

## **PLAN DE SEGURIDAD DEL AGUA (PSA) PARA UNO DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SALTA**

**M.L. Gatto D'Andrea<sup>1\*</sup>, M.A. Iribarnegaray<sup>2</sup>, G. Salas Barboza<sup>3</sup>, V.I. Liberal<sup>4</sup>, A. Fleitas<sup>5</sup>, J. L. Bonifacio<sup>5</sup> y L. Seghezzi<sup>6</sup>**

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Universidad Nacional de Salta (UNSA)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Avda. Bolivia 5150, A4408FVY Salta, Argentina  
Tel. +54-387-4255516; E-mail: [mlauragatto@gmail.com](mailto:mlauragatto@gmail.com)

*Recibido: 10/08/12; Aceptado: 01/10/12*

**RESUMEN:** En este trabajo se presenta un Plan de Seguridad del Agua (PSA) para uno de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Salta, Argentina. El sistema estudiado se encuentra en Finca las Costas, en las serranías y valles al Oeste de la ciudad. El sistema fue dividido en tres procesos (captación, transporte y tratamiento) y diversos sub-procesos y componentes. Se empleó la metodología de evaluación de riesgos propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS) complementada con aportes propios. Las adaptaciones consistieron básicamente en: (a) una modificación numérica y cualitativa en la manera de calcular probabilidad, gravedad y riesgo; (b) la definición de un valor umbral de riesgo; y (c) una cuantificación numérica de la magnitud de las medidas de control. El riesgo estimado para todo el sistema fue de 49.1% (magnitud media). El proceso tratamiento de agua recibió el valor de riesgo más elevado (59.1%, magnitud alta). Más del 80% de las situaciones peligrosas identificadas requieren algún tipo de medida de control. Las modificaciones introducidas en el método facilitaron y mejoraron el proceso de evaluación de riesgos.

**Palabras clave:** Agua potable, evaluación de riesgos, Finca Las Costas, plan de seguridad del agua, PSA, Salta

### **INTRODUCCIÓN**

El abastecimiento de agua de bebida segura es fundamental para preservar la salud de una comunidad y para su desarrollo económico (IWA, 2004). El agua segura es aquella que no pone en peligro la salud, es confiable y se encuentra disponible en todo momento (Gunnarsdottir y Gissurason, 2008). A nivel mundial, el suministro inadecuado de agua potable y el saneamiento deficiente representan una de las causas más importantes de morbilidad y mortalidad, tanto en países industrializados como en los de bajos ingresos (Dufour *et al.*, 2003). La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que las mejoras de la calidad del agua reducen por sí solas en un tercio o más la morbilidad debida a enfermedades diarreicas (OMS, 2007). La diarrea es la enfermedad de transmisión hídrica más frecuente y afecta principalmente a niños menores de 5 años (OMS, 2004b; OMS, 2011).

Como una forma de asegurar la calidad del agua y resguardar la salud pública, la OMS promueve el uso de Planes de Seguridad del Agua (PSA) (OMS, 2004a). Los PSA comprenden una evaluación de riesgos en la cadena de abastecimiento de agua potable, desde la captación hasta el consumidor, considerando los peligros existentes en todo el sistema mediante un principio de gestión conocido como "barreras múltiples" (Davison *et al.*, 2005). La ventaja de un sistema de barreras múltiples es que el fallo de una barrera puede compensarse mediante el funcionamiento eficaz de las barreras restantes, reduciendo al mínimo la probabilidad de que los contaminantes presentes en el agua atraviesen el sistema completo y afecten a los consumidores (OMS, 2004a). La metodología sugerida por la OMS es relativamente genérica y debe ser adaptada a las condiciones locales, ya que cada sistema de abastecimiento de agua es único. Los PSA se han puesto en práctica en numerosos países del mundo (Davison *et al.*, 2005; Howard *et al.*, 2005; Mahmoud *et al.*, 2007; Jayaratne, 2008; Viljoen, 2010; Vieira, 2011). En Latinoamérica, el Centro de Prevención y Control de Enfermedades (CDC), en colaboración con otros organismos, ha apoyado el desarrollo y la implementación de proyectos de PSA en Jamaica, Bolivia, Brasil, Guyana, Ecuador y Perú (COSAAALY y FunSalud, 2007; Bastos *et al.*, 2008; Pérez Vidal *et al.*, 2009; Rinehold *et al.*, 2011). En Argentina aún no existen experiencias documentadas. En el caso de la ciudad de Salta, los sistemas de abastecimiento de agua potable carecen de mecanismos de evaluación de riesgos que permitan garantizar sistemáticamente una provisión de agua de calidad confiable.

