

EVALUACIÓN DEL RIESGO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL MARCO DE UN PLAN DE SEGURIDAD DEL AGUA

 CLAUDIA PATRICIA AMÉZQUITA MARROQUÍN¹
ANDREA PÉREZ VIDAL²
PATRICIA TORRES LOZADA³

RESUMEN

La evaluación del riesgo es una etapa clave de un Plan de Seguridad del Agua (PSA) y se logra mediante la identificación de peligros o eventos peligrosos y la valoración del riesgo. Este estudio evaluó los riesgos en el Sistema de Distribución de Agua potable (SDA) de la ciudad de Cali (Colombia) abastecido por el río Cauca, identificando los eventos peligrosos y posteriormente realizando la estimación del riesgo usando una matriz semicuantitativa adaptada. La estimación del riesgo se efectuó inicialmente sin considerar las medidas de control existentes del SDA y luego se reestimó considerando el nivel de eficacia de las mismas. Los resultados mostraron los eventos con mayor nivel de riesgo asociados al deterioro de la integridad física e hidráulica del SDA (daños en tuberías, fluctuaciones de presión, ausencia de información sistematizada sobre el SDA, fallas humanas, falta de capacitación, supervisión, conciencia del concepto aseguramiento del agua, corrosión interna y externa de elementos del SDA). La evaluación del riesgo es un instrumento de gestión para empresas prestadoras del servicio que permite priorizar recursos humanos y financieros hacia el mejoramiento de las medidas de control como estrategia para reducir los riesgos y asegurar la calidad del agua potable en el SDA.

PALABRAS CLAVE: evaluación del riesgo; identificación de peligros; matriz semicuantitativa de riesgo; plan de seguridad del agua (PSA); sistema de distribución de agua potable (SDA).

- 1 Ingeniera sanitaria. MsC. en Ingeniería, énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle. Asistente de investigación Grupo de Investigación Estudio y Control de la Contaminación Ambiental, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- 2 Ingeniera Sanitaria. Ph.D. en Ingeniería, **Énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle. Profesora Titular** Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Boyacá, Colombia.
- 3 Ingeniera Sanitaria, Universidad del Valle. PhD. en Ingeniería Civil, énfasis Hidráulica y Saneamiento, Universidad de São Paulo, Brasil. Profesora Titular, Universidad del Valle. Grupo de Investigación Estudio y Control de la Contaminación Ambiental, Universidad del Valle. Cali, Colombia.



Autor de correspondencia Giraldo-Tobón, E.: Escuela de Ingeniería de Antioquia —EIA— km 2+200 variante Correo electrónico: claudia.patricia.amezquita@gmail.com

Historia del artículo:

Artículo recibido: 1-VIII-2013 / Aprobado: 17-X-2014

Disponibile online: 12 de mayo 2014

Discusión abierta hasta mayo de 2015

RISK ASSESSMENT IN WATER DISTRIBUTION SYSTEMS FRAMED IN A WATER SAFETY PLAN

ABSTRACT

The risk assessment is a key stage in a Water Safety Plan (WSP) and it is achieved by the identification of hazards or hazardous events and the risk estimation. This study evaluated the health risks in the Drinking Water Distribution System (DWDS) of the city of Cali (Colombia) which is supplied by the Cauca River; the hazardous events were identified and subsequently the risk estimation was made using a semi-quantitative risk matrix, previously adapted. The risk estimation was made initially without considering the existing control measures in the DWDS and then, the risks were re-estimated considering the level of effectiveness of them. The results showed the events with the highest level of risk associated with the loss of physical and hydraulic integrity of the DWDS (damage to water pipelines, pressure fluctuations, lack of systematic information on the DWDS, human failures, and lack of training, supervision and awareness about the concept of safety drinking water, internal and external corrosion in the elements of the DWDS). The risk assessment is a management tool for water providers which allow prioritizing the human and financial resources toward improving the control measures as a strategy to reduce health risks and ensure the quality of drinking water in the DWDS.

KEYWORDS: Risk Assessment; Hazard Identification; Semi-Quantitative Risk Matrix; Water Safety Plan (WSP); Drinking Water Distribution Systems (DWDS).

AVALIAÇÃO DO RISCO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NO MARCO DUM PLANO DE SEGURIDADE DO ÁGUA.

RESUMO

A avaliação do risco é uma etapa chave dum Plano de Seguridade do Água (PSA) e consegue-se mediante a identificação de perigos ou eventos perigosos e a valoração do risco. Este estudo avaliou os riscos no Sistema de Distribuição de Água potável (SDA) da cidade de Cali (Colômbia) abastecido por o rio Cauca, identificando os eventos perigosos e posteriormente realizando uma estimação do risco usando uma matriz semiquantitativa adaptada. A estimação do risco efetuou-se sem considerar as medidas de controle existentes do SDA e logo reestimou-se o nível de eficácia dessas. Os resultados mostraram os eventos com maior nível de risco associados à deterioração da integridade física e hidráulica do SDA (danos em tubulação, flutuações de pressão, ausência de informação sistematizada sobre o DAS, falhas humanas, carência de capacitação, supervisão, consciência do conceito asseguramento do água, corozão interna e externa de elementos do SDA). A avaliação do risco é um instrumento de gestão para empresas prestador de serviços que permite priorizar recursos humanos e financeiros para o melhoramento da medidas de controle como estratégia para reduzir os riscos e garantir a qualidade do água potável no SDA.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação do risco; Identificação de perigos; Matriz semiquantitativa; Plano de seguridade do água (PSA); Sistema de distribuição de água potável (SDA).

