

INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable segura es fundamental para la salud pública y el desarrollo sostenible de las comunidades, en este contexto y en concordancia con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), (Bartram J et al.) la empresa encargada del abastecimiento de agua en el municipio de Guayadera ha decidido implementar un Plan de Seguridad del Agua (PSA) como herramienta preventiva para garantizar la inocuidad del agua desde la fuente hasta el consumidor.

Para la implementación del PSA se fundamenta en la existencia de antecedentes de incumplimiento de parámetros de calidad en el agua cruda superficial, con presencia recurrente de contaminantes microbiológicos, metales pesados y compuestos orgánicos, especialmente durante la temporada de verano. Además, se han identificado vulnerabilidades operativas en varias etapas del sistema de tratamiento y distribución, como la dosificación inadecuada de desinfectantes, deficiencias en el mantenimiento de filtros, roturas frecuentes en la red de tuberías y problemas organolépticos reportados por los usuarios, estas condiciones evidencian la necesidad de adoptar un enfoque preventivo y sistemático para gestionar los riesgos asociados al agua potable, asegurando así su calidad en todo momento y protegiendo la salud de la población abastecida.

La elaboración de este PSA responde a un cambio en la política de calidad de la empresa, y se aplicará inicialmente en el municipio de Guayadera, donde se opera tanto la producción como la distribución del agua potable. Guayadera cuenta con recursos hídricos superficiales y subterráneos, además de una estación de tratamiento de agua potable (ETAP) con varias etapas, entre ellas desbaste, coagulación, filtración, desinfección y almacenamiento. La red de distribución, compuesta por sectores antiguos y nuevos, presenta características técnicas y operativas particulares que también deben ser consideradas en el análisis de riesgos.

El presente documento desarrolla el PSA siguiendo los pasos recomendados por la OMS, incluyendo la identificación de peligros, la evaluación y cuantificación del riesgo, la propuesta de medidas preventivas, su clasificación según su criticidad, y la formulación de un plan de control basado en el enfoque de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC). Con ello, se busca garantizar la calidad microbiológica, química y organoléptica del agua distribuida a la población, reducir los riesgos sanitarios, y fortalecer la confianza de los usuarios en el sistema de abastecimiento.

RESUMEN

El documento presenta la implementación de un Plan de Seguridad del Agua (PSA) en el municipio de Guayadera, siguiendo las directrices de la OMS, con el fin de garantizar la calidad microbiológica, química y organoléptica del agua desde la fuente hasta el consumidor. La decisión se basa en antecedentes de incumplimiento de parámetros de calidad, con presencia de contaminantes microbiológicos, químicos y físicos, así como deficiencias operativas en la planta de tratamiento y la red de distribución. Se identifican peligros en distintas etapas: en la fuente superficial (*E. coli*, coliformes, microcistinas, plaguicidas, metales, turbidez), en la planta de tratamiento (fallos en desbaste, coagulación, filtración, desinfección), en pozos subterráneos (nitratos, coliformes), y en la distribución (cloración insuficiente, corrosión, roturas). Para cada peligro se cuantifica el riesgo y se proponen medidas preventivas, clasificadas como Puntos de Control Críticos (PCC), Prerrequisitos Operativos (PPR-Op) o Prerrequisitos (PPR). Finalmente, se define un plan APPCC para los PCC, estableciendo parámetros de control, límites de alerta y críticos, y acciones correctoras. El PSA busca reducir los riesgos sanitarios, mejorar la gestión operativa y fortalecer la confianza de la comunidad en el sistema de abastecimiento.

1. Identificación de peligros en este abastecimiento y sus posibles causas.

A. En la captación de agua superficial (embalse)

Peligros biológicos:

Parámetro	% de muestras que superan límite normativo	Causa
Escherichia coli	90%	Contaminación por escorrentía, fauna silvestre y uso del suelo
Coliformes totales	95%	
Clostridium perfringens	20%	Eutrofización en verano y proliferación de cianobacterias.
Microcistinas	20%	
Coliformes totales en red	10%	Cloración insuficiente

Tabla 1. peligros biológicos.