<sup>1</sup> CONICET- INENCO

<sup>2</sup> Tesista Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) – Consejo de Investigación de la UNSA (CIUNSA)

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Naturales (UNSA) – INENCO

<sup>4</sup> Profesora Adjunta Facultad de Ingeniería (UNSA)

<sup>5</sup> Compañía Salteña de Agua y Saneamiento S.A. (CoSAySa)

<sup>6</sup> Investigador Adjunto CONICET – INENCO

\* Autor a quien se debe enviar la correspondencia

Esta situación dio origen a un convenio específico de colaboración firmado entre la Universidad Nacional de Salta (UNSa), a través del Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), y la Compañía Salteña de Agua y Saneamiento S.A. (CoSAySa). El convenio tiene como uno de sus objetivos la elaboración de estudios conjuntos que permitan evaluar de manera integral algunos de los sistemas de gestión del agua y el saneamiento de la provincia de Salta.

En este artículo presentamos los resultados obtenidos para el sistema de Finca Las Costas, el cual fue tomado como estudio de caso luego de la realización de un PSA de diagnóstico que comprendió todos los sistemas de provisión de agua potable de la ciudad de Salta (Gatto D'Andrea *et al.*, 2011). En dicho estudio se determinó que Finca Las Costas es el sistema de abastecimiento de agua más riesgoso, concentrando el 36.2% de los riesgos estimados para toda la ciudad, seguido por la batería de pozos profundos, que obtuvo el 25.2% de los riesgos totales.

## MATERIALES Y METODOS

### Ubicación

El presente estudio fue desarrollado en la ciudad de Salta, capital de la provincia de Salta. La población actual de la ciudad de Salta supera los 500.000 habitantes (INDEC, 2010). El clima es subtropical serrano con estación seca concentrada entre los meses de mayo a noviembre y presenta una precipitación media anual de 700 mm. La cobertura del servicio de agua potable supera ligeramente el 95%. El consumo promedio de agua es elevado, estimado en unos 650 litros por persona por día, aunque un 35% correspondería a pérdidas que se producen en el sistema (ENRESP, 2010).

### Plan de Seguridad del Agua (PSA)

El trabajo se basó en la metodología propuesta por la OMS (Bartram *et al.*, 2009). Esta metodología consta básicamente de 11 módulos agrupados en 4 etapas: Preparación (Módulo 1), Evaluación del sistema (Módulos 2-7), Gestión y comunicación (Módulos 8-9) y Retroalimentación (Módulos 10-11). El trabajo descrito en este artículo abarcó las actividades contenidas en los módulos 1 al 4, con excepción de la re-evaluación de riesgos que corresponde a la sección final del módulo 4. La descripción del sistema se realizó a partir de información brindada por personal de la empresa, visitas e inspecciones a las instalaciones y relevamiento de todos los procesos, sub-procesos y componentes. La identificación de peligros y eventos peligrosos, es decir de todos aquellos sucesos factibles de afectar la calidad del agua, comprometer su seguridad o interrumpir el abastecimiento, fue realizada de manera preliminar durante las visitas y luego discutida y consensuada en un taller con la participación de miembros del INENCO.

### Módulo 1. Acciones preliminares

Este módulo consistió básicamente en la formación del equipo de trabajo. El PSA de diagnóstico se realizó conjuntamente con miembros de CoSAySa y personal del INENCO. El PSA de Finca Las Costas fue elaborado principalmente por personal del INENCO y la empresa realizará una revisión interna de manera previa a su puesta en práctica.

### Módulo 2. Descripción del sistema

El sistema Finca las Costas (**Figura 1**) abastece de agua potable a las zonas Centro y Oeste de la ciudad de Salta.

