN Proyectos S. A. de C. V. Se elaboró una propuesta para la evaluación de capacidad de remoción bacteriológica del filtro para reúso de aguas grises de la empresa DOLMEN.

Se visitó el organismo operador del municipio de León, Gto. (SAPAL), donde se presentó PUMAGUA y se visitaron las instalaciones del sistema SCADA para monitoreo y alarmas del sistema de distribución y desinfección de agua para uso y consumo humano. También se realizó un recorrido por los laboratorios de la Gerencia de Calidad de Agua tanto para uso y consumo humano como para agua residual tratada que se reutiliza.

Se presentó PUMAGUA al grupo del Dr. Alberto Lifshitz, Secretario del Consejo de Salubridad General, con el objetivo de dar a conocer la metodología y plantear la posibilidad de colaboración.

Se colaboró en la presentación de PUMAGUA a representantes del *International Code Council.*

Se atendió a la misión de diputados de la Comisión Ambiental de la República del Salvador a quienes se les presentó la problemática de calidad de agua nacional y cuál es la propuesta de PUMAGUA para controlarla.

Se elaboraron propuestas para la implementación de PUMAGUA en el municipio de Metepec, Estado de México.

Se elaboró una propuesta de implementación de PUMAGUA para la Delegación de Xochimilco. La propuesta contempla acciones en la zona lacustre y zona urbana de Xochimilco, dentro del polígono de Patrimonio Cultural de la Humanidad de la UNESCO.

Se colaboró en la propuesta de implementación de PUMAGUA para Ocotlán de Morelos, Oaxaca.

G. Conclusiones y Recomendaciones

1. Monitoreo en tiempo real, en el *campus* CU

Conclusiones

- Es importante contar con un monitoreo permanente de la red de distribución a partir de sensores en línea que permiten obtener datos de calidad del agua en tiempo real.
- El monitoreo en tiempo real requiere de una persona capacitada que vigile y asegure el correcto funcionamiento de los sensores de calidad del agua. Ya que existen factores externos como la energía eléctrica, la ausencia de agua, y en algunos casos la presión en la red de distribución, que pueden afectar el correcto funcionamiento de los mismos.
- El monitoreo en tiempo real de la calidad del agua que se ha logrado llevar a cabo a través de los sensores en línea ubicados en el Instituto de Ingeniería, ha permitido la vigilancia permanente de los parámetros cloro residual libre, nitratos, pH, turbiedad, conductividad y temperatura del agua para uso y consumo humano conducida por una tubería principal de la red de distribución en CU que abastece el sector donde se encuentra el Instituto de Ingeniería.
- Durante el monitoreo de enero a noviembre de 2012 se observó que los parámetros monitoreados nitratos y pH se mantuvieron en todo momento dentro de lo establecido en la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000).
- El parámetro de turbiedad cumplió con lo establecido en la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000), durante el periodo monitoreado de enero a marzo, que fueron los meses durante los cuales estuvo en funcionamiento el sensor.
- Con respecto al parámetro cloro residual libre, se detectaron variaciones significativas, por lo que se encontraron 158 días con eventos de concentración de cloro residual libre fuera de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) durante el período monitoreado de enero a noviembre de 2012, de los cuales 115 días presentaron eventos por debajo del límite mínimo de la norma.
- En los meses de marzo y abril se presentó el mayor número de días (29 días por cada mes) con eventos de concentración de cloro residual libre fuera de límite mínimo de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000). Lo anterior se atribuye a que durante estos meses se realizó la mayor parte de los trabajos de instalación y estabilización de los nuevos

sistemas de desinfección en los pozos de extracción, lo cual repercutió directamente en la concentración de cloro residual libre.

Recomendaciones

- Continuar con el programa de monitoreo.
- Evaluar las condiciones actuales de operación y funcionamiento del sistema de desinfección y de distribución para estabilizar las concentraciones de cloro residual libre presentes en el agua de la red, de tal modo que se cumpla en todo momento con la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000).

2. Monitoreo en la red de distribución de agua potable en el *campus* CU

Conclusiones

- Se analizaron 165 muestras en 20 puntos de la red de distribución de agua para uso y consumo humano a lo largo de febrero a noviembre de 2012, en los cuales se monitorearon los parámetros de calidad del agua: cloro residual libre, nitratos, sólidos disueltos totales, pH, turbiedad, coliformes fecales y coliformes totales.
- Se analizaron 45 muestras en 5 puntos de la red de distribución de agua para uso y consumo humano de febrero a noviembre de 2012, en los cuales se monitorearon los parámetros microbiológicos complementarios de calidad del agua: enterococos fecales, colífagos, ETEC ST, ETEC LT, *Salmonella* spp, *Shigella* spp, *Campylobacter* spp, *Helicobacter pylori*, *Mycobacterium* spp.
- Se determinó que en las 165 muestras analizadas, se encontraron en todo momento dentro de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000), los parámetros nitratos, sólidos disueltos totales, pH, y turbiedad.
- En el parámetro de cloro residual libre se presentaron variaciones significativas que van desde 0.00 mg/L a 2.20 mg/L, para un porcentaje total de incumplimiento de la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) en el parámetro de cloro residual libre en el 43.6% (72/165) de las muestras analizadas.
- Se detectó la presencia de coliformes fecales y totales durante el muestreo de marzo (máximo detectado fecales y totales 1 UFC/100 ml) y agosto (máximo detectado fecales 4 UFC/100 ml y totales 5 UFC/100 ml), no cumpliendo con la NOM-127-SSA1-1994 (2000), donde se establece que no se deben detectar en el agua para uso y consumo humano. La presencia de estas bacterias coliformes se atribuye a las variaciones de cloro residual libre que se presentaron durante estos meses.

- Se detectaron colífagos en el mes de junio en la muestra colectada en el Instituto de Ingeniería. Es importante señalar que la presencia de colífagos coincidió con una baja concentración de cloro residual (<0.2 mg/L) en el agua para consumo.
- No se detectó la presencia de bacterias patógenas responsables de infecciones gastrointestinales. Así también, no se detectó la presencia de *Mycobacterium* spp.

Recomendaciones

- Continuar con el programa de monitoreo.
- Establecer y mantener un manejo adecuado del sistema de desinfección en el subsistema de abastecimiento y subsistema de almacenamiento y distribución, con el fin de asegurar un residual de cloro residual libre de acuerdo a los límites establecidos (0.2 – 1.5 mg/L) en la NOM-127-SSA1-1994 (2000), y de este modo garantizar que no habrá crecimiento bacteriano en el agua.
- Visualización de la aplicación de la desinfección con ozono como tratamiento primario, y la desinfección con hipoclorito de sodio como tratamiento secundario (Olivares y Nava, 2011).

