



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



ANEXO CALIDAD DEL AGUA





Anexo Calidad del Agua

Director:

Dr. Fernando Jorge González Villareal

Coordinador Ejecutivo:

Dr. Rafael Val Segura

Coordinador de Balance Hidráulico:

Ing. Antonio Capella Vizcaíno

Coordinadora de Calidad del Agua:

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 y Participación:

M. en C. Cecilia Lartigue Baca

Coordinador de Sistema de Información Geográfica:

M. en C. José Antonio Quintero Pérez



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Rector

Dr. José Narro Robles

Secretario General

Dr. Sergio M. Alcocer Martínez De Castro

Secretario Administrativo

Mtro. Juan José Pérez Castañeda

Abogado General

Lic. Luis Raúl González Pérez

Coordinadora de Humanidades

Dra. Estela Morales Campos

Coordinador de la Investigación Científica

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz

Secretaria de Desarrollo Institucional

Dra. Rosaura Ruíz Gutiérrez

Secretario de Servicios a la Comunidad

M. C. Ramiro Jesús Sandoval

Dirección General de Comunicación Social

Lic. Enrique Balp Díaz

Director del Instituto de Ingeniería

Dr. Adalberto Noyola Robles

Índice de Contenido

I. DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DE AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA.....	9
Abastecimiento	9
Regularización	12
Agua potable en el interior de los edificios	14
Plantas de tratamiento	17
➤ <i>Planta de tratamiento de Cerro del Agua</i>	17
➤ <i>Planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.....</i>	19
➤ <i>Planta de tratamiento del Instituto de Ingeniería</i>	20
➤ <i>Plantas BRAIN</i>	22
II. INSTITUTO DE ECOLOGÍA	23
Procesamiento de muestras	23
III. FACULTAD DE MEDICINA	25
a) Detección e identificación de Micobacterias	25
b) Detección de <i>Campylobacter</i> spp., <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp. y ETEC	25
IV. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA: SEGUNDA ETAPA (2009).....	27
➤ <i>Procesamiento de muestras.</i>	27
➤ <i>Detección e identificación de Microbacterias no Tuberculosas en agua de uso y consumo humano y de reuso para riego en Ciudad Universitaria.....</i>	28
➤ <i>Detección de <i>Campylobacter</i> spp., <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp. y ETEC en agua para uso y consumo humano por PCR-hibridación.....</i>	28
Agua sin desinfección y agua clorada.....	29
➤ <i>Temporada fría-seca (enero-marzo).....</i>	29
➤ <i>Temporada cálida – seca (abril-junio).....</i>	30
➤ <i>Temporada cálida-lluviosa (agosto-octubre).....</i>	32

Agua potable	35
➤ <i>Tanques de almacenamiento.....</i>	<i>35</i>
➤ <i>Red de distribución</i>	<i>40</i>
➤ <i>Interpretación de la simulación en EPANET del cloro residual en la red de distribución del agua</i>	<i>51</i>
➤ <i>Monitoreo en línea de la calidad del agua potable</i>	<i>52</i>
Agua residual (A la entrada de la Planta de Tratamiento de Cerro del Agua).	52
Agua residual tratada y de reuso en riego.	53
Pastos	56
Asociación entre colifagos y bacterias indicadoras.....	58
<i>Aerosoles</i>	<i>58</i>
Sistema de desinfección.	60
<i>Descripción del sistema.....</i>	<i>60</i>
1.- POZOS	60
<i>Pozo 1. Facultad de Química.....</i>	<i>60</i>
<i>Pozo 2. Multifamiliar.....</i>	<i>63</i>
<i>Pozo 3. Vivero Alto</i>	<i>65</i>
Agua desinfectada que se bombea a tanques de almacenamiento	67
Pruebas experimentales en laboratorio para desinfección primaria con ozono e hipoclorito como residual	68
1) <i>Componentes del sistema de ozonación instalado en el laboratorio</i>	<i>68</i>
2) <i>Pruebas Preliminares</i>	<i>69</i>
V. LITERATURA CONSULTADA.....	83

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Cloro libre residual y nitratos en el Pozo Química.....	11
<i>Figura 2.</i> Cloro libre residual y nitratos en el Pozo Multifamiliar.	11
<i>Figura 3.</i> Cloro libre residual y nitratos en el Pozo Vivero Alto.....	12
<i>Figura 4.</i> Comparación de parámetros fisicoquímicos evaluados en el tanque bajo con los parámetros establecidos en la norma “Cloro Libre Residual” y en la Norma-NO3.....	13
<i>Figura 5.</i> Comparación de parámetros fisicoquímicos evaluados en el Tanque Bajo con los parámetros establecidos en la norma “Sólidos Disueltos Totales”.	14
<i>Figura 6.</i> Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendedos Totales del agua que alimenta los procesos biológicos de la Planta de Cerro del Agua entre 2001 y 2008.....	18
<i>Figura 7.</i> Diagrama de la Planta de Tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.	20
<i>Figura 8.</i> Diagrama de la Planta de Tratamiento del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería.	22
<i>Figura 9.</i> Promedio de los parámetros microbiológicos detectados en medio selectivo del agua de pozos en la temporada fría-seca. [UFC : Unidad Formadora de Colonia]	29
<i>Figura 10.</i> Promedio de los parámetros microbiológicos del agua de pozos en la temporada cálida-seca.....	31
<i>Figura 11.</i> Promedio de los parámetros microbiológicos del agua de residual y agua tratada de la temporada Cálida-Seca.	53
<i>Figura 12.</i> Promedio de los parámetros microbiológicos del agua de riego de la temporada fría-seca.	54
<i>Figura 13.</i> Promedio de los parámetros microbiológicos del agua de riego de la temporada cálida-seca.	55
<i>Figura 14.</i> Resultados del análisis microbiológico del pasto y pasto con raíz	57
<i>Figura 15.</i> Resultados del análisis microbiológico en aerosoles.....	58
<i>Figura 16.</i> Resultados del análisis microbiológico en aerosoles.....	59
<i>Figura 17.</i> Diagrama del Sistema de Desinfección del Pozo 1 utilizando Na OCl como desinfectante.....	62
<i>Figura 18.</i> Diagrama del Sistema de Desinfección del Pozo 2, Multifamiliar, utilizando Gas Cloro (Cl) como desinfectante.	64
<i>Figura 19.</i> Diagrama del Sistema de Desinfección del Pozo 3 utilizando Gas Cloro (Cl) como desinfectante.....	66
<i>Figura 20.</i> Sistema desinfección en continuo de agua potable de pozos de C.U.....	68
<i>Figura 21.</i> Coliformes Totales. Muestra 1. Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009.	72
<i>Figura 22.</i> Coliformes Totales. Muestra 2. Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009	72
<i>Figura 23.</i> Coliformes Fecales. Muestra 1. Pozo 1. Facultad de Química.06-10-2009.....	73
<i>Figura 24.</i> Coliformes Totales. Muestra 1. Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009.	73
<i>Figura 25.</i> Coliformes Fecales. Muestra 1. Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009.....	74
<i>Figura 26.</i> Relación Dosis-Demanda-Residual.....	76

Índice de Tablas

<i>Tabla 1.</i> Caracterización de agua potable en el subsistema de suministro de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2000, evaluada por un laboratorio externo certificado.....	10
<i>Tabla 2.</i> Calidad del agua del tanque Vivero Alto.....	14
<i>Tabla 3.</i> Calidad del agua de la llave y el filtro purificador del área de café del Edificio 5 del Instituto de Ingeniería, evaluada por un laboratorio certificado externo.	16
<i>Tabla 4.</i> Calidad del agua de la Planta de Tratamiento de Cerro del Agua, evaluada en 2008...	19
<i>Tabla 5.</i> Calidad del agua de la Planta de Tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, evaluada en 2008.....	20
<i>Tabla 6.</i> Calidad del agua en la Planta de Tratamiento del Instituto de Ingeniería, en 2008.	21
<i>Tabla 7.</i> Calidad del agua en las 15 plantas BRAIN analizadas en 2008.....	22
<i>Tabla 8.</i> Tipo de agua	23
<i>Tabla 9.</i> Volúmenes de las muestras en función del tipo de agua.	27
<i>Tabla 10.</i> Resumen de muestras de agua subterránea sin desinfección positivas a bacterias y colifagos.....	30
<i>Tabla 11.</i> Resumen de muestras de agua subterránea sin desinfección positivas a bacterias patógenas (Facultad de Medicina).	30
<i>Tabla 12.</i> Resultados microbiológicos del agua de los pozos Facultad de Química,.....	32
<i>Tabla 13.</i> Resultados microbiológicos del agua del pozo de Vivero Alto antes y después de la cloración en la temporada cálida-lluviosa.	33
<i>Tabla 14.</i> Resultados microbiológicos del agua del Pozo de Vivero Alto antes y después de la cloración en la temporada cálida-lluviosa.	33
<i>Tabla 15.</i> Resultados microbiológicos del agua del pozo Multifamiliar antes y después de la cloración en la temporada cálida-lluviosa.	34
<i>Tabla 16.</i> Resultados microbiológicos del agua del pozo de la Facultad de Química antes y después de la cloración en la temporada cálida-lluviosa.	34
<i>Tabla 17.</i> Determinación de cloro residual en el Tanque 1 de Vivero Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).....	35
<i>Tabla 18.</i> Determinación del cloro residual en el Tanque 2 de Vivero Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	36
<i>Tabla 19.</i> Determinación del cloro residual en el Tanque 3 de Vivero Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	36
<i>Tabla 20.</i> Determinación del cloro residual del Tanque 4 de Vivero Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).....	37
<i>Tabla 21.</i> Determinación del cloro residual en el Tanque Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).....	37
<i>Tabla 22.</i> Determinación del cloro residual en el Tanque 1 de Vivero Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).....	38
<i>Tabla 23.</i> Determinación del cloro residual en el Tanque 2 de Vivero Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).....	39
<i>Tabla 24.</i> Determinación del cloro residual en el Tanque 3 de Vivero Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).....	39
<i>Tabla 25.</i> Determinación del cloro residual en el Tanque 4 de Vivero Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).....	40

<i>Tabla 26.</i> Determinación del cloro residual en la Caseta de Vigilancia 1 durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	41
<i>Tabla 27.</i> Determinación del cloro residual en el Postgrado de Odontología durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	41
<i>Tabla 28.</i> Determinación del cloro residual en la DGAE durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	42
<i>Tabla 29.</i> Determinación del cloro residual en el Centro de Ciencias de la Atmósfera durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	42
<i>Tabla 30.</i> Determinación del cloro residual en la Caseta de Vigilancia 6 durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	43
<i>Tabla 31.</i> Determinación del cloro residual en la Tienda UNAM durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	43
<i>Tabla 32.</i> Determinación del cloro residual en Patrimonio Universitario durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	44
<i>Tabla 33.</i> Determinación del cloro residual en el Museo de Ciencias UNIVERSUM durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).	44
<i>Tabla 34.</i> Determinación del cloro residual en la Caseta de Vigilancia 1 durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).	45
<i>Tabla 35.</i> Determinación del cloro residual en el Postgrado de Odontología durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).	45
<i>Tabla 36.</i> Determinación del cloro residual en la DGAE durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).	46
<i>Tabla 37.</i> Determinación del cloro residual en el Centro de Ciencias de la Atmósfera durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).	47
<i>Tabla 38.</i> Determinación del cloro residual en la Caseta de Vigilancia 6 durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).	48
<i>Tabla 39.</i> Determinación del cloro residual en la Tienda UNAM durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).	49
<i>Tabla 40.</i> Determinación del cloro residual en Patrimonio Universitario durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).	50
<i>Tabla 41.</i> Determinación del cloro residual en UNIVERSUM durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09).	50
<i>Tabla 42.</i> Resultados del cloro residual utilizando EPANET	52
<i>Tabla 43.</i> Resumen de muestras positivas a bacterias y colifagos en agua residual tratada que se reusa en riego de áreas verdes.	55
<i>Tabla 44.</i> Resultados promedio del análisis microbiológico de pasto y pasto con raíz en la temporada fría-seca.	56
<i>Tabla 45.</i> Resultados del análisis microbiológico de pastos y pasto con raíz en la temporada cálida-lluviosa aplicando el Método 2.	57
<i>Tabla 46.</i> Características de los tanques de almacenamiento de agua potable con que cuenta Ciudad Universitaria.	67
<i>Tabla 47.</i> Pruebas preliminares para determinar la capacidad de las bombas que deben usarse en el sistema de desinfección.	69
<i>Tabla 48.</i> Pruebas de generación de ozono en fase gas.	70
<i>Tabla 49.</i> Cuantificación de la concentración de ozono en fase acuosa.	71
<i>Tabla 50.</i> Determinación de cloro residual.	71

<i>Tabla 51.</i> Variedades comerciales del cloro y sus principales propiedades.	75
<i>Tabla 52.</i> Dosificación de Hipoclorito de Sodio al 13% en pozos de abastecimiento.	76
<i>Tabla 53.</i> Clasificación de algunos de los equipos dosificadores de cloro más usados.....	77
<i>Tabla 54.</i> Resistencia a las diferentes formas de cloro que ofrecen algunos de los materiales más comunes.	78
<i>Tabla 55.</i> Ventajas y desventajas de los dosificadores de cloro y sus derivados.....	79
<i>Tabla 56.</i> Costos de la de la desinfección con Hipoclorito de Sodio (Na OCl) (dosificadores).	80

I. DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DE AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA

Abastecimiento

En el laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería se llevaron a cabo 95 análisis para evaluar 11 parámetros de la NOM-AA-127-2000. De estos 95 análisis, 15 se realizaron en cada uno de los tres pozos, 15 se hicieron en el tanque de almacenamiento, otros 15 en una cisterna y 20 en una toma del Edificio 5 del Instituto de Ingeniería (10 antes del filtro y 10 después del filtro). Los 11 parámetros analizados fueron los siguientes: pH, turbidez, temperatura, conductividad, nitratos, cloro libre residual, sólidos disueltos totales, nitrógeno amoniacal, surfactantes, coliformes fecales y coliformes totales.

También se realizaron siete análisis en un laboratorio certificado para evaluar los 46 parámetros establecidos en la norma:

. Cloro residual libre	- pH
. Turbidez	- sólidos disueltos totales
. Sulfatos	- nitratos
. Nitritos	- nitrógeno amoniacal
. Surfactantes	- cloruros
. Dureza total	- fenoles, fierro, fluoruros
. Hidrocarburos aromáticos	- benceno,
. Etilbenceno	- tolueno
. Xileno	- coliformes totales
Coliformes fecales	- plaguicidas
Aldrín	- dieldrín
Clordano	- DDT
Lindano	- hexaclorobenceno
Heptacloro	- metoxicloro, 2,4 D
. Trihalometanos totales	. iodo residual libre
. Aluminio	. arsénico
. Bario	. cadmio
. Cianuros	. zinc
. Manganeso	. mercurio
. Plomo	. sodio
. Cobre	. cromo total
. Color	. olor y sabor
. Radiactividad beta global	. radioactividad alfa global.

Se encontró que las concentraciones de los componentes fisicoquímicos y microbiológicos están por debajo de los límites establecidos por la norma aplicable.

Únicamente la concentración de nitratos en el Pozo Vivero Alto se encuentra cercana a los límites permisibles. En la *Tabla 1* se muestra la caracterización del agua potable en C.U.

Tabla 1. Caracterización de agua potable en el subsistema de suministro de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2000, evaluada por un laboratorio externo certificado.

PARÁMETRO	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	POZO Química	POZO Multifamiliar	POZO Vivero Alto
Aluminio	mg/L	0,20	0,15	0,15	0,15
Arsénico (Nota 2)	mg/L	0,05	0,0020	0,0016	0,0018
Bario	mg/L	0,70	0,15	0,15	0,15
Cadmio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005
Cianuros (como CN ⁻)	mg/L	0,07	0,02	0,02	0,02
Cloro residual libre	mg/L	0,2-1,50	0,06	0,06	0,06
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/L	250,00	74	45	49
Cobre	mg/L	2,00	0,01	0,01	0,01
Cromo total	mg/L	0,05	0,02	0,02	0,02
Dureza total (como CaCO ₃)	mg/L	500,00	112	130	107
Fenoles o compuestos fenólicos	mg/L	0,3	0,001	0,001	0,001
Hierro	mg/L	0,30	0,015	0,015	0,015
Fluoruros (como F ⁻)	mg/L	1,50	0,42	0,16	0,68
Hidrocarburos aromáticos.	µg/L				
Benceno	µg/L	10,00	0,10	0,10	0,10
Etilbenceno	µg/L	300,00	0,10	0,10	0,10
Tolueno	µg/L	700,00	0,01	0,01	0,10
Xileno (tres isómeros)	µg/L	500,00	0,20	0,20	0,10
Manganeso	mg/L	0,15	0,01	0,01	0,01
Mercurio	mg/L	0,001	0,0005	0,0005	0,0005
Nitratos (como N)	mg/L	10,00	0,45	1,12	2,50
Nitritos (como N)	mg/L	1,00	0,002	0,002	0,002
Nitrógeno amoniacal (como N)	mg/L	0,50	0,32	0,49	0,32
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH		6,5-8,5	7,00	7,08	6,97
Plaguicidas en microgramos/Litro:					
Aldrin y dieldrin (separados o combinados)	µg/L	0,03	0,02	0,02	0,02
Clordano (total de isómeros)	µg/L	0,20	0,10	0,10	0,10
DDT (total de isómeros)	µg/L	1,00	0,5	0,5	0,5
Gamma-HCH (lindano)	µg/L	2,00	1,00	1,00	1,00
Hexaclorobenceno	µg/L	1,00	0,5	0,5	0,5
Heptacloro y epóxido de heptacloro	µg/L	0,03	0,02	0,02	0,02
Metoxicloro	µg/L	20,00	10,00	10,00	10,00
2,4 – D	µg/L	30,00	10,00	10,00	10,00
Plomo	mg/L	0,01	0,005	0,005	0,005
Sodio	mg/L	200,00	35,53	19,89	24,82
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000,00	299	303	287
Sulfatos (como SO ₄ ⁼²)	mg/L	400,00	6	27	25
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	0,50	0,01	0,01	0,01
Trihalometanos totales	mg/L	0,20	0,10	0,10	0,10
Yodo residual libre	mg/L	0,2-0,5	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	5,00	0,01	0,01	0,01

Los valores registrados de cloro libre residual en los pozos se encuentran dentro de los límites superiores máximos permisibles que establece la norma. En relación con el límite inferior, se observó que en los tres pozos se encuentra con un valor de $<0,06$ mg/l y la norma establece un intervalo de 0,2-1,50 mg/l. En las Figuras 1, 2 y 3 se pueden apreciar dichos datos.

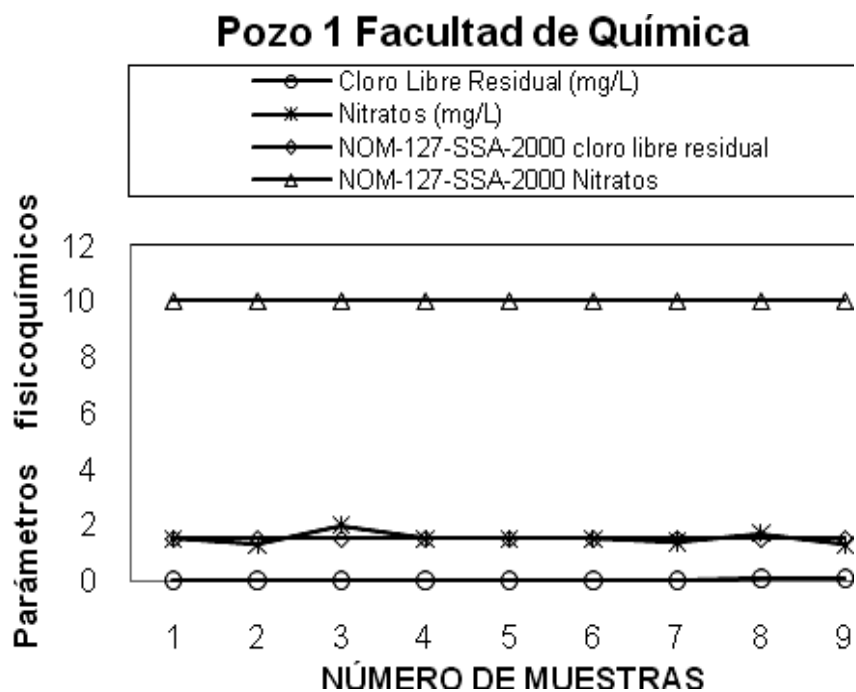


Figura 1. Cloro libre residual y nitratos en el Pozo Química.