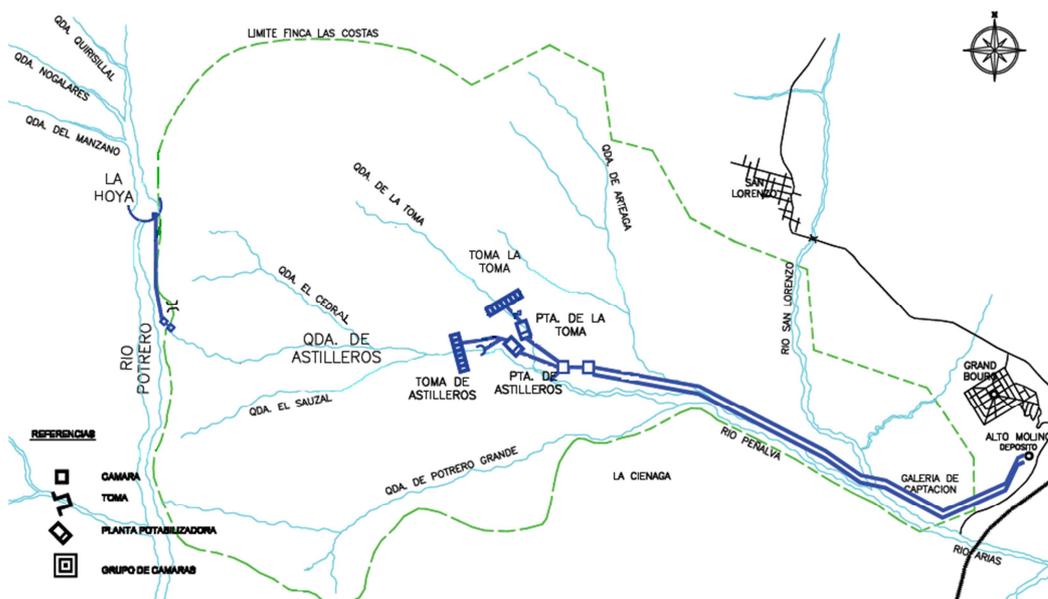


Figura 1. Esquema del sistema de abastecimiento de agua Finca Las Costas (Fuente: CoSAySa).

Finca Las Costas es una cuenca hídrica de algo más de 10000 hectáreas ubicada en las serranías al Oeste de la ciudad que fue cedida a la provincia de Salta en el año 1980 por la empresa estatal Obras Sanitarias de la Nación (OSN). Actualmente está catalogada como reserva natural de “usos múltiples” (Decreto N°3741/07). Comprende dos fuentes de agua superficial denominadas “La Toma” y “Astilleros” que captan agua de los ríos homónimos a través de tomas de tipo “parrilla”. El

sistema se complementa con el aporte de fuentes sub-superficiales a partir de galerías filtrantes que captan agua del subálveo, denominadas “Kilómetro cero”, “Captación” y “Peñalba”, cuyas aguas se combinan con las superficiales. El transporte incluye tramos descubiertos, principalmente en el proceso de aducción (desde la captación hasta el ingreso a la planta de tratamiento) y tramos entubados en cañerías o acueductos de diverso diámetro. El agua superficial es sometida a procesos de filtración y decantación en dos plantas de tratamiento, mientras que la inyección de cloro se realiza, para toda el agua captada, en las cisternas de almacenamiento final (Alto Molino), a partir de las cuales se inyecta en la red de distribución domiciliaria.

### Módulo 3. Identificación de peligros y evaluación de riesgos

Se identificaron 14 eventos peligrosos (**Tabla 1**). Dichos eventos fueron clasificados en tres categorías: (1) naturales (Precipitaciones/Inundaciones, Sequías, Sismos, Desprendimiento de laderas), (2) operativos (Pérdidas/Averías, Tratamiento inadecuado), y (3) antrópicos (Animales, Vandalismo, Uso recreativo, Vehículos, Pozos ciegos/Letrinas, Extracción de áridos, Obras en construcción, Otros usos). Se seleccionaron los eventos pertinentes para cada uno de los 10 componentes identificados en el sistema. La combinación de 14 eventos peligrosos y 10 componentes generaron un total de 45 situaciones peligrosas, que representan las unidades básicas en el procedimiento de evaluación de riesgos. Personal de CoSAySa participó durante las visitas de campo y asesoró durante la selección de peligros y eventos peligrosos.

Nº Denominación	Tipo Descripción
1 Animales	A Presencia de animales (ganado vacuno, equino, caprino, aves de corral y otros) que implica un riesgo de contaminación microbiológica por defecación y/o muerte.
2 Desprendimiento de laderas	N Desprendimientos de laderas que generan turbiedad en el agua y/o generan dificultades de acceso a sitios de operación/control del sistema.
3 Extracción de áridos	A Actividad desarrollada por terceros donde se realiza la extracción de material del lecho del río, que puede ocasionar un aumento de turbidez en las aguas.
4 Obras en construcción	A Presencia de obras en construcción que pueden generar turbiedad y/o afectar la integridad de las instalaciones/infraestructura.
5 Otros usos	A Demanda de agua para usos que compiten con la provisión de agua para consumo humano, disminuyendo la disponibilidad del recurso.
6 Pérdidas/ Averías	O Pérdidas de agua en tramos de cañerías/acueductos e instalaciones en general.
7 Pozos ciegos/ Letrinas	A Presencia de pozos ciegos/letrinas que constituyen una fuente de contaminación microbiológica del agua.
8 Precipitaciones/ Inundaciones	N Precipitaciones intensas que generan turbiedad en las aguas, inundaciones que dañan la infraestructura, dificultado el acceso a sitios de operación y control del sistema.
9 Sequías	N Períodos de sequía que se manifiestan en épocas de escasas precipitaciones, ocasionando una disminución considerable de la disponibilidad del recurso.
10 Sismos	N Movimientos sísmicos de magnitud considerable que generan daños en instalaciones en general y/o introducen partículas contaminantes.
11 Tratamiento inadecuado	O La planta de tratamiento no tiene capacidad para tratar el caudal ingresante. Funcionamiento ineficiente de filtro/decantador.
12 Uso recreativo	A Emprendimientos turísticos, cabalgatas, campings, motocross y otras actividades indebidas que pueden afectar la calidad del agua (baños en fuentes de captación, fogatas, arrojado de desperdicios).
13 Vandalismo	A Hechos delictivos varios (rotura de instalaciones, posible agregado de sustancias nocivas en el agua) que se agravan ante la ausencia/deficiencia de las condiciones de seguridad del sistema.
14 Vehículos	A Tránsito de vehículos (autos, camionetas, motos y otros) en cruces de aguas de captación sin entubar que genera turbiedad en el agua y posible contaminación por pérdida de combustibles y aceites.