3. Monitoreo de cloro residual libre en cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano en el campus CU

Conclusiones

- A noviembre de 2012 en el *campus* Universitario se tienen contabilizadas 74 cisternas de almacenamiento para agua potable, de las cuales 61 son exclusivamente de agua para uso y consumo humano (8 están fuera de servicio), y 13 tienen usos diversos (cisternas de agua contra incendios, riego, recirculación y enfriamiento).
- El 35% (18/52) de las cisternas que se encuentran en operación actualmente, cumplieron en todo momento con los límites permisibles de concentración de cloro residual libre (0.2 – 1.5 mg/L) establecidos en la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) de agua para uso y consumo humano.
- De las 550 muestras analizadas en las cisternas de agua potable monitoreadas durante 2012, el 5.5% no cumplieron con el límite mínimo de cloro residual libre (0.2 mg/L) establecido en la NOM-127-SSA1-1994 (2000).
- Las variaciones de cloro residual libre en la red de distribución influye directamente sobre el residual de cloro residual libre presente en las cisternas de agua potable, así como también las condiciones de limpieza, operación y la falta de uso de las mismas.

Recomendaciones

- Es indispensable la limpieza y mantenimiento general de al menos dos veces al año de las cisternas de agua para uso y consumo humano, principalmente aquellas que se encuentran expuestas a hojarasca, y al posible ingreso de fauna y sedimentos por arrastre.
- En caso de aquellas dependencias que cuentan con cisternas independientes, es importante el uso continuo de ambas, ya que la falta de uso de alguna de las dos, modifica la concentración de cloro residual libre presente.
- No se deben construir cisternas de almacenamiento de agua residual tratada o de otro tipo de uso, compartiendo pared con cisternas de almacenamiento de agua para uso y consumo humano, puesto que cualquier fisura o fuga puede ocasionar su contaminación, ya que los cuidados de mantenimiento y calidad del agua son distintos.

4. Agua residual tratada

Conclusiones

- Se llevó a cabo el monitoreo de calidad del agua del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua y de Cisternas de almacenamiento de agua residual, con el fin de evaluar la calidad del agua en función de la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
- La capacidad de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua es suficiente para tener la certeza del reúso del agua residual tratada para riego de áreas verdes, sin embargo, se deben definir protocolos de funcionamiento que permitan garantizar que en todo momento la planta de tratamiento tenga el desempeño necesario para cumplir con la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, ya que se detectaron en el efluente de la planta coliformes fecales, enterococos fecales y *Campylobacte*r spp en el muestreo del mes de marzo, así como en noviembre se detectó la presencia de coliformes fecales (8100 UFC/100ml), enterococos fecales y colífagos. Lo cual se puede atribuir a algún trabajo en las instalaciones de la PTAR.
- Se detectó la presencia de coliformes fecales, enterococos fecales y colífagos en las 6 cisternas de agua residual tratada monitoreadas durante el mes de noviembre.

- No se puede garantizar que no existen riegos a la salud de la población universitaria por el contacto directo con el agua de riego, hasta que no se establezcan las medidas necesarias de seguridad de las aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes en Ciudad Universitaria.

Recomendaciones

- Continuar con el programa de monitoreo.
- Implementación de metodología de barreras múltiples como estrategia para proyectar la seguridad de las aguas residuales tratadas para el riego de la Universidad (Orta, 2012).
- Se recomienda evaluar la calidad del agua del efluente de la planta antes de ser bombeada hacia las cisternas de almacenamiento de agua tratada, en caso de que se presente cualquier cambio en el proceso.
- Es indispensable el adecuado vaciado y correcta limpieza de las cisternas de agua residual tratada que se han dejado de usar durante la temporada de lluvias, ya que el estancamiento de esta agua puede resultar en la posible contaminación y multiplicación de bacterias.
- Además de la limpieza y desinfección, se requiere dar mantenimiento general a las cisternas de agua residual tratada.

5. Actividades en otros *campi* de la UNAM

Conclusiones

- Se brindó apoyo a la Coordinación de Innovación y Desarrollo para evaluar la calidad del agua potable suministrada a las oficinas de la misma, considerando algunos parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 (2000); mediante análisis *in situ* y de laboratorio de los parámetros cloro residual libre, nitratos, sólidos disueltos totales, pH y turbiedad.
- El agua para uso y consumo humano de la Coordinación de Innovación y Desarrollo cumplió en el momento del muestreo con lo establecido en la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) en cuanto se refiere a los parámetros nitratos, sólidos disueltos totales, pH y turbiedad. El parámetro cloro residual libre no cumplió la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000) en todos los puntos muestreados, siendo los puntos de la Cisterna de almacenamiento, Tinaco elevado y Cocineta, los que si cumplieron. Los resultados Microbiológicos confirmaron que no hay presencia de coliformes totales y fecales, por lo cual también cumplen con la norma NOM-127-SSA1-1994 (2000).

- Dentro de los parámetros microbiológicos complementarios que no se encuentran establecidos en la norma, se detectó la presencia de *Escherichia coli enterotoxigénica termoestable (ETEC ST)* en las cuatro muestras analizadas.

Recomendaciones

- Es recomendable brindar mantenimiento a la cisterna y tinacos de la Coordinación de Innovación y Desarrollo ya que presentan acumulación de sedimentos en el fondo. Así mismo es necesario evaluar periódicamente algunos parámetros mínimos de calidad y revisar la red de distribución de agua potable interna del edificio de la Coordinación de Innovación y Desarrollo, ya que durante el monitoreo de cloro residual libre se detectó una disminución sustancial de cloro residual libre en el trayecto tinaco-cocineta, lo cual generalmente es causado por la presencia de materia orgánica.

H. Formación de recursos humanos

En el grupo de Calidad del Agua se ha contado con la colaboración de estudiantes que han participado en diversas actividades en el año 2012, se contó con 2 estudiantes de servicio social [Tabla 15], 2 estudiantes que están en el desarrollo de 2 tesis de licenciatura [Tabla 16], y 2 estudiantes que lograron concluir su tesis [Tabla 17].

Tabla 27. Servicio Social en el grupo de calidad del agua.

