

## Remoción de arsénico por floculación y filtración directa del agua subterránea del municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, Guatemala.

**Jorge Mario Estrada Asturias**

Ingeniero Químico, M.Sc. en Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC.  
Instituto de Fomento Municipal -INFOM-. Director del Laboratorio de Agua.  
Dirección para recibir correspondencia: asturiasjm@gmail.com

**Alfredo Ricardo Szarata Sagastume**

Ingeniero Civil USAC, M.Sc. en Ingeniería Sanitaria, University of California at Berkeley.  
Instituto de Fomento Municipal -INFOM-. Director Ejecutivo de Plantas de Tratamiento.  
Dirección para recibir correspondencia: financiamientoexterno@infom.gt  
Recibido 11.02.2016 Aceptado 23.02.2016

### Resumen

Se detectó Arsénico en el agua subterránea del pozo "Las Piscinas" que abastece el municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, Guatemala; por lo que fue necesario diseñar una planta de tratamiento de agua para acondicionarla para el consumo humano. Derivado de evaluaciones preliminares surgió la hipótesis de que el arsénico se encuentra en forma suspendida y no disuelta, lo que motivó investigar removerlo por coagulación y filtración. Como parte del proceso de diseño, debió considerarse la poca disponibilidad de área para instalar sedimentadores, por lo que se evaluó la opción de aplicar filtración directa posterior a la coagulación y floculación con sulfato de aluminio. Se fabricó un filtro piloto de arena para simular el proceso de filtración a escala laboratorio. Luego de 13 meses de monitoreo y ensayos experimentales, el arsénico presentó concentraciones promedio de 0.019 mg/L en el agua cruda y 0.005 en el agua tratada por floculación y filtración directa con dosificación de 25 mg/L y la diferencia entre la remoción final aplicando sedimentación y solamente filtración directa fue menor al 1%. Por tanto, se concluyó que puede prescindirse del proceso de sedimentación y por consiguiente, que la floculación y filtración directa es efectiva para remover arsénico por debajo del límite permisible de 0.010 para el consumo humano.

**Palabras clave:** Agua potable, Agua subterránea, Calidad del agua, Filtración directa, Floculación, Plantas de tratamiento.

### Abstract

Arsenic was detected in groundwater from the "Las Piscinas" well, which supplies urban area in San Rafael Las Flores, Santa Rosa, Guatemala. So, design a treatment that could remove it and turns it able to be consumed was necessary. From preliminary evaluations, it was written as a hypothesis that Arsenic is present in suspended form and not dissolved, so it could be removed by a filtration process. As a part of design process, must be considered the limited availability of area and evaluation of flocculation and direct filtration as an option. Pilot sand filter was constructed to simulate the process at laboratory scale. After 13 months of monitoring and experimental assays as jar tests, arsenic was detected in 0.019 mg/L in raw water and 0.005 in treated water at 25 mg/L of aluminum sulfate. Difference between final remotion using sedimentation and only direct filtration process was less than 1%, so, it will dispense with sedimentation and combination of flocculation and direct filtration is effective enough to remove arsenic below permissible limit on 0.010 for drinking water.

**KEY WORDS:** *Drinking water, Groundwater, Water Quality, Direct filtration, Flocculation, Treatment plants.*

## Introducción

En el Laboratorio de Agua del Instituto de Fomento Municipal se recibió solicitud de apoyo por parte de la Unidad de Estudios Técnicos para realizar ensayos experimentales por prueba de jarras para determinar la factibilidad técnica de remover Arsénico presente en el agua del pozo mecánico “Las Piscinas” del municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa.

En atención a dicha solicitud, durante un período de 13 meses se captaron diversas muestras y se realizaron los ensayos correspondientes, consistentes en pruebas de dosificación óptima de coagulantes, para establecer el mejor procedimiento para la floculación, sedimentación, filtración en arena y por último, la construcción de un filtro piloto para simular la floculación y filtración directa a escala laboratorio.

