



S E R E A 2017
Seminario Iberoamericano de Redes de Agua

XV Seminario Iberoamericano de Redes de Agua y Drenaje, SEREA2017

WATER SAFETY PLAN (WSP) FOR THE WATER SUPPLY SYSTEM OF THE TOWN OF TOCAIMA

PLAN DE SEGURIDAD DEL AGUA (PSA) DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE TOCAIMA

José Luis Díaz Arévalo^{b1}, Andrés Felipe Martínez Urrego^a, Ángela María Jaramillo Londoño^a

aUniversidad Santo Tomás/Facultad de Ingeniería Ambiental, Bogotá, Colombia

bUniversidad Santo Tomás/Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá, Colombia

Abstract

As established by the World Health Organization WHO [1], the most effective way to systematically ensure the safety of a drinking water supply system is to apply a comprehensive approach to risk assessment and risk management covering all stages of the supply system, from catchment basin to distribution to the consumer. The main objectives of a Water Safety Plan (PSA) are: minimizing contamination of water sources, reducing or eliminating pollution through appropriate treatment processes, and preventing pollution during processing, distribution and storage. In this sense, the design of the Water Safety Plan (WSP) for the water supply system of the town of Tocaima, located in the department of Cundinamarca, is presented. The WSP for the company INGEAGUA S.A.S. E.S.P., is assessed on the basis of specific criteria based on the World Health Organization's Manual for the Development of Water Safety Plans; after that study the control measures to be taken in the presence of the risks and dangers encountered are presented and subsequently defined how they could react when implementing such measures. The analysis identified significant risks to the quality, quantity and continuity of service. First, the source of supply is affected by agricultural activity and sewage discharges. The catchment is located in an area with easy access to tourists and the grid does not fulfill its function, because in the driest times, the flow is minimal and the catch is made below the minimum necessary. In terms of treatment the plant is designed to work with three mechanical flocculator palletisers but only one of them works correctly; another is out of service and the third is retired. The disinfection is not carried out correctly because the chlorine enters directly into the tank without undergoing a mixing process that guarantees that the percentage of residual chlorine is the indicated one. The methodology used is the one proposed by the World Health Organization (WHO), which provides a series of parameters to follow when developing and executing a water safety plan (PSA). It is composed of 5 phases of preparation, evaluation of the system, operational monitoring, management and communication, feedback and improvement of the system, which in turn, are divided into 11 modules. There is still little application of the methodology in the country [2], [3].

Keywords: Water Safety Plan; Tocaima; Risk.

Resumen/Resumo

Tal como lo establece la Organización Mundial de la Salud OMS [1], la forma más eficaz de garantizar sistemáticamente la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo es aplicando un planteamiento integral de evaluación de los riesgos y gestión de los riesgos que abarque todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la cuenca de captación hasta su distribución al consumidor. Los objetivos principales de un

* Autor de correspondencia: Tel.: +57-1-5878797 ext 1896
Correo electrónico: jluisdiaz@usantotomas.edu.co