Prestador	Servicio Social	Dependencia	Periodo
Gloria Flores Estrada	Apoyo en los muestreos y determinación de Coliformes totales y Coliformes fecales en agua potable, agua residual y agua residual tratada	Instituto de Ingeniería	2012-1
Daniel Alberto Martínez Martínez	Apoyo en la realización de muestreos y análisis microbiológico de agua potable, agua residual y agua residual tratada	Instituto de Ingeniería	2012-2

Tabla 28. Tesis en desarrollo en el grupo de calidad del agua.

Tesista	Título de la tesis
Carlos Alberto Rosas Cabello	RECOLECCIÓN E INFILTRACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN CIUDAD UNIVERSITARIA CON FINES DE RECARGA DEL ACUÍFERO
Jorge Jesús Cázares Venegas	CALIDAD DEL AGUA DE REÚSO: GENERACIÓN-ALMACENAMIENTO-DISTRIBUCIÓN, POSTERIOR A LA RENOVACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO "CERRO DEL AGUA"

Tabla 29. Tesis concluidas en el grupo de calidad del agua.

Tesista	Título de la tesis	Dependencia	Año de titulación

Nallely Váquez Salvador	RECUPERACIÓN DE VIRUS ENTÉRICOS DE LA SUPERFICIE DE VEGETALES REGADOS CON AGUA RESIDUAL TRATADA.	Instituto de Ecología	2012
Jaqueline J. Noguez Lugo.	DETECCIÓN DE CRYPTOSPORIDIUM PARVUM Y GIARDIA LAMBLIA COMO INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA.	Instituto de Ecología	2012

I. Congresos, Publicaciones y Conferencias.

Publicaciones del área de calidad del agua Instituto de Ingeniería.

1. Ignacio Monje Ramírez, María Teresa Valeriano González, Ma. Teresa Orta L. de Velásquez, Isaura Yáñez Noguez y Fernando Gonzáles Villareal. (2012). "Evaluación de un sistema de desinfección secundario para la red de distribución de agua potable del campus universitario de la UNAM", XXXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS 2012. 3-7 de Junio de 2012, Salvador Bahía, Brasil.

2. Orta de Velásquez M. T. Yañez-Noguez I. González Villareal F.J. García Santiago E.I. (2012). Implementation proposal of safety plan for reuse of treated wastewater in green areas, Case Study: University City. Disinfection of Water, Wastewater and Biosolids Conference 25-29 November 2012. México, City.

3. Monje-Ramírez I., Orta de Velásquez M.T., Olivares-Watson G., Nava-Shimada R, Yañez-Noguez I., González Villareal F.J. (2012). Study case: Methodology to design the ozone disinfection process for water supply system of University City – UNAM. Disinfection of Water, Wastewater and Biosolids Conference 25-29 November 2012. México City.

Congresos, publicaciones y conferencias del área de calidad del agua Instituto de Ecología.

1. Se participó en el **XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA** realizado del 9 al 12 de septiembre en San José, Costa Rica; se presentó el trabajo **Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM, Trabajos en Calidad del Agua.** El trabajo está publicado en las memorias del Congreso.

2. Se participó en el **DISINFECTION OF WATER, WASTEWATER AND BIOSOLIDS CONFERENCE, IWA** realizado del 25 al 29 de noviembre del 2012, en la Ciudad de México, México. Se presentaron dos trabajos: 1. **Experiences in the Use of Bacteria, Protozoa, And Viruses As Indicators Of Microbiological Water Quality; 2. Alternative Indicators For Water Quality Applied In Mexico City. Ambos trabajos están publicados en las memorias del Congreso.**

3. Se participó en el Festival H2O efecto esperado donde se presentaron los principales proyectos de calidad del agua que se realizan en el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LNCS)-IE-UNAM

4. Durante el *4º Encuentro Universitario del Agua* se presentaron trabajos realizados pos tesistas de PUMAGUA con la ponencia la ponencia **Detección de Cryptosporidium parvum y Giardia lamblia como indicadores de calidad del agua en Ciudad Universitaria** y el cartel **Recuperación de virus entéricos de la superficie de vegetales regados con agua residual tratada.**

5. Por invitación de la Secretaría de Salud Estatal y el Instituto de Salud del Estado de México, se participó en el *Foro Interinstitucional de Investigación en Salud*. La ponencia presentada se tituló **El manejo, clave para tener agua segura: desde el abastecimiento hasta el consumidor**.

6. Participación en el concurso *ReUnamos Acciones por el Agua* organizado por el área de Comunicación y Participación de PUMAGUA y el *Molina Center for Energy and Environment*, como asesor de calidad del agua para dar recomendaciones a los grupos de estudiantes de licenciatura que presentaron trabajos sobre tratamiento de agua residual y reúso de agua.

7. Se participó en el programa de TV UNAM **Asignatura Pendiente** conducido por Raúl Cremoux, donde se trató la situación de calidad de agua Nacional y de la Ciudad de México, y cuál es la propuesta de PUMAGUA ante tal situación.

8. Participación en el *3er Congreso de la RETAC (Red Temática del Agua de CONACyT) sobre Cuencas y Ciudades* donde se presentó la ponencia **Inocuidad microbiológica del agua: rumbo al derecho humano del agua**, elaborado por el grupo de calidad del agua del Instituto de Ecología.

9. Como respuesta a la invitación del *Global Institute for Water, Environment and Health* para participar en *International Conference for Water Resources and Environmental Management*, se elaboró un resumen de la ponencia: **Integral approach to improve urban water management: PUMAGUA,** que se presentará en febrero del 2013 en Marrakech, Marruecos.