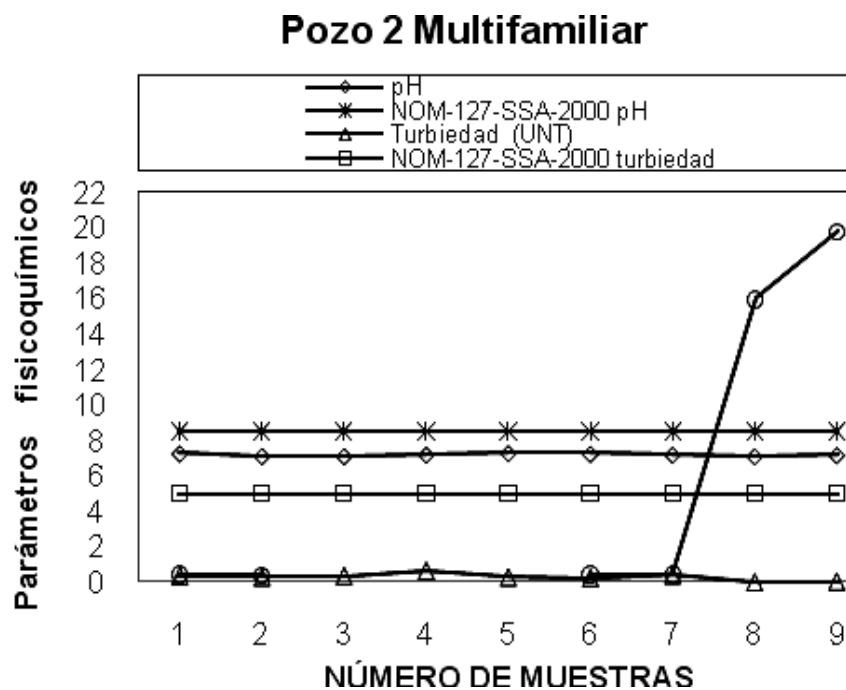


Figura 2. Cloro libre residual y nitratos en el Pozo Multifamiliar.

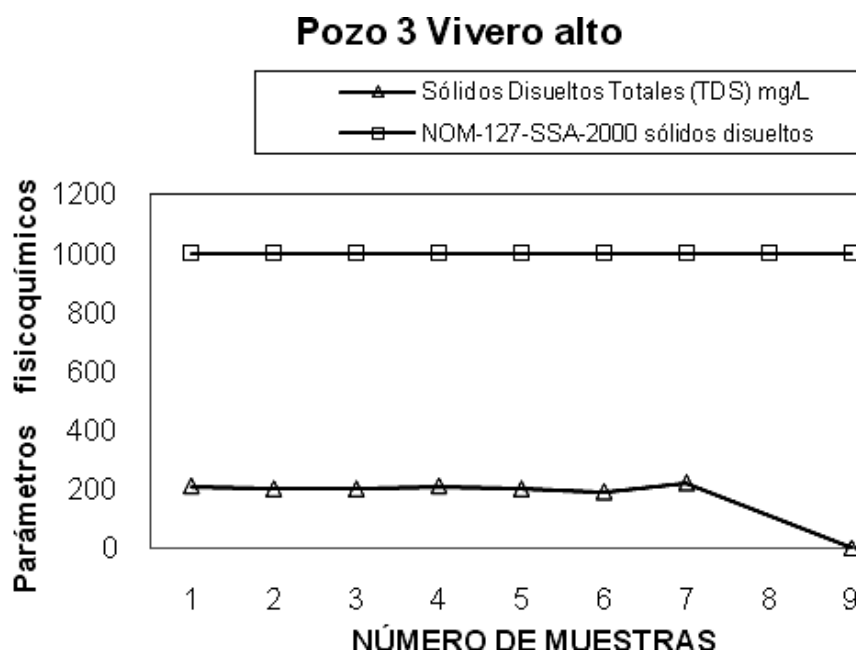


Figura 3. Cloro libre residual y nitratos en el Pozo Vivero Alto.

Regularización

Se llevaron a cabo 10 muestreos de parámetros seleccionados en el Tanque Bajo y uno en el Tanque del Vivero Alto. En el laboratorio del Instituto de Ingeniería se analizaron los parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura ($^{\circ}$ C), conductividad (mS/cm), nitratos (mg/L), cloro libre residual (mg/L), sólidos disueltos totales (mg/L), Nitrógeno amoniacal (mg/L) y surfactantes (mg/L), así como parámetros microbiológicos: coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas.

Asimismo, se envió una muestra del Tanque Bajo a un laboratorio externo certificado para emitir un diagnóstico más completo de la calidad del agua en dicho tanque, para lo cual se determinaron los siguientes parámetros: Cloro residual libre (mg/L), pH (en unidades de pH), Turbiedad (UTN), Sólidos disueltos totales (mg/L), Sulfatos (mg/L), Nitratos (mg/L), Nitritos (mg/L), Nitrógeno amoniacal (mg/L), Surfactantes (mg/L), Cloruros (mg/L), Dureza total (mg/L), Fenoles (mg/L), Fierro (mg/L), Fluoruros (mg/L), Hidrocarburos aromáticos (microgramos/L), Benceno (μ g/L), Etilbenceno (μ g/L), Tolueno (μ g/L), Xileno (μ g/L), Coliformes totales (UFC/100 mL), Coliformes fecales (UFC/100 mL), Plaguicidas (microgramos/L), Aldrín (μ g/L) y dieldrín (μ g/L), Clordano (μ g/L), DDT(μ g/L), Gamma-HCH (lindano) (μ g/L), Hexaclorobenceno (μ g/L), Heptacloro (μ g/L), Metoxicloro (μ g/L), 2,4 D (μ g/L), Trihalometanos totales (μ g/L), Yodo residual libre (mg/L), Aluminio (mg/L), Arsénico (mg/L), Bario (mg/L), Cadmio (mg/L), Cianuros (mg/L), Zinc (mg/L), Manganeseo

(mg/L), Mercurio (mg/L), Plomo (mg/L), Sodio (mg/L), Cobre (mg/L), Cromo total (mg/L), Color (Pt-Co), Olor y sabor, Radioactividad beta global, Radioactividad alfa global.

Algunas de las evaluaciones de la calidad del agua en el subsistema de almacenamiento, específicamente en el Tanque Bajo, se pueden observar en las *Figuras 4 y 5* y *Tabla 2* se muestran los resultados de los análisis del Tanque del Vivero Alto.

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

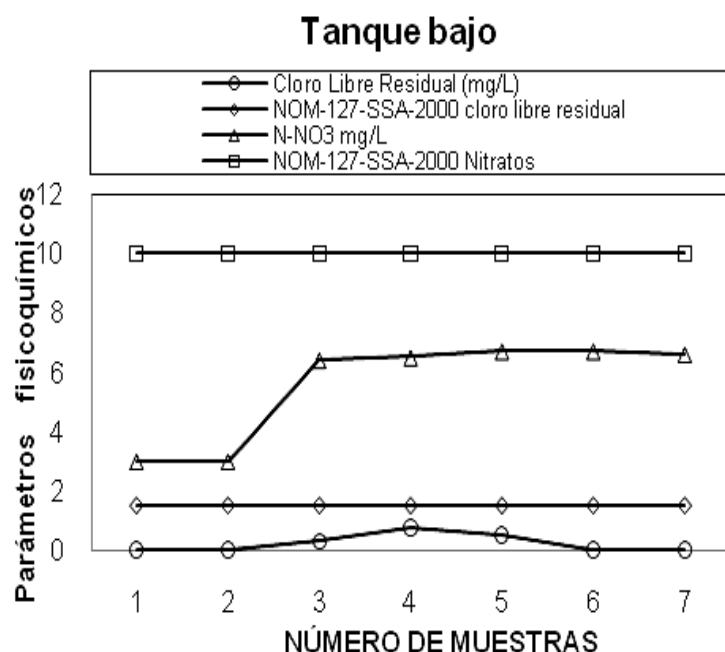


Figura 4. Comparación de parámetros fisicoquímicos evaluados en el tanque bajo con los parámetros establecidos en la norma “Cloro Libre Residual” y en la Norma-NO3

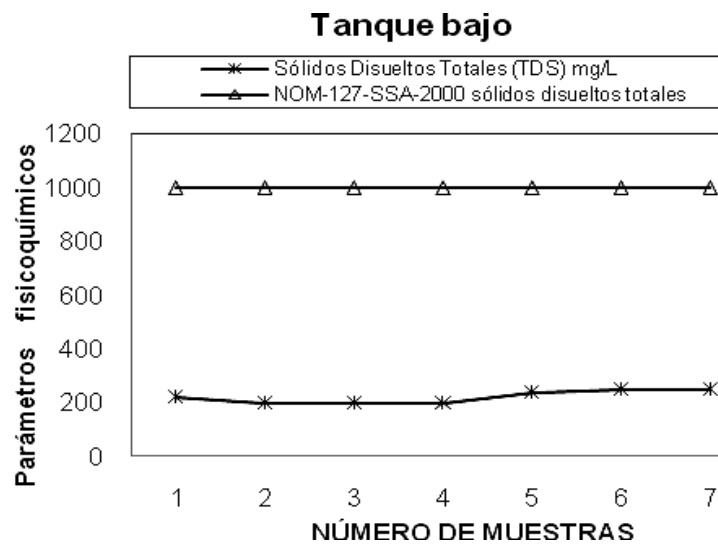


Figura 5. Comparación de parámetros fisicoquímicos evaluados en el Tanque Bajo con los parámetros establecidos en la norma “Sólidos Disueltos Totales”.

Tabla 2. Calidad del agua del tanque Vivero Alto.

Parámetro	Unidades	MUESTREO
		1
pH		7.23
Temperatura	° C	18.2
Turbiedad	UNT	0.28
Conductividad	mS/cm	0.39
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	2.7
Cloro Libre Residual	mg/L	1.66
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	200
N-NH ₃	mg/L	<0.03
Surfactantes	mg/L	
Coliformes Fecales	UFC/100mL	0.00E+00
Coliformes Totales	UFC/100mL	0.00E+00
Bacterias Heterotróficas	UFC/100mL	0.00E+00

Agua potable en el interior de los edificios

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

suministro (antes del filtro en el área de café), como en el punto de consumo directo (después del filtro en el área de café).

Se evaluó la calidad del agua en todas las muestras de consumo directo mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos los cuales incluyen las siguientes determinaciones realizadas por el Instituto de Ingeniería: pH, temperatura (° C), conductividad (mS/cm), nitratos (mg/L), cloro libre residual (mg/L), sólidos disueltos totales (mg/L), nitrógeno amoniacal (mg/L) y surfactantes (mg/L), así como parámetros microbiológicos: coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas.

Los resultados fueron complementados y corroborados por el mismo laboratorio certificado que tomo las muestras en los pozos; en la *Tabla 3* se muestran los resultados. El laboratorio hizo un muestreo en los puntos de consumo seleccionados en el Edificio 5; esto, con la finalidad de cubrir la totalidad de los parámetros críticos que rebasaran o se acercaran a los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normatividad mexicana para agua potable. Los resultados del laboratorio certificado indican que ninguno de los parámetros evaluados que se incluyen en la NOM-127-SSA1-2000, rebasan los límites establecidos.

Tabla 3. Calidad del agua de la llave y el filtro purificador del área de café del Edificio 5 del Instituto de Ingeniería, evaluada por un laboratorio certificado externo.

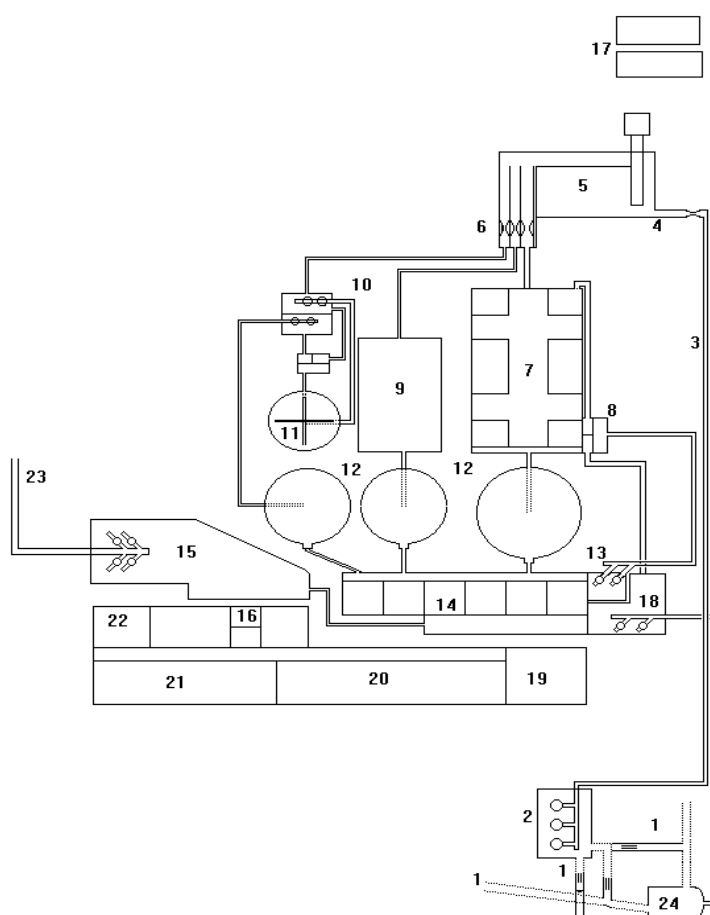
Característica	Unidades	Límite permisible	Filtro	Llave
Aluminio	mg/L	0,20	<0.15	<0.15
Arsénico (Nota 2)	mg/L	0,05	0.0008	0.0007
Bario	mg/L	0,70	<0.15	<0.15
Cadmio	mg/L	0,005	<0.005	<0.005
Cianuros (como CN-)	mg/L	0,07	<0.02	<0.02
Cloro residual libre	mg/L	0,2-1,50	0.80	0.80
Cloruros (como Cl-)	mg/L	250,00	46	46
Cobre	mg/L	2,00	0.03	<0.01
Color	Pt-Co	20	0	0
Cromo total	mg/L	0,05	<0.02	<0.02
Dureza total (como CaCO ₃)	mg/L	500,00	125	143
Fenoles o compuestos fenólicos	mg/L	0,3	<0.001	<0.001
Hierro	mg/L	0,30	<0.015	<0.015
Fluoruros (como F-)	mg/L	1,50	0.550	0.442
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:				
Benceno	µg/L	10,00	<0.10	<0.10
Etilbenceno	µg/L	300,00	<0.10	<0.10
Tolueno	µg/L	700,00	<0.10	<0.01
Xileno (tres isómeros)	µg/L	500,00	<0.20	<0.20
Manganeso	mg/L	0,15	<0.01	<0.01
Mercurio	mg/L	0,001	<0.0005	<0.0005
Nitratos (como N)	mg/L	10,00	8.73	9.64
Nitritos (como N)	mg/L	1,00	<0.001	<0.001
Nitrógeno amoniacal (como N)	mg/L	0,50	<0.06	<0.06
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	Unidades	6,5-8,5	6.79	6.7
Plaguicidas en microgramos/l:				
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	µg/L	0,03	<0.02	<0.02
Clordano (total de isómeros)	µg/L	0,20	<0.10	<0.10
DDT (total de isómeros)	µg/L	1,00	<0.5	<0.5
Gamma-HCH (lindano)	µg/L	2,00	<1.0	<1.0
Hexaclorobenceno	µg/L	1,00	<0.5	<0.5
Heptacloro y epóxido de heptacloro	µg/L	0,03	<0.02	<0.02
Metoxicloro	µg/L	20,00	<10.00	<10.0
2,4 – D	µg/L	30,00	<10.00	<10.0
Plomo	mg/L	0,01	<0.005	<0.005
Sodio	mg/L	200,00	33.87	33.87
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000,00	323	327
Sulfatos (como SO ₄ =)	mg/L	400,00	18	17
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	0,50	0.32	<0.01
Trihalometanos totales	mg/L	0,20	<0.10	<0.10
Turbiedad	UTN	5	0.215	0.151
Yodo residual libre	mg/L	0,2-0,5	<0.02	<0.02
Zinc	mg/L	5,00	<0.01	<0.01
Coliformes Fecales	NMP/100ml	Ausencia	<1.1	<1.1
Coliformes Totales	NMP/100ml	Aucencia	<1.1	<1.1
Cuenta estándar	UFC/100ml	----	0	1.5 x 10
Olor	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro
Sabor	Insaboro	Insaboro	Insaboro	Insaboro

Plantas de tratamiento

➤ Planta de tratamiento de Cerro del Agua

Esquema de la planta de tratamiento de cerro del Agua

1. Colectores (3)
2. Cárcamo de bombeo de agua cruda
3. Tubería de alimentación
4. Canal de entrada
5. Tanque desarenador
6. Medidores Parshall (3)
7. Tanque de aeración
8. Caja partidora
9. Discos biológicos rotatorios
10. Cárcamo de bombeo
11. Filtro biológico
12. Sedimentadores secundarios (3)
13. Cárcamo de lodos
14. Filtros de arena (6)
15. Tanque de contacto de cloro
16. Dosificador de cloro
17. Tanque de gas cloro
18. Cárcamo de aguas de lavado y pluviales
19. Cuarto de control
20. Laboratorios
21. Oficinas
22. Subestación eléctrica
23. Tubería de alimentación a cisternas
24. Drenaje municipal



En la planta se llevan a cabo los procesos de pre-tratamiento, tratamiento secundario y tratamiento terciario. Para el pre-tratamiento, la planta cuenta con un sistema de rejillas metálicas que separan los residuos sólidos de gran tamaño, y con un desarenador. El tratamiento secundario se lleva a cabo mediante un sistema de lodos activados, un sistema de discos biológicos rotatorios y un filtro rociador. Para el tratamiento terciario se utilizan filtros de arena que eliminan partículas suspendidas en el agua tratada. Finalmente, casi toda el agua filtrada se envía directamente al cárcamo de agua tratada; mientras que una pequeña cantidad es bombeada hacia un dosificador de cloro, donde se prepara una solución lo suficientemente concentrada para que se diluya al unirse con la corriente principal. Desde este mismo tanque de contacto con cloro se bombea el agua hacia las cisternas donde es consumida.

A partir del año 2002 el agua que llega a la planta de Cerro del Agua ha presentado una mayor concentración de contaminantes.

La *Figura 6* se muestra las tendencias en Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendedos Totales (SST) en la salida del desarenador que alimenta a los procesos biológicos.

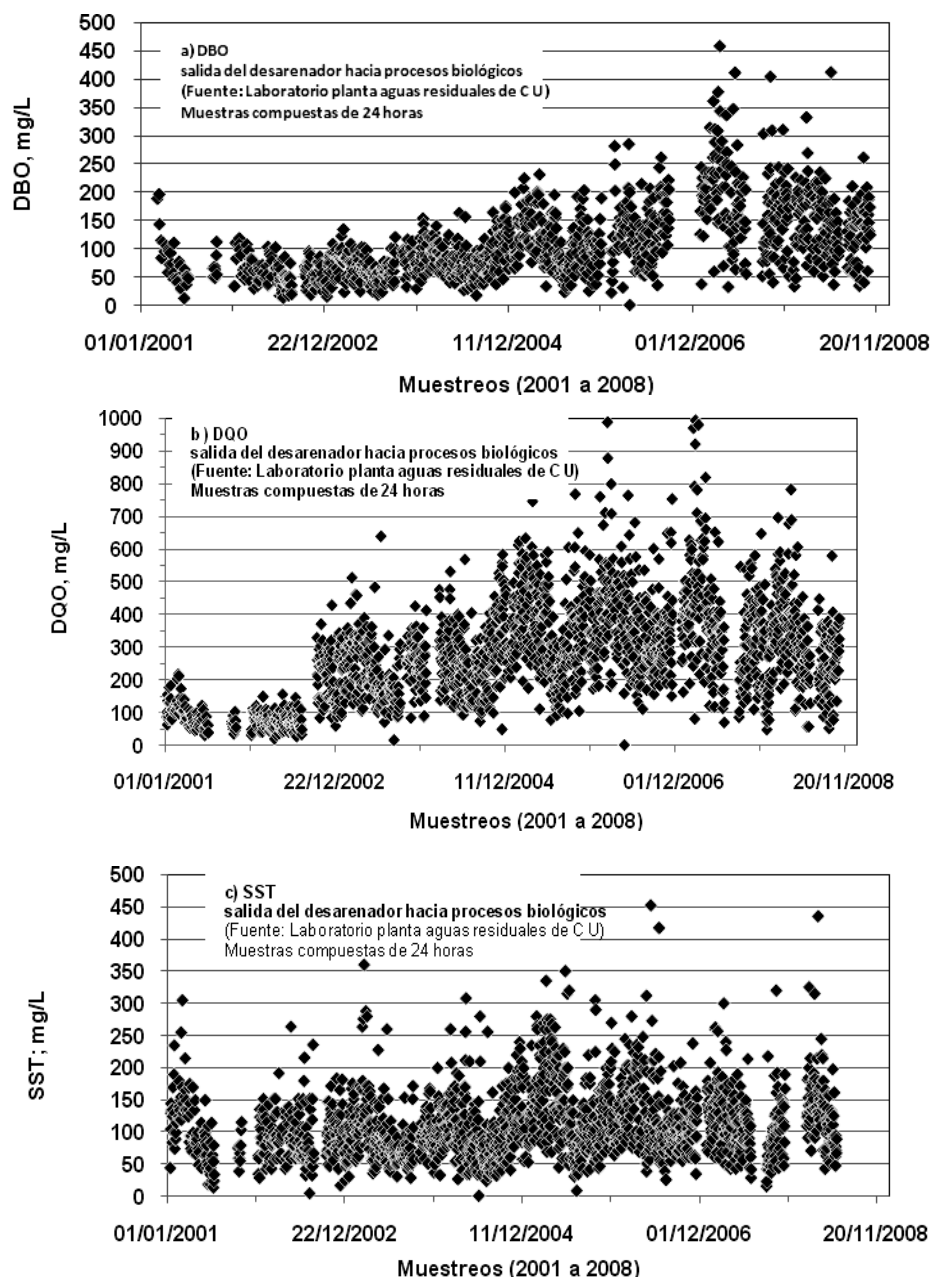


Figura 6. Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendedos Totales del agua que alimenta los procesos biológicos de la Planta de Cerro del Agua entre 2001 y 2008.