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) pueden proveer agua segura para el consumo humano, pero su calidad se puede alterar durante el paso por el Sistema de Distribución de Agua (SDA) antes de llegar al consumidor; si el abastecimiento de agua es restringido, la posibilidad de deterioro de la calidad física, química y principalmente microbiológica a nivel intradomiciliar se incrementa (Rojas, 2002; Ainsworth, 2004; Graham y Van Derslice, 2007; OMS, 2007), debiéndose proteger la integridad física, hidráulica y de calidad del agua del SDA para garantizar el aseguramiento del suministro del agua potable (National Research Council, 2006).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda la implementación de los Planes de Seguridad del Agua (PSA) como la forma más eficaz de garantizar la integridad del agua en cada uno de los componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable (SAAP) (cuenca, procesos de tratamiento, sistema de distribución y usuario final), siendo la evaluación del riesgo una de las etapas claves durante el desarrollo de los PSA. La evaluación del riesgo comprende las etapas de identificación de peligros y la valoración del riesgo; la identificación de peligros es el primer paso del enfoque general de evaluación del riesgo adoptado por diferentes comités de expertos, agencias regulatorias e instituciones de salud entre otros para gestionar medidas de control eficientes (NAP, 2008; Tuhovcak y Rucka, 2009; WHO, 2011).

La evaluación del riesgo, además de señalar los posibles peligros y eventos peligrosos (eventos que introducen peligros o impiden su eliminación en el SAAP) y valorar o determinar el nivel de riesgo (probabilidad de ocurrencia de un evento peligroso), permite identificar las medidas pertinentes para controlar los riesgos señalados y sirve para confirmar si se cumplen las normas y metas establecidas por la empresa (Bartram, *et al.*, 2009; WHO, 2011).

Una de las herramientas para estimar el riesgo que se ha tenido en cuenta en casi todas las experiencias reportadas de los PSA para analizar los diversos componentes de un SAAP es la matriz semicuantitativa de riesgo, la cual usa una escala de puntuación para medir los niveles de probabilidad de ocurrencia

e impacto de sus consecuencias del peligro o evento peligroso analizado (Rosén, *et al.*, 2007 y Lindhe, 2008). Estas matrices son sencillas y el resultado es de fácil comprensión; además de la evaluación de riesgos, estas matrices permiten priorizar los eventos peligrosos con mayores niveles de riesgo, ayudando a optimizar las medidas de control existentes o la implementación de nuevas medidas que reduzcan los niveles de riesgo (Vieira y Morais, 2005; Rosén, *et al.*, 2007; Lindhe, 2008).

Este estudio presenta los resultados obtenidos en la evaluación del riesgo en el SDA de la ciudad de Cali-Colombia, específicamente en la red baja abastecida por el río Cauca, usando como herramienta la matriz semicuantitativa de riesgo, la cual fue previamente adaptada para su aplicación en los SDA.

2. METODOLOGIA

El SAAP de la ciudad de Cali abastece aproximadamente a 2,5 millones de habitantes mediante cuatro fuentes de agua superficiales: ríos Cauca, Cali, Meléndez y Pance; aunque el SDA de la ciudad está conformado por las redes Baja, Alta, Reforma y Pance (PDA, 2008), este estudio se enfocó en la red baja, la cual suministra agua potable a cerca del 80 % de la población usando el río Cauca como fuente de abastecimiento, la cual es tratada en las PTAP río Cauca y puerto Mallarino. Las etapas desarrolladas para la evaluación del riesgo del SDA fueron:

- Conformación del equipo PSA y recopilación de información secundaria disponible.
- Elaboración de la matriz de peligros y eventos peligrosos.
- Valoración del riesgo mediante la matriz semicuantitativa.

2.1 Conformación del equipo PSA y recopilación de información secundaria disponible

Considerando la metodología de los PSA recomendada como estrategia de aseguramiento de la calidad del agua, se conformó un equipo multidisciplinario con apoyo del personal operativo y técnico de la empresa prestadora del servicio, asesores con

Tabla 1. Esquema de la matriz de peligros y eventos peligrosos

Evento Peligroso								Peligro						
Código	Evento	Causa/Fundamento	Clasificación					Comentario	Clasificación					
			D	O	M	EM	E		B	Q	F	R	I	C

experiencia en operación y mantenimiento de todo el SAAP de la ciudad y profesionales e investigadores de la academia.

La búsqueda de la información secundaria disponible sobre el SDA, se realizó mediante visitas técnicas a la empresa prestadora del servicio de acueducto y en entidades como instituciones de salud, ambientales, educativas y de planeación municipal, con el objetivo de recopilar información por comunas o barrios que conforman la red baja e identificar potenciales peligros y eventos peligrosos que podrían alterar la calidad del agua en el SDA.

2.2 Elaboración de la matriz de peligros y eventos peligrosos

Con el apoyo de la información recopilada en la etapa anterior y la reportada en la literatura sobre el comportamiento del SDA, se elaboró la matriz de peligros y eventos peligrosos apoyados en la metodología de los PSA (Bartram *et al.*, 2009; WHO, 2011). Se diferenciaron los componentes del SDA y en función de ellos se construyó la matriz clasificada en cuatro componentes: redes, tanques de almacenamiento, estaciones de bombeo y otros (asociados a aspectos organizacionales, financieros, de la empresa y a factores externos o situaciones de emergencia que podrían comprometer la calidad, cantidad y continuidad del servicio).