La alta presencia de Escherichia coli y coliformes totales en las muestras de agua superficial constituye un indicador claro de contaminación fecal, causada por escorrentía contaminada, la presencia de fauna silvestre y actividades humanas, recreativas o agrícolas, en las cercanías de la fuente hídrica. Adicionalmente, la detección de Clostridium perfringens y microcistinas está estrechamente relacionada con procesos de eutrofización del embalse, particularmente durante la temporada de verano. En esta época, las altas temperaturas favorecen la proliferación de cianobacterias, las cuales liberan toxinas como las microcistinas. Este fenómeno suele estar asociado al exceso de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, que provienen del uso intensivo de fertilizantes en las actividades agrícolas de la cuenca, lo que incrementa significativamente el riesgo de floraciones algales y contaminación microbiológica del recurso hídrico.

Peligros químicos:

Parámetro	% de muestras que superan límite normativo	Causa
Lindano	25%	Uso agrícola en la cuenca de captación.
Metoxicloro	33%	
Arsénico (III)	60%	Contaminación geológica, lixiviación de suelos.
Hierro	20%	
Manganeso	10%	
Cromo total	15%	
Amoniaco	80%	residuos orgánicos, descomposición vegetal y contaminación agrícola.
Sólidos totales disueltos	90%	

Tabla 2. peligros químicos.

La presencia de plaguicidas como lindano y metoxicloro en el agua cruda superficial refleja la influencia directa de las actividades agrícolas desarrolladas en la cuenca de captación, lo que pone de manifiesto la necesidad de implementar medidas de protección del entorno, así como un monitoreo específico y continuo de estos compuestos. Por otro lado, la detección de metales pesados como arsénico, hierro, manganeso y cromo puede deberse tanto a procesos naturales de lixiviación geológica como a posibles aportes antrópicos derivados de vertimientos industriales o manejo inadecuado de residuos. Esta situación exige la identificación precisa de fuentes de contaminación, tanto puntuales como difusas, y la implementación de estrategias preventivas en el punto de captación. Asimismo, la alta concentración de amoníaco y sólidos totales disueltos sugiere una fuerte carga de materia orgánica, posiblemente derivada de procesos de descomposición vegetal y escorrentía agrícola, lo cual requiere fortalecer las etapas de pretratamiento y optimizar la operación de la planta para evitar que estos compuestos afectan la calidad final del agua.

Peligros físicos:

Parámetro	% de muestras que superan límite normativo	Causa
Turbidez	99%	Material en suspensión, algas, procesos de erosión en la cuenca.
Color verdadero	99%	

Tabla 3. peligros físicos.

Entre los principales peligros físicos del agua cruda superficial en Guayadera se destacan la turbidez y el color verdadero, los cuales superan de manera sistemática los límites normativos. La elevada turbidez puede estar asociada a procesos de escorrentía durante eventos de lluvia, que movilizan sedimentos, materia orgánica y partículas en suspensión hacia el embalse, este fenómeno también podría intensificarse debido a la deforestación, el uso agrícola no controlado en zonas cercanas y la falta de prácticas adecuadas de conservación del suelo, por su parte el color verdadero, a menudo acompañado de olores inusuales, refleja una alta presencia de compuestos orgánicos disueltos, especialmente durante el verano, cuando se presentan floraciones de cianobacterias. Estos problemas físicos no solo afectan las características organolépticas del agua, sino que también comprometen la eficiencia de las etapas de tratamiento, como la coagulación y la filtración, generando una mayor demanda de reactivos y aumentando el riesgo de ineficiencias en la desinfección final.