J. Participantes

Instituto de Ingeniería

Dra. Ma. Teresa Orta Ledesma	Coordinadora
M. en C. Isaura Yáñez Noguez	
Dr. Ignacio Monje Ramírez	
Ing. Leonardo I. Toscano Vélez	
Ing. Erick Iván García Santiago	
Pas. Ing. Civil. Carlos Alberto Rosas Cabello	
Pas. Biología. Jorge Jesús Cázares Venegas	

Pas. Q.F.B. Gloria Flores Estrada
Pas. Biología. Daniel Alberto Martínez Martínez

Instituto de Ecología

Dra. Marisa Mazari Hiriart	Coordinadora
Dra. Ana Cecilia Espinosa García	
Biol. Nallely Vázquez Salvador	
Biol. Jaqueline Jeniffer Noguez Lugo	
Pas. Biol Stephanie Espinosa García	
Pas. Biol. José Ramón Sánchez Cervantes	

Facultad de Medicina

Dra. Yolanda López Vidal	Coordinadora
Dra. Antonia Isabel Castillo Rodal	
Dr. Gonzalo Castillo Rojas	
Dra. Marianela Paredes Mendoza	

XIV. Comunicación / Participación

El objetivo del área de Comunicación/Participación es involucrar a la comunidad universitaria en el uso responsable del agua. En años previos se le había dado prioridad al acercamiento con las autoridades de las dependencias universitarias con el propósito de comprometerlas a realizar acciones propuestas por el Programa. En coordinación con las otras áreas de PUMAGUA, en particular con Balance Hidráulico, se logró que más de 110 dependencias implementaran al menos una de estas acciones. En este año, además de darle seguimiento a este tema, se le dio prioridad al acercamiento a los estudiantes, no únicamente exhortándolos a las prácticas de uso responsable del agua, sino involucrando a una gama de las licenciaturas de la UNAM en la realización de trabajos sobre el agua. A continuación se señalan algunos indicadores de avance del área de Comunicación/Participación en este año.

XV. Indicadores de avance

- Se cuenta con la participación de más de 110 dependencias en al menos una acción PUMAGUA
- Después de la presencia del stand en 13 facultades, se triplicó el número de amigos en facebook
- En el festival *H2O: efecto esperado* 2012, participaron 27 organizaciones en la exhibición de sus trabajos (casi el doble que el año pasado).
- En el Concurso *Reunamos acciones por el agua* se contó con la participación de alumnos de 11 licenciaturas.
- La página web de PUMAGUA ha recibido más de 23, 400 visitas
- Se ha logrado tener más de 3, 200 amigos en facebook y de 700 en twitter
- Se han publicado 4 artículos de divulgación y 1 está en revisión

A continuación se especifica con cierto detalle cada una de las actividades emprendidas a lo largo de este año.

XVI. Actividades

A. Actividades en Ciudad Universitaria

a) Stand itinerante de PUMAGUA

Se elaboraron cinco carteles sobre los siguientes puntos:

- ✓ Objetivos de PUMAGUA
- ✓ Avances de PUMAGUA
- ✓ Acciones en facultades
- ✓ Acciones a realizar por parte de la comunidad universitaria.
- ✓ Datos de contacto del responsable de atender fugas

Se tuvo contacto con las autoridades de todas las dependencias y escuelas de Ciudad Universitaria, así como de las Facultades de Estudios Superiores y las escuelas de la UNAM que se encuentran en el Área Metropolitana de la Ciudad de México, para acordar la presencia del stand PUMAGUA, en el caso de CU, y para su elaboración en el resto de los planteles. Se presentó el stand entre los meses de enero y mayo, durante tres días en cada plantel. Asimismo, se generaron los carteles para el stand de la FES Acatlán.

Para la actividad mencionada, se contó con el apoyo de la Dirección General de Actividades y Recreativas, así como con el personal de comunicación de cada dependencia y, en el caso de la Facultad de Arquitectura, del grupo SOMOS, conformado por estudiantes.

En la mayor parte de las facultades visitadas se notó interés por parte de la comunidad por visitar el stand y la efectividad de esta acción quedó comprobada al notar que se triplicó el número de visitantes en la red social facebook.

b) Realización del festival H20: efecto esperado 2012

Como consecuencia del éxito de su primera versión en 2011, PUMAGUA y la Dirección General de Atención a la Comunidad Universitaria (DGACU) organizaron nuevamente en 2012 el festival H2O: efecto esperado, un festival artístico y cultural que busca involucrar a la comunidad universitaria y externa a la UNAM en el uso responsable del agua. El festival consistió una exhibición de 27 organizaciones de la sociedad civil, gubernamentales y educativas, que trabajan en el uso responsable del agua y del ambiente; entrevistas a personajes célebres; talleres de fotografía, radio, bisutería y maquillaje; intervenciones de espacio; un maratón de cine en el Auditorio Emilio Rosenblueth del Instituto de Ingeniería; un concierto, cortesía del Instituto Mexicano de la Radio, en la FES Zaragoza, así como una visita a la planta de tratamiento de Cerro del Agua, cuyo proyecto de renovación fue desarrollado por el Instituto de Ingeniería. También se abrieron las convocatorias para los certámenes de micro

relato de placer, fotografía acuática, relato gráfico e invento fantástico, las cuales cierran en noviembre de este año.

Figura 48. Cartel con el programa completo del festival H2O: efecto esperado 2012

Se diseñó el stand de PUMAGUA, cuyo objetivo era dar a conocer el sistema de manejo del agua en CU, así como los objetivos y avances del Programa, al igual que la información del Observatorio del Agua. Se diseñaron los carteles de cuatro mamparas, tanto en el interior como en el exterior de la misma.

Se hizo una lista de las organizaciones a invitar y se coordinó la invitación a las mismas; se seleccionó el área de la explanada central en donde se llevaría a cabo la exposición; se elaboró un plano con la disposición de las organizaciones, así como el recorrido del Rector; junto con la DGACU se seleccionaron los talentos para los conciertos; se generó material impreso para distribuir en el evento; se dieron entrevistas en el programa El Mañanero de Televisa, en Radio Ciudadana, así como en Radio Acir. También se tuvieron programas diarios en Radio Ciudadana, durante la semana previa al evento, para hablar sobre diversos temas relacionados con el agua y también para difundir el festival.

El día del evento se coordinó la entrada e instalación de las organizaciones participantes; se realizaron actividades lúdicas en el stand y se dieron explicaciones sobre los objetivos y avances de PUMAGUA. Se contó con una asistencia de alrededor de 3, 000 personas.

Figura 49. El Rector Dr. José Narro Robles, el Director de PUMAGUA, Dr. Fernando González Villarreal y el Director del Instituto de Ingeniería, Dr. Adalberto Noyola Robles, en el evento del 6 de septiembre

c) Seguimiento de los concursos del Festival H2O: efecto esperado 2011

Se extrajeron fragmentos de los relatos ganadores en 2011, se les colocó una imagen alusiva y se publicaron en las redes sociales, con el fin de darlos a conocer y generar interés en el siguiente concurso.

Las fotos de la exposición que se llevó a cabo en la Casa Universitaria del Libro fueron utilizadas para elaborar un calendario que se distribuyó entre los directores de las dependencias universitarias de C.U.