Tabla 1. Listado de eventos peligrosos que podrían afectar el sistema de suministro de agua potable de Finca Las Costas. N: Natural; A: Antrópico; O: Operativo.

La metodología propuesta por la OMS fue complementada con modificaciones propias que consistieron básicamente en:

- 1) *Cambio en las unidades*: Para cada componente del sistema los valores de probabilidad y gravedad de los eventos peligrosos se asignaron en una escala de 0 a 100. El riesgo se calculó como el producto de la probabilidad y la gravedad expresado como porcentaje. Se consideró que esta escala es más intuitiva y facilita el proceso de asignación de valores en talleres participativos.
- 2) *Adaptación de las categorías de probabilidad y gravedad*: Las definiciones correspondientes a cada rango de probabilidad y gravedad fueron modificadas y adaptadas a las condiciones locales. Se procuró minimizar las ambigüedades que obstaculizaban el proceso de análisis. En la medida que fue posible, la probabilidad y la gravedad se basaron en datos de campo e información estadística, tales como la probabilidad de ocurrencia de sismos, las precipitaciones, o la gravedad de contaminación microbiana en las fuentes de agua. Si estos criterios no eran aplicables, los valores asignados se basaron en criterio propio y sugerencias del personal de la empresa prestataria. La gravedad, que estaba definida únicamente según un criterio de salud, fue complementada con aspectos relacionados con la disponibilidad de agua, su calidad, y el estado de la infraestructura vinculada a cada componente del sistema. Se considera que todos estos factores tienen influencia en la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua.
- 3) *Establecimiento de categorías de riesgo*: El riesgo fue reclasificado en cuatro categorías según la siguiente escala: Riesgo < 25 = bajo; 25 ≤ Riesgo < 50 = medio; 50 ≤ Riesgo < 75 = alto; Riesgo ≥ 75 = muy alto (adaptado de Bossel, 1999).
- 4) *Definición de un riesgo umbral*: Se definió un valor de riesgo aceptable que permitió definir posteriormente la magnitud de las medidas de control. El valor establecido en este trabajo fue de 24, una unidad por debajo del máximo valor dentro del rango de riesgo bajo.

### Módulo 4. Determinación de las medidas de control

El valor numérico de las medidas de control para cada situación peligrosa se calculó como la diferencia entre el valor del riesgo y el valor umbral. A los fines informativos, se obtuvo un valor promedio de las medidas de control para cada componente. Se estableció la siguiente escala para valorar la necesidad de aplicación de medidas de control y la intensidad de las mismas: Magnitud de la medida < 25 = leve; 25 ≤ Magnitud de la medida < 50 = moderada; 50 ≤ Magnitud de la medida < 75 = severa; Magnitud de la medida ≥ 75 = muy severa.

Una vez que se conoce la magnitud y la intensidad de la medida, el personal de la compañía puede identificar procedimientos para corregir o controlar los riesgos detectados. Este proceso es esencialmente subjetivo y por lo tanto resulta de suma importancia contar con experiencia previa en la operación y mantenimiento del sistema.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Riesgo total para el sistema Finca Las Costas

El valor de riesgo para todo el sistema de abastecimiento de agua potable de Finca Las Costas fue de 49.1% (**Figura 2**, al final de la columna D). En la **Figura 3** se presentan los valores promedio por componente de las medidas de control y el riesgo corregido. En la **Figura 4** se aprecia que los riesgos de los procesos Captación (40.7%) y Transporte (47.7%) resultaron de magnitud media. El proceso Tratamiento obtuvo un valor de riesgo de magnitud alta (59.1%). El valor del riesgo corregido de la **Figura 4** (barras discontinuas) es el que resultaría si se adoptan todas las medidas de control en aquellos casos en que el riesgo supere el umbral de 24%. En el caso de los sub-procesos de captación, como se observa en la **Figura 5** (izquierda), ambos presentan valores de riesgo actual medio, pero el puntaje más alto corresponde a Captación Superficial con un valor de 49.5% (muy próximo a la categoría de riesgo alto). Para los sub-procesos de transporte, en la **Figura 5** (derecha) se observa que Aducción presenta un valor de riesgo actual alto (67.7%), muy por encima de Conducción, que presenta un valor de riesgo dentro del rango medio (27.6%). El riesgo actual y corregido discriminado para todos los componentes se presenta en la **Figura 6**. Se observa que los componentes de mayor valor de riesgo actual son, en orden decreciente, Tratamiento La Toma (68.3%), Aducción (67.7%), Captación Superficial Astilleros (61.1%) y Captación Superficial La Toma (52.6%). Todos estos componentes presentan valores de riesgo alto. El resto de los componentes fluctúan dentro del rango de riesgo medio, no presentándose ningún caso con riesgo bajo. El componente menos riesgoso se encuentra dentro del proceso de transporte, y corresponde a Conducción (27.6%).