La **Tabla 1** muestra el esquema de la matriz de peligros y eventos peligrosos, donde se indica que para cada componente se identificaron los eventos peligrosos y a cada evento se le asignó un código y su causa o fundamento según su origen (D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias o E: factores externos). Los peligros fueron clasificados en B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: asociado a la infraestructura física (daños en instalacio-

nes) y C: asociado a la cantidad de agua (insuficiencia de agua).

2.3 Valoración del riesgo mediante la matriz semicuantitativa

La valoración del riesgo comprendió la estimación del riesgo, la identificación de las medidas de control existentes y la reestimación del riesgo; inicialmente la estimación del riesgo se efectuó sin considerar las medidas de control existentes en el SDA y posteriormente se reestimó el riesgo considerando el nivel de eficacia de las mismas. Se adaptó la matriz semicuantitativa propuesta por WHO (2011) ajustando el significado de los niveles de probabilidad de ocurrencia de los eventos peligrosos y la severidad o impacto de éstos y se consideraron aspectos relacionados con la calidad y cantidad de agua y continuidad del servicio; esto permitió proponer una matriz de uso específico para los SDA y que facilitara la evaluación de riesgos de forma amplia y precisa. Cabe destacar que en la mayoría de las experiencias de PSA reportadas a nivel internacional se ha empleado la matriz semicuantitativa genérica propuesta por WHO (2011) con mínimos ajustes. La **Tabla 2** muestra la matriz propuesta en el estudio.

La clasificación final del riesgo se basó en cuatro niveles de acuerdo a la puntuación obtenida, Bajo (< 6), Medio (6-9), Alto (10-15) y Muy alto (>15).

Para cada evento peligroso, la estimación del riesgo se realizó multiplicando la probabilidad de ocurrencia (escala 1-5) y el impacto o gravedad de sus consecuencias (escala 1-5), esta ponderación y la adaptación de la matriz fue discutida y retroalimentada con los miembros del equipo PSA soportada por la metodología Delphi (Landeta, *et al.*, 2011) en donde mediante reuniones técnicas con el equipo PSA y mediante el análisis de la información cualitativa y cuantitativa de

Tabla 2. Matriz semicuantitativa adaptada para la evaluación del riesgo en el SDA red baja ciudad de Cali

Matriz de riesgo semicuantitativa			Impacto				
			INSIGNIFICANTE Sin repercusión. No detectable distribución de agua segura en todo el SDA	MENOR Suministro de agua con incumplimiento de características organolépticas en parte o todo el SDA	MODERADO Consecuencias en la salud pública a largo plazo (riesgo crónico) y/o características organolépticas. < 12 horas de insuficiencia de agua en parte del SDA	MAYOR Incumplimiento reglamentario con repercusión en la salud pública a corto (riesgo agudo) o largo plazo (riesgo crónico). Insuficiencia de agua > 12 horas en parte del SDA	CATASTRÓFICO* Incumplimiento reglamentario con repercusión en la salud pública a corto (riesgo agudo) y largo plazo (riesgo crónico). Insuficiencia de agua en todo el SDA
			Valor: 1	Valor: 2	Valor: 3	Valor: 4	Valor: 5
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	CASI CERTEZA* . Ha ocurrido en varias oportunidades y existe certeza que puede volver a ocurrir. Frecuencia: diaria o varias veces al mes	5	5	10	15	20	25
	PROBABLE. Ha ocurrido en algunas oportunidades. Frecuencia: una o varias veces al año	4	4	8	12	16	20
	MODERADO. Ha ocurrido alguna vez. Frecuencia: al menos 1 vez en 5 años	3	3	6	9	12	15
	IMPROBABLE. Es posible y no puede descartarse totalmente. Frecuencia: ha ocurrido al menos 1 vez en 5 10 años	2	2	4	6	8	10
	RARO. No ha ocurrido pero puede presentarse. Frecuencia: 1 vez en más de 10 años	1	1	2	3	4	5
Puntuación del riesgo			< 6	6-9	10-15	≥ 16	
Nivel de riesgo			Bajo	Medio	Alto	Muy alto	