En el mes de mayo se llevó a cabo la premiación de los tres concursos, a la cual asistieron el M. en C. Miguel Robles Bárcena, Secretario de Servicios a la Comunidad, el Lic. Alejandro Fernández Varela Jiménez, Director General de la Dirección General de Atención a la Comunidad Universitaria (DGACU), el Dr. Fernando González Villarreal, Director de PUMAGUA.

Figura 50. Premiación de los concursos H2O: Efecto esperado 2011

d) Concurso y Encuentro "Reunamos acciones por el agua", para estudiantes de licenciatura de la UNAM

En conjunto con el personal del Centro Molina para la Energía y el Ambiente (CME2), se diseñó el objetivo del concurso "Reunamos acciones por el agua", se elaboró la convocatoria para el mismo, así como el cartel y el logo, para su difusión. Se llevaron a cabo reuniones en cada una de las facultades y escuelas de Ciudad Universitaria, así como en las FES y escuelas del Área Metropolitana, en las cuales se presentaron los objetivos del concurso y se logró el compromiso de los secretarios académicos, coordinadores de carrera y profesores, de promover la participación de los estudiantes en el concurso. Se difundió la convocatoria via facebook, a través de la página de PUMAGUA, así como en algunos medios de comunicación, como radio y medios de otras instituciones tales como la CONAGUA, y medios internos de las dependencias universitarias.

Asimismo, se envió un oficio al director de cada facultad y escuela del área metropolitana, solicitando la designación de 3 profesores de cada carrera que fungieran como jurado para la evaluación de los trabajos. Se recibió respuesta de casi todas las escuelas y facultades.

Se recibieron 39 trabajos, de 81 alumnos provenientes de 11 licenciaturas. Los temas de los trabajos fueron los siguientes: estrategias de comunicación, esculturas, mamparas, métodos de tratamiento de agua residual, infraestructura y procedimientos para captar agua de lluvia, y bidones para transportar agua para uso y consumo humano.

Por un lado, se enviaron los trabajos a los jurados asignados por las facultades y escuelas y, por otro, se enviaron a las tres áreas de PUMAGUA para obtener sus opiniones. También, cada uno de los integrantes del área de Comunicación/Participación evaluó cada uno de los trabajos, analizando sus fortalezas y debilidades, y asignado una calificación. Finalmente, se conjuntaron todas estas evaluaciones y así se seleccionaron 34 de los 39 trabajos. A cada uno se les hicieron sugerencias sobre temas específicos que les ayudarían a mejorar sus propuestas, tales como análisis costo-beneficio, elaboración de presupuesto, mercadotecnia, captación de agua de lluvia, calidad del agua, montaje de exposiciones, diseño de proyectos y estrategias de comunicación PUMAGUA. A continuación, se buscó asesores para cada uno de estos temas y se les propuso dar una plática, haciendo énfasis en los trabajos de los alumnos, de una hora cada una.

A los alumnos ganadores se les hizo llegar una invitación al Encuentro *Reunamos acciones por el agua*, que se llevó a cabo el 23 de noviembre. Asimismo, se les hizo llegar un formato para que presentaran un cartel de su trabajo y para que elaboraran una presentación en power point. También, en el caso de los alumnos que elaboraron mamparas, esculturas y bidones, se les pidió que llevaran un prototipo, para montar una exposición con los trabajos.

En el Encuentro se presentó cada uno de los trabajos en una exposición de diez minutos; se tuvo un recorrido de la exposición; se generó una dinámica en la que se combinaban alumnos de disciplinas diversas (ingenieros, biólogos, artistas plásticos, pedagogos, diseñadores industriales, etc.), con el fin de intercambiar experiencias y hacer sugerencias para el encuentro. Finalmente se les ofreció una comida en la terraza y se les dio su reconocimiento.

Durante la semana del 10 al 14 de diciembre se llevan a cabo las asesorías y se espera que éstas ayuden a mejorar cada una de las propuestas para que, en febrero de 2013, se realice otro encuentro, con la presencia de autoridades universitarias, y ahí se les presenten dichas propuestas.

Figura 51.Imágenes del encuentro Reunamos acciones por el agua

e) Fomento del consumo de agua de la llave en CU

Se diseñó una propuesta general de la estrategia de comunicación para fomentar el consumo del agua de la llave en CU. Ésta fue presentada a la Ing. Ana de Gortari Pedroza, Directora de la Dirección General de Obras y Conservación, así como al Dr. Noyola Robles, Director del Instituto de Ingeniería. Se acordó que se buscarían bebederos para ser comprados por la UNAM. Se realizó una búsqueda de aquellos bebederos que cumplieran con los requisitos establecidos por el Programa. Por otro lado, se organizó una reunión con las personas de mantenimiento de las dependencias de CU para hablarles sobre la posibilidad a corto plazo de beber agua de la llave y presentarles la estrategia de comunicación. En esa reunión, se acordó que se le daría prioridad a los diseños generados por alumnos de la UNAM y que se buscarían nuevos diseños.

Con el apoyo de la Coordinación ejecutiva de PUMAGUA, ahora se cuenta también con la posibilidad de que empresas fabricantes produzcan los diseños generados por los alumnos de la UNAM.

f) Taller sobre supervisión de muebles de baño

Con el objetivo de promover el buen funcionamiento de los muebles de baño de bajo consumo recomendados por PUMAGUA e instalados en las dependencias universitarias, se llevó a cabo el taller Supervisión de muebles de baño, del 12 al 16 de noviembre. Se tuvo una asistencia total de 55 personas.

Se les dio una introducción sobre los avances de PUMAGUA y a continuación las empresas fabricantes dieron la capacitación. Asimismo, se les dio un cuestionario para evaluar el taller y algunos de los resultados de dicha evaluación son los siguientes:

- ✓ Calificación promedio del contenido: 9.2
- ✓ Calificación promedio de los expositores: 9.5
- ✓ 91% de los asistentes estarían interesados en participar en otro taller
- ✓ Los temas de mayor interés para un próximo taller son capacitación para mantenimiento de muebles de baño, mantenimiento de la red y arreglo de fugas; captación de agua de lluvia y tratamiento de aguas residuales.

g) Actualización de medios electrónicos

Se mantuvo actualizada la página web de PUMAGUA, incluyendo la información sobre los consumos de las dependencias, los muestreos de calidad del agua y todos los eventos organizados por el área de Comunicación/Participación.

Se actualizaron diariamente el facebook y el twitter con información y fotografías sobre el stand, el festival, el concurso y el encuentro, así como con información general y avances de PUMAGUA. Se le dio atención a todos los comentarios y preguntas.