B. En la planta de tratamiento (ETAP)

- **Desbaste fino:** El correcto funcionamiento de esta etapa es esencial para proteger el resto de los equipos y evitar obstrucciones o daños que puedan comprometer la eficacia del tratamiento.
- **Preoxidación y coagulación:** El uso de dióxido de cloro y coagulantes requiere una dosificación precisa, ya que un exceso puede generar subproductos tóxicos (como el clorito), mientras que una dosificación insuficiente reduce la eficacia en la eliminación de materia orgánica y microorganismos. La variabilidad estacional en la calidad del agua (por ejemplo, en invierno) puede requerir ajustes más frecuentes en los reactivos utilizados.
- **Filtración:** El mantenimiento deficiente de los filtros de arena y carbón activo se asocia directamente con la persistencia de contaminantes como lindano, microcistinas y *Clostridium perfringens*, lo que subraya la importancia de los programas de limpieza y regeneración periódica de los medios filtrantes para evitar la acumulación de contaminantes y el desarrollo de biopelículas.
- **Desinfección:** La presencia de coliformes totales en el 10% de las muestras tras la desinfección indica posibles fallos en la dosificación, mezcla o contacto del desinfectante, o incluso recontaminación posterior. Es fundamental asegurar una concentración adecuada de cloro residual y un tiempo de contacto suficiente para garantizar la inactivación de microorganismos patógenos.

C. Agua subterránea (pozos)

- **Nitratos:** Su presencia elevada (70% de muestras fuera de norma) es un indicador claro de contaminación agrícola, principalmente por el uso de fertilizantes nitrogenados. Esto supone un riesgo para la salud, especialmente para poblaciones vulnerables como lactantes, y puede requerir restricciones de uso o mezclas con otras fuentes de agua.

- **Coliformes totales:** Aunque menos frecuente, la detección de coliformes en pozos suele deberse a infiltraciones por sellado deficiente o contaminación superficial, lo que resalta la necesidad de proteger y mantener adecuadamente las estructuras de captación subterránea.

D. Distribución

- **Cloración insuficiente o nula:** El control deficiente del cloro residual en la red (11% insuficiente, 7% nula) aumenta el riesgo de proliferación bacteriana y recontaminación, especialmente en puntos alejados o con baja renovación de agua. La evaporación del cloro por altas temperaturas o el consumo por materia orgánica residual también pueden contribuir a este problema.
- **Microbiología en red:** La formación de biopelículas en las tuberías, especialmente en materiales rugosos o corroídos como la fundición dúctil, facilita la supervivencia y multiplicación de microorganismos, lo que puede explicar la presencia de incidencias microbiológicas en el 10% de las muestras de la red.
- **Quejas por color y olor:** El color rojizo en zonas antiguas está directamente relacionado con la corrosión interna de las tuberías de fundición dúctil, que libera óxidos de hierro al agua, afectando su apariencia y sabor. Este problema no solo es estético, sino que puede afectar la confianza del usuario y, en casos extremos, la calidad sanitaria del agua.
- **Roturas frecuentes:** En las zonas nuevas, el uso de PVC reduce los problemas de corrosión, pero aumenta la vulnerabilidad a roturas y averías, lo que puede provocar discontinuidad del suministro y episodios de contaminación cruzada si se producen depresiones en la red o entrada de contaminantes externos

2. cuantificación del riesgo:

Categoría	Valor numérico	Descripción de la probabilidad (P)	Descripción de la consecuencia (C)
Muy baja	1	Ocurre muy rara vez (<5% de las veces/una vez en varios años)	Sin impacto sanitario ni operativo
Baja	2	Ocurre rara vez (5–15% / una vez al año o menos)	Molestias menores (olor, color, sin riesgos)
Media	3	Ocurre ocasionalmente (16–30% / algunas veces al año)	Posible rechazo del agua o molestias moderadas
		Ocurre frecuentemente	Enfermedades importantes o cortes

Alta	4	(31–70% / varias veces al año o por mes)	del servicio
Muy alta	5	Ocurre casi siempre (>70% / mensual o más frecuente)	Enfermedades graves, brotes o muertes

Tabla 4. Criterios para la cuantificación del riesgo.

Puntuación del riesgo	<1-5	6-10	11-15	16-25
Clasificación del riesgo	Bajo	Moderado	Alto	Crítico

Tabla 5. Escala de puntuación para clasificación del riesgo.