Unidades			Riesgo					
Proceso	Sub-proceso	Componente	Proceso		Sub-proceso		Componente	
			Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Captación	Superficial	La Olla	40.7	Medio	49.5	Medio	34.8	Medio
		Astilleros					61.1	Alto
		La Toma					52.6	Alto
	Subálvea	Kilómetro Cero					33.5	Medio
		Captación					30.0	Medio
Peñalba	32.2	Medio						
Transporte	Aducción	Aducción	47.7	Medio	67.7	Alto	67.7	Alto
	Conducción	Conducción			27.6	Medio	27.6	Medio
Tratamiento	Tratamiento	Astilleros	59.1	Alto	59.1	Alto	49.9	Medio
		La Toma					68.3	Alto
			<b>49.1</b>	<b>Medio</b>				

Figura 2. Matriz de riesgo del sistema Finca Las Costas. Riesgo actual. La columna H muestra promedios calculados con los valores obtenidos para todas las situaciones peligrosas de cada componente.

Unidades			Medidas de control		Riesgo corregido							
Proceso	Sub-proceso	Componente	Componente		Proceso		Sub-proceso		Componente			
			Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación		
Captación	Superficial	La Olla	15.7	Leve	21.7	Bajo	22.4	Bajo	19.1	Bajo		
		Astilleros							37.1	Moderada	24.0	Bajo
		La Toma							28.6	Moderada	24.0	Bajo
	Subálvea	Kilómetro Cero							12.7	Leve	20.8	Bajo
		Captación							9.2	Leve	21.0	Bajo
Peñalba	10.8	Leve	21.4	Bajo								
Transporte	Aducción	Aducción	43.7	Moderada	23.0	Bajo	24.0	Bajo	24.0	Bajo		
	Conducción	Conducción	5.7	Leve					21.9	Bajo	21.9	Bajo
Tratamiento	Tratamiento	Astilleros	26.9	Moderada	23.5	Bajo	23.5	Bajo	23.0	Bajo		
		La Toma	44.3	Moderada					24.0	Bajo		
			<b>23.5</b>	<b>Leve</b>	<b>22.7</b>	<b>Bajo</b>						

Figura 3. Matriz de riesgo del sistema Finca Las Costas. Medidas de control y Riesgo corregido. Las columnas J y P muestran promedios calculados con los valores obtenidos para todas las situaciones peligrosas de cada componente.

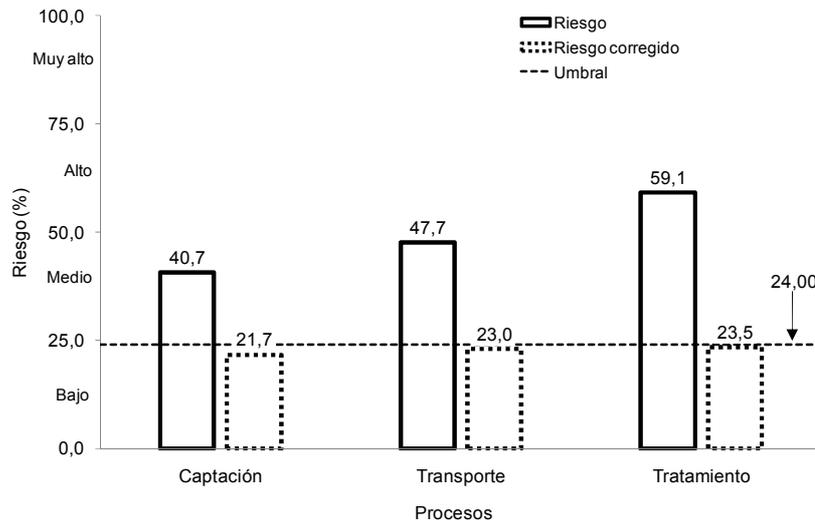


Figura 4. Riesgo actual y corregido de los procesos del sistema de abastecimiento de agua de Finca Las Costas.