Cabe señalar que partir de la reactivación de twitter en enero, se ha logrado tener 600 seguidores. En Facebook se tienen alrededor de 3, 200 y, en promedio, 8 personas al día solicitan ser amigos de PUMAGUA.

Se elaboraron y enviaron los Boletines 2 a 8 de PUMAGUA, con los siguientes contenidos: avances de PUMAGUA; presencia de stand PUMAGUA en escuelas y facultades; dependencias

que han sustituido sus jardines por vegetación del Pedregal de San Ángel; instalación del nuevo sistema de desinfección de agua; implementación de PUMAGUA en el campus Juriquilla; eventos del festival H2O: efecto esperado; encuentro Reunamos acciones por el agua y Taller de supervisión de muebles de baño.

Asimismo, se actualizaron los datos del Observatorio del Agua, cada vez que se contó con la información proveniente de las áreas de Calidad del agua y Balance hidráulico.

h) Plataforma IBM

Se sostuvieron varias reuniones con el personal de IBM con el propósito de generar las herramientas para la realización y análisis de encuestas entre la comunidad universitaria, que permitan evaluar sus percepciones, actitudes y conductas, así como los avances del área de Comunicación/Participación.

i) Generación de aplicación para ipod

Se solicitó al Ing. Román Cisneros, de la empresa Freezecode que generara una aplicación para ipod, mediante la cual se dieran a conocer noticias sobre PUMAGUA, así como se pudieran levantar encuestas a la población sobre el uso del agua en las instalaciones de la UNAM. Actualmente ya se cuenta con la aplicación.

B. Actividades en la UNAM, fuera de Ciudad Universitaria

Se ha mantenido contacto con los campus externos para dar seguimiento a las acciones del área de Comunicación/Participación, tales como Juriquilla, FES Acatlán, Zaragoza, Iztacala y Aragón. Asimismo se acudió a reuniones en el campus Sisal, Yucatán, así como en el de Morelos, con el propósito de dar a conocer los objetivos y métodos del área de Comunicación/Participación y tener acuerdos con las autoridades de dichos campus, para la implementación de la misma. Por último se realizó una visita al Centro de Innovación y Desarrollo con el fin de analizar las condiciones de su comunidad para fomentar el consumo de agua de la llave.

a) Diagnóstico del área de comunicación/participación en la Coordinación de Innovación y Desarrollo

Por solicitud del Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro, Coordinador de Innovación y Desarrollo, se realizó un diagnóstico de las tres áreas de PUMAGUA para analizar la factibilidad de beber agua de la llave. Por parte del área de Comunicación/Participación, se revisó el tamaño de su comunidad, los diferentes tipos de usuarios del agua, el consumo mensual de agua embotellada, así como su costo, con el fin de, en caso de que se determinara una calidad adecuada para su consumo, dar a conocer a la comunidad el ahorro que se lograría al eliminar la compra de agua embotellada, así como los impactos ambientales positivos de dejar de producir desechos de PET. Dado que el ahorro no era significativo, se había decidido comunicarle a la población que la ventaja de consumir agua de la llave, con el monitoreo periódico de su calidad, sería que tendrían mayor control sobre ésta que si siguieran consumiendo agua de la llave. Sin embargo, dado que la calidad del agua en infraestructura de almacenamiento no fue adecuada, no se siguió adelante con el proyecto.

2. Contacto con campus externos

Se ha mantenido contacto con los campus externos para dar seguimiento a las acciones del área de Comunicación/Participación, tales como Juriquilla, FES Acatlán, Zaragoza, Iztacala y Aragón. Asimismo se acudió a reuniones en el campus Sisal, Yucatán, así como en el de Morelos, con el propósito de dar a conocer los objetivos y métodos del área de Comunicación/Participación y tener acuerdos con las autoridades de dichos campus, para la implementación de la misma. Con el mismo objetivo, se tuvo dos reuniones con el personal del campus Cuernavaca. La primera fue en Ciudad Universitaria y únicamente con el personal del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. En la segunda, el equipo de PUMAGUA visitó el campus de Morelos y la reunión se llevó a cabo con personal administrativo de todo el campus.

C. Actividades dirigidas a entidades externas a la UNAM

a) Evaluación de la efectividad del Programa de Cultura del Agua (PCA) de CONAGUA

El objetivo general de este proyecto, llevado a cabo en conjunto con la Facultad de Psicología, fue evaluar a nivel nacional la efectividad del Programa Cultura del Agua entre la población, a

fin de determinar su grado de aportación en el cambio cultural para el uso responsable y racional del recurso hídrico, así como obtener elementos cuantitativos y cualitativos que permitan orientar la toma de decisiones y acciones sobre el mismo.

Se llevaron a cabo varias reuniones preparatorias con el Mtro. Javier Urbina, de la Facultad de Psicología, así como con la Lic. Marissa Mar Pecero y el Ing. Enrique Sotelo, ambos de la subgerencia de Cultura del Agua, de la CONAGUA. Se elaboraron tres propuestas para cumplir el objetivo, pero se seleccionó la más económica.

Se elaboraron dos instrumentos de medición: un cuestionario cara a cara y una cédula de observación para verificar que las actividades de uso responsable del agua realmente se estuviera llevando a cabo.

Dos personas del área de Comunicación/Participación acudieron a las ciudades en donde se realizaría el levantamiento, para verificar que éste se llevara a cabo de manera adecuada. Posteriormente se participó intensivamente en el análisis de resultados, así como en la generación de conclusiones y recomendaciones. También, en conjunto con el personal de la Facultad de Psicología, se elaboró el informe final y una presentación en power point, en la cual se resumían los resultados, las conclusiones y las recomendaciones. Finalmente, la elaboración del resumen ejecutivo estuvo a cargo exclusivamente del área de Comunicación/Participación de PUMAGUA.

Se presentó el informe a la Lic. Mar y el Ing. Sotelo; se realizaron los últimos cambios y se realizó la entrega final.

b) Propuestas para implementar el área de Comunicación/Participación en Municipios y Delegaciones

Con el objetivo general de implementar un plan de seguridad del agua en el Municipio de Aguascalientes, Aguascalientes, el área de Comunicación/Participación efectuó una propuesta para realizar un diagnóstico de cultura del agua en la localidad, así como de las estrategias actuales de comunicación en materia de agua, con base en los cuales diseñar estrategias para mejorar la comunicación entre las autoridades relacionadas con la seguridad del agua y la población y fomentar la participación de éstas en la vida cotidiana y en caso de algún incidente.