En cuanto a los análisis de la calidad de agua realizados en 2008, los parámetros evaluados fueron los siguientes: gasto (l/s) sólidos suspendidos totales SST (mg/l), Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/l), Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/l), Carbón Orgánico Total COT (mg/l), surfactantes (mg/l), pH, Temperatura (°C), Conductividad (ms/cm) y Coliformes Fecales (UFC/100 ml). Ver *Tabla 4*.

Tabla 4. Calidad del agua de la Planta de Tratamiento de Cerro del Agua, evaluada en 2008.

SITIO DE MUESTREO	Gasto L/s	(SST) mg/L	(DQO) mg/L	(DBO ₅) mg/L	(COT) mg/L	N-NO ₃ mg/L	SAAM	pH	Conductividad ms/cm	(SDT) mg/L	Temperatura (°C)
INFLUENTE	6.831	176	402	186	130	2	5.37	7.4	0.84	420	19.5
EFLUENTE: LODOS ACTIVADOS	9.27	25	70	14	18	6	7.86	7.3	0.63	310	19.7
EFLUENTE: BIODISCOS	5.56	15	46	12	11	5	1.65	7.4	0.5	250	19.7
EFLUENTE: FILTRO ROCIADOR	4.76	16	69	15	15	4	2.8	7.8	0.48	250	19.5

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

Para el pre-tratamiento, cuenta con un arenero, una rejilla de cribado grueso y una rejilla de cribado fino. Posteriormente el agua se vierte en un tanque regulador de las cargas hidráulica y orgánica que alimentan a los reactores biológicos.

El tratamiento secundario se lleva a cabo mediante reactores biológicos del tipo de biopelícula suspendida aerobia; Se cuenta también con un sedimentador secundario de placas paralelas (lamelas). Los lodos se extraen por medio de una bomba sumergible y se conducen hasta el digestor.

Para el tratamiento terciario, el efluente se envía al tanque de alimentación del filtro de arena del tipo a presión. Posteriormente, la desinfección se realiza en la línea de descarga del filtro de arena, en la cual se dosifica una solución de hipoclorito de sodio mediante una bomba peristáltica. El agua, una vez tratada, se conduce hasta un tanque donde se almacena y desde allí se distribuye. La planta cuenta también con un digestor de lodos del tipo aerobio; una vez digeridos los lodos, se bombean al tanque de acondicionamiento para su deshidratación; para este propósito, se cuenta con un filtro prensa. En la *Figura 7* se muestra un esquema de la planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

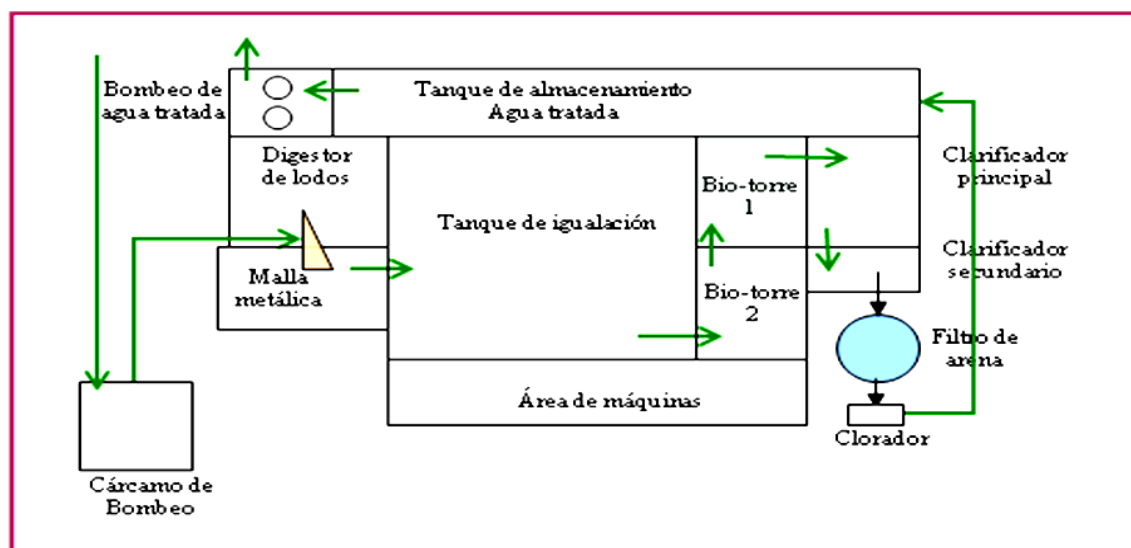


Figura 7. Diagrama de la Planta de Tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

Al analizar la calidad del agua de la Planta de Tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, evaluada en 2008, la calidad del agua generada por esta planta, se encontró que cumple parcialmente con lo establecido en la legislación para el reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional, ya que de seis muestreos de Demanda Bioquímica de Oxígeno que se hicieron, cuatro rebasan el valor máximo establecido en la normatividad y sólo dos cumplen con este propósito. En el caso de Sólidos Suspendidos Totales, la Planta de Tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales no obtiene agua con la calidad necesaria para su reuso en servicios al público con contacto directo ni para servicios al público con contacto indirecto u ocasional, ya que los valores obtenidos son mayores de 30 mg/L, que es el máximo permitido en la NOM-003-SEMARNAT-1997. En la *Tabla 5* se muestran algunos de los parámetros o elementos medidos, con sus correspondientes resultados.

Tabla 5. Calidad del agua de la Planta de Tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, evaluada en 2008.

SITIO DE MUESTREO	Gasto L's	(SST) mg/L	(DQO) mg/L	(DBO ₅) mg/L	(COT) mg/L	N-NO ₃ mg/L	SAAM	pH	Conductividad ms/cm	(SDT) mg/L	Temperatura (°C)
INFLUENTE	3.196	361	715	295	207	1	2.4	8.2	0.98	490	19.4
EFLUENTE		44	130	33	35	6	13.9	7.7	1.08	542	19.54

➤ Planta de tratamiento del Instituto de Ingeniería

La planta está equipada para realizar tratamiento primario, secundario y terciario. El primario se lleva a cabo en una fosa séptica; el secundario consiste en un sistema de lodos activados y el terciario se da mediante un filtro de arena del tipo a presión. La desinfección se efectúa en la línea de descarga, en la cual se adiciona una cantidad de cloro mediante un dosificador. Finalmente, el sistema de almacenamiento consta de dos tanques con una capacidad de 5000 L

cada uno. De acuerdo con el diseño de la planta, el agua debe ser bombeada a los tanques de almacenamiento del Edificio 12, los cuales abastecen la demanda de agua en sanitarios. El esquema de la planta de tratamiento se muestra en la *Figura 8*

En la *Tabla 6* se muestran algunos de los resultados obtenidos en 2008 de 35 muestreos del agua tratada. Los resultados manifiestan que hasta el último muestreo se registraron en promedio 68.4 mg/L de materia orgánica medida como DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) , superiores al límite máximo de 30 mg/L que marca la NOM-003-SEMARNAT-1997, por lo que no cumplen con la normatividad para el reuso en servicios al público con contacto directo, indirecto u ocasional. En cuanto a Sólidos Suspendedos Totales (SST), los valores obtenidos (82.7 mg/L) son mayores que el máximo establecido en la NOM-003-SEMARNAT-1997 (30 mg/L), por lo que el agua tratada tampoco tiene la calidad suficiente para reutilizarse en servicios al público con contacto directo, indirecto u ocasional.

Tabla 6. Calidad del agua en la Planta de Tratamiento del Instituto de Ingeniería, en 2008.

Parámetro	Influyente	Efluente	NOM 003-ECOL- 1997	Cumple
Coliformes fecales UFC/100 ml	6 X 10 ⁶	4.6 X 10 ⁶	1 X 10 ³	NO
Huevos de helminto He/L	No Detectado	No Detectado	≤ 5	SI
SST mg/L	405.28	75.3	30	NO
DBO ₅ mg/L	375.98	65.71	30	NO
Grasas y aceites mg/L	72.63	7.366	15	SI
Arsénico mg/L	No Detectado	No Detectado	0.4	SI
Cadmio mg/L	<0.0401	No Detectado	0.4	SI
Cobremg/L	0.2	0.08	6.0	SI
Cromo mg/L	0.015	0.008	1.5	SI
Mercurio mg/L	0.001	0.0004	0.02	SI
Níquel mg/L	0.013	No Detectado	4	SI
Plomo mg/L	0.04	No Detectado	1	SI
Zinc mg/L	0.16	0.11	20	SI

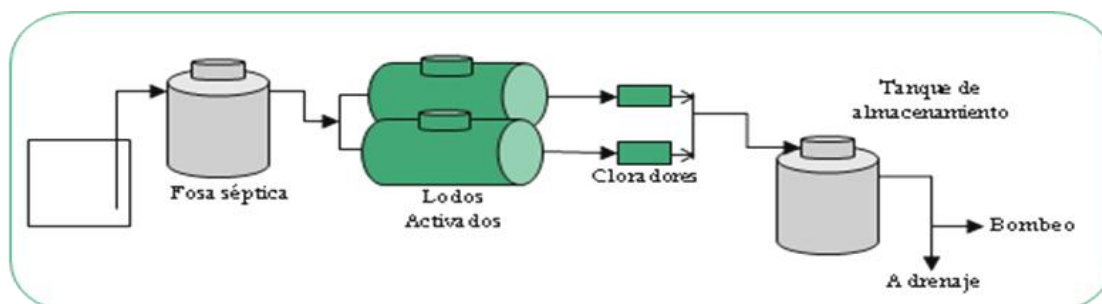


Figura 8. Diagrama de la Planta de Tratamiento del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería.

➤ Plantas BRAIN

Tabla 7. Calidad del agua en las 15 plantas BRAIN analizadas en 2008.

Planta	Temp °C	pH	SST mg/L	DBO5 mg/L	Materia Flotante	Coliformes Fecales UFC/100 mL
NOM-001-ECOL-1996	40	5.1	40	30	Ausente	1,00E+03
Estadio Olímpico	17.1	7.7	18.28	12.14	No	1,07E+06
Medicina deportiva	16.77	8	40.14	47.57	Poca	2,59E+05
Canchas futbol.	16.87	7.5	58.42	44.85	Abundante	4,36E+06
Gimnasio	17.38	7.8	21.42	17.57	Poca	3,11E+05
Mesa vibradora	16.05	8.4	28.85	22.42	Poca	8,73E+01
Mesa vibradora (taller)	16.84	7.8	43.28	41.42	Poca	3,43E+04
C. de doración	16.01	8.2	21.57	18.57	No	9,29E+03
C. Av. Insurgentes	15.94	8	26.57	19	Poca	1,11E+02
Sala Netzahualcóyotl	15.21	7.7	51.85	56.42	Abundante	2,85E+06
Teatro y danza	15.04	8.1	29.71	12.28	Poca	2,50E+02
Av. Imán (baños públicos)	17.71	8.1	34.83	50.83	Poca	4,30E+05
C. Metro Universidad	17.9	7.9	44.28	78.28	Abundante	1,26E+07
Posgrado Odontología N	16.68	8.1	43.28	70.57	Poca	1,20E+06
Posgrado Odontología S	17.02	8.1	31.42	62.71	Abundante	9,20E+05
Comedor Anexo Ingeniería	15.91	8.1	145.7	98	Abundante	9,36E+02

II. INSTITUTO DE ECOLOGÍA

Procesamiento de muestras

Las muestras de agua fueron procesadas en función de su tipo. Los volúmenes de muestra fueron como sigue:

<i>Tabla 8. Tipo de agua</i>	
Tipo de agua	Volumen (L)
subterránea sin desinfección	100
residual tratada	10
residual tratada de reuso (riego)	10
residual	1

Para el análisis de colifagos y enterovirus, las muestras fueron concentradas por el método de ultrafiltración, excepto de las muestras de agua residual para las que no es necesario concentrar. La ultrafiltración se llevo a cabo con filtros F80A (Fresenius) estériles que fueron previamente bloqueados con NaPP (0.1%). El agua se hizo pasar a presión utilizando una bomba peristáltica (Masterflex, ColeParmer) a una velocidad de 1,700 mL/min. El volumen concentrado fue en todos los casos aproximado de 100mL. Las muestras concentradas se conservaron a -70°C.

Las muestras de pasto (25g) fueron procesadas a fin de recuperar bacterias coliformes fecales, estreptococos fecales y colifagos, de la superficie vegetal. La recuperación se hizo a partir del lavado del pasto con una solución de PBS para bacterias y de PBS+NaCl 1M para colifagos. A partir de la solución de lavado se cuantificaron a las bacterias indicadoras y colifagos como se describe abajo.

Para la detección de bacterias indicadoras las muestras fueron procesadas por el método estandarizado de filtración por membrana y utilizando medios específicos, m-FC para coliformes fecales y KF para estreptococos fecales (APHA, 2005). Brevemente, se filtran 100mL de muestra a través de una membrana de nitrocelulosa. La membrana se transfiere a las cajas con medio de cultivo y se incuban a 37°C por 48h para coliformes fecales y a 44.5°C por 24h para estreptococos fecales.

Si es necesario se hacen diluciones seriadas de la muestra a fin de que las colonias en los medios de cultivo sean contables. Los resultados se reportan como UFC/100mL.

La detección de colifagos (RNA F-específicos) se realizo por medio del método de doble capa de agar, de acuerdo con el protocolo ISO 10705-1; la bacteria hospedero que se utilizo fue *Escherichia coli* K-12 Hfr (ATCC 23631).

Los enterovirus se detectarán a partir de las muestras concentradas por ultrafiltración (Fresenius) y reconcentradas por centrifugación utilizando elementos filtrantes de un corte de

100 kDa (Millipore). Posterior a la reconcentración, las muestras se someterán a RT-PCR para la amplificación de un segmento de 196 pb de la región 5' no codificante. La extracción de RNA se realiza utilizando el kit QIAmp RNA (Qiagen). La reacción de transcripción reversa se realiza con la enzima SuperScript III (Invitrogen) de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La amplificación del segmento de interés se realiza con la enzima Taq platinum (Invitrogen) bajo las siguientes condiciones. 94°C por 10 min; 36 ciclos de 94°C por 1min, 58°C por 1min y 72°C por 1min; 72°C por 15 min.

Las bandas amplificadas se visualizan con luz UV a partir de geles de agarosa 1.5%, teñidos con bromuro de etidio.

III. FACULTAD DE MEDICINA

a) Detección e identificación de Micobacterias no Tuberculosas en agua de uso y consumo humano y de reuso para riego en Ciudad Universitaria.

1 L de agua se centrifuga, se elimina el sobrenadante y aproximadamente 5 mL de agua se distribuye en viales de 1mL para diferentes pruebas 750 µL de agua se le agrega NaOH 1%/SDS3% agitando 30 m a temperatura ambiente. Se equilibra el pH a 7.2 con ácido fosfórico. Se siembran 60 µL en medio Lowenstein Jensen y se incuba la muestra a 37°C /5%CO₂/30 días. Se aíslan colonias únicas en medio Middlebrook 7H10 a 37°C /5%CO₂/30 días. Se identifican las especies por el método PCR-PRA (análisis del polimorfismo de los fragmentos de DNA por PCR. Se extrae el DNA de cada colonia única y por medio del fragmento de la proteína de 65 kDa (Telenti y col.) se realiza el PCR. Se utilizan 2 enzimas de restricción para el análisis del polimorfismo (*Hae*III, *Bst*EII). Mediante un gel de agarosa (2%/100W/80m) se analizan los fragmentos y se comparan en la base de datos de PRASITE (Internet).

b) Detección de *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp. y ETEC en agua para uso y consumo humano por PCR-hibridación.

Un litro de agua de cada uno de los sitios de muestre fue concentrada por centrifugación a un volumen de 10 mL en solución de TE y almacenadas a -20°C, hasta su análisis. A una alícuota de 1 mL se le realizó la extracción de DNA mediante el uso de Tiocianato de Guanidina-EDTA-Sarkocinato. La detección de *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp. y ETEC se realizó por PCR punto final e hibridación. Los productos de amplificación se visualizaron por electroforesis utilizando geles de agarosa al 2% teñidos con Bromuro de etidio en solución amortiguadora de TBE 0.5X. Posteriormente, cada producto de amplificación se calentó a 95°C por 5 minutos, después se sumergieron de inmediato en hielo y se colocaron de manera directa sobre una membrana de nylon (Hybond-N+, Amersham Biosciences) y se fijó el fragmento de DNA a la membrana mediante luz ultravioleta. Finalmente se realizó la hibridación de los productos de PCR y se obtuvieron los resultados en placas radiográficas. Las muestras que fueron negativas a los diferentes ensayos de PCR-Hibridación se amplificaron con un control positivo de PCR utilizando para ello DNA del fago lambda e iniciadores específicos, para descartar la posibilidad de que en estas muestras estuviera presente un inhibidor de la amplificación.

IV. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA: SEGUNDA ETAPA (2009)

➤ Procesamiento de muestras.

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

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

Tipo de agua	Volumen (Litros)
subterránea sin desinfección	100
residual tratada	10
residual tratada de reuso (riego)	10
residual	1

Para el análisis de colifagos y enterovirus, las muestras fueron concentradas por el método de ultrafiltración, excepto las muestras de agua residual, para las que no es necesario hacer una concentración. La ultrafiltración se llevó a cabo con filtros F80A (Fresenius) estériles que fueron previamente bloqueados con NaPP (0.1%). El agua se hizo pasar a presión utilizando una bomba peristáltica (Masterflex, ColeParmer) a una velocidad de 1,700 mL/min. El volumen concentrado fue en todos los casos aproximado a los 100mL. Las muestras concentradas se conservaron a -70°C.

Las muestras de pasto (25g) fueron procesadas para recuperar de la superficie vegetal bacterias coliformes fecales, estreptococos fecales y colifagos. La recuperación se hizo a partir del lavado del pasto con una solución de PBS para bacterias y de PBS+NaCl 1M para colifagos. A partir de la solución de lavado se cuantificaron las bacterias indicadoras y colifagos como se describe a continuación

Para la detección de bacterias indicadoras, las muestras fueron procesadas por el método estandarizado de filtración por membrana y utilizando medios específicos: m-FC para coliformes fecales y KF para estreptococos fecales (APHA, 2005). Brevemente, se filtran 100mL de muestra a través de una membrana de nitrocelulosa. La membrana se transfiere a las cajas con medio de cultivo y se incuban a 37°C por 48 horas para coliformes fecales, y a 44.5°C por 24 horas para estreptococos fecales.

Si era necesario, se hicieron diluciones seriadas de la muestra para poder contabilizar las colonias en los medios de cultivo. Los resultados se reportan como UFC/100mL. La detección de colifagos (RNA F-específicos) se realizó por medio del método de doble capa de agar, de

acuerdo con el protocolo ISO 10705-1; la bacteria hospedera que se utilizó fue *Escherichia coli* K-12 Hfr (ATCC 23631).

Los enterovirus se detectaron a partir de las muestras concentradas por ultrafiltración (Fresenius) y reconcentradas por centrifugación utilizando elementos filtrantes de un corte de 100 kDa (Millipore). Después de la reconcentración, las muestras se sometieron a RT-PCR para la amplificación de un segmento de 196 pb de la región 5' no codificante. La extracción de RNA se realiza utilizando el kit QIAmp RNA (Qiagen). La reacción de transcripción reversa se realiza con la enzima SuperScript III (Invitrogen) de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La amplificación del segmento de interés se realiza con la enzima Taq platinum (Invitrogen) bajo las siguientes condiciones: 94°C por 10 minutos; 36 ciclos de 94°C por 1 minuto; 58°C por 1 minuto; 72°C por 1 minuto; y 72°C por 15 minutos.

Las bandas amplificadas se visualizan con luz ultravioleta a partir de geles de agarosa 1.5%, teñidos con bromuro de etidio.

➤ **Detección e identificación de Microbacterias no Tuberculosas en agua de uso y consumo humano y de reuso para riego en Ciudad Universitaria.**

El procedimiento que realizó la Facultad de Medicina es el siguiente: Un litro de agua se centrifuga, se elimina el sobrenadante y aproximadamente 5 mL de agua se distribuyen en viales de 1 mL para diferentes pruebas; a 750 µL de agua se les agrega NaOH 1%/SDS 3% agitando 30 m a temperatura ambiente. Se equilibra el pH a 7.2 con ácido fosfórico. Se siembran 60 µL en medio Lowenstein Jensen y se incuba la muestra a 37°C /5%CO₂/30 días. Se aíslan colonias únicas en medio Middlebrook 7H10 a 37°C /5%CO₂/30 días. Se identifican las especies por el método PCR-PRA (análisis del polimorfismo de los fragmentos de DNA por PCR). Se extrae el DNA de cada colonia única y se realiza el PCR por medio del fragmento de la proteína de 65 kDa (Telenti y col.). Se utilizan dos enzimas de restricción para el análisis del polimorfismo (*Hae*III, *Bst*EII). Mediante un gel de agarosa (2%/100 W/80 m) se analizan los fragmentos y se comparan en la base de datos de PRASITE (Internet).