Plan de Seguridad del Agua (PSA) son: la minimización de la contaminación de las fuentes de agua, la reducción o eliminación de la contaminación a través de procesos de tratamiento adecuados, y la prevención de la contaminación durante el procesamiento, distribución y almacenamiento. En este sentido, se presenta el diseño del Plan de Seguridad del Agua (PSA) para el sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Tocaima, ubicado en el departamento de Cundinamarca. El PSA para la empresa INGEAGUA S.A.S. E.S.P., se evalúa con criterios puntuales basados en el Manual para el Desarrollo de Planes de Seguridad del Agua de la Organización Mundial de la Salud; después de dicho estudio se presentan las medidas de control a tomar ante los riesgos y peligros encontrados y posteriormente se define cómo podría reaccionar al implementar tales medidas. En el análisis efectuado se identificaron riesgos significativos hacia la calidad, cantidad y continuidad en el servicio. En primer lugar, la fuente de abastecimiento está afectada por actividad agrícola y vertimientos de aguas residuales. La captación está ubicada en una zona de fácil acceso a turistas y la rejilla no cumple con su función, pues en las épocas más secas, el caudal es mínimo y la captación se hace por debajo del mínimo necesario. En cuanto a tratamiento la planta está diseñada para trabajar con tres floculadores mecánicos de paleta pero sólo uno de ellos funciona correctamente; otro está fuera de servicio y el tercero fue retirado. La desinfección no se realiza correctamente pues el cloro ingresa directamente al tanque sin pasar por un proceso de mezcla que garantice que el porcentaje de cloro residual es el indicado. La metodología empleada es la propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual entrega una serie de parámetros a seguir a la hora de elaborar y ejecutar un plan de seguridad del agua (PSA). Está compuesto de 5 fases de preparación, evaluación del sistema, monitoreo operativo, gestión y comunicación, retroalimentación y mejora del sistema, que a su vez, están divididos en 11 módulos. Aún se cuenta con escasa aplicación de la metodología en el país [2], [3].

Palabras clave: Plan de seguridad del agua; Tocaima; Riesgo.

1. Introducción

En este documento se presenta el Plan de Seguridad del Agua (PSA) para el sistema de abastecimiento de la zona urbana del municipio de Tocaima, con el objetivo de identificar y prevenir riesgos de cualquier tipo que puedan presentarse en el sistema desde la captación hasta el punto en que el usuario toma el servicio. Tocaima es un municipio que presenta un sistema de acueducto deficiente, por lo cual, en el año 2002 la Empresa Regional de Servicios Públicos de Tocaima y Agua de Dios decidió contratar un operador privado que tuviera el capital necesario para realizar un diagnóstico y optimizar el sistema. Desde el año 2012 y hasta la actualidad, el servicio de acueducto y alcantarillado está a cargo de la empresa “Ingeniería y Gestión del Agua S.A.S E.S.P.” (INGEAGUA S.A.S E.S.P.).

A nivel internacional se tienen referencias de implementación de PSA [4] en países como Alemania, Portugal, Reino Unido, Islandia, Países Bajos, Japón, Bangladesh, China, Singapur, Uganda e Islas Fiji del Pacífico. En [5] se describe la calidad del agua para consumo humano en áreas urbanas a lo largo del departamento del Tolima y su relación con la incidencia notificada de Hepatitis A, Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) e indicadores sociales en el año 2010. Así mismo aportó información para vigilar y mejorar la calidad del agua del departamento. En [6] se evalúan los riesgos en el Sistema de Distribución de Agua potable (SDA) de la ciudad de Cali (Colombia), el cual se abastece del río Cauca. Este trabajo entregó como resultado 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).

Pérez Vidal [7] analizó la evolución que ha tenido el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable (SAAP) de la ciudad de Santiago de Cali, las mejoras y ampliaciones acordes a los requerimientos de crecimiento y desarrollo.

2. Zona de estudio

El municipio de Tocaima comprende las veredas de Portillo, Santa Lucía, Corinto, Catarnica, La Colorada y La Salada, cuenta con 18387 habitantes en el sector urbano y rural. Fue fundada el 20 de marzo de 1544 por Hernán Venegas Carrillo y estaba ubicada inicialmente un poco más abajo de lo que se encuentra en la actualidad. En la división territorial de Colombia, Tocaima forma parte de la Provincia del Alto Magdalena, en el suroeste del Departamento de Cundinamarca. Está situada en la parte media de la Región Andina, margen izquierdo de la cordillera Oriental y distante 30Km del margen derecho del Río Magdalena a la altura del Municipio de Girardot, pertenece a la subregión natural central del valle cálido del Alto Magdalena; se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 287 metros de altitud de la parte baja de Pubenza, límite con el vecino municipio de Girardot y a los 1568 metros de altitud en el Alto del Trigo, extremo norte de Copó. La cabecera municipal se encuentra a 400 metros sobre el nivel del mar, a 4 grados 26 minutos de Latitud Norte y a 74 grados 38 minutos de Longitud Oeste. El municipio limita al occidente con Girardot, por el noroeste con Nariño y Jerusalén, por el oriente y norte con Apulo, por el oriente con Viotá y Nilo y Agua de Dios por el sur.