Etapas del proceso	Peligro identificado	Probabilidad (P)	Consecuencia (C)	Riesgo (P×C)	Nivel de riesgo
Fuente superficial	Contaminación microbiológica (E. coli, coliformes, turbidez alta).	5	5	25	Crítico
Cámara de mezcla	Exceso de clorito por dosificación deficiente.	3	4	12	Alto
Coagulación/decantación	Exceso de hierro en invierno.	3	2	6	Moderado
Coagulación/decantación	Exceso de arsénico.	3	5	15	Alto
Filtración por arena	Contaminación microbiológica por mal mantenimiento.	4	4	16	Crítico
Filtración carbón activo	Microcistinas persistentes y clostridium perfringens.	2	5	10	Moderado
Desinfección final	Coliformes totales	3	4	12	Alto

	detectados.				
Distribución-red-antigua	Color rojizo y material de tuberías.	2	2	4	Bajo
Distribución red-nueva	Roturas frecuentes, discontinuidad del servicio.	4	3	12	Alto
Pozos subterráneos	Nitratos.	4	4	16	crítico
Cloración en red	Cloración insuficiente y nula.	4	5	20	Crítico

Tabla 6. Cuantificación del riesgo.

3. Identificación de medidas preventivas para el control de los peligros identificados

Peligro identificado	Medidas preventivas
E. coli en agua superficial	- Protección de la fuente (vallado, zonas de exclusión) - Control agrícola y ganadero en la cuenca - Pretratamiento adecuado (desbaste, preoxidación) - Optimizar dosificación de desinfectante
Exceso de clorito	- Calibrar y revisar el generador de dióxido de cloro periódicamente - Instalar sistema de control en línea de clorito - Capacitar al personal en dosificación química - Ajustar dosificación según calidad del agua y demanda de oxidantes.
Hierro	-Mejorar la mezcla del coagulante. -Optimizar decantación (tiempo,flujo,temperatura). -Limpieza regular de filtros de arena.
Arsénico	- Mejorar eficiencia de decantación - Regenerar carbón activo con mayor frecuencia - Implementar etapa adicional si es necesario (adsorción específica) - Muestreo reforzado en febrero

Contaminación microbiológica por mal mantenimiento.	- Implementar programa de limpieza y lavado de filtros - Verificar caudales de filtración según diseño - Capacitar al personal en mantenimiento preventivo - Supervisar la calidad del agua post-filtración
Microcistinas y clostridium	- Control de eutrofización en la fuente (algas) - Renovación o regeneración más frecuente del carbón activo - Evaluación del uso de ozono como tratamiento adicional - Control operativo de filtros (velocidad de filtración, retrolavado)
Coliformes en red	- Mantenimiento preventivo de las redes y tanques - Limpieza más frecuente de depósitos (al menos anual) - Verificación del cloro residual en los extremos de red - Control de puntos vulnerables (bajas presiones, tuberías antiguas)
Hierro en red antigua	- Sustitución progresiva de tuberías de fundición dúctil - Lavado preventivo de redes antiguas - Cronograma de purgado en la red de distribución.
Roturas en red nueva	- Instalación de válvulas reguladoras de presión. -Análisis hidráulico para sectorizar la red. -Monitoreo sistemático continuo de altas presiones - Auditoría técnica de la red PVC (material y presión) - Mejora en la instalación y sellado de uniones - Implementación de un programa de mantenimiento predictivo - Vigilancia continua de presión y fugas
Nitratos (pozos subterráneos)	- Vigilancia de actividades agrícolas cercanas (fertilizantes) - Monitoreo sistemático del acuífero - Mezcla del agua subterránea con agua superficial tratada
Cloración insuficiente/nula	- Calibración periódica del dosificador de hipoclorito - Supervisión continua del cloro residual - Alarmas por falla de dosificación - Limpieza regular de tanques y tuberías

Tabla 7. medidas preventivas.

4. Clasificación de las medidas preventivas anteriores como puntos de control críticos(PCC), programas de prerequisites operativos (PPR Op.) o programas prerequisites (PPR).

- **Punto de control crítico (PCC):** Medida esencial para prevenir, eliminar o reducir un peligro a un nivel aceptable. Requiere monitoreo continuo y límites críticos.
- **Prerrequisito operativo (PPR-Op):** Medida importante en una etapa del sistema, pero no por sí sola evita el riesgo. Se monitorea regularmente.

- **Prerrequisito (PPR):** Medida básica o de apoyo general, sin monitoreo directo, pero que mantiene condiciones adecuadas de operación.