➤ **Detección de *Campylobacter spp.*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.* y ETEC en agua para uso y consumo humano por PCR-hibridación.**

El procedimiento que realizó la Facultad de Medicina es el siguiente: Un litro de agua de cada uno de los sitios de muestreo fue concentrado por centrifugación a un volumen de 10 mL en solución de TE y almacenadas a -20°C, hasta su análisis. A una alícuota de 1 mL se le realizó la extracción de DNA mediante el uso de Tiocianato de Guanidina-EDTA-Sarkocinato. La detección de *Campylobacter spp.*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.* y ETEC se realizó por PCR punto final e hibridación.

Agua sin desinfección y agua clorada

➤ Temporada fría-seca (enero-marzo)

En la *Figura 9* se observa que en el pozo de la Facultad de Química existe un mayor número de bacterias potencialmente patógenas que en los pozos Vivero Alto y Multifamiliar, detectadas en los medios de cultivo empleados. Se registraron tres UFC/100 mL en el medio de coliformes fecales, y no se detectaron bacterias en el medio de cultivo Manitol salado agar; en el pozo Multifamiliar se detectaron menos de 50 UFC/100mL en el medio de cultivo verde brillante, tripticaseína soya agar (TSA). Finalmente, en el de Saboraud y en el pozo Vivero Alto se detectaron alrededor de 50 UFC/100 mL en el agar verde brillante y menos de 50 UFC/100mL en el TSA, Saboraud y coliformes totales.

Resultados Promedio del Agua de POZOS de CU de la temporada FRÍA-SECA

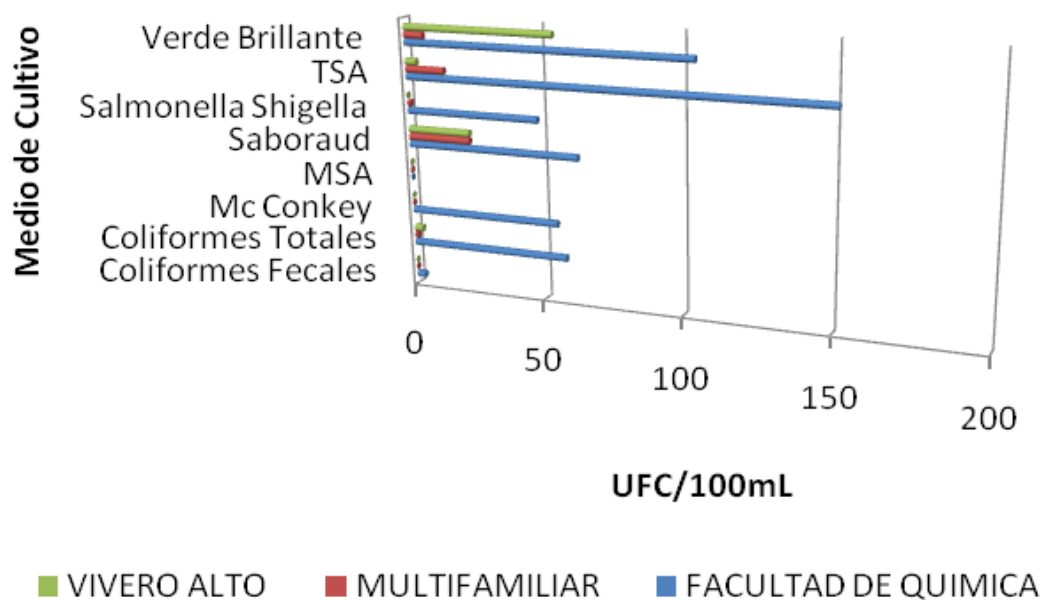


Figura 9. Promedio de los parámetros microbiológicos detectados en medio selectivo del agua de pozos en la temporada fría-seca. [UFC : Unidad Formadora de Colonia]

De los análisis realizados por el Instituto de Ecología y Facultad de Medicina, en las *Tablas 10 y 11* se muestra un resumen de los resultados obtenidos durante la temporada fría-seca y cálida-seca; el muestreo de la temporada cálida-lluviosa aún no se concluye. Es de resaltar que la presencia en el agua subterránea de coliformes totales, enterococos fecales y colifagos, a pesar de que no ha sido constante, debe considerarse para fines de los tratamientos de desinfección.

Tabla 10. Resumen de muestras de agua subterránea sin desinfección positivas a bacterias y colifagos.

Pozo de muestreo	CF n/+	EF n/+	Colifagos n/+	MNT n/+	<i>Shigella</i> spp n/+	<i>E. coli</i> LT n/+	<i>E.coli</i> ST n/+
Multifamiliar	6/0	6/1(16.6%)	6/1 (16.6%)	4/0	4/0	4/0	4/1 (25%)
Química	6/0	6/0	6/0	4/0	4/0	4/0	4/2 (50%)
Vivero alto	6/2 (33.3%)	6/0	6/0	6/0	6/1 (16.6%)	6/0	6/2 (33.3%)

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

Tabla 11. Resumen de muestras de agua subterránea sin desinfección positivas a bacterias patógenas (Facultad de Medicina).

Pozo de muestreo	MNT n/+	<i>Shigella</i> spp n/+	<i>E. coli</i> LT n/+	<i>E.coli</i> ST n/+
Multifamiliar	4/0	4/0	4/0	4/1 (25%)
Química	4/0	4/0	4/0	4/2 (50%)
Vivero alto	6/0	6/1 (16.6%)	6/0	6/2 (33.3%)

➤ Temporada cálida – seca (abril-junio)

Como se puede observar en la *Figura 10* durante la temporada cálida-seca se detectaron más UFC/100mL en el pozo de Vivero Alto, en el medio de coliformes totales, que en los pozos de la Facultad de Química y Multifamiliar; pero donde se observa un problema es en el pozo de la Facultad de Química, ya que se cuantificaron 45 UFC/100 mL en el medio para coliformes fecales. También se observó la presencia de coliformes totales, así como bacterias en agar verde brillante, TSA, agar salmonella shigella y Agar de Mc Conkey; en el pozo Multifamiliar se identificaron 144 UFC/100mL en el agar de salmonella- shigella.

Resultados promedio del AGUA DE POZOS de la temporada CALIDA-SECA

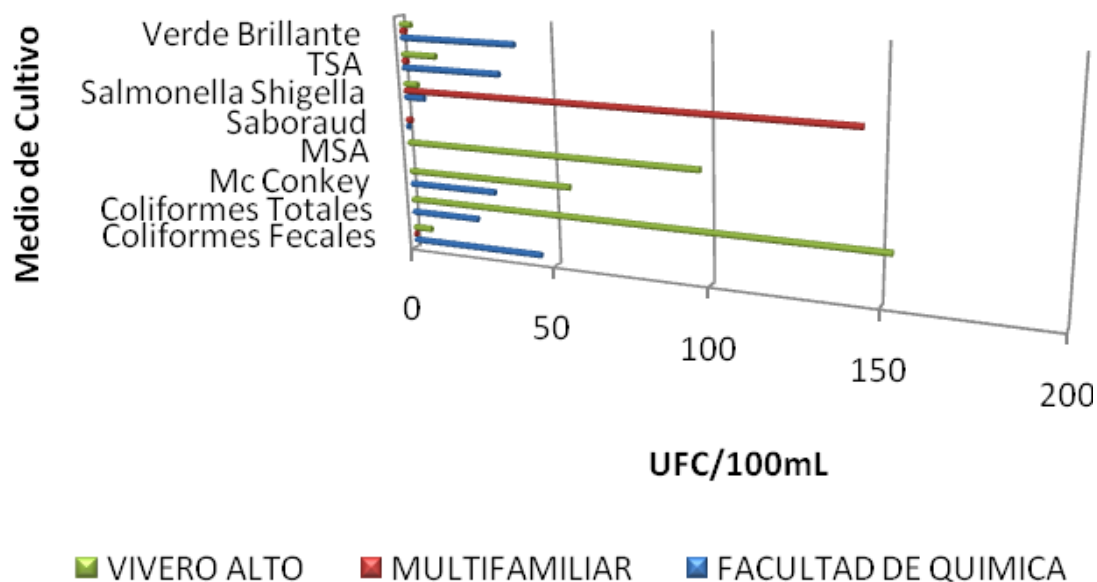


Figura 10. Promedio de los parámetros microbiológicos del agua de pozos en la temporada cálida-seca.

En la *Tabla 12* se muestran los resultados de un muestreo analizado por triplicado. Sólo se encontraron 8 UFC/ 100 mL de coliformes fecales en el pozo Vivero Alto y ninguno en los de Facultad de Química y Multifamiliar. En cuanto a los coliformes totales, en el pozo de la Facultad de Química y en el de Vivero Alto se registró la mitad que en el pozo del Vivero Alto. Cabe mencionar que estos resultados deben ser tomados con cuidado, ya que en teoría deben existir más coliformes totales que fecales.

Las muestras de agua del pozo de Vivero Alto presentaron crecimiento bacteriano en todos los medios probados, encontrándose resultados más altos en el medio verde brillante típico de *Salmonella* sp. (47 UFC/100 mL). Sin embargo se requieren hacer las pruebas bioquímicas necesarias para determinar el nombre específico de la bacteria, ya que si bien los medios son selectivos, con ellos no puede afirmarse con toda seguridad de qué especie se trata.

En el pozo Multifamiliar se observa que no se identificó desarrollo de bacterias en cuatro medios selectivos. Sin embargo, en tres medios (estafilococos, bacterias heterotróficas y medio verde brillante) se encontraron concentraciones de bacterias del orden de 15, 37 y 18 UFC/100 mL, respectivamente. Estos parámetros no están normados, por lo que no se puede decir si rebasan o no algún límite permisible.

El pozo menos contaminado en el muestreo realizado es el de la Facultad de Química, el cual sólo presenta un pico máximo en la determinación de bacterias heterotróficas (21 UFC/100 mL). Ahí no se encontraron coliformes fecales, ni estafilococos ni hongos ni levaduras. Sin embargo, en el medio verde brillante se encontraron en promedio 7 UFC/100 mL.

Tabla 12. Resultados microbiológicos del agua de los pozos Facultad de Química, Multifamiliar y Vivero Alto.

	1° muestreo	1° muestreo	1° muestreo	
POZO FACULTAD DE QUÍMICA				PROMEDIO
Coliformes Fecales	ND	ND	ND	ND
Coliformes Totales	2	2	8	4
Enterobacterias	4	1	3	3
Estafilococos	ND	ND	ND	ND
Hongos y Levaduras	ND	ND	ND	ND
*Salmonella y Shigella	-	-	-	
Heterotróficos	26	16	-	21
<i>Salmonella</i>	6	7	7	7
POZO MULTIFAMILIAR				
Coliformes Fecales	ND	ND	ND	ND
Coliformes Totales	ND	ND	ND	ND
Enterobacterias	1	ND	ND	1
Estafilococos	8	18	20	15
Hongos y Levaduras	ND	ND	3	3
*Salmonella y Shigella	-	-	-	
Heterotróficos	38	35	-	37
<i>Salmonella</i>	14	15	25	18
POZO VIVERO ALTO				
Coliformes Fecales	11	6	-	9
Coliformes Totales	2	7	4	4
Enterobacterias	24	1	6	10
Estafilococos	2	ND	9	6
Hongos y Levaduras	3	1	15	6
*Salmonella y Shigella	-	-	-	-
Heterotróficos	4	28	32	21
<i>Salmonella</i>	56	43	42	47

ND: No Detectado

➤ Temporada cálida-lluviosa (agosto-octubre)

Se realizaron dos muestreos en cinco cisternas (Tanque 1, Tanque 2, Tanque 3, Tanque 4 y Tanque Alto), las cuales se llenan con agua del pozo Vivero Alto. Como se muestra en las *Tablas 13 y 14*, la calidad microbiológica mejora notablemente en las cisternas, ya que no se detectaron bacterias. De dichas cisternas se distribuye el agua a Ciudad Universitaria.

Tabla 13. Resultados microbiológicos del agua del pozo de Vivero Alto antes y después de la cloración en la temporada cálida-lluviosa.

	Vivero Alto*	Tanque 1**	Tanque 2**	Tanque 3**	Tanque 4**	Tanque Alto**
Coliformes fecales	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Coliformes totales	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mc Conkey	1 UFC/100 mL	ND	ND	ND	ND	ND
TSA	2 UFC/100 mL	ND	ND	ND	ND	1 UFC/100 mL
VB	4 UFC/100 mL	ND	ND	ND	ND	ND

*Antes de la cloración; ** Después de la cloración; ND= no detectado

Tabla 14. Resultados microbiológicos del agua del Pozo de Vivero Alto antes y después de la cloración en la temporada cálida-lluviosa.

	Vivero alto*	Tanque 1**	Tanque 3**	Tanque Alto**
Coliformes fecales	ND	ND	ND	ND
Coliformes totales	3 UFC/100mL	ND	ND	ND
MC Conkey	ND	ND	ND	ND
TSA	6 UFC/100mL	ND	ND	ND
VB	6 UFC/100mL	ND	ND	ND

*Antes de la cloración; ** Después de la cloración; ND= no detectado

También se realizó un muestreo del agua del pozo Multifamiliar, en el cual se detectaron 1 UFC/100 mL de bacterias coliformes fecales y 3 UFC/mL de coliformes totales. En el medio TSA, se cuantificaron 25 UFC/100mL de bacterias heterotróficas y se observa nulo crecimiento en el Tanque 1 y Tanque Alto (*Tabla 15*).

Tabla 15. Resultados microbiológicos del agua del pozo Multifamiliar antes y después de la cloración en la temporada cálida-lluviosa.

	Multifamiliar*	Tanque 1**	Tanque Alto**
Coliformes fecales	1 UFC/100mL	ND	ND
Coliformes totales	3 UFC/100mL	ND	ND
Mc Conkey	ND	ND	ND
TSA	25 UFC/100mL	ND	ND
VB	ND	ND	ND

*Antes de la cloración, ** Después de la cloración, ND= no detectado

Puesto que el pozo de la Facultad de Química surte al Tanque Bajo, se realizó el análisis microbiológico de ambos. Se puede observar que en la temporada cálida lluviosa la calidad microbiológica del agua es mayor con respecto a las otras dos temporadas. Asimismo, después de la cloración no se detectaron bacterias contaminantes, lo que indica que el agua clorada es de buena calidad (ver *Tabla 16*).

Tabla 16. Resultados microbiológicos del agua del pozo de la Facultad de Química antes y después de la cloración en la temporada cálida-lluviosa.

	Facultad de Química*	Tanque Bajo**
Coliformes fecales	No detectado	No detectado
Coliformes totales	4UFC/100mL	No detectado
Mc Conkey	No detectado	No detectado
TSA	53 UFC/100mL	No detectado
VB	24 UFC/100mL	No detectado

*Antes de la cloración; ** Después de la cloración; ND= no detectado

Cabe señalar, que en cuanto a los análisis realizados por el personal del Instituto de Ecología, los indicadores considerados para medir la calidad del agua en términos microbiológicos fueron bacterias coliformes fecales (CF) y estreptococos fecales (EF). Adicionalmente se incluyeron a los colifagos como indicadores de contaminación fecal y potencialmente viral.

Las referencias para de la evaluación de la calidad microbiológica del agua consideradas son las siguientes Normas Oficiales Mexicanas: la NOM-127-SSA1-1994 (modificada en el 2000), que establece los parámetros microbiológicos que debe cumplir el agua destinada al uso y consumo humano, y la NOM-003-SEMARNAT-2000, que señala los límites máximos permisibles de bacterias indicadoras en agua residual tratada que se reutilizará en servicios que implican contacto directo o indirecto.

Agua potable

➤ Tanques de almacenamiento

En la *Tabla 17* se presentan los resultados del Tanque 1 de Vivero Alto, en donde en la primera y segunda corridas se encontraron valores por encima del límite permisible en dos de las nueve muestras. Debido a las grandes distancias que recorre el agua para surtir de este tanque a las dependencias de la Zona Cultural, se añade una elevada concentración de cloro de tal manera que, a su llegada a las dependencias, la calidad del agua esté dentro de los límites permisibles que señala la NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 17. Determinación de cloro residual en el Tanque 1 de Vivero Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)

VIVERO ALTO TANQUE 1			
PRIMERA CORRIDA		PRIMERA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	1.28	1	1.30
2	1.80	2	1.55
3	1.81	3	1.61
4	1.37	4	1.14
5	1.40	5	1.20
6	1.50	6	1.32
7	0.92	7	-
8	0.94	8	-
9	1.00	9	-

- No hubo acceso para hacer determinaciones.

En el Tanque 2 de Vivero Alto (*Tabla 18*) los valores están muy por encima de los límites permisibles (NOM-127-SSA1-1994). Esto se debe a que en el periodo de actividades en que se hicieron las corridas el tanque fue lavado y desinfectado por operadores de la DGOyC, quienes le agregaron directamente 20 litros de Hipoclorito de Sodio al 13%. Lo mismo sucedió en el caso del Tanque 3 (*Tabla 19*). Cabe mencionar que no se realizaron las determinaciones de la segunda corrida debido a que durante los dos días anteriores los Tanques 2 y 3 no tuvieron variación.

Tabla 18. Determinación del cloro residual en el Tanque 2 de Vivero Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).

VIVERO ALTO TANQUE 2			
PRIMERA CORRIDA		PRIMERA CORRIDA	
MUESTRA	CI RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	CI RESIDUAL (mg/L)
1	2.2	1	2.2
2	2.2	2	2.2
3	2.2	3	2.2
4	2.2	4	2.2
5	2.2	5	2.2
6	2.2	6	2.2
7	2.2	7	-
8	2.2	8	-
9	2.2	9	-

- No hubo acceso para hacer determinaciones.

Tabla 19. Determinación del cloro residual en el Tanque 3 de Vivero Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).

VIVERO ALTO TANQUE 3			
PRIMERA CORRIDA		PRIMERA CORRIDA	
MUESTRA	CI RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	CI RESIDUAL (mg/L)
1	2.2	1	2.2
2	2.2	2	2.2
3	2.2	3	2.2
4	2.2	4	2.2
5	2.2	5	2.2
6	2.2	6	2.2
7	2.2	7	-
8	2.2	8	-
9	2.2	9	-

- No hubo acceso para hacer determinaciones.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos en el Tanque de almacenamiento 4 (*Tabla 20*), en donde los valores de cloro residual siguen por encima del límite marcado en la NOM-127-SSA1-1994, debido a que también a éste se le dio mantenimiento y se le agregó la misma cantidad de cloro que a los Tanques 2 y 3. El Pozo de Vivero Alto funcionó correctamente durante el periodo señalado.

Tabla 20. Determinación del cloro residual del Tanque 4 de Vivero Alto durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)

VIVERO ALTO TANQUE 4			
PRIMERA CORRIDA		PRIMERA CORRIDA	
MUESTRA	CI RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	CI RESIDUAL (mg/L)
1	1.92	1	2.07
2	1.92	2	1.95
3	1.83	3	2.1
4	1.95	4	2.06
5	2.00	5	2.0
6	1.83	6	1.93
7	1.61	7	-
8	1.82	8	-
9	1.57	9	-

- No hubo acceso para hacer determinaciones.

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

En el caso del Tanque Alto (*Tabla 21*), todos los valores de las muestras determinadas estuvieron dentro del rango de los límites que establece la norma sobre uso y tratamiento al que debe ser sometida el agua para consumo humano (NOM-127-SSA1-1994). La explicación de ello se puede deber a que en este periodo no se operó el pozo Multifamiliar, que abastece a este tanque, debido a la falla de la bomba, operación que no sólo se detuvo durante el periodo en que se hizo el muestreo, sino hasta la fecha en que se iniciaron las actividades en la Universidad, por lo que el agua que se suministró provenía directamente del pozo de Vivero Alto.

Tabla 21. Determinación del cloro residual en el Tanque Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

TANQUE ALTO			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	CI RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	CI RESIDUAL (mg/L)
1	0.65	1	0.92
2	0.68	2	0.80
3	0.78	3	1.08
4	0.72	4	0.6
5	0.80	5	0.94
6	0.79	6	0.65
7	0.44	7	0.62
8	0.79	8	0.70
9	0.60	9	0.57
10	0.88	10	0.44
11	0.92	11	0.72
12	0.91	12	0.72
13	0.83	13	0.87
14	0.82	14	0.94
15	0.80	15	0.91
16	0.81	16	0.8
17	0.55	17	0.81
18	0.76	18	0.80

Paralelamente se hicieron determinaciones en los tanques 1, 2, 3 y 4 del Vivero Alto para observar los cambios en la concentración del cloro en esta temporada vacacional en comparación con la primera determinación que se hizo durante el periodo de actividades en el campus universitario. En la *Tabla 22* se muestra el análisis del Tanque 1 de Vivero Alto. Como era de esperarse, los valores de estas muestras son mayores que los del Tanque Alto, ya que este tanque recibe el agua clorada del Pozo Vivero Alto; de ahí la razón por la cual están por encima de límite permisible (NOM-127-SSA1-1994). Las letras “X” se refieren a que los muestreos no pudieron realizarse debido a inconvenientes en el acceso a los tanques.