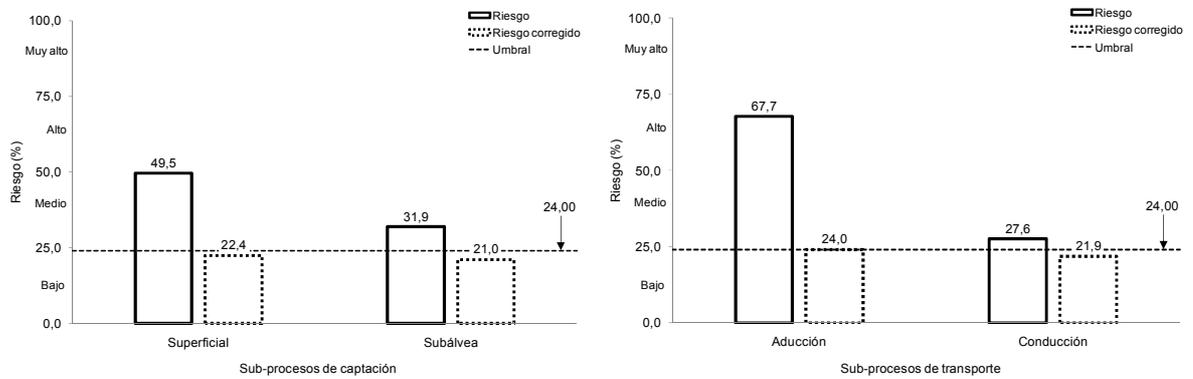


Figura 5. Riesgo actual y corregido de los sub-procesos de Captación (izquierda) y Transporte (derecha).

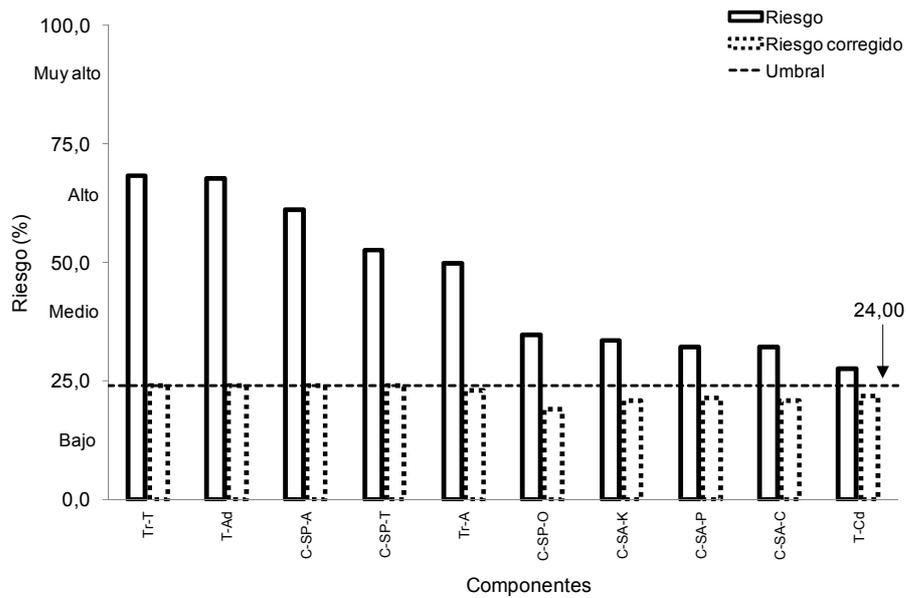


Figura 6. Riesgo actual y corregido para todos los componentes del sistema Finca las Costas. Código de procesos: C=Captación; T=Transporte; Tr=Tratamiento. Código de sub-procesos: SP=Superficial; SA=Subálvea; Ad=Aducción; Cd=Conducción. Código de componentes: A=Astilleros; T=La Toma; O=La Olla; K=Kilómetro Cero; P=Peñalba.

### Medidas de control

Más del 80% de las situaciones peligrosas analizadas durante la evaluación de riesgos requiere algún tipo de medida de control de magnitud variable para llevar el riesgo hasta el umbral de 24% (**Figura 7**). Las medidas requeridas son principalmente de magnitud leve y moderada, una proporción menor corresponde a medidas severas y con un porcentaje muy bajo se encuentran las medidas muy severas.

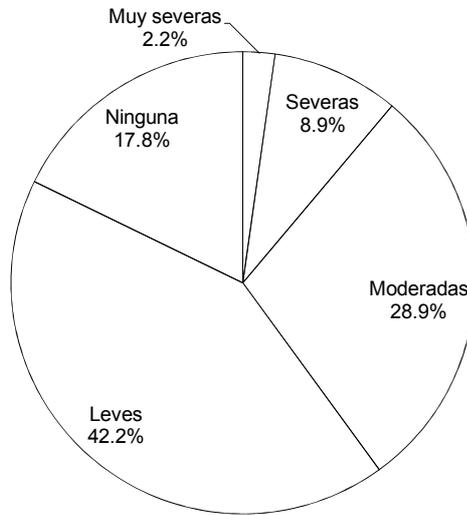


Figura 7. Tipo de medidas de control necesarias para las 45 situaciones peligrosas analizadas considerando un valor de riesgo umbral de 24%.