Tabla 3. Información recopilada y entidades que suministraron la información

INFORMACIÓN RECOPIADA	DEPENDENCIA	INSTITUCIÓN
Reportes de datos de la calidad del agua y valores del IRCA* de las estaciones monitoreadas por EMCALI en la red	Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua	EMCALI EICE ESP
Datos de daños y reparaciones de acometidas domiciliarias	Departamento de Atención Operativa	EMCALI EICE ESP
Datos de daños y reparaciones de alcantarillado	Departamento de Recolección de Aguas Residuales	EMCALI EICE ESP
Información conexiones erradas de alcantarillado		
Zonas de inundación de la ciudad de Cali		
Zonas con acueducto y sin alcantarillado		
Datos de presiones en la red	Departamento de Distribución	EMCALI EICE ESP
Tipo de material de la red por barrios		
Zonas muertas, de baja velocidad y puntos extremos en el sistema de distribución		
Información sobre mantenimiento de tanques y de redes		
Edad de tuberías		
Catastro red de distribución de agua potable		
Existencia de cruces en la red de distribución con el alcantarillado	Departamento de Distribución y Recolección de Aguas Residuales	EMCALI EICE ESP
Reportes de quejas de la calidad del agua potable	Gerencia comercial	EMCALI EICE ESP
Información de reposición de redes en alcantarillado y acueducto	Departamento de Ingeniería	EMCALI EICE ESP
Inventario de tipo de material usado en conexiones intradomiciliarias, edad de las instalaciones internas	Departamento de Ingeniería de la Gerencia de Acueducto. Atención Operativa Bomberos	EMCALI EICE ESP Bomberos
Información sobre campañas de educación realizadas a la población con respecto al manejo de las conexiones intradomiciliarias	Gerencia comercial y Departamento de Gestión Ambiental	EMCALI EICE ESP Secretaría de Salud
Censo de edificaciones, instituciones (hospitales, colegios, centros comerciales) con almacenamiento intradomiciliario	Departamento de Ingeniería de la Gerencia de Acueducto y Alcantarillado EMCALI	EMCALI EICE ESP
Informe de la calidad del agua para consumo humano en el municipio de Santiago de Cali	Departamento de Gestión Ambiental	Secretaría de Salud
Información sobre los estudios de prevención de enfermedades asociadas al ambiente		Secretaría de Salud
Cartografía básica del municipio de Santiago de Cali	POT y servicios públicos	Planeación Municipal
Microzonificación sísmica del municipio de Santiago de Cali	Departamento de Gestión del riesgo	DAGMA
Proyectos de investigación sobre el SAAP	Biblioteca, centros de estudio	Universidad del Valle, Javeriana

la red baja del SAAP, los criterios basados en evidencias encontradas en la literatura técnica, el conocimiento del SDA y la experiencia de los participantes, se llegó a un consenso de opiniones.

La valoración del riesgo también permitió identificar la necesidad de formular programas de mejoramiento, soporte o apoyo al PSA que incluyan nuevas medidas de control o mejoras de las ya existentes como parte de las estrategias de gestión del riesgo dentro del enfoque de los PSA para la reducción del riesgo

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Conformación del equipo PSA y recopilación de información secundaria disponible

En el equipo PSA participó personal técnico, operativo y gerencial de la entidad prestadora del servicio de agua, un asesor experto en el SAAP de la ciudad de Cali con más de 20 años de experiencia y académicos con trayectoria en temas de docencia e investigación sobre el tratamiento del agua y el SAAP de la ciudad de Cali. La **Tabla 3** relaciona las entidades en las que se recopiló la información usada en el estudio.

Autores como Sturm *et al.* (2008), Törnqvist *et al.* (2008), Bartram *et al.* (2009) y WHO (2011) mencionan que uno de los inconvenientes que se presentan en la evaluación de riesgos es la recopilación de información sobre el funcionamiento de los SAAP ya que en muchos casos ésta no está dispuesta de manera adecuada para su uso o no existe. En este estudio, aunque parte de la información no se encontraba de manera precisa (en algunas ocasiones no existía o se presentaba una inadecuada recopilación y procesamiento por parte de las diferentes entidades consultadas), la información recopilada del SDA red baja fue suficiente para construir la matriz de peligros y eventos peligrosos y la matriz semicuantitativa de evaluación del riesgo; sin embargo, fue necesaria la sistematización, agrupación, unificación de formatos y procesamiento de los datos existentes, lo que demandó tiempo y recursos humanos y financieros por encontrarse la información distribuida en diferentes dependencias dentro de la misma empresa.

Es fundamental entender y crear conciencia sobre el valor de una adecuada recopilación de información del SDA por parte de los diferentes actores involucrados en el aseguramiento de la calidad del agua, pues a manera de ejemplo sobre las dificultades que se presentaron con la recopilación de la información, se pueden mencionar los datos de quejas de calidad de agua por parte del usuario final, que aunque son recopilados por la empresa, la información está fragmentada en diferentes dependencias y no se aprovecha su uso como un posible indicador de calidad del agua, sino en la parte comercial. Esta información es clave para evaluar el comportamiento del SDA y sirve de medida de control para detectar potenciales fallas del mismo, ya que el reporte de cambios en la apariencia, olor, sabor del agua, pérdida de presión etc., podría servir de indicador de la ocurrencia de eventos peligrosos que comprometen la calidad del agua potable (Ainsworth, 2004; Cunliffe *et al.* 2011).

3.2 Elaboración de la matriz de peligros y eventos peligrosos

La información recopilada sobre el SDA desde su descripción hasta su funcionamiento, es primordial para poder determinar los puntos del sistema que son vulnerables a eventos peligrosos e identificar los tipos de peligros relevantes (Vieira y Morais, 2005; Bartram *et al.*, 2009). Con base en la información recopilada, el conocimiento del SDA y estudios realizados en el SDA como el de Pérez *et al.* (2012), se construyó la matriz de peligros y eventos peligrosos del SDA red baja, donde se identificaron un total de 38 eventos peligrosos (21 en redes, 3 en tanques de almacenamiento, 3 en estaciones de bombeo y 11 en otros).

De los eventos peligrosos identificados el 58 % del total de estos están relacionados en su mayoría con problemas de mantenimiento, un 55 % del total de eventos con la operación y el 45 % del total con el diseño y por último factores externos y asociados a condiciones de emergencia o contingencia, comportamiento que coincide con lo indicado por la National Research Council (2006), donde afirma que el mantenimiento es una de las actividades principales para poder asegurar la integridad del SDA.