Al mismo tiempo, se prepararon, muestras para análisis de arsénico que fueron enviadas al Laboratorio Nacional de Salud, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social –MSPAS-, para que allí se les realizara el análisis correspondiente, puesto que el Laboratorio de Agua de INFOM no cuenta con el equipamiento adecuado para tal efecto.

Por tal razón, el campo de aplicación del Laboratorio de INFOM se limitó a la realización de las pruebas de jarras, mediciones de turbiedad, color, pH, conductividad eléctrica y la preparación y preservación de las muestras para análisis de Arsénico, así como la construcción y preparación del filtro piloto.

## Materiales y metodología

En el período comprendido del 17 de julio de 2014 al 6 de agosto de 2015 se captaron muestras de agua en el brocal de salida del pozo mecánico “Las Piscinas”, en una derivación que se construyó especialmente como dispositivo para captación de las muestras.

A cada muestra se le realizó el ensayo experimental por prueba de jarras para la determinación de la dosificación óptima del coagulante inorgánico “sulfato de Aluminio” (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>).

Dicha dosis se determinó tomando como parámetros de control la turbiedad (medida en unidades de

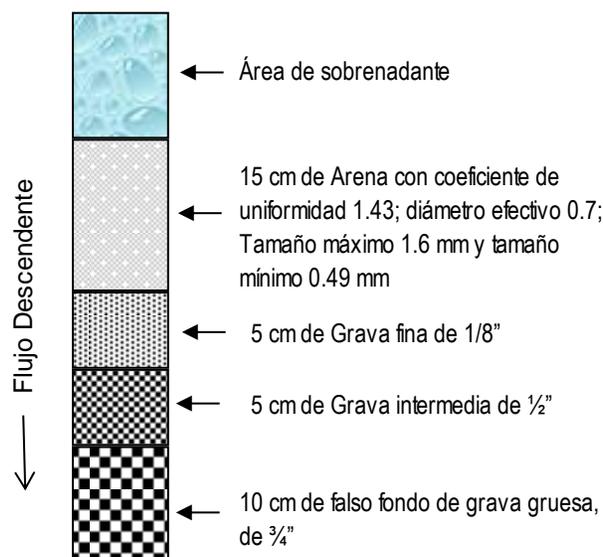
turbiedad nefelométricas –UTN-) y el color aparente, (medido en unidades de Platino-Cobalto –U. Pt-Co-).

Se determinó que la dosis óptima de coagulante es veinticinco miligramos por litro (25 mg/L) aplicados de una solución al uno por ciento (1%).

Los parámetros de operación de la prueba de jarras fueron los siguientes:

- **Condiciones de Coagulación:** sulfato de aluminio dosificado a 25 mg/L de solución al 1%.
- **Condiciones de Floculación:** mezcla rápida de 1 minuto de duración a un gradiente de velocidad de 180 s<sup>-1</sup> (120 rpm); seguido de floculación sin diferenciación de tramos, de 15 minutos de duración a un único gradiente de velocidad de 56 s<sup>-1</sup> (40 rpm).
- **Condiciones de Sedimentación:** con duración de 15 minutos con gradiente de velocidad igual a cero (0 rpm).
- **Condiciones de filtración:** se preparó un filtro piloto en un tubo PVC de 4” de diámetro, (11.3 cm de diámetro real) con la configuración que se muestra en la figura 1:

Figura 1. Esquema de la configuración del filtro piloto fabricado para la remoción de arsénico en aguas subterráneas:



Fuente: Diagrama de elaboración propia.

El filtro descrito operó a presión atmosférica, con flujo descendente y se observó que la velocidad de filtración se encuentra en un valor de 30 cm en 90

segundos, es decir, un equivalente de 0.00333 m/s. (288 m/día).