La bocatoma se encuentra ubicada en el municipio de Viotá sobre el río Calandayma a una elevación aproximada de 600 metros sobre el nivel del mar aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Chorrillos. El agua es conducida por gravedad aproximadamente 22 Km por una tubería de asbesto cemento de 12”, pasando por 12 viaductos para su protección y un

pretratamiento de desarenado antes de llegar hasta el municipio de Apulo; allí, un repartidor de caudales distribuye el agua de la siguiente manera: 30% del agua para el municipio de Apulo y el 70% para el municipio de Tocaima, anotando que el total de la aducción hasta este punto está alrededor de 100 a 105 L/seg.

Desde Apulo hasta Tocaima el agua es conducida por gravedad aproximadamente 27 Km con tuberías de asbesto cemento de 14" por 12 Km y luego una reducción a PVC de 10" aproximadamente de 15 Km. Durante el recorrido se cuenta con 15 ventosas de doble acción y 12 sistemas de purgas para mantenimiento y eliminación de conexiones erradas.

La planta tiene una entrada de caudal de 40L/seg a los que se les dosifica hidroxiclورو mejorado para el proceso de floculación. El aforo del caudal se hace por medio de un canal triangular típico y una regleta de nivel para pasar a un proceso de mezcla rápida y luego ser vertida en los tanques de floculación. El agua es conducida por un canal cerrado hasta los tanques de sedimentación con una capacidad aproximada de 231m³ cada uno, de ahí, se conduce a 3 filtros rápidos y por bombeo se llenan los tanques de almacenamiento, en dónde se dosifica el cloro gaseoso para la desinfección. Finalmente el agua es distribuida por gravedad gracias a la elevación del tanque de almacenamiento, para las horas de mayor consumo la distribución se refuerza con bombeo proveniente del municipio de Agua de Dios.

3. Metodología

La metodología empleada es la propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual entrega una serie de parámetros a seguir a la hora de elaborar y ejecutar un plan de seguridad del agua (PSA). Está compuesto de 5 fases de preparación, evaluación del sistema, monitoreo operativo, gestión y comunicación, retroalimentación y mejora del sistema, que a su vez, están divididos en 11 módulos de la siguiente manera (Figura 1):