Tabla 22. Determinación del cloro residual en el Tanque 1 de Vivero Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

VIVERO ALTO TANQUE 1			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	1.45	1	1.77
2	1.48	2	1.96
3	1.51	3	2.10
4	1.71	4	1.89
5	1.87	5	1.98
6	1.63	6	2.07
7	1.98	7	1.96
8	1.90	8	1.75
9	1.86	9	1.98
10	1.88	10	1.80
11	1.84	11	1.89
12	1.87	12	1.79
13	1.96	13	X
14	1.88	14	X
15	1.82	15	X
16	1.89	16	1.89
17	1.88	17	1.89
18	1.77	18	1.89

X=No se permitió el acceso a las instalaciones

En los tanques 2 y 3 de Vivero Alto (*Tablas 23 y 24*) se observa que en todos los casos las concentraciones de cloro residual rebasan el límite máximo permisible que establece la NOM-127-SSA1-1994, que es de 1.50 mg/L. Cabe mencionar que no se permitió el acceso a ambos tanques para realizar tres muestreos de la segunda corrida, aún cuando se mostraron los permisos correspondientes.

Tabla 23. Determinación del cloro residual en el Tanque 2 de Vivero Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

VIVERO ALTO TANQUE 2			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	1.92	1	2.20
2	1.84	2	2.03
3	1.74	3	1.75
4	2.20	4	2.20
5	2.20	5	2.20
6	2.20	6	2.20
7	2.20	7	2.20
8	2.20	8	2.20
9	2.20	9	2.20
10	2.20	10	2.20
11	2.20	11	2.20
12	2.20	12	2.20
13	2.20	13	X
14	2.20	14	X
15	2.20	15	X
16	2.20	16	2.20
17	2.20	17	2.20
18	2.20	18	2.20

Tabla 24. Determinación del cloro residual en el Tanque 3 de Vivero Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

VIVERO ALTO TANQUE 3			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	2.07	1	2.20
2	1.96	2	2.03
3	1.82	3	1.75
4	2.20	4	2.20
5	2.20	5	2.20
6	2.20	6	2.20
7	1.98	7	2.20
8	2.20	8	2.20
9	2.20	9	2.20
10	2.17	10	2.20
11	2.20	11	2.20
12	2.20	12	2.20
13	2.20	13	X
14	2.20	14	X
15	2.20	15	X
16	2.20	16	2.20
17	2.20	17	2.20
18	2.20	18	2.20

X=No se permitió el acceso a las instalaciones

Finalmente, en el Tanque 4 de Vivero Alto (*Tabla 25*) todas las concentraciones en ambas corridas rebasan el límite máximo permitido por la norma, excepto el valor del primer día, que corresponde exactamente al límite máximo.

Tabla 25. Determinación del cloro residual en el Tanque 4 de Vivero Alto durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

VIVERO ALTO TANQUE 4			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	1.50	1	1.8
2	1.53	2	1.84
3	1.55	3	1.84
4	1.85	4	*
5	1.95	5	*
6	1.96	6	*
7	1.98	7	2.20
8	2.20	8	2.20
9	2.20	9	2.20
10	2.17	10	2.20
11	2.20	11	2.20
12	2.20	12	2.20
13	2.20	13	X
14	2.20	14	X
15	2.20	15	X
16	2.20	16	2.20
17	2.20	17	2.20
18	2.20	18	2.20

*X=No se permitió el acceso a las instalaciones; *no hubo personal que diera acceso a las instalaciones*

➤ Red de distribución

En los puntos de muestreo se procedió de la misma manera que en los tanques de almacenamiento, comenzando por la Caseta de Vigilancia 1, ubicada cerca de la Av. Universidad, en los límites de Ciudad Universitaria, donde se concentran las autoridades encargadas de la vigilancia de todo el campus universitario. Este sitio fue seleccionado para cubrir de esta manera puntos distantes y porque tiene una demanda elevada de agua por parte de los trabajadores. En la *Tabla 26* se observa claramente que cuatro de los valores obtenidos durante la primera corrida no cumplieron con el límite mínimo establecido por la norma, el cual es de 0.20 mg/L de cloro residual en agua potable (NOM-127-SSA1-1994). Los últimos valores de la segunda corrida no se determinaron por no permitirse el acceso.

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

Tabla 26. Determinación del cloro residual en la Caseta de Vigilancia 1 durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).

CASETA DE VIGILANCIA 1			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.46	1	0.40
2	0.55	2	0.35
3	0.54	3	0.42
4	0.17	4	0.73
5	0.19	5	0.68
6	0.14	6	0.75
7	0.17	7	X
8	0.30	8	X
9	0.28	9	X

X=No se permitió el acceso a las instalaciones

El segundo punto de muestreo fue el Postgrado de Odontología. La mayoría de los valores se ubican dentro de los límites permisibles de 0.20 a 1.50 mg/L de cloro residual en agua potable. Sin embargo, en el último día y durante la primera corrida se obtuvieron valores muy pequeños, casi imperceptibles (*Tabla 27*). Parte de la segunda corrida no se realizó por no permitirse el acceso.

Tabla 27. Determinación del cloro residual en el Postgrado de Odontología durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).

POSTGRADO DE ODONTOLOGÍA			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.57	1	0.55
2	0.79	2	0.60
3	0.90	3	0.52
4	0.83	4	0.95
5	0.81	5	1.02
6	0.50	6	1.10
7	0.03	7	X
8	0.20	8	X
9	0.05	9	X

X=No se permitió el acceso a las instalaciones

La tercera dependencia seleccionada (*Tabla 28*) fue la Dirección General de Administración Escolar (DGAE), en donde sobresalen los datos obtenidos de las muestras 5 y 6 de la primera corrida (20-06-09), en las cuales las concentraciones fueron de 0.00 mg/L, y en la muestra 4, cercana a 0.00 mg/L; de ahí la importancia de realizar el monitoreo de la concentración con la que llega el agua a esta dependencia. Sin embargo, nuevamente no se pudo completar las dos corridas por no permitirse el acceso.

Tabla 28. Determinación del cloro residual en la DGAE durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR (DGAE, UNAM)			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.87	1	0.62
2	0.95	2	0.69
3	0.90	3	0.75
4	0.02	4	0.60
5	0.00	5	0.56
6	0.00	6	0.80
7	X	7	X
8	X	8	X
9	X	9	X

X=No se permitió el acceso a las instalaciones

La cuarta dependencia seleccionada fue el Centro de Ciencias de la Atmósfera (*Tabla 29*), ya que se encuentra también en la misma zona, en los límites del campus universitario. Se observa que sólo la muestra 3 de la primera corrida rebasa ligeramente el límite máximo permitido de concentración de cloro (1.50 mg/L); todos los demás valores, tanto de la primera como de la segunda corridas, están dentro de los límites establecidos (0.20 a 1.50 mg/L).

Tabla 29. Determinación del cloro residual en el Centro de Ciencias de la Atmósfera durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	1.48	1	1.01
2	1.50	2	0.58
3	1.59	3	1.11
4	1.42	4	0.90
5	1.39	5	0.67
6	1.50	6	1.04
7	1.29	7	-
8	1.15	8	-
9	1.10	9	-

La quinta dependencia seleccionada, la Caseta de Vigilancia 6, es abastecida por los tanques Bajo y Alto. En la *Tabla 30* se observa claramente que los valores en esta dependencia, lo mismo que los de la caseta de Vigilancia 1, están muy por debajo del límite mínimo de 0.2 mg/L de cloro residual; sin embargo, aquí se hace más evidente, puesto que algunos valores carecen de concentración de cloro; por ello, es importante hacer un monitoreo frecuente en esta dependencia para asegurarse de que se alcancen valores ubicados dentro de los límites establecidos por la norma.

Tabla 30. Determinación del cloro residual en la Caseta de Vigilancia 6 durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09).

CASETA DE VIGILANCIA 6			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.07	1	0
2	0.07	2	0
3	0.11	3	0.00
4	0.01	4	0.00
5	0.00	5	0.00
6	0.00	6	0.01
7	0.02	7	-
8	0.00	8	-
9	0.00	9	-

-No se permitió el acceso a las instalaciones

Conservando el criterio de seleccionar dependencias en los límites de la Universidad, el sexto punto de muestreo fue la Tienda UNAM (*Tabla 31*). En términos generales, esta dependencia cumple con los niveles de concentración de cloro residual, a pesar de la distancia que recorre el agua de los tanques hasta su llegada a esta dependencia. Los asteriscos marcados en las últimas muestras de la segunda corrida se refieren a que no hubo personal en el lugar cuando se buscó hacer el muestreo.

Tabla 31. Determinación del cloro residual en la Tienda UNAM durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)

TIENDA UNAM			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	1.13	1	0.90
2	1.31	2	1.05
3	1.33	3	1.10
4	1.09	4	1.43
5	1.11	5	1.20
6	1.20	6	1.38
7	*	7	*
8	*	8	*
9	*	9	*

*No hubo personal que diera acceso a las instalaciones, -No se permitió el acceso a las instalaciones

Para finalizar los muestreos de la concentración de cloro residual, se eligieron inicialmente dos dependencias de la zona cultural: el Archivo General y el Museo de las Ciencias UNIVERSUM. Sin embargo, ante la negativa de las autoridades del Archivo General, se le cambió por otra dependencia que colindara con ella, la del Patrimonio Universitario, que resultó adecuada, no sólo por su ubicación, sino también por las facilidades que dieron las autoridades para que se realizaran los muestreos. Los resultados obtenidos en esta dependencia son aceptables en cuanto a la concentración de cloro residual. (*Tabla 32*).

Tabla 32. Determinación del cloro residual en Patrimonio Universitario durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)

PATRIMONIO UNIVERSITARIO			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.48	1	0.31
2	0.51	2	1.08
3	0.88	3	-
4	0.90	4	0.87
5	0.62	5	1.02
6	0.79	6	0.78
7	*	7	*
8	*	8	*
9	*	9	*

*No hubo personal que diera acceso a las instalaciones, -No se permitió el acceso a las instalaciones

Para finalizar los análisis de esta primera etapa, correspondiente al periodo de actividades, en el Museo de las Ciencias UNIVERSUM se observa que por lo general se cumple con los niveles de concentración de cloro residual permitidos (*Tabla 33*).

Tabla 33. Determinación del cloro residual en el Museo de Ciencias UNIVERSUM durante el periodo de actividades (19-06-09 al 21-06-09)

UNIVERSUM			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	1.11	1	1.20
2	1.08	2	1.06
3	1.12	3	-
4	1.01	4	1.08
5	1.12	5	0.97
6	0.90	6	1.11
7	0.43	7	*
8	0.55	8	*
9	0.52	9	*

*No hubo personal que diera acceso a las instalaciones, -No se permitió el acceso a las instalaciones

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

Los resultados obtenidos en la Caseta de Vigilancia 1 (*Tabla 34*), sigue estando por debajo del mínimo estipulado por la NOM-127-SSA1-1994, al igual que los de la Caseta de Vigilancia en el periodo anterior, son de las dependencias donde la concentración de cloro con la que llega el agua no es la adecuada.

Tabla 34. Determinación del cloro residual en la Caseta de Vigilancia 1 durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

CASETA DE VIGILANCIA 1			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.12	1	0.11
2	0.10	2	0.11
3	0.09	3	0.11
4	0.15	4	0.16
5	0.13	5	0.13
6	0.13	6	0.13
7	0.13	7	0.15
8	0.12	8	0.15
9	0.12	9	0.14
10	0.13	10	0.50
11	0.14	11	0.46
12	0.12	12	0.48
13	0.07	13	X
14	0.07	14	X
15	0.07	15	X
16	0.08	16	0.36
17	0.10	17	0.36
18	0.08	18	0.36

X=No se permitió el acceso a las instalaciones

En los grifos de los sanitarios del Postgrado de Odontología (*Tabla 35*), las concentraciones de cloro en la mayoría de las muestras contienen una cantidad mínima de cloro residual, por debajo de lo establecido en la norma; sólo 14 de las 33 muestras tomadas se encuentran dentro de los límites establecidos.

Tabla 35. Determinación del cloro residual en el Postgrado de Odontología durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

POSGRADO DE ODONTOLOGIA			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.09	1	0.08
2	0.09	2	0.10
3	0.12	3	0.11
4	0.11	4	0.22
5	0.10	5	0.32
6	0.11	6	0.19
7	0.22	7	0.13
8	0.20	8	0.12
9	0.34	9	0.13
10	0.09	10	0.24
11	0.07	11	0.28
12	0.07	12	0.32
13	0.06	13	X
14	0.07	14	X
15	0.07	15	X
16	1.08	16	0.54
17	1.15	17	0.54
18	1.02	18	0.54

X=No se permitió el acceso a las instalaciones

En este periodo de vacaciones, los resultados en la Dirección General de Administración Escolar (*Tabla 36*) no cumplieron con el mínimo de concentración de cloro residual establecido, que es de 0.20 mg/L, debido a que durante ese tiempo sólo estuvo funcionando el Pozo de Vivero Alto, que fue al que se le dosificó cloro durante toda la semana en la que se tomaron las muestras.

Tabla 36. Determinación del cloro residual en la DGAE durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR (DGAE, UNAM)			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.04	1	*
2	0.03	2	*
3	0.05	3	*
4	0.07	4	*
5	0.11	5	*
6	0.07	6	*
7	0.06	7	0.07
8	0.07	8	0.06
9	0.10	9	0.07
10	0.07	10	0.07
11	0.08	11	0.13
12	0.09	12	0.10
13	*	13	x
14	*	14	x
15	*	15	x
16	0.08	16	0.04
17	0.06	17	0.05
18	0.07	18	0.05

*No hubo personal que diera acceso a las instalaciones; x=No se permitió el acceso a las instalaciones

A diferencia de las anteriores dependencias, en el Centro de Ciencias de la Atmósfera (*Tabla 37*) se obtuvieron datos que están dentro de los límites de la norma en cuanto al cloro residual durante todo el muestreo realizado (06-07-09 al 11-07-09).

Tabla 37. Determinación del cloro residual en el Centro de Ciencias de la Atmósfera durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

CIENCIAS DE LA ATMOSFERA			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.83	1	0.51
2	0.89	2	0.35
3	0.84	3	0.6
4	0.13	4	0.72
5	0.36	5	1.19
6	0.46	6	1.23
7	0.68	7	1.06
8	0.88	8	1.15
9	0.8	9	1.2
10	0.65	10	1.15
11	0.94	11	1.24
12	1.13	12	1.22
13	*	13	x
14	*	14	x
15	*	15	x
16	1.45	16	1.27
17	1.41	17	1.33
18	1.44	18	1.27

*No hubo personal que diera acceso a las instalaciones; x=No se permitió el acceso a las instalaciones.

La Caseta de Vigilancia 6 (*Tabla 38*) sigue siendo una de las dependencias que presenta más problemas para cumplir con lo establecido por la norma, debido a que los datos de concentración de cloro residual obtenidos están por debajo del límite mínimo permisible (0.2 mg/L).

Tabla 38. Determinación del cloro residual en la Caseta de Vigilancia 6 durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

CASETA DE VIGILANCIA 6			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.05	1	0.06
2	0.04	2	0.06
3	0.05	3	0.06
4	*	4	0.14
5	*	5	0.18
6	*	6	0.11
7	0.09	7	0.13
8	0.11	8	0.14
9	0.09	9	0.15
10	0.15	10	0.19
11	0.15	11	0.14
12	0.15	12	0.19
13	0.12	13	x
14	0.11	14	x
15	0.11	15	x
16	0.12	16	*
17	0.12	17	*
18	0.12	18	*

*No hubo personal que diera acceso a las instalaciones; x=No se permitió el acceso a las instalaciones.

La Tienda UNAM (*Tabla 39*) fue una de las dependencias que estuvieron siempre dentro de los límites de concentración de cloro residual en ambos periodos. El único inconveniente que presentó fue la ausencia de personal en el último día de muestreo de la temporada de actividades (19 al 21 de junio de 2009), y en el primer día de muestreo de la temporada vacacional (06 al 11 de julio del 2009). En términos generales, la mayoría de las muestras analizadas presentó concentraciones de cloro residual dentro de la norma.

Tabla 39. Determinación del cloro residual en la Tienda UNAM durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

TIENDA UNAM			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	*	1	*
2	*	2	*
3	*	3	*
4	0.43	4	0.18
5	0.61	5	0.27
6	0.61	6	0.51
7	0.76	7	0.63
8	0.71	8	0.59
9	0.91	9	0.55
10	0.39	10	1.24
11	0.63	11	1.23
12	0.53	12	1.22
13	0.11	13	X
14	0.27	14	X
15	0.48	15	X
16	0.06	16	0.52
17	0.07	17	0.84
18	0.04	18	0.73

*No hubo personal que diera acceso a las instalaciones; x=No se permitió el acceso a las instalaciones.

La dependencia de Patrimonio Universitario (*Tabla 40*), presentó durante el muestreo resultados favorables en cuanto a la cantidad de cloro encontrada en cada una de las muestras de agua tomadas durante el periodo vacacional (6 de julio al 11 de julio del 2009). Por lo general, esta zona (Zona Cultural, UNAM), que es abastecida de agua del Pozo Vivero Alto, presenta valores que están dentro de los límites, salvo algunas excepciones que sobrepasan ligeramente el límite máximo permitido por la norma de potabilización de agua para consumo humano (NOM-127-SSA1-1994).

Tabla 40. Determinación del cloro residual en Patrimonio Universitario durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

PATRIMONIO UNIVERSITARIO			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.40	1	*
2	0.40	2	*
3	1.17	3	*
4	0.34	4	0.95
5	0.41	5	0.95
6	0.26	6	0.95
7	0.94	7	1.61
8	1.51	8	1.22
9	1.72	9	1.38
10	1.04	10	1.06
11	1.32	11	0.3
12	1.14	12	0.55
13	1.63	13	x
14	1.71	14	x
15	1.53	15	x
16	0.7	16	0.4
17	0.33	17	0.63
18	0.74	18	0.56

*=no hubo personal que diera acceso a las instalaciones; x=no se permitió el acceso a las instalaciones

Finalmente, en la dependencia “UNIVERSUM” (*Tabla 41*) se determinó que 7 de las 18 muestras estuvieron por debajo del límite mínimo de concentración de cloro residual durante la primera corrida; en cambio, en la segunda corrida sólo una de las 18 muestras no cumplió con la concentración mínima.

Tabla 41. Determinación del cloro residual en UNIVERSUM durante el periodo de vacaciones (06-07-09 al 11-07-09)

UNIVERSUM			
PRIMERA CORRIDA		SEGUNDA CORRIDA	
MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)	MUESTRA	Cl RESIDUAL (mg/L)
1	0.10	1	0.22
2	0.03	2	0.21
3	0.01	3	0.28
4	0.34	4	0.33
5	0.61	5	0.39
6	0.5	6	0.26
7	0.07	7	0.15
8	0.05	8	0.24
9	0.14	9	0.15
10	0.18	10	0.32
11	0.26	11	0.66
12	0.31	12	0.94
13	0.31	13	X
14	0.29	14	X
15	0.36	15	X
16	0.42	16	0.31
17	0.46	17	0.34
18	0.4	18	0.34

X= no se permitió el acceso a las instalaciones

➤ **Interpretación de la simulación en EPANET del cloro residual en la red de distribución del agua**

Se llevó a cabo una simulación para determinar la concentración de cloro residual en la red de distribución a través del programa EPANET. Los datos obtenidos (*Tabla 42*) se compararon con la información generada en los muestreos hechos durante los dos periodos descritos anteriormente, respecto de la cantidad de cloro residual (mg/L) en el agua potable que llega a las dependencias. Cabe señalar que con el simulador EPANET sólo es factible obtener datos teóricos de la red de distribución en las dependencias debido a que el simulador únicamente cuenta con la opción de insertar datos de dosificación de cloro en tanques de almacenamiento, y no cuenta con una opción para pozos de abastecimiento.

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

Uno de los factores a considerar fue el tiempo de simulación. El tiempo total fue de 12 horas considerando el horario de operación proporcionado por la DGOyC, de 9:00 a.m. a 9:00 p.m. Existe una diferencia entre las determinaciones en campo y las arrojadas por el simulador EPANET, lo cual es debido a que las demandas de agua determinadas son sólo promedios, ya que a la fecha no se tienen datos exactos de los consumos en cada dependencia del campus universitario.

Cabe señalar también que para obtener una simulación confiable es necesario conocer el recorrido que hace el agua en la red desde los tanques o los pozos. Todos estos factores son limitantes. Sin embargo, será posible que cuando se cuente con información precisa de las variables mencionadas anteriormente, el simulador EPANET sea una opción viable para calcular las concentraciones de cloro residual en la red de distribución.