Para cada una de las muestras del pozo, se preparó un juego de tres muestras adicionales, consistentes en una muestra de agua cruda, una del agua tratada solamente por sedimentación (sin tratamiento de coagulación) seguida de filtración en arena; y la última con el tratamiento completo de coagulación a la dosis descrita y seguida por filtración en arena.

Se hicieron en total diez muestreos en las fechas que se detallan en la Tabla I:

**TABLA I. Detalle de muestreos realizados por el Laboratorio de INFOM en el Pozo Mecánico “Las Piscinas”, San Rafael Las Flores, Santa Rosa, durante los años 2014 y 2015.**

No. de muestreo	Fecha del muestreo	No. de muestra asignado
1	17 de Julio de 2014	1785-14
2	21 de Enero de 2015	178-15
3	28 de Enero de 2015	291-15
4	4 de Febrero de 2015	337-15
5	9 de Abril de 2015	990-15
6	20 de Abril de 2015	1089-15
7	6 de Mayo de 2015	1183-15
8	1 de Junio de 2015	1369-15
9	12 de Junio de 2015	1478-15
10	6 de Agosto de 2015	1964-15

Fuente: correlativo de ingreso de muestras al Laboratorio de Agua de INFOM, años 2014 y 2015.

Finalmente, a la última de las muestras se le realizó la prueba de filtración directa, es decir, al agua se le trató con la dosis óptima de coagulante a las condiciones de floculación descritas, sin aplicarle tiempo de sedimentación sino que inmediatamente al terminar el tiempo de coagulación se procedió a

filtrar el agua por medio de la unidad piloto que fue construida para dicho efecto.

Esto último se hizo con la intención de determinar si es posible prescindir de la etapa de sedimentación para reducir área, tiempo y costes de tratamiento.

## Resultados

### 1. Procedimiento y parámetros determinados en el Laboratorio de INFOM.

El procedimiento del ensayo experimental para la determinación de la dosis óptima de coagulante se tomó del manual de diseño de plantas de tratamiento de agua potable por filtración rápida, del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria –CEPIS-.

Con el muestreo No. 1 del 17 de julio de 2014, se realizó una prueba inicial para decidir la ruta de tratamiento inicial. Se seleccionaría entre las siguientes opciones:

- solamente sedimentación (sin aplicación de coagulantes ni filtración)
- sedimentación + filtración (sin aplicación de coagulantes); y
- tratamiento completo de coagulación/floculación + sedimentación +filtración.

Seguidamente, con los muestreos No. 2, 3 y 4, se seleccionaría entre las siguientes opciones:

- Solamente filtración (sin aplicación de coagulantes); y
- Dosificación óptima para el tratamiento completo de coagulación/floculación + sedimentación +filtración.

Los parámetros analizados y los resultados de los muestreos 1, 2, 3 y 4 se resumen en las tablas II y III a continuación:

**TABLA II. Parámetros analizados en el primer muestreo y sus correspondientes resultados para la selección del tratamiento a aplicar. (Solo sedimentación sin coagulación ni filtración o combinación de coagulación más filtración).**

No. de muestreo	Fecha del muestreo	No. de muestra	Dosis de coagulante (mg/L)	Solo sedimentación		Sedimentación + filtración	
				TURBIEDAD (UTN)	COLOR (U.Pt-Co)	TURBIEDAD (UTN)	COLOR (U.Pt-Co)
				0	11.80	23.70	0.33
5	7.21	14.60	0.32	0.01			
10	3.66	7.30	0.30	0.01			
<b>20</b>	<b>2.86</b>	<b>5.10</b>	<b>0.23</b>	<b>0.01</b>			
<b>30</b>	<b>2.57</b>	<b>3.70</b>	<b>0.21</b>	<b>0.18</b>			
40	3.21	5.90	0.27	0.01			
50	4.14	8.80	0.27	0.18			
60	4.24	9.00	0.28	0.18			
70	5.09	9.80	0.29	0.02			
<b>CONCLUSIÓN DE LA PRUEBA:</b>		No es conveniente solo sedimentar sin coagulación ni filtración. Se descarta la sola sedimentación. Tampoco es conveniente solo sedimentar después de la coagulación. <b>Es necesario COAGULAR Y FILTRAR. Tentativamente la dosis se encuentra entre 20 Y 30 mg/</b>					