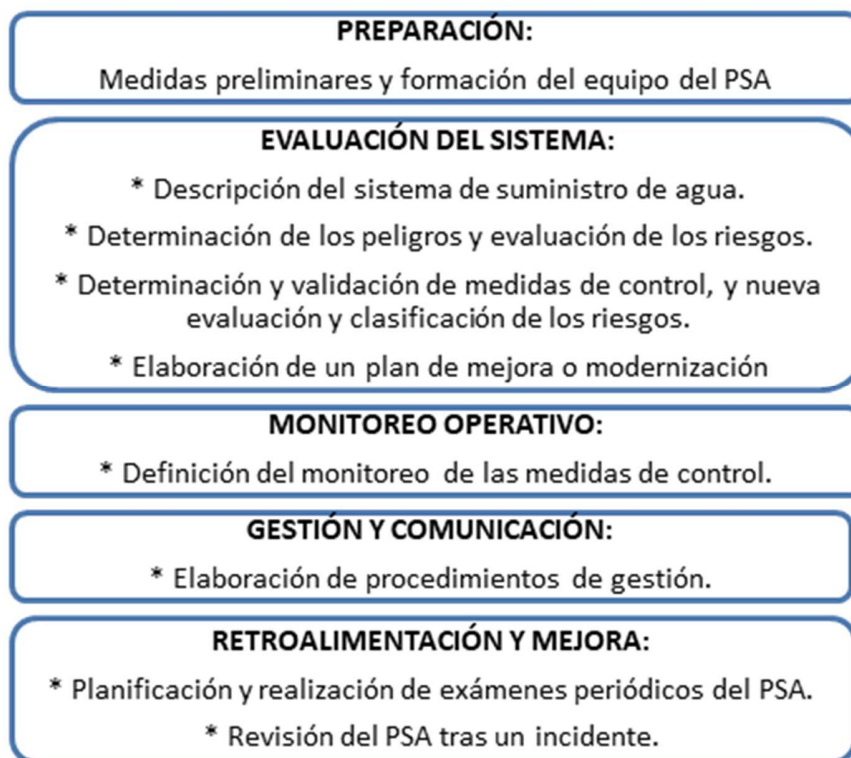


Figura. 1. Etapas de la metodología.

Luego de haber determinado los eventos peligrosos y sus riesgos asociados se procede a evaluar el nivel de gravedad de cada uno de los riesgos. Para ello se adoptó una matriz de riesgo basada en la probabilidad de ocurrencia y nivel de riesgo de cada peligro asociado en una escala de 1 a 5, siendo 1 la menor calificación para el riesgo leve o de menor tamaño y 5 la puntuación más alta otorgada al evento más riesgoso. En la tabla 1 y 2 se establecen los criterios que se adoptaron para otorgar las calificaciones.

Tabla 1. Puntaje según la probabilidad de ocurrencia

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	PUNTAJE
Una vez por día	5
Una vez a la semana	4
Una vez al mes	3
Una vez al año	2
Una vez cada cinco años o más	1

Fuente: Manual PSA - Organización Mundial de la Salud

Tabla 2. Puntaje según la probabilidad de ocurrencia

NIVEL DE GRAVEDAD	PUNTAJE
Tiene efecto catastrófico sobre la salud de la población	5
Tiene efecto sobre el suministro de agua a la población	4
Tiene efecto sobre la operación y mantenimiento	3
Tiene efecto sobre aspectos de la organización del Prestador	2
Tiene efecto nulo o insignificante	1

Fuente: Manual PSA - Organización Mundial de la Salud

4. Resultados

Según la OMS, los peligros se definen como agentes físicos, biológicos, químicos o radiológicos que pueden dañar la salud pública y los eventos peligrosos como aquellos que introducen peligros en el sistema de abastecimiento de agua.

Luego de visitar las instalaciones de la empresa Ingeniería y Gestión del Agua INGEAGUA S.A.S. se revisaron detalladamente cada una de las estructuras con la que cuenta y se analizaron los posibles riesgos de tipo biológico, químico y físico que podrían presentarse según el tipo de peligro, tanto en su estructura como en la zona aledaña. Además, se tomaron como punto de partida los parámetros encontrados en el “informe de parámetros no aceptables por departamento según municipio del Instituto Nacional de Salud” mostrados en la tabla 3.

Tabla 3. Informe de parámetros no aceptables por departamento según municipio

PERIODO	NUMERO DE MUESTRAS	PORCENTAJE DE MUESTRAS TRATADAS	PARÁMETROS NO ACEPTABLES SEGÚN DECRETO 1575 DE 2007	PROMEDIO IRCA
2012	27	100%	2,3,4,21	6,00%
2013	29	100%	2,21	2,00%
2014	10	100%	3,10,21	1,00%
2015	31	100%	2,21	1,06%

2 Turbiedad, 3 pH, 4 Cloro residual libre, 10 Magnesio, 21 Coliformes totales

Fuente: SIVICAP

Los niveles de riesgo se establecieron como: bajo, medio, alto y muy alto. Dichos niveles se obtuvieron multiplicando la probabilidad de ocurrencia del evento por el nivel de gravedad de cada riesgo. Los riesgos se clasificaron indicando qué tan probable es que ocurran y están dados en función de la capacidad de generar agua de calidad. Este proceso se realizó revisando las instalaciones de forma detallada y comprobando qué errores o fallas presentaba, cuáles son las medidas de control que tomaban ante algún evento peligroso y cuáles hacían falta. También se validaron de forma teórica las medidas de control y se determinó el nivel de capacitación de los miembros del equipo.