Peligro identificado	Medida preventiva	Clasificación	Justificación
E. coli	Desinfección adecuada cloración.	PCC	Control microbiológico crítico; se debe mantener por debajo del límite legal y con monitoreo continuo.
Camara de mezcla Exceso de clorito	Dosificación ajustada, monitoreo de clorito.	PCC	Riesgo químico si hay sobredosificación; requiere control con límites críticos y monitoreo.
Hierro	Ajuste de coagulación y limpieza de filtros	PPR-Op	Afecta solo la aceptabilidad del agua; no representa peligro para la salud.
Arsénico	Decantación y carbón activo/regeneración	PCC	Contaminante químico peligroso; se debe eliminar completamente con control operativo en el tratamiento.
Contaminación microbiológica por mal mantenimiento.	Retrolavado, velocidad de filtración, revisión de filtros	PPR-Op	Etapas de reducción de sólidos y microbios; importante pero no reemplaza desinfección
Microcistinas y Clostridium en filtros	Control de algas, filtración efectiva, regeneración de carbón	PCC	Toxinas que afectan la salud; deben ser eliminadas eficazmente
Coliformes en red	Cloro residual, limpieza de depósitos, mantenimiento de redes	PCC	Indicador clave de contaminación en distribución; requiere control continuo y respuesta inmediata

Hierro en red antigua	Sustitución progresiva y limpieza	PPR	Medida estructural general de mantenimiento de red; no requiere monitoreo específico de salud
Roturas en red nueva	Reparaciones, detección de fugas, mantenimiento	PPR-Op	Riesgo indirecto si permite ingreso de contaminantes; se requiere vigilancia operativa
Nitratos (pozos subterráneos)	Monitoreo y mezcla con agua tratada	PCC	Contaminante químico con riesgo grave para bebés; necesita manejo controlado
Cloración insuficiente/nula	Supervisión y dosificación correcta de hipoclorito	PCC	Desinfección final crítica; debe garantizar la eliminación de patógenos

Tabla 8. Clasificación de medidas preventivas.

5. Definición del Plan de prevención del riesgo o plan APPCC para los puntos críticos detectados, indicando:

- Posibles parámetros de control.
- Límites de alerta y límite crítico.
- Posibles acciones correctoras en caso de superarse dichos límites.

Peligro PCC	Parámetro de control	Límite de alerta	Límite crítico	Acción correctora
E. coli (fuente y tratamiento)	Ausencia de E. coli en agua tratada	1–10 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	Repetir desinfección, revisar dosificación de cloro, evaluar falla en etapas previas.
Arsénico	Concentración de arsénico en agua tratada	0,008–0,009 mg/l	0,01 mg/l (OMS)	Revisar coagulación/decantación, regenerar carbón activo, suspender suministro si no se corrige.

Cloración insuficiente/nula	Cloro residual libre	<0,4 mg/l	<0,2 mg/l o >5 mg/l	Ajustar dosificador, verificar concentración del producto, repetir cloración, hacer purga.
Coliformes en red	Ausencia en puntos de control	1–10 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	Revisión del sistema de distribución, cloración correctiva, limpieza de depósitos.
Microcistinas y Clostridium	Presencia de toxinas y esporas	0,7–0,8 > µg/l	>1 µg/l microcistina -LR (OMS)	Aumentar carbón activo, revisar control de algas, detener distribución hasta corregir.
Nitratos (pozos subterráneos)	Concentración de NO ₃ ⁻ en agua tratada	40–45 mg/l	50 mg/l (OMS)	Suspender el uso del pozo, mezclar con agua superficial, informar a la autoridad sanitaria.
Clorito – exceso en cámara de mezcla	Concentración de clorito en agua tratada	0,6–0,7 mg/l	0,7 mg/l(OMS)	Reducir dosificación de dióxido de cloro, verificar reactivos, ajustar mezcla, reforzar monitoreo.

Tabla 9. Plan APPCC para los puntos críticos de control .

REFERENCIAS

Bartram J, Corrales L, Davison A, Deere D, Drury D, Gordon B, Howard G, Rinehold A, & Stevens M. (2009, Marzo 9). *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua*. Organización mundial de la salud.