Tabla 42. Resultados del cloro residual utilizando EPANET

Punto de muestreo	Cl ⁻ (mg/L)
CASETA DE VIGILANCIA 1	0.12
POSTGRADO DE ODONTOLOGÍA	0.20
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA	0.0
DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR (DGAE)	0.17
CASETA DE VIGILANCIA 6	0.0
TIENDA UNAM	0.0
UNIVERSUM	0.0
PATRIMONIO UNIVERSITARIO	0.0

➤ **Monitoreo en línea de la calidad del agua potable**

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

Por parte del Instituto de Ingeniería, se observa que la carga de contaminación microbiológica detectada en el agua residual es del orden de 10^7 . Después del proceso de tratamiento del agua residual se logra reducir la carga de contaminación a 10^3 ; sin embargo, aún con esta reducción el agua residual tratada no logra cumplir con la calidad microbiológica necesaria de acuerdo con la NOM-003-ECOL-1997, por lo tanto, aún no es apta para su reuso. *Figura 11.*

Resultados promedio del agua Residual y Tratada de la planta de tratamiento de CU de la temporada CÁLIDA-SECA

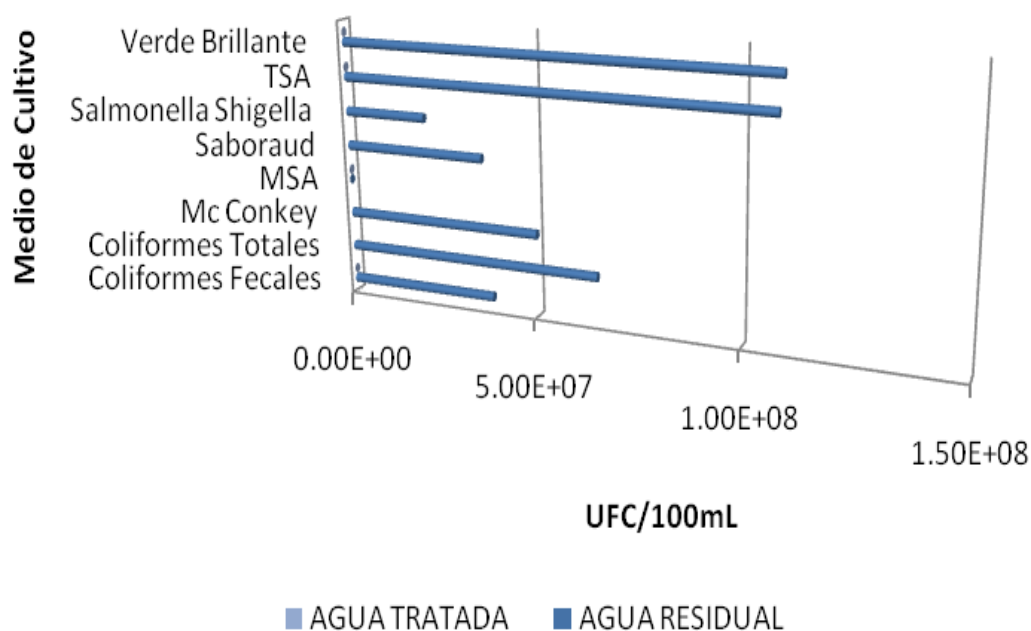


Figura 11. Promedio de los parámetros microbiológicos del agua de residual y agua tratada de la temporada Cálida-Seca.

Agua residual tratada y de reuso en riego.

De acuerdo a los análisis realizados por el Instituto de Ingeniería, se puede observar que en el agua residual tratada y utilizada en la temporada fría-seca para el riego en Pumitas, Metro C.U. y Las Islas se detectaron cantidades de UFC/100 mL superiores a 10^7 , que es el límite máximo permisible para agua de reuso establecido en la NOM-003-ECOL-1997. Ver la Figura 12.

Resultados promedio del AGUA DE RIEGO de la temporada FRÍA-SECA

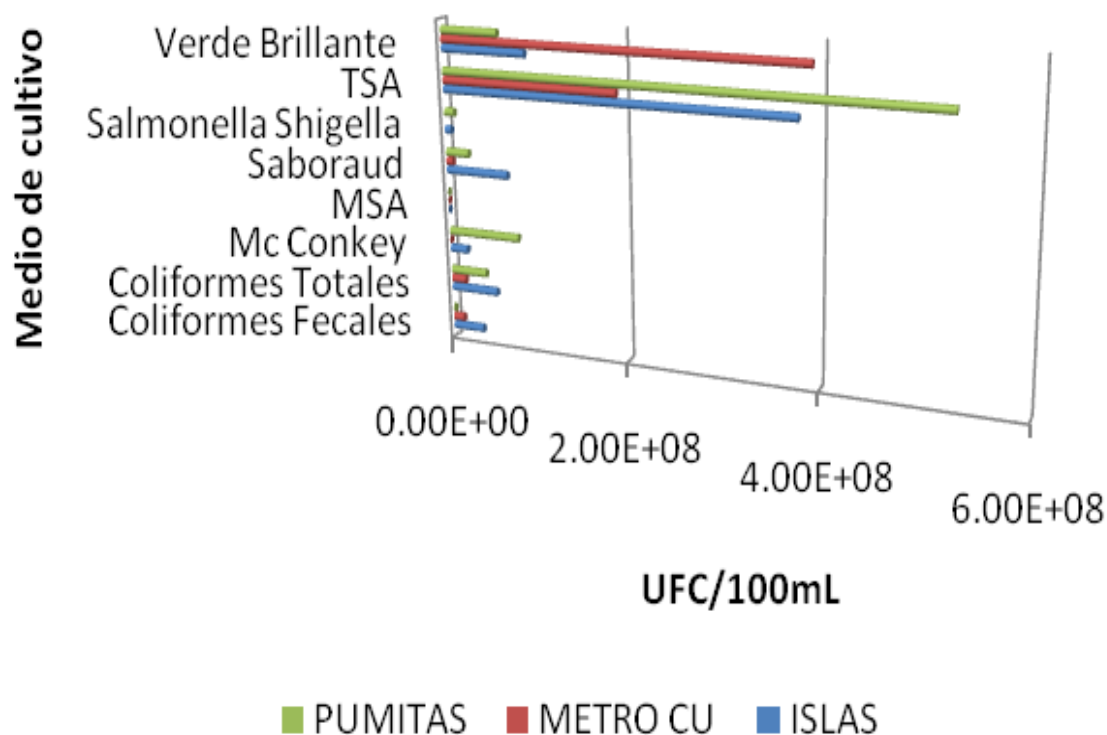


Figura 12. Promedio de los parámetros microbiológicos del agua de riego de la temporada fría-seca.

En la *Figura 13* se observa que el agua residual tratada y utilizada en la temporada cálida-seca para el riego en Pumitas, Metro C.U. y Las Islas contiene cantidades de UFC/100 mL superiores a 10^7 , por lo que, al igual que en la temporada fría-seca, también se encuentran fuera del límite máximo permisible para agua de reuso.

Resultados promedio del AGUA DE RIEGO de la temporada CÁLIDA-SECA

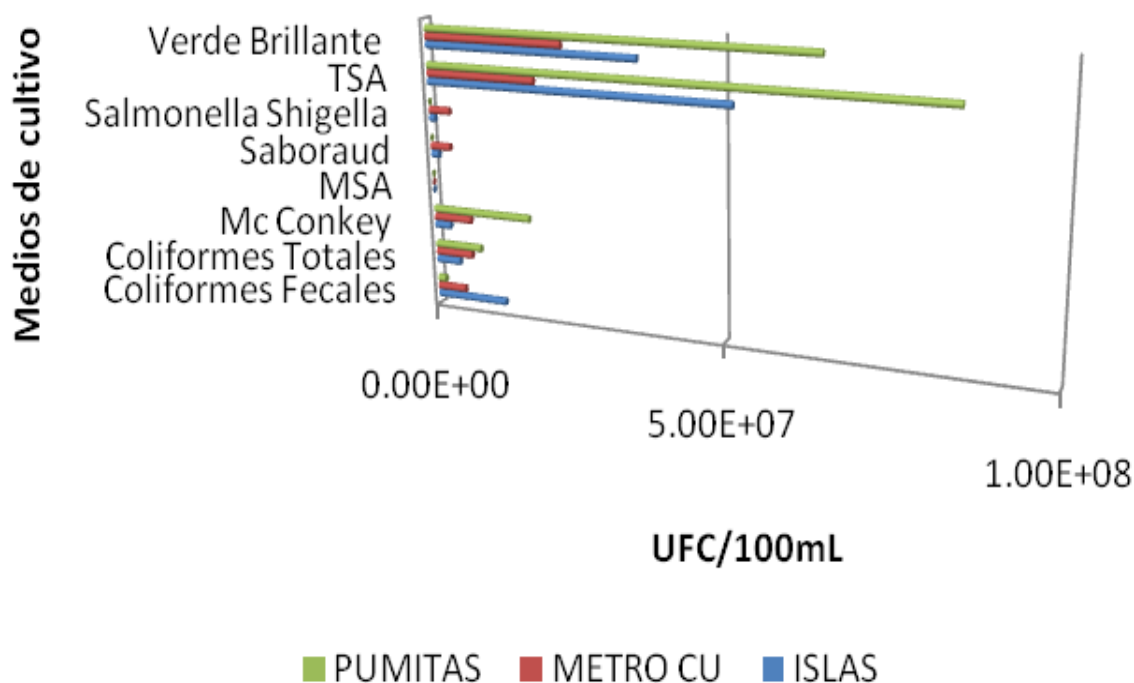


Figura 13. Promedio de los parámetros microbiológicos del agua de riego de la temporada cálida-seca.

Por parte del análisis realizado por el Instituto de Ecología y la Facultad de Medicina, los resultados obtenidos en agua de reuso en riego se presentan en la *Tabla 43*. Es interesante observar que coliformes fecales, enterococos fecales y colifagos fueron positivos en más del 50% de las muestras.

Tabla 43. Resumen de muestras positivas a bacterias y colifagos en agua residual tratada que se reusa en riego de áreas verdes.

AGUA DE REUSO EN RIEGO							
Sitio de muestreo	CF n/+	EF n/+	Colifagos n/+	MNT n/+	<i>Shigella</i> spp n/+	<i>E. coli</i> LT n/+	<i>E. coli</i> ST n/+
Áreas verdes	9/5 (55.5%)	9/6 (66.6%)	6/6 (100%)	15/0	15/8 (53.3%)	15/11 (73.3%)	15/14 (93.3%)

Nota: esta tabla comprende las temporadas 1 y 2, durante la temporada 3 no hay riego.

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

Pastos

Para el análisis microbiológico realizado por el Instituto de Ingeniería sobre los pastos, se siguieron los dos métodos que se describen a continuación:

✓ Método 1

- Recolectar hojas de pasto y raíz de pasto.
- Pesar 50 g de ambas muestras.
- Licuar por separado los 50 g de cada muestra con 300 mL de SSI estéril (corresponde a la dilución 10E-1)
- Filtrar eliminando la materia orgánica
- Separar 50 mL del filtrado y utilizarlos para análisis microbiológico.

✓ Método 2

Las modificaciones al método 1 fueron las siguientes:

- Recolectar hojas de pasto y raíz de pasto.
- Pesar 10 g de ambas muestras.
- Licuar por separado los 10 g de cada muestra con 90 mL de SSI estéril (corresponde a la dilución 10E-1)
- Filtrar eliminando la materia orgánica
- Utilizar el filtrado para análisis microbiológico.

En el *Tabla 44* y *Figura 14* se presentan los resultados aplicando el Método 1 de análisis microbiológico de pastos y pastos con raíz. Se observa que la concentración microbiológica es elevada debido a que se utilizó gran cantidad de pasto, por lo cual se modificó la metodología empleada.

Tabla 44. Resultados promedio del análisis microbiológico de pasto y pasto con raíz en la temporada fría-seca.

	MEDIO DE CULTIVO	Coliformes Fecales UFC/100mL	Coliformes Totales UFC/100mL	Mc Conkey UFC/100mL	MSA UFC/100mL	Saboraud UFC/100mL	Salmonella Shigella UFC/100mL	TSA UFC/100mL	Verde Brillante UFC/100mL
PASTO	ISLAS	ND	4,20E+06	2,90E+06	2,70E+05	6,65E+06	4,45E+05	ND	1,16E+06
	METROCU	ND	5,55E+06	7,30E+06	2,94E+05	1,36E+07	1,89E+06	3,40E+07	1,22E+05
	PUMITAS	ND	1,00E+04	8,40E+05	3,00E+03	3,40E+06	ND	3,50E+06	2,50E+06
PASTO CON RAÍZ	ISLAS	1,80E+07	2,14E+07	1,47E+07	3,00E+05	1,32E+07	5,40E+06	2,90E+07	2,60E+05
	METROCU	ND	5,85E+06	2,50E+06	2,50E+05	-	2,64E+06	-	-
	PUMITAS	-	1,70E+06	-	1,11E+06	1,21E+07	1,52E+06	-	-

PASTO Y PASTO CON RAIZ

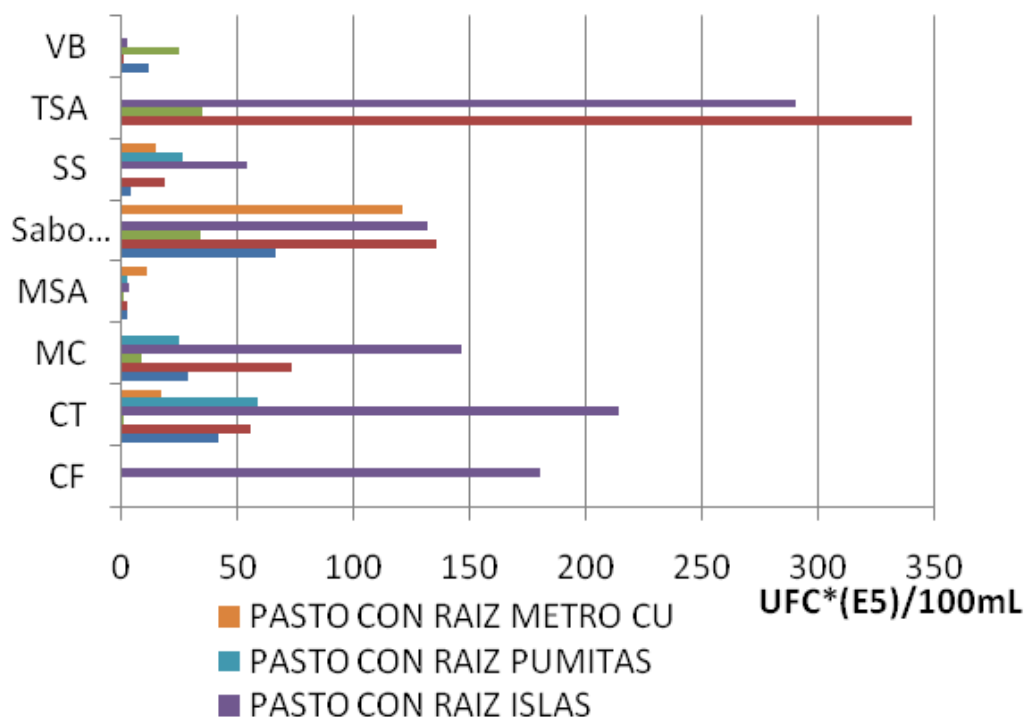


Figura 14. Resultados del análisis microbiológico del pasto y pasto con raíz

Al modificar el método empleado, se puede observar que la cuenta microbiológica disminuye y en algunos casos no se detectaron microorganismos (ver *Tabla 45*).

Tabla 45. Resultados del análisis microbiológico de pastos y pasto con raíz en la temporada cálida-lluviosa aplicando el Método 2.

Parámetro	Pasto Islas	Pasto con raíz Islas
Coliformes fecales	ND	ND
Coliformes totales	ND	ND
Mc Conkey	39x10 ² UFC/g	17x10 ⁴ UFC/g
MSA	60x10 ² UFC/g	I
Saboraud	96x10 ³ UFC/g	I
TSA	25x10 ³ UFC/g	I
VB	ND	I

ND= no detectable, I = incontable

Asociación entre colifagos y bacterias indicadoras

Aerosoles

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

Durante febrero de 2009 se incrementó el número de coliformes fecales (*Figura 15*), los cuales alcanzaron concentraciones de $3E+05$ NMP/100ml que rebasan el límite establecido por la norma ($1E+03$ NMP/100ml). Por lo tanto, el agua tratada utilizada para riego no cumple con la calidad necesaria respecto de los contaminantes patógenos.

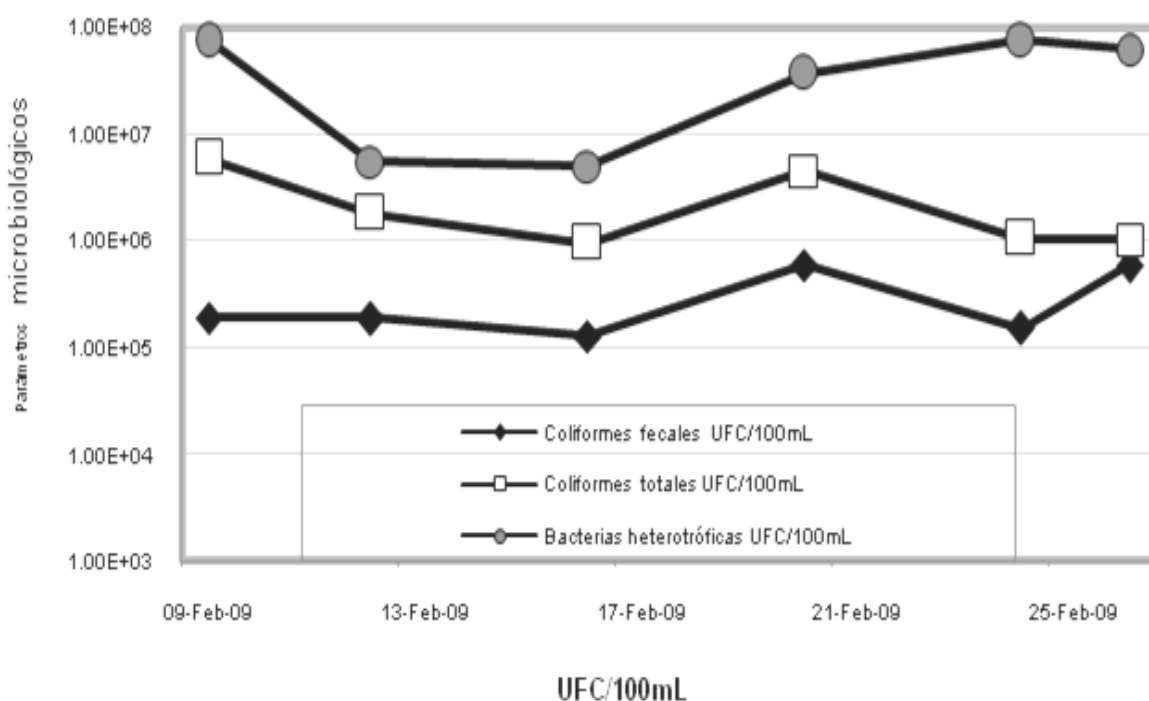


Figura 15. Resultados del análisis microbiológico en aerosoles.

En la *Figura 16* se puede observar que los SST aumentaron por arriba del límite establecido en la NOM-003-SEMARNAT 1997, y sólo la muestra 5 se encuentra por debajo de él. En cuanto a la DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), todos los resultados están por arriba del límite máximo permisible.

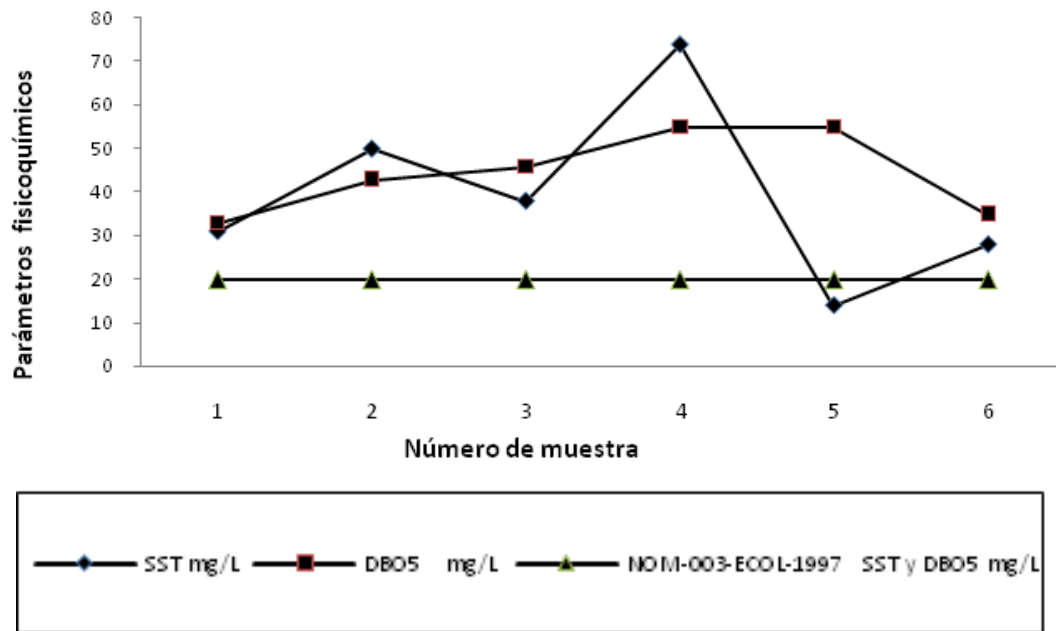


Figura 16. Resultados del análisis microbiológico en aerosoles.

Sistema de desinfección.