Fuente: Libretas de trabajo de ensayos experimentales del Laboratorio de Agua de INFOM, años 2014 y 2015

**TABLA III. Resultados de los muestreos 2, 3 y 4 utilizados para la selección del tratamiento a aplicar. (Solo filtración sin coagulación o coagulación más filtración).**

No. de muestreo	Fecha del muestreo	No. de muestra		TURBIEDAD (UTN)	COLOR (U. Pt-Co)	TURBIEDAD (UTN)	COLOR (U. Pt-Co)	ARSÉNICO (mg/L)
2	21-ene-15	178-15	Condiciones iniciales	1.02	1.00	---	---	0.019
3	28-ene-15	291-15		0.66	1.15			0.019
4	04-feb-15	337-15		0.71	1.31			0.017
TRATAMIENTO APLICADO:			Dosis de coagulante (mg/L)	Solo filtración (sin coagulación)		Sedimentación +coagulación+ filtración		
2	21-ene-15	178-15	0	0.25	0.00	---	---	0.016
			20	---	---	1.96	1.62	
			<b>25</b>	---	---	<b>1.28</b>	<b>1.62</b>	<b>0.006</b>
			30	---	---	1.55	2.25	
3	28-ene-15	291-15	0	0.28	0.00	---	---	0.018
			20	---	---	1.04	1.62	
			<b>25</b>	---	---	<b>1.17</b>	<b>1.99</b>	<b>0.007</b>
			30	---	---	1.37	2.09	
4	04-feb-15	337-15	0	0.30	0.00	---	---	0.015
			20	---	---	0.82	1.46	
			<b>25</b>	---	---	<b>0.87</b>	<b>1.62</b>	<b>0.016</b>
			30	---	---	0.90	1.62	
<b>CONCLUSIÓN DE LA PRUEBA:</b>			Se observó que la sola filtración sin coagulación, logra los menores valores de turbiedad y color, PERO NO se logra la misma remoción de arsénico, <b>POR LO QUE SE DETERMINA LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE EN 25 mg/L.</b> (Por rechazo estadístico se puede descartar el dato de la muestra 337-15).					

Fuente: Libretas de trabajo de ensayos experimentales del Laboratorio de Agua de INFOM, años 2014 y 2015.

Posteriormente, a partir del mes de abril de 2015 se reiniciaron los muestreos y para las pruebas se dejó una dosificación óptima fija en 25 mg/L de sulfato de aluminio, con la intención de darle certeza estadística a los resultados de remoción de arsénico, por lo que se realizaron cinco muestreos adicionales a manera de “corridas” para observar el comportamiento de la coagulación.

En estos muestreos pudo comprobarse que el porcentaje de remoción en promedio supera el 70%.

La Tabla IV resume los resultados de los muestreos 5, 6, 7, 8 y 9.

## 2. Análisis de los datos obtenidos por el Laboratorio Nacional de Salud.

Debido a que en el Laboratorio de Agua de INFOM no se cuenta con el equipamiento necesario para el análisis de arsénico, de cada corrida se preparó una muestra del agua cruda y otra del agua tratada, la cual se preservó con ácido nítrico en concentración 1:1 hasta obtener un pH de muestra menor a 2 unidades, y se enviaron al Laboratorio Nacional de Salud, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, para que se le realizara el análisis respectivo, por medio de espectrometría de absorción atómica.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla V.