### Frecuencia de eventos peligrosos

Como se observa en la **Figura 8**, los eventos peligrosos más importantes corresponden a la presencia de Animales y a las Precipitaciones, que representan cada uno prácticamente el 16% del total, afectando a siete de los diez componentes considerados en el presente estudio. Este resultado coincide con la opinión de profesionales de CoSAySa, que resaltan la sensibilidad del sistema ante las lluvias intensas y la presencia de animales de forma permanente en el área de la reserva. Dos eventos peligrosos de carácter antrópico que afectan a diversos componentes del sistema son Vandalismo y Uso recreativo. Se destaca que las condiciones de seguridad en todo el sistema de abastecimiento de agua son deficientes, habiéndose observado, por ejemplo, cercados dañados o inexistentes en áreas sensibles de captación de agua, descuido general de las instalaciones, animales en las inmediaciones de las fuentes de agua y letrinas ubicadas a escasa distancia de los sistemas de captación (**Figura 9**).

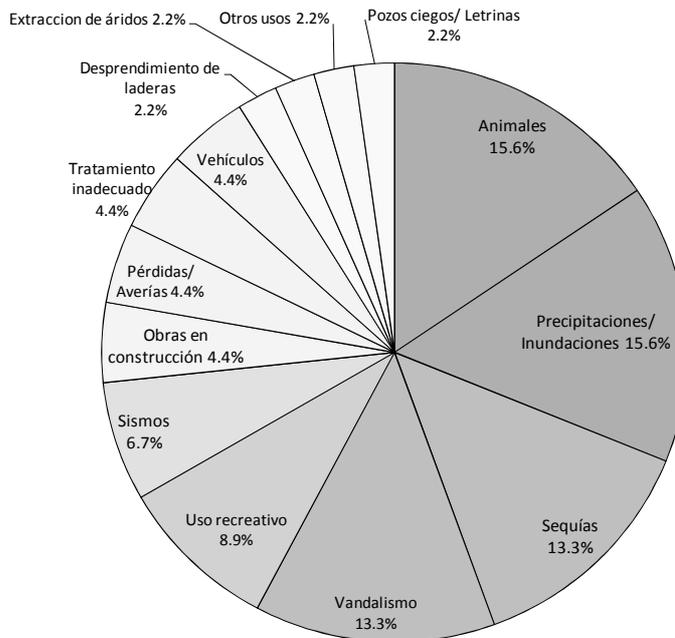


Figura 8. Frecuencia de eventos peligrosos detectados en el sistema Finca Las Costas.



Figura 9. Animales dispersos en la cuenca de captación de agua (izquierda). Cámara de filtrado invadida por vegetación (derecha).

#### Discusión final

El estudio presentado proporciona una base técnica para la reducción de aquellos riesgos asociados con un abastecimiento seguro y continuo de agua potable para la población. La empresa prestataria deberá definir las medidas de control adecuadas para todas y cada una de las situaciones peligrosas que fueron identificadas en esta etapa. Los resultados agregados (a nivel de componente, sub-proceso o proceso) son sólo informativos del grado de vulnerabilidad de cada parte del sistema con el objeto de efectuar comparaciones y evaluar cambios a través del tiempo. No se cubrieron necesariamente todos y cada uno de los eventos peligrosos posibles de manifestarse en cada componente del sistema estudiado. El objetivo fue focalizarse en los eventos de mayor envergadura o que requieren atención más urgente. Una vez que se pongan en práctica las medidas de control para estas situaciones, se puede proceder a la identificación de nuevos eventos peligrosos, procurando seguir de esta manera un proceso de mejora continua. La tendencia observada es que los procesos de tratamiento, el transporte a cielo abierto (aducción) y las captaciones superficiales presentan valores de riesgo más alto que las captaciones de tipo sub-superficial y la conducción.

Durante este estudio se estimaron valores de riesgo más elevados que durante el desarrollo del PSA de diagnóstico. Esto puede deberse a que la asignación de valores para obtener el riesgo en Finca Las Costas fue realizada exclusivamente por personal del INENCO, sin participación de miembros de CoSAySa, quienes validarán los resultados en una etapa posterior. Se destaca la importancia de realizar una evaluación de riesgos para cada sistema de abastecimiento en particular, ya que se mejora el nivel de detalle del análisis y es posible identificar medidas de control más apropiadas.