Descripción del sistema

1.- POZOS

Pozo 1. Facultad de Química

El Pozo 1, ubicado en la Facultad de Química tiene un gasto(Q) constante de 31 L/s. La desinfección se hace aplicando 10 L de Hipoclorito de Sodio (Na OCl^-) al 13% en peso en un periodo de 12 horas continuas. El desinfectante se almacena en un tanque de 100 L lejos de la luz directa del sol y es llenado a partir de un tanque de 200 L que se compra a un precio actual de \$1,724.00, el cual se encuentra en los talleres de la DGOyC. El sistema cuenta con una bomba sumergible de 85Hp, un clorador marca Wallace And Tiernan, un dosificador Marca LM1 y un arrancador de 440 Volts marca Siemens.

Memoria de Cálculo de la dosificación de cloro que se aplica actualmente

Datos:

Gasto (Q) del pozo (L/s): 31

Dosis de Na OCl^- (L): 10

Tiempo de Operación (Horas): 12

Densidad del Na OCl (Kg/L): 1.21

Concentración del Na OCl: 13% en peso

Tomando la dosificación inicial de 10 L de Na OCl y al saber la concentración del 13%, se calcula la cantidad de cloro en la mezcla.

$$V=DX$$

Donde:

V=Volumen en Litros

D= Dosis del desinfectante en Litros

X=Fracción de Na OCl

$$X = C/100$$

C = % en peso de Na OCl

$$X = 13/100$$

$$X = 0.13$$

$$V = (0.13) (10 \text{ L})$$

$$V = 1.3 \text{ L de Na OCl}$$

Teniendo el volumen de Na OCl y partiendo de la densidad $\delta = \frac{m}{V}$, se despeja la masa (m) y

se tiene que: $m = \delta V$

Esto se hace con la finalidad de saber la cantidad de cloro en masa que se tiene para que, al hacer el análisis dimensional, las unidades sean congruentes.

$$M = (1.21 \text{ Kg/L})(1.3 \text{ L})$$

$$M = 1.5730 \text{ Kg}$$

$$t = 12 \text{ horas}$$

$$W = \frac{m}{t}$$

$$W = 1.5730 \text{ Kg} / 12 \text{ Horas}$$

$$W = 0.1310 \text{ Kg/hora}$$

$$1.5730 \frac{\text{Kg}}{\text{Hora}} * \frac{1000g}{1\text{Kg}} * \frac{1000mg}{1g} * \frac{1\text{hora}}{3600s} = 36.4120 \frac{mg}{s}$$

Dosificación de Na OCl para un flujo de 31 L/s

$$Y = \frac{W}{Q} \quad Y = \frac{36.4120 \frac{mg}{s}}{31 \frac{L}{s}} \quad Y = \text{dosificación de Na OCl} = 1.1745 \text{ mg/L}$$

Datos del Sistema de Desinfección	
Desinfectante	Hipoclorito de Sodio (Na OCl)
Volumen Dosificado (DGOyC)	10 L/día
Capacidad del Tanque de Dosificación(DGOyC)	200 L
Costo/L de Na OCl	\$ 8.62
Dosis Calculada (12 hrs de operación continua reportado por operadores de pozo de la DGOyC)	1.17 mg/L

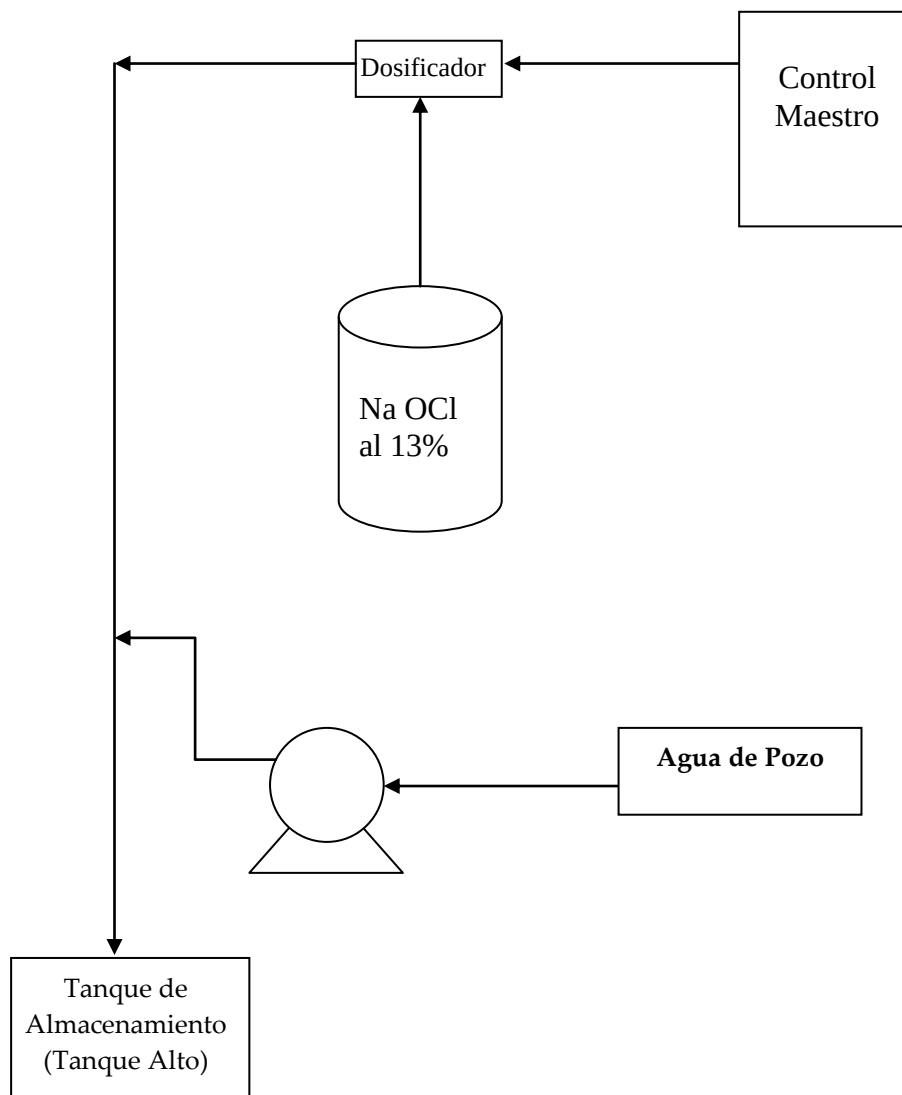


Figura 17. Diagrama del Sistema de Desinfección del Pozo 1 utilizando Na OCl como desinfectante.

Pozo 2. Multifamiliar

El pozo 2, ubicado en la explanada de la ex planta incineradora, tiene un gasto (Q) constante de 83 L/s; la desinfección se basa en la aplicación de 16 Kg de gas cloro (Cl_2) en un periodo de 12 horas continuas. El desinfectante se inyecta desde un tanque de 908 Kg cuyo precio actual es de \$15,000.00 cada uno; se cuenta con un tanque extra de reserva. El sistema consta de una bomba sumergible de 200 Hp, un clorador marca Wallace And Tiernan y un arrancador a tensión reducida de 250Hp y 440 volts marca Siemens.

Memoria de Cálculo de la dosificación de cloro que se aplica actualmente.

Datos:

Q de pozo (L/s): 83

Dosis de Cl_2 (Kg): 16

Tiempo de Operación (Horas): 12

M= 16 Kg

t= 12 horas

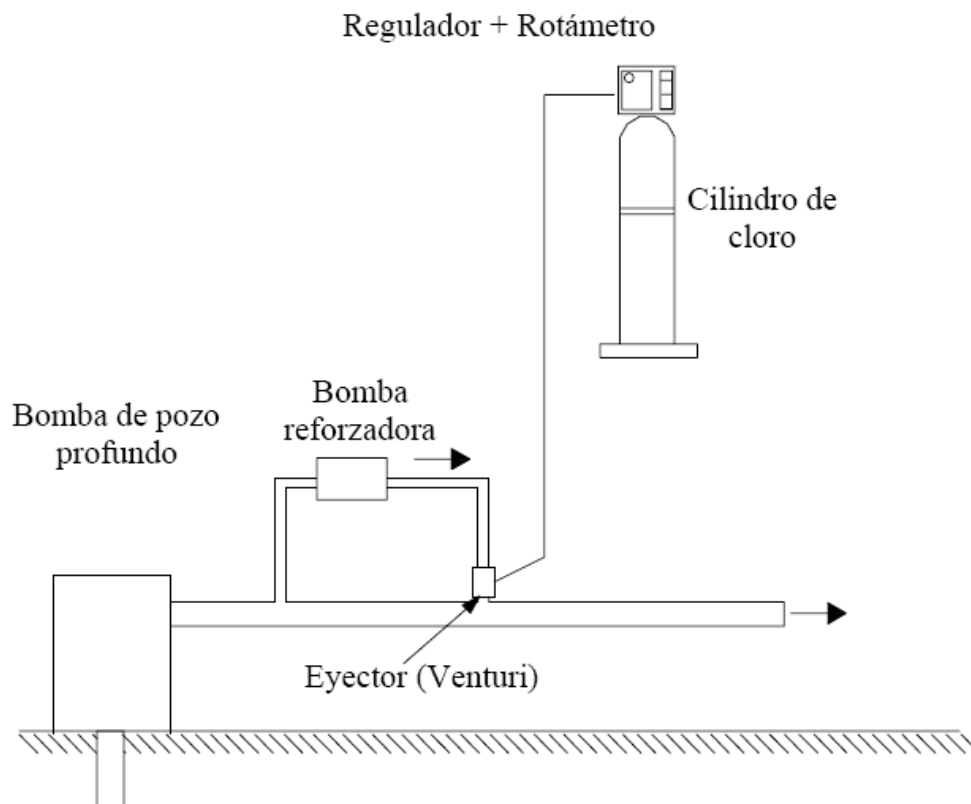
$$W = \frac{m}{t} \quad W = 16\text{Kg}/12\text{Horas} \quad W = 1.333 \text{ Kg/hora}$$

$$1.3333 \frac{\text{Kg}}{\text{Hora}} * \frac{1000\text{g}}{1\text{Kg}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} * \frac{1\text{hora}}{3600\text{s}} = 370.3706 \frac{\text{mg}}{\text{s}}$$

Dosificación de Na OCl para un flujo de 83 L/s

$$Y = \frac{W}{Q} \quad Y = \frac{370.3706 \frac{\text{mg}}{\text{s}}}{83 \frac{\text{L}}{\text{s}}} \quad Y = \text{dosificación de Gas Cloro} = 4.1614 \text{ mg/L}$$

Datos del Sistema de Desinfección	
Desinfectante	Gas Cloro (Cl_2)
Volumen Dosificado (DGOYC)	16 Kg
Capacidad de Tanque de Dosificación(DGOYC)	908 Kg
Costo de Cilindro de Gas Cloro	\$15,000.00
Dosis Calculada (12 hrs de operación continua reportado por operadores de pozo de la DGOYC)	4.16 mg/L



Equipo de cloro gas al vacío

Figura 18. Diagrama del Sistema de Desinfección del Pozo 2, Multifamiliar, utilizando Gas Cloro (Cl) como desinfectante.

Pozo 3. Vivero Alto

El pozo 3, ubicado en el Vivero Alto, en la zona del Jardín Botánico, tiene un gasto (Q) constante de 45 L/s; la desinfección se basa en la aplicación de 9 Kg de gas cloro (Cl₂) en un periodo de 12 horas continuas. El desinfectante se inyecta desde un tanque de 908 Kg que se compra a un precio actual de \$15,000.00 cada uno; que se tiene un tanque extra de reserva. El sistema cuenta con una bomba sumergible de 200 Hp, un clorador marca Wallace And Tiernan y un arrancador a tensión reducida de 250Hp y 440 volts marca Siemens.

Memoria de Cálculo de la dosificación

Datos:

Q de pozo (L/s): 45

Dosis de Cl₂ (Kg): 9

Tiempo de Operación (Horas): 12

M= 9 Kg

t= 12 horas

$$W = \frac{m}{t} \quad W = 9\text{Kg}/12\text{Horas} \quad W = 0.75 \text{ Kg/hora}$$

$$0.75 \frac{\text{Kg}}{\text{Hora}} * \frac{1000\text{g}}{1\text{Kg}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} * \frac{1\text{hora}}{3600\text{s}} = 208.3333 \frac{\text{mg}}{\text{s}}$$

Dosificación de Na OCl para un flujo de 83 L/s

$$Y = \frac{W}{Q} \quad Y = \frac{208.3333 \frac{\text{mg}}{\text{s}}}{45 \frac{\text{L}}{\text{s}}} \quad Y = \text{dosificación de Gas Cloro} = 2.51 \text{ mg/L}$$

Datos del Sistema de Desinfección	
Desinfectante	Gas Cloro (Cl)
Volumen Dosificado (DGOyC)	9 Kg
Capacidad del Tanque de Dosificación(DGOyC)	908 Kg
Costo de Cilindro de Gas Cloro	\$15,000.00
Dosis Calculada (12 hrs de operación continua reportado por operadores de pozo de la DGOyC)	2.51 mg/L

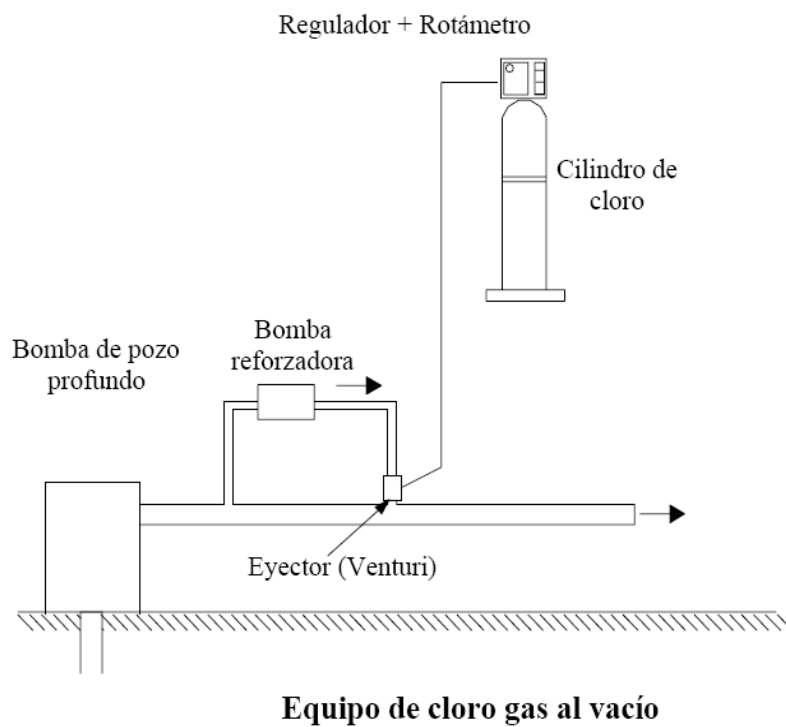


Figura 19. Diagrama del Sistema de Desinfección del Pozo 3 utilizando Gas Cloro (Cl) como desinfectante.

Agua desinfectada que se bombea a tanques de almacenamiento

Ciudad Universitaria (UNAM) cuenta con tres tanques de almacenamiento (*Tabla 46*) de agua potable extraída de los tres pozos, siendo el Tanque Bajo el que corresponde al Pozo 1; el Tanque Alto al Pozo 2, y finalmente el Tanque del Vivero Alto de para el Pozo 3.

Tabla 46. Características de los tanques de almacenamiento de agua potable con que cuenta Ciudad Universitaria.

TANQUE	ANCHO (M)	LARGO (M)	ALTO (M)	CAPACIDAD (M3)	NIVEL MÁXIMO (M)	NIVEL MÍNIMO (M)
TANQUE BAJO	23	29	3	2,000	2.9	2
TANQUE	ANCHO (M)	LARGO (M)	ALTO (M)	CAPACIDAD (M3)	NIVEL MÁXIMO (M)	NIVEL MÍNIMO (M)
TANQUE ALTO	25	40	4	4000	3.9	3.2
TANQUE	ANCHO (M)	LARGO (M)	ALTO (M)	CAPACIDAD (M3)	NIVEL MÁXIMO (M)	NIVEL MÍNIMO (M)
TANQUE VIVERO ALTO (4)	20	25	3	6,000	2.9	2.1

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

El ozono es un desinfectante que garantiza la inactivación de microorganismos y mejora las características organolépticas del agua de abastecimiento, como son el olor y el sabor; igualmente, previene la formación de compuestos orgánicos clorados. Por ello, se prevé desinfectar con ozono y agregar una pequeña cantidad de cloro para evitar la re-contaminación y crecimiento de algas en el sistema de distribución.

1) Componentes del sistema de ozonación instalado en el laboratorio

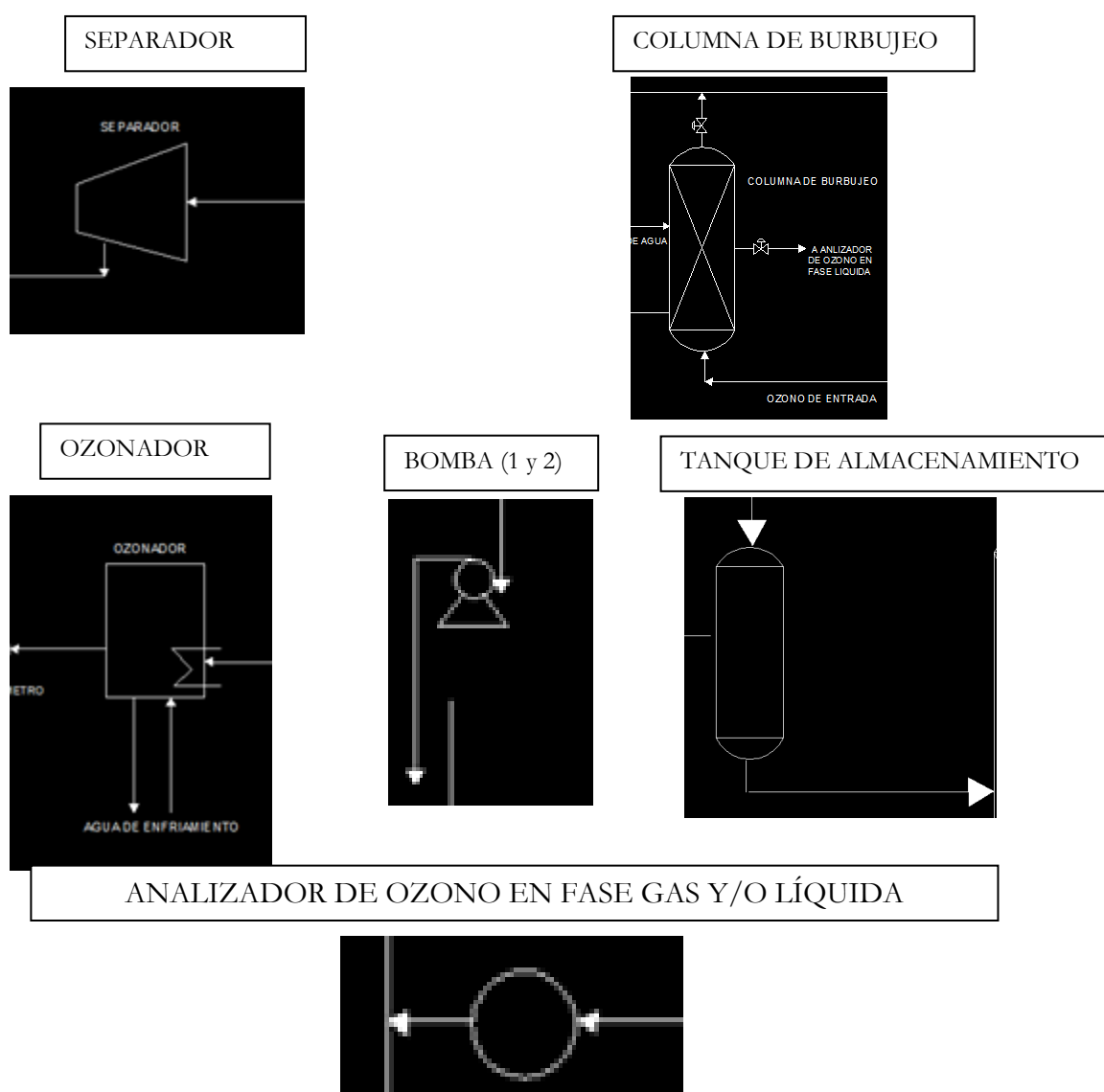


Figura 20. Sistema desinfección en continuo de agua potable de pozos de C.U.

2) *Pruebas Preliminares*a. Determinación de la capacidad de las bombas usadas en el sistema de ozonación en continuo a escala de laboratorio.

Se cuenta con dos bombas peristálticas: una con un flujo máximo de 1.4 L/min., que utiliza una manguera Tygon L/S 18; y otra con flujos que varían dependiendo del tipo de manguera que se esté utilizando. Por lo anterior, se hicieron pruebas con mangueras de diferente diámetro (Tygon L/S 15 y Tygon L/S 24), obteniéndose los siguientes resultados que se presentan en la *Tabla 47 a, b y c*.

Tabla 47. Pruebas preliminares para determinar la capacidad de las bombas que deben usarse en el sistema de desinfección.