**TABLA IV. Resultados de los muestreos 5, 6, 7, 8 y 9 utilizados para para la selección del tratamiento a aplicar. (Solo filtración sin coagulación o coagulación más filtración a la dosis de 25 miligramos por litro de sulfato de aluminio).**

TRATAMIENTO APLICADO:			Sedimentación +coagulación+ filtración			
No. de muestreo	Fecha del muestreo	No. de muestra		TURBIEDAD (UTN)	COLOR (U. Pt-Co)	ARSÉNICO (mg/L)
5	09-abr-15	990-15	Condición inicial:	1.01	0.79	0.016
			Tratamiento con 25 mg/L	0.28	0.00	<0.005
6	20-abr-15	1089-15	Condición inicial:	0.77	1.26	0.016
			Tratamiento con 25 mg/L	0.25	0.00	0.005
7	06-may-15	1183-15	Condición inicial:	0.77	1.26	0.016
			Tratamiento con 25 mg/L	0.18	0.00	0.005
8	01-jun-15	1369-15	Condición inicial:	0.35	0.95	0.016
			Tratamiento con 25 mg/L	0.25	0.00	0.005
9	12-jun-15	1478-15	Condición inicial:	0.49	1.41	0.016
			Tratamiento con 25 mg/L	0.17	0.00	0.007
<b>CONCLUSIÓN DE LA PRUEBA:</b>		Se concluye FINALMENTE que el arsénico puede ser efectivamente removido del agua subterránea del pozo "Las Piscinas" con un tratamiento de coagulación/floculación con sulfato de aluminio a una dosis de veinticinco miligramos por litro (25 mg/L)				

Fuente: Libretas de trabajo de ensayos experimentales del Laboratorio de Agua de INFOM, año 2015

Finalmente, para concluir sobre el objetivo de investigar la viabilidad de la filtración directa para la remoción de arsénico, era necesario determinar si existía o no diferencia significativa entre el resultado obtenido por filtración directa en comparación con el obtenido aplicando la prueba convencional, es decir, aplicando el coagulante seguido de 15 minutos de sedimentación y posteriormente la filtración.

Se determinó que el porcentaje de remoción obtenido por filtración directa es de 70.05 %, mientras que el obtenido por coagulación-sedimentación-filtración es de 70.43%, por lo que siendo la diferencia entre ambos menor al 1% pudo prescindirse de la etapa de sedimentación, lo cual permitió concluir que la floculación seguida de

filtración directa es adecuada para la remoción de arsénico en el agua subterránea.

TABLA V. Resultados del muestreo No. 10 utilizado para la toma de decisión para prescindir de la etapa de sedimentación.

Muestreo No. 10 / muestra No. 1964-15 / fecha: 06 / agosto / 2015						
No. de Corrida:	Volumen de muestra (litros)	TURBIEDAD	COLOR	VOLUMEN DE LODO	ARSÉNICO	
		(UTN)	(U. Pt-Co)	(mL/L)	Resultado (mg/L)	límite máximo
Muestra cruda	1	0.58	1.60	----	0.017	0.010
1	1	1.40	3.30	<0.10	----	----
2	1	1.41	3.40	<0.10	----	----
<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0.82</b>	<b>1.40</b>	<b>&lt;0.10</b>	<b>0.005</b>	<b>0.010</b>
4	2	0.81	1.60	<0.10	----	----
<b>CONCLUSIÓN DE LA PRUEBA:</b>		Dado que el volumen de lodos generado puede considerarse despreciable, y que el resultado de la remoción de arsénico fue satisfactorio, PUEDE PRESCINDIRSE DE LA ETAPA DE SEDIMENTACIÓN POSTERIOR A LA FLOCULACIÓN Y POR TANTO, PUEDE PROCEDERSE A LA FILTRACIÓN.				

Fuente: Libretas de trabajo de ensayos experimentales del Laboratorio de Agua de INFOM, año 2015.

- Porcentaje promedio de remoción con el tratamiento: 70.4 %

De las dos tablas anteriores pueden deducirse los siguientes valores promedio:

- Valor promedio de arsénico en agua cruda: 0.019 mg/L
- Valor promedio de arsénico después del tratamiento: 0.005 mg/L

Un siguiente paso consistió en determinar los porcentajes de remoción que presentó cada tipo de tratamiento, a fin de establecer el óptimo.