Con el propósito de fomentar la participación social y así mejorar el manejo del agua dentro del polígono de Xochimilco decretado por UNESCO como patrimonio cultural de la humanidad,

se diseñó una propuesta para realizar un diagnóstico de cultura del agua y diversas actividades para involucrar a la población en el manejo responsable del agua.

Por último, se efectuó una propuesta para mejorar la comunicación en materia de agua y así procurar la participación social de la población del municipio de Ocotlán de Morelos, Oaxaca.

c) Presentación de PUMAGUA a diversas instancias nacionales e internacionales

Se realizaron presentaciones sobre los objetivos, estrategias y avances del área de Comunicación/Participación a personal de entidades nacionales e internacionales, tales como el Consejo de Salubridad General, una comisión de diputados de la República de El Salvador y el Internacional Code Council.

XVII. Congresos y artículos de divulgación

- Se presentó la ponencia "Trabajos en Comunicación/Participación de Pumagua", en el Congreso Latinoamericano de Hidráulica, que se llevó a cabo del 9 al 12 de septiembre de 2012, en San José, Costa Rica.

- Se redactaron y publicaron los siguientes artículos:

  - ✓ González Villarreal, F., Val Segura, R, Lartigue Baca, C. y Rocha Guzmán, J.D. (2012) PUMAGUA, un modelo generado por la UNAM para el uso eficiente del agua. Infoaneas.
  - ✓ González Villarreal, F., Val Segura, R., Lartigue Baca, C (2012) Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM. *Agua en Quintana Roo*
  - ✓ Uso responsable del agua + UNAM = PUMAGUA(2012) *Vita: medio ambiente y sociedad, julio-agosto*
  - ✓ El Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM: un Programa que está dando resultados tangibles. Exalumnos UNAM, año 4, núm. 22, mayo-junio

- El artículo está en revisión en la Revista Digital de la UNAM:

- ✓ Lartigue Baca, C, Vázquez Licona, D., Val Segura, R. y González Villarreal, F.J. Catastrofismo y culpa en torno al tema del agua: percepciones de los estudiantes universitarios.

XVIII. Presencia en medios de comunicación

Se logró una entrevista al Dr. Fernando González Villarreal en el programa de *El mañanero*, de Televisa. También, se tuvo una entrevista en Once Noticias, del canal Once. Finalmente, se acudió al programa *Asignatura pendiente*, de TVUNAM.

En cuanto al radio, se llevó a cabo una entrevista con la conductora Kiki Ferriz de Con, del Grupo Imagen. Se tuvo participación en el programa de la Fundación Acir, con el conductor Iñaki Manero. También, se tuvo toda una semana de programas sobre el tema del agua y el arte, en Radio Ciudadana, del Instituto Mexicano de la Radio. Por último, se asistió a una entrevista en el programa *Ingeniería en marcha*, de Radio UNAM.

En prensa, aparecieron reportajes en el diario Uno más uno, La Jornada, en la Gaceta de la UNAM y en la Gaceta de Aragón.

XIX. Bibliografía

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21° edición. Centennial Edition. Estados Unidos. 2005:9-63.
2. Ashbolt, N. J., W. O. K. Grabow, M. Snozzi. 2001. Indicators of microbial water quality. En: Fewtrell L. and J. Bartram Eds. Water Quality: Guidelines, Standards and Health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. World Health Organization Press.
3. Asibey, E., Parras, T. and Van Fleet, J. (2008) Are We There Yet: A Communication Evaluation Guide. The Communications Network. Nueva York, USA. 36 pp.
4. Castillo-Rodal, A. I., M. Mazarí-Hiríart, L. Lloret-Sánchez, B. Sachman-Ruíz, P. Vinuesa and Y. López-Vidal (2011). Potencially pathogenic Non-tuberculous Mycobacteria found in aquatic system. Analysis from a reclaimed water and water distribution system in Mexico city. EJCMID 2011. DOI 10.1007/s10096-011-1359-y
5. COFEPRIS; CONAGUA (2010). Lineamientos generales para el monitoreo de cloro residual libre y muestreo bacteriológico en sistemas formales de abastecimiento de agua para uso y consumo humano. 13 p.
6. Comisión Federal para la prevención de riesgos sanitarios (COFEPRIS), 2010. Agua de Calidad Bacteriológica. http://www.cofepris.gob.mx/
7. CONAGUA (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. 152 p.
8. CONAGUA (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de agua potable. 270p.
9. CONAGUA (2010). Estadísticas del agua en México. 258 p.
10. Chu L; Yan; et.al (2009). Avances y perspectivas de la ozonización como un poderoso método de pretratamiento de lodos para la minimización de la producción de fangos en exceso. Volumen 43. PP1 811-1822.
11. Debruyne, L., E. Samyn, E. De Brandt, O. Vandenberg, M. Heyndrickx, P. Vandamme (2008). Comparative performance of different PCR assays for the identification of Campylobacter jejuni and Campylobacter coli. Res. Microbiol. 159:88-93.
12. Del Puerto Rodríguez AM del. Concepción Rojas M, Iglesias Fernández AM. Calidad del agua y enfermedades de transmisión digestiva/Quality of water and digestively transmitted diseases. Rev Cubana Med Gen Integr 1999; 15(5):495-502.
13. DOF (2000). Norma Oficial Mexicana, NOM-013-CNA-2000. Redes de distribución de agua potable especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba. México, D.F., 9 de julio, 2003.
14. DOF (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 modificada en el 2000. 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.
15. DOF (2000). Norma Oficial Mexicana, NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. México, D.F. 19 de junio.

16. DOF (2000). Norma Oficial Mexicana, NOM-181-SSA1-1998. Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, Requisitos sanitarios que deben cumplir las sustancias germicidas para tratamiento de agua, de tipo doméstico. México, D.F., 20 de junio.

17. DOF (2003). Norma Oficial Mexicana, NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, procedimientos sanitarios para el muestreo. México, D.F., 1 de agosto.

18. DOF (2003). Norma Oficial Mexicana, NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. México, D.F., 23 de abril.

19. DOF (2009). NORMA Oficial Mexicana, NOM-015-CONAGUA-2007. Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua. México, D.F., 25 de julio.

20. EPA. 2001. Method 1602: Male-specific (F+) and Somatic Coliphage in water by single agar layer (SAL) procedure. (Environmental Protection Agency), Washington D. C.