Tabla 4. Fragmento matriz de peligros y eventos peligrosos del SDA red Baja Cali

Componente	Código*	Evento peligroso	Peligro asociado
RED:	EV_7_R	Baja cobertura del monitoreo de calidad de agua en el SDA	Biológico, químico y físico
	EV_21_R	Prácticas inadecuadas en la construcción de nuevas redes a cargo de urbanizadores y/o el prestador del servicio	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua e infraestructura
Tanques de almacenamiento	EV_1_T	Inadecuado funcionamiento hidráulico de los tanques de almacenamiento	Biológico, químico y físico
	EV_2_T	Crecimiento de biopelícula en las paredes de los tanques y acumulación de sedimentos	Biológico, químico y físico
Estaciones de bombeo	EV_1_E	Falla o ausencia de electricidad en las estaciones de bombeo	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua e infraestructura
	EV_3_E	Inadecuada operación y mantenimiento de las estaciones de bombeo	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua e infraestructura
Otros	EV_2_O	Inseguridad, actos de vandalismo y terrorismo en todo el Sistema de Abastecimiento	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua, Radiológico e infraestructura
	EV_7_O	Falta de recursos financieros e inadecuada gestión gerencial	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua e infraestructura

*EV: Evento_ número del evento _componente: R red, T tanques de almacenamiento, E estaciones de bombeo y O otros

En la **Tabla 4** se muestra a manera de ejemplo un fragmento de la matriz de peligros y eventos peligrosos del SDA para cada uno de los componentes del SDA, junto con su peligro asociado.

Un ejemplo de los eventos peligrosos citados en la **Tabla 4** es el denominado EV_7_R donde a pesar que la empresa prestadora ha ido incrementando el número de puntos de monitoreo a partir de lo definido según la Resolución 0811 de 2008 (MPS, 2008) y las recomendaciones del estudio de Montoya *et al.* (2009), aún se siguen haciendo ajustes en algunos puntos debido a inconvenientes en la adecuación física de los mismos. Esta acción es importante, ya que la falta de cobertura en el control de calidad de agua puede afectar la toma de decisiones sobre la operación del sistema y tener un diagnóstico preciso y veraz sobre la calidad del agua que permita identificar zonas de riesgo, sus causas y actuar oportunamente en casos de contaminación del agua potable (Montoya *et al.*, 2009; WHO, 2011).

3.3 Valoración del riesgo mediante la matriz semicuantitativa

Una vez sistematizados los peligros y eventos peligrosos, se identificaron las medidas de control existentes para cada uno de los 38 eventos peligrosos definidos en las matrices de peligros y eventos peligrosos del SDA; la evaluación del riesgo para cada evento se realizó inicialmente sin considerar las medidas de control existentes y posteriormente se reestimó considerando la eficacia de las medidas de control. La **Tabla 5** muestra un fragmento de la matriz de evaluación del riesgo, mostrándose un evento peligroso por cada uno de los componentes en que se dividió el SDA y su respectiva estimación del riesgo sin y con medidas de control.

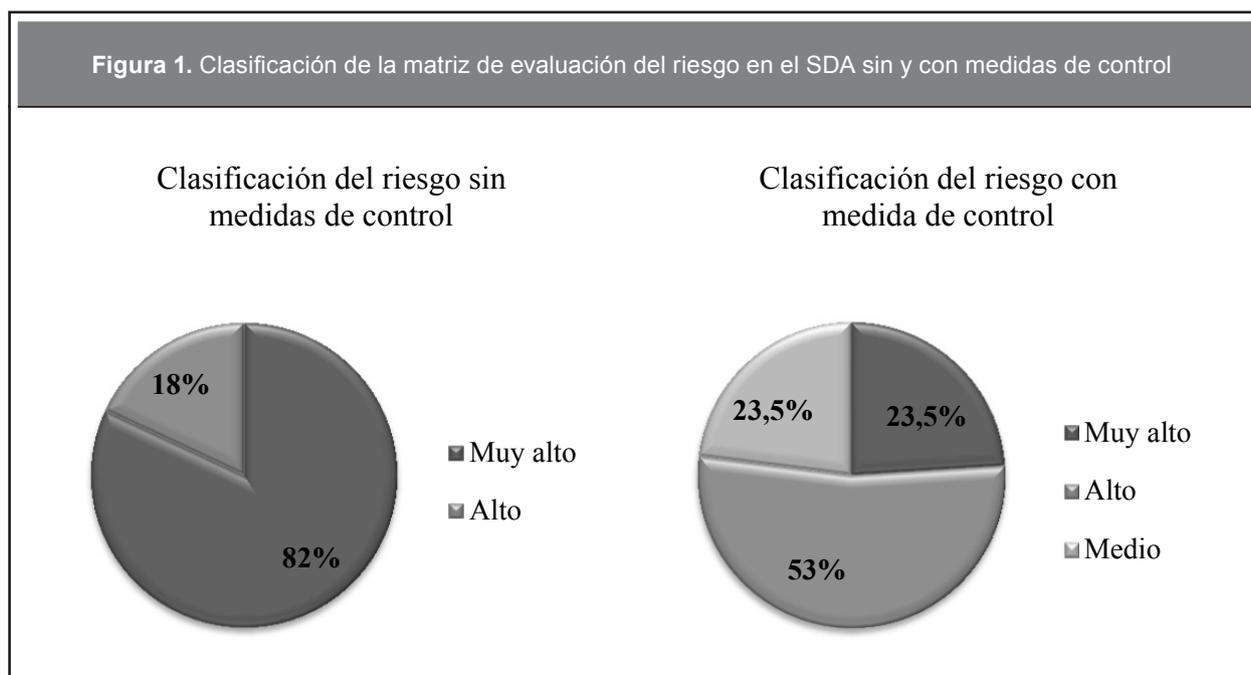
La **Figura 1** muestra la clasificación del riesgo sin y con medidas de control en porcentaje; en la misma se observa que sin considerar las medidas de control existentes, de los 38 eventos peligrosos identificados, 31 eventos peligrosos se clasifican en un nivel de riesgo muy alto y los 7 restantes en nivel alto,