En la tabla VI se resumen los porcentajes de remoción de arsénico obtenidos en cada corrida:

**TABLA VI. Resumen de los resultados del análisis de Arsénico, obtenidos en el Laboratorio Nacional de Salud de las diferentes muestras preparadas en el Laboratorio de Agua de INFOM**

No. de muestreo	Fecha del muestreo	No. de muestra	Tratamiento aplicado:	ARSÉNICO	% de remoción alcanzado:
1	17 de Julio de 2014	1785-14	(*) No se consideró porque el tratamiento de ésta muestra no consideró la floculación con sulfato de aluminio.		
2	21 de Enero de 2015	178-15	Condición inicial (Agua cruda):	0.019	70
			Tratamiento con 25 mg/L	0.006	
3	28 de Enero de 2015	291-15	Condición inicial (Agua cruda):	0.019	63
			Tratamiento con 25 mg/L	0.007	
4	4 de Febrero de 2015	337-15	Condición inicial (Agua cruda):	0.017	3 (*)
			Tratamiento con 25 mg/L	0.016	
5	9 de Abril de 2015	990-15	Condición inicial (Agua cruda):	0.016	94
			Tratamiento con 25 mg/L	<0.005	
6	20 de Abril de 2015	1089-15	Condición inicial (Agua cruda):	0.016	69
			Tratamiento con 25 mg/L	0.005	
7	6 de Mayo de 2015	1183-15	Condición inicial (Agua cruda):	0.016	70
			Tratamiento con 25 mg/L	0.005	
8	1 de Junio de 2015	1369-15	Condición inicial (Agua cruda):	0.016	70
			Tratamiento con 25 mg/L	0.005	
9	12 de Junio de 2015	1478-15	Condición inicial (Agua cruda):	0.016	57
			Tratamiento con 25 mg/L	0.007	
10	6 de Agosto de 2015	1964-15	Condición inicial (Agua cruda):	0.017	70
			Tratamiento con 25 mg/L	0.005	
<b>CONCLUSIÓN DE LA PRUEBA:</b>			Se concluye FINALMENTE que el arsénico puede ser efectivamente removido del agua subterránea del pozo "Las Piscinas" con un tratamiento de coagulación/floculación con sulfato de aluminio a una dosis de veinticinco miligramos por litro (25 mg/L)		

(\*) El dato puede rechazarse estadísticamente. Fuente: informes de resultados del Laboratorio Nacional de Salud, MSPAS, Guatemala

## Conclusiones

No Es Conveniente Solo Sedimentar Sin Coagulación Ni Filtración. Se Debe Descartar La Sola Sedimentación.

Tampoco Es Conveniente Solo Sedimentar Después De La Coagulación. Es Necesario Coagular Y Filtrar.

Se Observó Que La Sola Filtración Sin Coagulación, Logra Los Menores Valores De Turbiedad Y Color, Sin Alcanzar La Misma Remoción De Arsénico Obtenida Con Floculación, Por Lo Que Se Determina La Dosis Óptima De Coagulante En 25 Mg/L.

Se Concluye Finalmente Que El Arsénico Puede Ser Efectivamente Removido Del Agua Subterránea Del Pozo "Las Piscinas" Con Un Tratamiento De Coagulación Y Floculación Con Sulfato De Aluminio A Una Dosis De Veinticinco Miligramos Por Litro (25 Mg/L) Con Porcentaje De Remoción Promedio De 70%, Lo Cual, En El 89% De Los Casos Fue Suficiente Para Reducir La Concentración De Arsénico Por Debajo Del Límite Máximo Permisible De La Norma Técnica Guatemalteca Coguanor-NTg-29001.