21. Eshcol J., P. Mahapatra, S. Keshapagu. 2009. Is fecal contamination of drinking water after collection associated with household water handling and hygiene practices? A study of urban slum households in Hyderabad, India. Journal of Water and Health 7(1):145-149.

22. Figueroa, M., C. Troncoso, P. López, P. Rivas and M. Toro (2009). Occurrence and enumeration of Campylobacter spp. during the processing of Chilean broilers. BMC Microbiol. 9:94.

23. Guías de la OMS para la calidad del agua potable (2006). Organización Mundial de la Salud (OMS).

24. Herman Bouwer, (2004). Artificial recharge of groundwater: Systems, design, and management.

25. ISO, 1995. 10705-1: Water quality—Detection and enumeration of bacteriophages-part 1: Enumeration of F-specific RNA bacteriophages. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

26. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2010. Censo de Población y vivienda 2010. http://www.censo2010.org.mx/

27. Joseph A. Cotruvo, (2002). Unconventional methods for providing safe drinking water in small systems: Arsenic removal demonstration.

28. Kim, H., H. S. Kim, T. S. Shim, M. N., G. H. Bai, Y. G. Park, S. H. Lee, C. Y. Cha, Y. H. Kook, B. J. Kim (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

29. Lambertini E., S. K. Spencer, B. A. Jr. Kieke, F. J. Loge, M. A.Borchardt. 2011. Virus contamination from operation and maintenance events in small drinking water distribution systems. J Water Health 9(4):799-812.

30. Lothigius, A., A. Janzon, Y. Begum, A. Sjöling, F. Qadri, A. M. Svennerholm and I. Bölin, (2008). Enterotoxigenic Escherichia coli is detectable in water samples from an endemic area by real-time PCR. J. Appl. Microbiol. 104:1128–113

31. Maier R., I. L. Pepper, C. P. Gerba. 2009. Environmental Microbiology. Academic Press. China. 598 pp.

32. Marshall, H. M., R. Carter, M. J. Torbey, S. Minion, C. Tolson, H. E. Sidjabat et al. (2011). Mycobacterium lentiflavum in drinking water supplies, Australia. Emerg Infect Dis [serial on the Internet].

33. Martínez H. S., Coronel O. C., Hernández M. A., Miranda L. J. M. y Rodríguez Á. J. A. 2008. Control de la calidad del agua tratada en una depuradora a través de los Bioindicadores bacterianos Escherichia coli y Pseudomonas aeruginosa Laboratorio de Ciencias Ambientales.

34. Mazari, M. (2003). Bacteria and disinfection byproducts in water from southern Mexico City. 5 p. 129 p.

35. Mazari-Hiriart, M., Y. López-Vidal, G. Castillo-Rojas, S. Ponce de León and A. Cravioto (2001). Presence of Helicobacter pylori and other enteric bacteria in freshwater environments. Archives of Medical Research. 32:1-10.

36. Nava Shimada Ricardo y Olivares Watson Gabriel Eduardo (tesis mancomunada). Desinfección del agua de abastecimiento de ciudad universitaria mediante la tecnología de ozono: aspectos de transferencia de masa y dimensionamiento de una cámara de contacto. Ingeniero Químico. Facultad de Química. Ciudad Universitaria. Fecha de titulación: 2011. TUTORA: Dra. María Teresa Orta Ledesma.

37. National Research Council, Ground water recharge using waters of impaires quality, Washington (1994). “Soil and Aquifer Processes”.

38. Nguyen, T. V., P. Le Van, C. Le Huy, K. N. Gia and A. Weintraub (2005). Detection and characterization of diarrheagenic Escherichia coli from young children in Hanoi, Vietnam. J. Clin. Microbiol. 43:755-6.

39. OMS (2006). Guías para la calidad del agua potable, primer apéndice a la tercera edición, Vol. 1. 408 p.

40. Orta de Velásquez M. T. Yañez-Noguez I. González Villareal F.J. García Santiago E.I. (2012). Implementation proposal of safety plan for reuse of treated wastewater in green areas, Case Study: University City. Disinfection of Water, Wastewater and Biosolids Conference 25-29 November 2012. México, City.

41. Pierre Payment and Will Robertson. 2004, Water Sanitation Health The microbiology of piped distribution systems and public health. OMS.

42. Polaczyk L. A., Narayanan J., Cromeans L. T., Hahn D., Roberts M. J., Amburgey E. J. y Hill R. V. 2008. Ultrafiltration-based techniques for rapid and simultaneous concentration of multiple microbe classes from 100-L tap water samples. J Microbiol Meth, 73: 92-99.

43. Sánchez-Monedero, M. et al. Generación de Bioaerosoles en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. Ingeniería 11-1 (2007) 37-42.

44. Smith, S. S. , P. Lindholm-Levy, G. A. Huitt, L. Heifets, J. Cook (2000). Mycobacterium terrae: Case Reports, Literature Review, and In Vitro Antibiotic Susceptibility Testing. Clin. Infect. Dis. 30(3): 444-453.

45. Telenti, A., F. Marchesi, M. Balz, F. Bally, E. C. Bottger, T. Bodmer (1993). Rapid identification of mycobacteria to the species level by polymerase chain reaction and restriction enzyme analysis and restriction enzyme analysis. J. Clin. Microbiol. 31 (2): 175-8.

46. Tomar P; Surindra S (2011). Tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un sistema de Vermi-Biofiltración. Volumen 43. PP1 811-1822. Volumen 282. PP 95-103.

47. Toranzos GA, McFeters GA, Borrego JJ, Savill M. “Detection of microorganisms in environmental freshwaters and drinking waters” en Manual of environmental microbiology. Hurst CJ, Crawford RL, Garland JL, Lipson DA, Mills AL, Stetzenbach LD. Washintong D. C. ASM Press. 2007: 249-25.

48. Toze, Simon. Water reuse and health risks. Desalination 187 (2006) 41–51.

49. Valeriano González María Teresa. Sistema de desinfección secundaria utilizando hipoclorito de sodio (postcloración) para la red de agua potable de Ciudad Universitaria Ingeniero Químico. Facultad de Química. Ciudad Universitaria. Fecha de titulación: 2011. TUTOR: Dr. Ignacio Monje Ramírez.

50. World Health Organization (WHO). 2011. Guidelines for drinking water quality. 4th Ed. Geneva, Switzerland.

www.pumagua.unam.mx