Tabla 5. Fragmento de la matriz de evaluación de riesgo en el SDA

Evento peligroso	Estimación del riesgo sin MC			Medidas de control (MC)	Estimación del riesgo con MC		
	P	I	R		P	I	R
Red: Baja cobertura del monitoreo de calidad de agua en el SDA	4	4	Muy alto	Continuar con la implementación y/o adecuación de los puntos de monitoreo	3	4	Alto
				Mantenimiento preventivo y calibración de equipos de monitoreo.			
Red: Prácticas inadecuadas en la construcción de nuevas redes a cargo de urbanizadores y/o el prestador del servicio	3	4	Alto	Revisión y aprobación, por parte del prestador del servicio, de los diseños de redes de acueducto y alcantarillado realizados por urbanizadores y contratistas propios.	2	4	Medio
				Supervisión continua de obras para verificar el cumplimiento de los diseños aprobados y los procedimientos de construcción.			
				Supervisión de la calidad de los materiales empleados en las actividades de construcción.			
Tanques almacenamiento: Crecimiento de biopelícula en las paredes de los tanques y acumulación de sedimentos	5	4	Muy alto	Operación adecuada de las barreras de tratamiento (controlar turbiedad, corrosión, concentración Fe y Mn, materia orgánica etc.).	2	4	Medio
				Lavado y desinfección de tanques de almacenamiento (min. 4 veces/año)			
				Monitoreo de calidad del agua a la entrada y salida de los tanques de almacenamiento.			
				Operar el SDA evitando niveles mínimos o elevados de agua en los tanques de almacenamiento que incrementen la edad del agua debido a los actuales problemas hidráulicos del SDA.			
Estaciones de bombeo: Inadecuada operación y mantenimiento de las estaciones de bombeo	4	4	Muy alto	Ejecución de programas de inspección y mantenimiento de las estaciones de bombeo (reposición de componentes, corrección de fugas, control de corrosión externa)	3	4	Alto
				Actualización de procedimientos de operación, mantenimiento y continuidad del proceso de gestión de calidad.			

MC: Medidas de control, P: Probabilidad, I: Impacto, R: Riesgo, PM: Puerto Mallarino

Figura 1. Clasificación de la matriz de evaluación del riesgo en el SDA sin y con medidas de control



ninguno en nivel medio o bajo. Con la aplicación de las medidas de control identificadas y considerando su nivel de eficacia, se logró reducir el nivel de riesgo de los mismos (9 eventos en nivel muy alto, 20 en nivel alto y 9 en nivel medio, ninguno en nivel bajo).

Aunque las medidas de control existentes permitieron reducir los niveles de riesgo, ningún evento peligroso logró disminuir a un nivel bajo y 9 eventos continuaron clasificados en niveles de riesgo muy alto, lo que indica la necesidad de reforzar las medidas de control existentes para mejorar su eficacia y/o la evaluación de nuevas medidas que permitan reducir los niveles de riesgo.

Los eventos peligrosos que presentaron niveles de riesgo muy alto estuvieron asociados principalmente a daños en las tuberías de agua potable relacionados con el tipo de material, las fluctuaciones de presión debidas al funcionamiento hidráulico del sistema, elevada edad del agua, prácticas inadecuadas en la reparación y reposición de componentes del SDA, elevado porcentaje de pérdidas en el sistema que incrementan el índice de agua no contabilizada, la ausencia de información sistematizada sobre el comportamiento del SDA, fallas humanas (falta de capacitación, supervisión, conciencia del concepto del aseguramiento de la calidad del agua, compromiso

del personal operativo y administrativo) la corrosión interna y externa de los elementos del SDA (tuberías, estructuras, equipos, válvulas). Gran parte de estos eventos peligrosos también han sido identificados por otros estudios como críticos por ser los más comunes y prioritarios en los SDA (Lee y Schwab, 2005; National Research Council, 2006; Moreno, 2009; WHO, 2011).

En general, la evaluación del riesgo y el análisis de las medidas de control permitieron evidenciar la efectividad de las mismas e identificar la necesidad de formular programas de soporte o apoyo que permitan optimizar, reforzar o mejorar las medidas existentes e incluso formular nuevas medidas que generen una reducción del riesgo como parte del enfoque de los PSA. En la **Tabla 6** se resumen los programas propuestos que podrían desarrollarse para optimizar las medidas de control existentes y/o las nuevas propuestas que pueden servir de instrumento de priorización y planeación de inversiones para la empresa prestadora del servicio, además como medidas de reducción de los niveles de riesgo.