Dado Que El Volumen De Lodos Generados Puede Considerarse Despreciable, Y Que El Resultado De La Remoción De Arsénico Fue Satisfactorio, Puede Prescindirse De La Etapa De Sedimentación Posterior A La Floculación Y Por Tanto, Puede Procederse A La Filtración Directa, Después De La Floculación.

## Recomendaciones

El tren de tratamiento recomendado es el siguiente:

- Ingreso del agua cruda a la planta de tratamiento
- Mezcla rápida, preferiblemente por medio de resalto hidráulico, siempre que se logre un gradiente de velocidad mayor a  $180 \text{ s}^{-1}$ .
- Floculación con sulfato de aluminio a dosificación de 25 mg/L.
- Se pueden asignar la cantidad de tramos que el diseñador quiera asignar en la floculación, con la condición de que deberá tener en promedio, al menos un gradiente de velocidad de  $56 \text{ s}^{-1}$ .
- Puede prescindirse de la sedimentación posterior a la floculación.
- Debido a que tanto la turbiedad inicial como la formación de lodos pueden considerarse despreciables, se recomienda que la filtración directa pueda realizarse en arena con

granulometría adecuada para filtración lenta, no obstante la velocidad de tratamiento del experimento correspondió a filtración rápida.

- Esto con la intención de retener la mayor cantidad posible de flóculos puesto que se detectó que la carrera de filtración se encuentra en el rango de la filtración rápida. Sin embargo, se respeta el criterio del diseñador para la selección de la tasa o rata de filtración, así como el tipo de medio filtrante.

## Referencias

- American Water Works Association. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. USA. 1998. ISBN: 0-87553-235-7.
- Arboleda Valencia, Jorge. Teoría y Práctica de la purificación del agua. Colombia: McGraw-Hill, 2000. 793 p. ISBN: 958-41-0014-9.
- Castro De Esparza, María Luisa & Pérez Carrión, José. Manual de Instrucción. Programa Regional CEPIS-OPS-OMS. Ciclo: Ciencias Básicas de Tratamiento de Agua. Módulo 2.7: Ensayos de Laboratorio. Sub-módulo 2.7.3: determinación de variables químicas. Lima, Perú, 1981. Disponible en línea: [www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011991-5.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011991-5.pdf). Consultado en septiembre 2015.
- COGUANOR, Norma Técnica Guatemalteca NTG-29001 Agua Potable, especificaciones. Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía, Guatemala. Acuerdo Gubernativo 83-2013, 2013.
- Romero Rojas, Jairo. Purificación del Agua. 2ª ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. 473 p. ISBN: 958-8060-66-4
- Smith Meléndez, E. F. Remoción de arsénico en el agua a nivel de laboratorio usando como medio filtrante óxido de hierro. Trabajo de graduación de maestría, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS), Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, 2007. 85 p.

## Información de los autores

- Ingeniero Civil, Alfredo Ricardo Szarata Sagastume, graduado de la Universidad de San Carlos de Guatemala (1953) y M.Sc. en Ingeniería Sanitaria por la Universidad de California en Berkeley, EEUU(1955).

**60 años de experiencia como diseñador y consultor en proyectos sanitarios.** Ha sido consultor de AID y de la Oficina Sanitaria Panamericana OPS en proyectos sanitarios.

**Director Ejecutivo de la Unidad de Plantas de Tratamiento del Instituto de Fomento Municipal – INFOM-.**

- Ingeniero Químico, Jorge Mario Estrada Asturias, graduado de la Universidad de San Carlos de Guatemala (1997) y M.Sc. en Ingeniería Sanitaria por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS-USAC (2016).

**21 años de experiencia en Control de Calidad del Agua y Control de Contaminantes Industriales y 9 años de experiencia docente** como Profesor Titular en la Universidad de San Carlos de Guatemala y profesor a término en la Universidad Del Valle de Guatemala.

Director del Laboratorio de Agua del Instituto de Fomento Municipal –INFOM- y profesor titular III en la Facultad de Ingeniería, USAC.