Tabla 4. Clasificación del riesgo

Puntaje	≤2	3-5	6 - 9	10 - 15	>15
Clasificación del riesgo	Sin riesgo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Fuente: Manual PSA - Organización Mundial de la Salud

Entre ellos se determinó que la rejilla de la bocatoma, las fugas en la tubería por conexiones erradas en la aducción, los errores en las dosis de sustancias químicas y el tratamiento deficiente del agua por falta de capacitación de los operarios en la parte de la dosificación, así como la aplicación del coagulante: punto, forma y secuencia de aplicación de las sustancias químicas, la desinfección inadecuada o insuficiente con cloro son los riesgos potenciales que se encontraron después de aplicar y analizar la matriz de riesgos.

Como medidas de control se establecieron para cada uno de los componentes del sistema, en la bocatoma control de acceso a turistas, control de vertimiento a balneario vecino y control de captación en época de sequía. En la conducción hasta Apulo control al acceso de turistas para uso recreativo y animales. En la aducción se presentan conexiones erradas. En la planta debe haber capacitación en la dosificación al operario, no se efectúa mezcla, no se hace ensayo de jarras, no operan los floculadores, la desinfección es inadecuada.

Cumplidas estas medidas de control se elabora un plan de mejora para la mitigación total de los peligros y la mejora en el monitoreo de los mismos. La correcta ejecución del plan de mejora dependerá de la atención y seguimiento por parte de los miembros del PSA y correcta priorización de las actividades a ejecutar más aun cuando el objetivo requiere algún tipo de inversión económica.

Debe ser de conocimiento de los miembros administrativos de la planta como del equipo del PSA que la correcta mitigación de los peligros no exime del monitoreo ningún componente del sistema; por el contrario, se debe documentar, reanalizar y monitorear que dicha solución presenta consistencia a largo plazo y que las soluciones planteadas fueron eficaces y eficientes.

Posterior se efectúa un monitoreo operativo o monitoreo de las medias de control previstas. Esta etapa permite determinar un esquema de trabajo o procedimientos de monitoreo que garanticen la correcta ejecución de las medidas de control aplicadas a cada evento peligroso en su respectivo foco de riesgo. Para finalizar se realizaron procedimientos de gestión presentados en la tabla 5 y la planificación y realización de exámenes periódicos del PSA.

Tabla 5. Procedimientos de gestión

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO
Captación	Rondas semanales (A menos que se presente un evento que altere el proceso de captación)	
	Operación	Informar (Para eventos de atención inmediata)
	Inspección de estado funcional y físico de las instalaciones	
	Mantenimiento	Limpieza periódica de la rejilla
	Emergencia	Informar a jefe inmediato y a su vez al ente regulador de la cuenca de captación
Tratamiento	Registro de pH, turbiedad, realizar ensayos de laboratorio, registro dosificación	
	Operación	Inspección de estado funcional y físico de las instalaciones
	Mantenimiento	Limpieza periódica de los componentes del sistema
	Emergencia	Informar a jefe inmediato
Almacenamiento	Seguir protocolo de emergencia	
	Operación	Control de niveles de los tanques

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO
	Mantenimiento	Limpieza periódica de tanques
	Emergencia	Informar sobre posibles cortes del servicio

5. Conclusiones

Se recomienda analizar posibles riesgos aguas arriba del lugar de captación asociados a factores externos dentro de la cuenca del río Calandayma como: flora y fauna, ganadería, zonas de cultivo, vertimiento de aguas, zonas de recreación etc. puesto que son agentes contaminantes que requieren seguimiento y control del ente regulador. De esta manera mejorará la calidad del agua para los habitantes del municipio de Tocaima y contribuirá al cuidado de las condiciones ambientales de la cuenca.