La asignación de tiempo y recursos para la ejecución de los programas de mejoramiento dependen de la planeación y decisión del personal directivo o de la alta gerencia, lo que ratifica la importancia de

Tabla 6. Programas para la optimización de las medidas de control en el SDA

Programas de mejoramiento, soporte o apoyo al PSA	Actores involucrados		
	Prestador del servicio	Autoridades sanitarias y de salud	Usuario final
Realizar estudios para identificar la necesidad y ubicación de estaciones de reclinación en el SDA, del comportamiento hidráulico orientado a la implementación de mecanismos de supresión de golpes de ariete, de optimización del comportamiento hidrodinámico de los tanques de almacenamiento haciendo uso de herramientas de modelación.	X		
Realizar el montaje completo de los puntos de monitoreo restantes del SDA, establecer un plan de lavado y desinfección de los tanques diseñado acorde con el funcionamiento hidráulico de cada uno, además de ajustar procedimientos del área técnica de la empresa para asegurar el adecuado diseño, construcción o reparación de redes y tanques.	X		
Optimización del programa tarifario, planeación y gestión de recursos económicos para la reparación rápida de daños y la reducción en el tiempo de atención, para garantizar el mantenimiento y calibración oportuna de los componentes y equipos de medición del SDA	X		
Adelantar una campaña de promoción ante los organismos nacionales para concientizarlos sobre la necesidad de optimizar la capacidad analítica de los laboratorios del país y facilitar los trámites para la contratación de laboratorios internacionales acreditados	X	X	
Capacitación a gremios de ingenieros, constructores sobre la normatividad existente de la ubicación correcta de redes de acueducto y alcantarillado, al usuario sobre la importancia del reporte oportuno y veraz de las anomalías del servicio, del cuidado de los componentes del SDA y las responsabilidades legales (Decreto 1575/07) del usuario, al personal de la empresa prestadora para generar conciencia de la importancia de la calidad de agua y la necesidad de optimizar la recepción, manejo y redirección de la información recolectada sobre el manejo del SDA.	X	X	X

su participación y compromiso durante el desarrollo, implementación y sostenibilidad del PSA para garantizar su éxito (Davison y Deere, 2007; Bartram, *et al.*, 2009). Algunos programas propuestos son aplicables a diferentes eventos peligrosos por lo que, además de considerar el nivel de riesgo, éste puede ser un criterio de decisión para priorizar los programas a ejecutar. Durante la ejecución del programa deberá garantizarse su monitoreo, verificar que no se introduzcan nuevos riesgos y la actualización permanente del PSA (Bartram, *et al.*, 2009).

Según Rojas (2006) para responder adecuadamente ante un riesgo, se debe contar con

la participación multidisciplinaria e interinstitucional de todas las partes interesadas para garantizar una visión y solución integral del evento; por tanto, definir responsabilidades para concientizar a los diferentes actores involucrados sobre la repercusión de sus acciones, es esencial como estrategia para el control de la vigilancia y de la calidad del agua como lo afirma WHO (2011). De esta manera, el funcionamiento adecuado de las medidas de control para disminuir el riesgo y consolidar el aseguramiento de la calidad del agua, dependerá en gran parte del compromiso y cooperación que exista entre la entidad prestadora del servicio de agua y las entidades competentes

encargadas de la vigilancia y control de la calidad del agua potable, además de la disposición de los usuarios (Davison y Deere, 2007; Bartram, *et al.*, 2009).

4. CONCLUSIONES

Es fundamental entender y crear conciencia en los diferentes actores involucrados en el aseguramiento de la calidad del agua, sobre el valor de una adecuada recopilación de información sobre el funcionamiento del SDA a ser evaluado, pues contar con un sistema adecuado de recopilación, procesamiento y análisis de información confiable, permitirá tener mayor precisión y representatividad sobre potenciales riesgos y soluciones, pudiendo actuar con prontitud y exactitud en el momento que se presente algún peligro o evento peligroso que afecte la calidad del agua potable.

Los eventos peligrosos categorizados en la matriz de evaluación de riesgos en el SDA red baja de la ciudad de Cali con un nivel de riesgo Muy alto, se asociaron principalmente a daños en las tuberías, fluctuaciones de presión, elevada edad del agua, prácticas inadecuadas de reparación y reposición de componentes del SDA, ausencia de información sistematizada sobre el comportamiento del SDA, fallas humanas (falta de capacitación, supervisión, conciencia del concepto del aseguramiento de la calidad del agua, compromiso del personal operativo y administrativo) y la corrosión interna y externa de los elementos del SDA.

La evaluación del riesgo permite identificar eventos peligrosos, estimar el riesgo y priorizar medidas de control existentes y la necesidad o no de implementar medidas adicionales, siendo de gran utilidad durante el desarrollo de un Plan de Seguridad del Agua. Los resultados obtenidos en este estudio, mostraron la utilidad de las matrices semicuantitativas como herramienta de gestión del riesgo de fácil aplicación; herramienta que para este estudio fue adaptada y no solo incluyó el criterio de calidad de agua que comúnmente se emplea sino que también incluyó el concepto de cantidad de agua y continuidad del servicio como factores claves para asegurar la calidad del agua la cual podría ser adoptada por otros SAAP.