(a)

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO DE BOMBA PERISTÁLTICA 1		
Núm. de Prueba	Tipo de manguera	Q máx. (L/min)
1	L/S 18	1,389
2	L/S 18	1,397
3	L/S 18	1,381

NOTA: Sólo se usó un tipo de manguera, ya que el cabezal sólo acepta ese diámetro de manguera.

(b)

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO DE BOMBA PERISTÁLTICA 2		
# Prueba	Tipo de manguera	Q máx. (L/min)
1	L/S 15	0.179
2	L/S 15	0.178
3	L/S 15	0.179

(c)

DETERMINACIÓN DE CAUDAL MÁXIMO DE BOMBA PERISTÁLTICA 2		
# Prueba	Tipo de manguera	Q máx. (L/min)
1	L/S 24	0.3500
2	L/S 24	0.3502
3	L/S 24	0.3444

b) Determinación del tiempo de contacto en el sistema de desinfección con ozono.

Al tener dos bombas con flujos máximos diferentes, se eligió la que manejaba menor caudal (Bomba 2) para que ambas bombas trabajaran de manea homogénea.

Bomba 2

Q máx.=0.35 L/min

V columna =1.8 L

Partiendo de: $Q=V/t \longrightarrow t=V/Q \longrightarrow t= 1.8L / 0.35 L/min$
 $t= 5' 8''$

c) Dosificaciones de ozono e hipoclorito de sodio

Los cálculos de las dosificaciones de ambos desinfectantes se basaron en obtener residuales de 0.3 mg/L en el caso de ozono, y de 0.5 mg/L en el caso de cloro (Na OCl)

i).- Concentración de Ozono en fase gas

La cantidad de ozono a dosificar debe ser suficiente para obtener durante el tiempo de contacto un residual de 0.3 mg de ozono por cada litro de gas. Considerando este requisito, se realizaron pruebas bajo distintas condiciones de operación que se reportan en la *Tabla 48*.

Tabla 48. Pruebas de generación de ozono en fase gas.

Q gas	0.5	L/min
Amperaje	0.5	Am
Voltaje	30	Volts
t contacto	4	Min
V reactor	2	L
$[O_3]_{ge} = \frac{T * N * 24}{V_{gas}}$	6	mg de O ₃ /L gas
$[O_3]_{ge} = \frac{T * N * 24}{V_{gas}}$	8.4	mg de O ₃ /L gas
$[O_3]_{ge} = \frac{T * N * 24}{V_{gas}}$	6	mg de O ₃ /L gas

ii) Concentración de Ozono residual en fase líquida

La dificultad de medir el ozono residual en una solución acuosa es estrictamente una consecuencia de su naturaleza, ya que el ozono se descompone con suma facilidad. El método de índigo es cuantitativo, selectivo y simple; además, reemplaza a los métodos basados en la determinación de oxidantes totales. Es aplicable a agua de lagos, ríos, agua subterránea que contenga manganeso, agua subterránea extremadamente dura y agua residual tratada biológicamente. Este método se basa en el principio siguiente: la disminución de la absorbencia es lineal con el incremento en la concentración del ozono. La constante de proporcionalidad a 600 nm es 0.42 ± 0.01 cm/mg/L [Standar Methods, 1992] (*Tabla 49*).

Tabla 49. Cuantificación de de la concentración de ozono en fase acuosa.

t (minutos)	Absorbencia	$[O_3]_{l,r} = \frac{(A_b - A_m)(100)}{0.42(V_m)(C)}$
0	0.231	
5	0.284	0.03
10	0.291	0.02
15	0.282	0.05
20	0.207	0.22
25	0.201	0.28

NOTA: Estos resultados se obtuvieron con la inyección de 6 mg de ozono por cada litro de gas.

iii) Cloro residual

Procedimiento con DR/2010. El procedimiento es equivalente al método estándar 4500-Cl G para agua potable (HACH COMPANY. Manual de Análisis de Agua. Editorial Casa Rocas.2000. P.P. 85-86).

Tabla 50. Determinación de cloro residual.

DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL		
Dosis (mg/L)	Volumen necesario (μl)	Cloro residual (mg/L)
0.8	5.2	0.45

Coliformes Totales (CT) de agua cruda del Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009



Figura 21. Coliformes Totales. Muestra 1. Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009.



Figura 22. Coliformes Totales. Muestra 2. Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009

Coliformes Fecales de agua cruda del Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009.

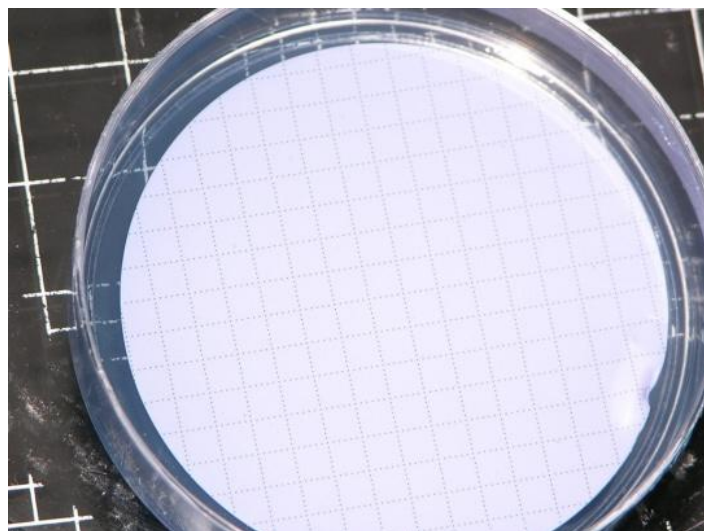


Figura 23. Coliformes Fecales. Muestra 1. Pozo 1. Facultad de Química.06-10-2009.

**Coliformes Totales de agua desinfectada ($\text{O}_3 + \text{NaOCl}$) del Pozo 1. Facultad de Química.
06-10-2009.**



Figura 24. Coliformes Totales. Muestra 1. Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009.

**Coliformes fecales de agua desinfectada (o3+na ocl) del Pozo 1. Facultad de Química.
06-10-2009.**

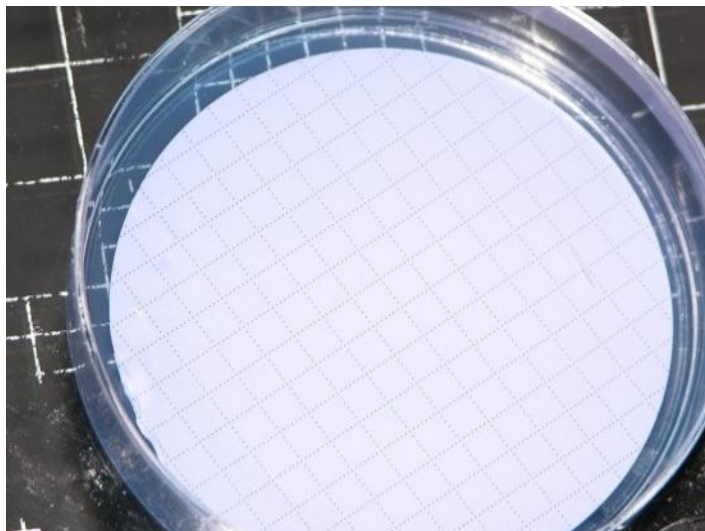


Figura 25. Coliformes Fecales. Muestra 1. Pozo 1. Facultad de Química. 06-10-2009.

3) *Consideraciones generales de factibilidad técnica para sustituir el actual sistema de desinfección.*

a) Puntos a considerar en el diseño de una Unidad de Cloración

- La dosis óptima en relación con la demanda y tiempo de contacto para una clase de agua específica.
- La forma del cloro que se empleará.(como gas o como líquido preparado a partir de una solución de cloro).
- El consumo diario, el método de cloración más conveniente, el punto de inyección y el equipo necesario para ello.
- El almacenamiento del cloro de acuerdo con el tipo de estibamiento para el cloro sólido o el número de cilindros y su tonelaje.
- Los espacios o áreas que debe tener la sala de cloración.
- Los métodos para afrontar las emergencias, los equipos usados en ellas y el plan de contingencia
- El método de control (manual, automático, semiautomático, etc.).

b) Hipoclorito de Sodio (Na OCl) como desinfectante.

El método de desinfección con cloro y sus derivados se deberá llevar a cabo en tres pasos sucesivos, cada uno de los cuales variará en mayor o menor grado según el producto que se utilice.

Paso 1: Evaluación de la cantidad de cloro que se dosificará en la red.

Paso 2: Preparación de las soluciones de los productos no gaseosos.

Paso 3: Calibración del dosificador.

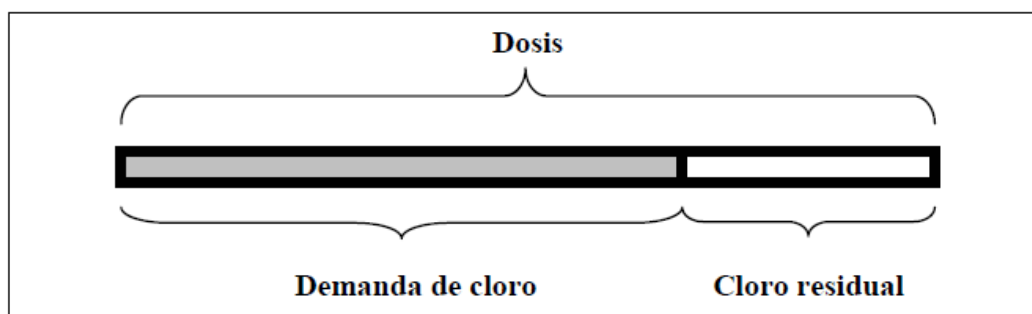
Las variedades comerciales del cloro se obtienen por métodos diferentes y de ellos dependen la concentración de cloro activo, su presentación y estabilidad. En el *Tabla 51* se listan las principales propiedades de cada una de estas variedades.

Tabla 51. Variedades comerciales del cloro y sus principales propiedades.

Nombre y fórmula	Nombre comercial o común	características	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
cloro gas Cl_2	Cloro licuado Cloro gaseoso	Gas licuado a presión	99.50%	Muy buena	Gas altamente tóxico	Cilindros de 40 a 70 Kg. Recipientes de 1 a 5 toneladas
Cal clorada $\text{CaO} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Cal clorada, polvo blanqueador, hipoclorito de cal, cloruro de cal	Polvo blanco seco	15% a 35%	Media; se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Pérdida de 1% al mes.	Corrosivo	Latas de 1,5 Kg Tambores de 45 a 135 Kg Bolsas plásticas o de papel de 25 a 40 Kg. Otros
Hipoclorito de sodio NaClO	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1% a 15% como máximo, Concentraciones mayores a 10% son inestables	Baja, Pérdida de 2% a 4% por mes, mayor si la temperatura excede los 30 °C	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plásticos y vidrio y garrafones
	Hipoclorito de sodio por electrólisis <i>in situ</i>	Solución líquida amarillenta	0.1% a 0.6%	Baja	Oxidante	Cualquier volumen
Hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	HTH, perclorón	Polvo, gránulos y tabletas, Sólido blanco	Polvo 20% a 35% Granulado 65% a 70% Tabletas 65% a 70%	Buena. Pérdida de 2% a 2.5% por año	Corrosivo, inflamación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.	Latas de 1.5 Kg. Tambores 45 a 135 Kg. Balde de plástico

c) Dosificación

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



Relación Dosis-Demanda-Residual

Figura 26. Relación Dosis-Demanda-Residual

i) Cálculo de la dosificación

Tabla 52. Dosificación de Hipoclorito de Sodio al 13% en pozos de abastecimiento.

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

ii) Monitoreo de los compuestos de cloro y sus derivados (cloro residual).

La medición regular de la cantidad de cloro residual permite controlar el funcionamiento del equipo y la ausencia de contaminación en la red de distribución; por ello, esta medición resulta imprescindible. Existen varios métodos para medir el cloro residual en el agua; dos de los más sencillos son el método del dietil-pa- fenilendiamina (DPD) y el método de la ortotolidina.

d) Equipos

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

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

Tabla 53. Clasificación de algunos de los equipos dosificadores de cloro más usados.

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

e) Unidades para aplicar el cloro

Como ya se mencionó, existen dos formas de aplicar el cloro: como gas o como líquido preparado a partir de una solución de cloro. La dosificación se regula mediante aparatos llamados *cloradores* cuando aplican gas o *hipocloradores* cuando emplean la formula líquida (Orta. 2000).

i) Hipocloradores

Aunque una solución de hipoclorito se puede agregar a un abastecimiento de agua mediante dispositivos improvisados, lo que con mayor frecuencia se usa es una bomba de diafragma. Existen otros dispositivos disponibles, tales como los tanques a presión, en los cuales se almacena la solución de hipoclorito, que es forzada a salir mediante bombeo de agua, aire o un aceite inerte.

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

Cuando el agua que se va a tratar fluye a un gasto uniforme, como en un abastecimiento por bombeo, el equipo controlado manualmente es el más adecuado.

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

La solución del cloro también puede aplicarse en tuberías o en canales, en donde el agua está en movimiento; pero nunca en tanques de almacenamiento, por la dificultad para inducir una mezcla rápida.

Se debe tener cuidado con los materiales que se emplean en los equipos de cloro, ya que estos se comportan de modo diverso en lo que respecta a la oxidación (Tabla 54).

Tabla 54. Resistencia a las diferentes formas de cloro que ofrecen algunos de los materiales más comunes.

Resistencia de algunos materiales a las diferentes formas de cloro					
	Acero macizo	Acero inoxidable	Cobre	PVC	Teflón (PTFE)
Cloro gaseoso seco	Buena hasta 120 °C	Buena hasta 150 °C	Buena hasta 200 °C	Buena hasta 40 °C	Buena hasta 200 °C
Cloro gaseoso húmedo	Nula	Nula	Nula	Buena hasta 40 °C	Buena hasta 200 °C
Cloro gaseoso líquido	Buena	Buena	Buena	Nula	Aceptable

ii) Dosificadores.

Existen varias maneras de alimentar una solución y los dosificadores se pueden clasificar según su fuerza de impulsión. Así, se tiene los que trabajan bajo presión atmosférica y los que trabajan bajo presión positiva o negativa.

Tabla 55. Ventajas y desventajas de los dosificadores de cloro y sus derivados.

Clasificación	Dosificador	Ventajas	Desventajas
Cloro gaseoso	Al vacío A presión	Tecnología generalizada en el mundo. Producción de cloro gaseoso en casi todos los países. Producto químico barato. En el caso del clorador a presión, no se requiere de energía eléctrica.	Instalación costosa para pueblos muy pequeños. Necesita equipo auxiliar. El personal necesita capacitación. Si no es operado adecuadamente, puede ser peligroso debido a que el gas es venenoso. No es recomendado para sistemas que tratan caudales menores de 500 m³/día. El clorador al vacío requiere de energía eléctrica.
Bajo presión atmosférica, de carga constante			
Cloro en solución	Tanque con válvula de flotador	Sumamente sencillo de operar y mantener. Muy barato. Puede construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica. Permite dosificaciones para caudales mínimos. Puede usarse en cualquier situación, excepto en pozos tubulares cerrados.	La dosificación no es muy precisa; error de alrededor del 10%. Exige un control constante debido a la variación de las dosificaciones. El material se puede corroer.
	Tubo con orificio en flotador	Carga constante. Sumamente sencillo. Muy barato. Puede construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica.	Según la manera en que el sistema fue constituido, puede llegar a tener un error de dosificación hasta de 20%.
	Sistema vaso/botella	Sumamente sencillo. Muy barato. Puede construirse localmente. Ideal para comunidades pequeñas. Error de dosificación menor del 10%. No necesita energía eléctrica.	Debe mantenerse limpio.
	Bajo presión positiva o negativa		
	Bomba de diafragma (positiva)	Sumamente confiable. Muy popular. Sencillo de operar. Uno de los pocos sistemas para trabajar bajo presión. Puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada hasta con 6.0 Kg/cm².	El personal debe capacitarse en su operación y mantenimiento. Costo intermedio a elevado para un sistema rural. Requiere energía eléctrica. Debe vigilarse. A veces se presenta corrosión en el rotor de la bomba debido al cloro.
	Dosificador por succión (negativa)	Muy sencillo. La solución más barata para una alimentación en tuberías presurizadas.	Requiere vigilancia y mantenimiento para evitar obstrucciones en dispositivo Venturi.
	Generador de hipoclorito de sodio <i>in situ</i>	No requiere transporte de productos clorados. Se produce in situ. Sencillo y fácil de operar.	Requiere de agua blanda para que no se acumulen depósitos en los electrodos. Requiere de vigilancia constante y personal entrenado para tomar precauciones de seguridad por la formación de gas cloro. Producción limitada a la capacidad del equipo.
Cloro solido	Dosificador de erosión	Sumamente sencillo. Ideal para pequeñas comunidades. Una de las mejores soluciones para dosificación a la entrada de un tanque. No necesita energía eléctrica.	Costo intermedio. Alrededor de 10% de errores en la dosificación. Necesita tabletas. En algunos dosificadores las tabletas (si se producen localmente) tienden a adherirse o a formar cavernas y no caen en la cámara de disolución.

f) Costos teóricos de dosificadores de cloro

Los costos de los equipos varían según la cantidad y tipo de producto químico a emplear, el tipo de control (de requerirse alguno) y las necesidades de instalación. En la *Tabla 56* se presentan los costos estimados de los equipos.

Tabla 56. Costos de la de la desinfección con Hipoclorito de Sodio (Na OCl) (dosificadores).

Clasificación	Dosificador	Descripción del equipo	Costo de capital en dólares americanos
Cloro en Solución	Bajo Presión Positiva o negativa		
	Bomba de diafragma (positiva)	Bomba de diafragma con controles eléctricos, tanque plástico para la solución y tuberías Hipoclorito de sodio por kilogramo de cloro disponible	700– 1,000
	Dosificador por succión(negativa)	Tanque de solución, tuberías y Venturi Hipoclorito de sodio por kilogramo de cloro disponible	200 - 350

4) *Recomendaciones.*

- Obtener los datos de gasto mínimo y máximo de los pozos de abastecimiento para emplearlos en el diseño de los equipos de ozonación y cloración.
- Plantear la operación de la red considerando la dirección del flujo en los distintos pozos de abastecimiento y tanques de almacenamiento.

5) *Seguimiento.*

Medición de la calidad del agua potable que pasa por la tubería de suministro por lo menos cada minuto:

- Determinación de nitratos en el laboratorio e in situ.
- Determinación de cloro en el laboratorio e in situ.
- Determinación de conductividad en el laboratorio e in situ.
- Determinación de pH en el laboratorio e in situ.
- Determinación de turbidez en el laboratorio e in situ.

Pruebas de desinfección:

- Dar continuidad a las pruebas de desinfección utilizando la bomba adecuada para el sistema, con la cual se puede aplicar un flujo de 1 L/min, a diferencia de la bomba utilizada en las pruebas preliminares, con la cual sólo se podía trabajar con un flujo de 0.35 L/min.
- Utilizar además otras variables de operación, como tiempo de contacto y concentración de ozono en fase gas a la entrada.

V. LITERATURA CONSULTADA

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

15. Diario Oficial de la Federación. NOM-003-SEMARNAT-1997.
16. Diario Oficial de la Federación. NOM-127-SSA1-1994, modificada en 2000.
17. Dirección General de Obras y Conservación. Información de agua tratada y bombeada al sistema de riego 2006 y 2007. PTAR de Cerro del Agua. UNAM 2008.
18. Dirección General de Planeación. UNAM. Anuario Estadístico de la UNAM. 2005.
19. Dirección General de Planeación. UNAM. Anuario Estadístico de la UNAM. 2006.
20. Dirección General de Planeación. UNAM. Anuario Estadístico de la UNAM. 2007.
21. Distribución del Ingreso y Educación Superior. El caso de la UNAM. Dirección General de Planeación. Coordinación de Planeación. UNAM. 2008.
22. Environmental Protection Agency (EPA). Water Distribution System Analysis. Field Studies, Modeling and Management. A Reference Guide for Utilities. 2005.
23. Espinosa, A.C.; Arias, C.F.; Sánchez-Colón, S.; Mazari-Hiriart, M. Comparative Study of Enteric Viruses, Coliphages and Indicator Bacteria for Evaluating Water Quality in a Tropical High-Altitude System. *Environmental Health*. 8(1):49. 2009.
24. GDF-SMA. Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT).
<http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=4&opciondifusion=1>
25. Goycochea, Darío. “Flujo en tubos a presión”. UAM. Edición de libros de texto. 1992.
26. Guerrero, T; Rives, R.; Rodríguez, A; Saldívar, Y. Manejo del agua en CU. Facultad de Ciencias. UNAM. 2006.
27. <http://www.awwa.org>.
28. <http://www.badgermeter.com/water.aspx>
29. <http://www.nacobre.com>
30. IMTA. Manual de Auditorías de Agua en Inmuebles Federales. SEMARNAT. 2003
31. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Coloquio – Taller sobre Medición y Auditorías de Agua. 2008.

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

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

61. Universidad de Wisconsin. Environmental Education Training and Partnership. Checklist
62. Tools for Developing and Evaluating Communication Tools/Efforts. EETAP. 2002.



www.pumagua.unam.mx

JUNIO / 2010