Después de realizar el proceso de reevaluación, se determinó que el nivel de riesgo disminuyó considerablemente puesto que ningún peligro se calificó como alto, logrando validar de manera teórica el funcionamiento y la efectividad de las medidas de control propuestas y establecidas dentro de los límites críticos en cada etapa del sistema. Además, se comprueba que el rango establecido para estos límites abarcan la situación de emergencia puesto que mitiga algunos peligros y disminuye el nivel de riesgo de otros.

Partiendo del Informe de parámetros no aceptables por departamento según municipio del Instituto Nacional de Salud encontrado en la base de datos del SIVICAP, el reporte más reciente (año 2014) indicó que la empresa no cumplía con tres parámetros, pH, magnesio y coliformes totales. Dichos resultados sirvieron para desarrollar el análisis de peligros y riesgos asociados que incluyeron análisis físico-químicos en diferentes etapas del sistema, los cuales arrojaron que la empresa INGEAGUA S.A.S. E.S.P. mejoró su proceso de tratabilidad y, a la fecha, brinda un servicio de agua dentro de los parámetros establecidos en el decreto 1575 de 2007.

Actualmente, el servicio es suspendido en horas de la noche debido a que el tanque de almacenamiento elevado se desocupa y no es posible la distribución por gravedad, por lo tanto, los usuarios deben contar con tanques de almacenamiento propios si desean mantener agua en sus hogares. Para mitigar el riesgo de desabastecimiento se recomienda invertir en la construcción de un tanque de almacenamiento elevado o aumentar el bombeo desde el municipio de Agua de Dios que permita la continuidad del servicio.

Al analizar los diferentes componentes del sistema se identificaron riesgos significativos. La fuente de abastecimiento está afectada por actividad agrícola y vertimientos de aguas residuales. La captación está ubicada en una zona de fácil acceso a turistas y la rejilla no cumple con su función, pues en las épocas más secas, el caudal es mínimo y la captación se hace por debajo. La planta de tratamiento está diseñada para trabajar con tres floculadores mecánicos de paleta pero sólo uno de ellos funciona correctamente; otro está fuera de servicio y el tercero fue retirado. La desinfección no se realiza correctamente pues el cloro ingresa directamente al tanque sin pasar por un proceso de mezcla que garantice que el porcentaje de cloro residual es el indicado.

Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes Ángela Juliette Sánchez Maldonado y William González Castiblanco que pertenecen al semillero Recurso Hídrico y Territorio de la universidad Santo Tomás, por la consecución y análisis de la información presentada en este trabajo.

Referencias

- [1] J. Bartram, L. Corrales, A. Davison, D. Deere, D. Drury, B. Gordon, G. Howard, A. Rinehold, y M. Stevens, "Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo". Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 2009.
- [2] C. Cruz, A. Pérez y P. Torres, "Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia". En: EIA. Junio, 2009, Vol 29.
- [3] M. Díaz, D. Mendoza, D. Mesa, J.L. Díaz, "Estado actual de la incorporación de los planes de seguridad del agua en Colombia". (2013). Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013).
- [4] A. Pérez Vidal, P. Torres Lozada y C. H. Cruz Vélez. "Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia". REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 29 No. 3, DICIEMBRE DE 2009 (79-85)
- [5] Briñez A, Karol J, Guarnizo G, Juliana C, Arias V, y Samuel A, «The quality of water for human consumption in the Tolima department, Colombia», Rev. Fac. Nac. Salud Pública, vol. 30, n.o 2, pp. 175-182, ago. 2012.
- [6] C. P. Amézquita Marroquín, A. Pérez Vidal, y P. Torres Lozada, «Evaluación del riesgo en sistemas de distribución de agua potable en el marco de un plan de seguridad del agua», Rev. EIA, vol. 11, n.o 21, 2014.
- [7] A. Pérez-Vidal, L. G. Delgado-Cabrera, y P. Torres-Lozada, «Evolución y perspectivas del sistema de abastecimiento de la ciudad de Santiago de Cali frente al aseguramiento de la calidad del agua potable», *Ing. Compet.*, vol. 14, n.º 2, pp. 69–81, 2012.