Es importante contar con una evaluación y gestión integral del riesgo en el SDA que considere no solamente el enfoque tradicional del monitoreo

de calidad de agua, sino también una integración de diferentes herramientas que incluyan otros factores operacionales como daños en las redes, quejas de calidad del agua potable, características hidráulicas, entre otros, que puedan también alertar sobre la existencia de diversos peligros y eventos peligrosos que pueden comprometer la calidad del agua potable, además la aplicabilidad de los resultados de las herramientas usadas dependerá en gran manera de aspectos como la disponibilidad de información, conocimiento del sistema por parte de los involucrados y recursos económicos y humanos, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen el apoyo a la formación de recurso humano (Colciencias: doctorados y jóvenes investigadores) y a la investigación (Colciencias, EMCALI EICE ESP, Universidad del Valle: Proyecto Cofinanciación «Identificación, evaluación y manejo del riesgo en el sistema de abastecimiento de agua de la red baja de la ciudad de Cali, enmarcados en un Plan de Seguridad del Agua (PSA)»).

REFERENCIAS

- Ainsworth, R. *Safe piped water: Managing microbial water quality in piped distribution systems*. London: IWA Publishing, 2004. 168p.
- Bartram J, C. L.; Davison, A.; Deere, D.; Drury, D.; Gordon, B.; Howard, G.; Rinehold, A. and Stevens, M. *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. Geneva: World Health Organization, 2009. 108p.
- Cunliffe, D.; Bartram, J.; Briand, E.; Chartier, Y.; Colbourne, J.; Drury, D.; Lee, J.; Schaefer, B. and Surman, S. *Water safety in buildings*. Geneva: World Health Organization, 2011. 164 p.
- Davison, A. y Deere, D. *Material de trabajo para Planes de Seguridad del Agua para consumo humano*. Singapore: Traducción por Torres, R. y Brescia, S., 2007. 47 p.
- Graham, J. and Vanderslice, J. (2007). The Effectiveness of Large Household Water Storage Tanks for Protecting the Quality of Drinking Water. *Journal of Water and Health*, 5(2), November, pp. 307-313.
- Lee, E. and Schwab, K. (2005). Deficiencies in Drinking Water Distribution Systems in Developing Countries. *Journal of Water and Health*, 3(2) June, pp. 109-127.

- Lindhe, A. *Integrated and probabilistic risk analysis of drinking water system*. Sweden: Chalmers University of Technology, 2008. 105p.
- Ministerio de la Protección Social (MPS). Decreto 1575 de 2007. República de Colombia.
- Ministerio de la Protección Social (MPS). Resolución 0811 de 2008. República de Colombia.
- Montoya, C.; Loaiza, D.; Cruz, C.; Torres, P.; Escobar, J. y Delgado, L. (2009). Propuesta metodológica para localización de estaciones de monitoreo de calidad de agua en redes de distribución utilizando sistemas de información geográfica. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 49, julio, pp. 129-140.
- Moreno, J. *Avaliação e Gestão de Riscos no Controle da Qualidade da Água em Redes de Distribuição: Estudo de Caso. Tese (Doutorado)*. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2009. 235p.
- National Academic Press (NAP). *Science and Decisions: Advancing Risk Assessment*. 2008. ISBN 0-309-12047-0. [consultado el 26 de Julio de 2012] Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/12209.html>
- National Research Council of the National Academies. *Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks*. Washington D.C: The National Academies Press, 2006. 392 p.
- Landeta, J.; Barrutia, J. and Lertxundi A. (2011). Hybrid Delphi: A Methodology to Facilitate Contribution from Experts in Professional Contexts. *Technological Forecasting & Social Change*, 78, November, pp.1629-1641.
- Pérez, A.; Amézquita, C. y Torres P. (2012). Identificación y priorización de peligros como herramientas de la gestión del riesgo en sistemas de distribución de agua potable. *Ingeniería y Universidad*, 16(2), julio, pp. 449-469.
- Plan Departamental del Agua (PDA). *Valle del Cauca. Municipio: Santiago de Cali. Diagnóstico Técnico de Acueducto y Alcantarillado en el Área Urbana*. 2008.
- Rojas, R. *Planes de seguridad del agua (PSA). Hojas de Divulgación Técnica*. Lima: OMS/OPS/SDE/ CEPIS-SB HDT –No. 100. ISSN: 1018-5119. 2006.
- Rojas, R. *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. Lima: CEPIS/OPS, 2002.
- Rosén, L. Hokstad, P. Lindhe, A. Sklet, S. and Rostum J. *Generic framework and methods for integrated risk management in water safety plans*. Sweden: Technau. 2007. 102 p.
- Sturm, S. Kiefer, J. and Ball, T. *Risk assessment case study – Freiburg-Ebner*. Germany: Technau and DVGW Water Technology Center (TZW), 2008 p.
- Tuhovcak, L. and Rucka, J. *Hazard Identification and Risk Analysis of Water Supply Systems in Strategic assessment Management of Water Supply and Wastewater Infrastructures*, United Kingdom: IWA Publishing, 2009. 287-298 p.
- Vieira, J. y Morais, C. *Planos de Segurança da Água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento. Instituto Regulador de Águas e Resíduos*. Portugal: Universidade do Minho. 2005. 161 p.
- World Health Organization (WHO). *Guidelines for Drinking-water Quality: 4th edition*. Genève: WHO, 2011. 269 p.

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

Amézquita-Marroquín, C. P.; Pérez-Vidal, A.; Torres-Lozada, P. (2014). Evaluación del riesgo en sistemas de distribución de agua potable en el marco de un plan de seguridad del agua. *Revista EIA*, 11(21) enero-junio pp. 159-169. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2014.11.21.159-169>