#### CONCLUSIONES

- El riesgo actual para todo el sistema de abastecimiento de agua de Finca Las Costas fue de 49.1 %. Este valor se encuentra dentro del rango medio, pero en el límite de la categoría de riesgo alto.
- El proceso que presenta mayor riesgo actual es Tratamiento (59.1%), seguido por Captación (47.7%) y Transporte (40.7%).
- De los diez componentes analizados, cuatro presentaron valores de riesgo dentro del rango alto: Tratamiento La Toma (68.3%), Aducción (67.7%), Captación superficial Astilleros (61.1%) y Captación Superficial La Toma (52.6%). El resto de los componentes presentaron valores de riesgo medio: Tratamiento Astilleros (49.9%), Captación Superficial La Olla (34.8%), Captación Sub-superficial Kilómetro Cero (33.5%), Captación Sub-superficial Peñalba (32.2%), Captación Sub-superficial Captación (30%) y Conducción (27.6%).
- Considerando un valor umbral de riesgo de 24%, más del 80% de las 45 situaciones peligrosas analizadas durante la evaluación requiere algún tipo de medida de control. La mayoría de las medidas requeridas son de magnitud leve (42.2 %) y moderada (28.9 %), y un menor porcentaje corresponde a medidas severas (8.9 %) y muy severas (2.2%).
- De los eventos peligrosos detectados en los componentes, los que tuvieron una mayor frecuencia de aparición fueron Precipitaciones/Inundaciones y Animales. Le siguen Vandalismo, Sequías y Uso Recreativo.
- Las modificaciones introducidas a la metodología de la OMS facilitaron el proceso de evaluación y permitieron una asignación más detallada de valores cuantitativos de riesgo y un cálculo más directo de la magnitud de las medidas de control necesarias.

#### REFERENCIAS

- Bartram, J., Corrales L., Davison A., Deere D., Drury D., Gordon B., Howard G., Rinehold A., y Stevens, M. (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua. Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo. Ginebra: OMS/IWA.
- Bastos, R., Bezeira, N. R., Oliveira, D. C., Bevilacqua, P. D., Vieira, J. M, Davis, R. B., y Adrian., S. (2008). System assessment and hazard prioritization: preliminary results and methodological aspects of a water safety plan pilot Project in Brazil. Memorias Water Safety Plans: Global experiences and future trends. Lisboa, Portugal: ASPEB, IWA, OMS.

- Bossel, H. (1999). Indicators for sustainable development: theory, method, applications. A report to the Balaton Group. International Institute for Sustainable Development (IISD). Winnipeg, Canada.
- COSAALT y FUNSALUD (Fundación boliviana para la salud) (2007). Plan de Seguridad de Agua para la ciudad de Tarija-Bolivia.
- Davison A., Howard G., Stevens, M., Fewtrell, L., Deere, D., y Bartram, J. (2005). Water Safety Plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer. OMS. Ginebra.
- Decreto N° 3741/07. Secretaría General de Gobernación. Expte N° 119-15884/07. Salta, 7 de diciembre de 2007.
- Dufour A, Snozzi M., Koster W., Bartram, J., Ronchi E., y Fewtrell, L. (2003). Assessing microbial safety of drinking water: Improving approaches and methods. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico/Organización Mundial de la Salud. Ginebra. Suiza.
- ENRESP (Ente Regulador de los Servicios Públicos) (2010). Plan Director de agua potable y saneamiento. Período 2010 - 2025. Bases para el Plan Director de la provincia de Salta.
- Gatto D'Andrea, M.L., Iribarnegaray, M., Flietas, A., Arredondo, F., Cabral, J., Copa, F.R., Liberal, V.I., Bonifacio, J.L., y Seghezze, L. (2011). Un Plan de Seguridad del Agua para la ciudad de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 15, 2011. ISSN 0329-5184
- Gunnarsdottir, M. y Gissurarson, L. (2008). HACCP and water safety plans in Icelandic water supply, a preliminary evaluation of experience. *Journal of water and health*, vol. 6(3), 377-382.
- Howard, G., Godfrey, S., Tibatemwa, S. y Niwagaba, C. (2005). Water safety plans for piped urban supplies in developing countries: a case study from Kampala, Uganda. *Urban Water Journal* 2(3), 161-170.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) (2010). Datos estadísticos disponibles en: <http://www.indec.com.ar>
- IWA (International Water Association) (2004). The Bonn Charter for Safe Drinking Water, London.
- Jayarathne, A. (2008). Application of a risk management system to improve drinking water safety. *Water Health*. 6(4):547-57.
- Mahmud, S. G., Abu Jafar Shamsuddin Sk., Feroze Ahmed, M., Davison, A., Deere, D., y Howard, G. (2007). Development and implementation of water safety plans for small water supplies in Bangladesh: benefits and lessons learned. *Journal of Water and Health*, 5(4) 585-597.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2004a). Guías para la calidad del agua potable. Tercera Edición, Vol 1. Ginebra.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2004b). Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. Hechos y cifras. Disponible en [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/facts2004/es/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/index.html)
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2007). Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares., Red Internacional para la promoción del tratamiento y almacenamiento seguro del agua doméstica. Ginebra. Disponible en: [www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/combating/combating.html](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/combating/combating.html)
- OMS (Organización Mundial de la Salud) y UNICEF (2010). Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Progress on Sanitation and Drinking-water. Ginebra.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2011a). Estrategias para la gestión sin riesgos del agua potable para el consumo humano. Informe de la Secretaría. 64a Asamblea mundial de la salud. A64/24.
- Pérez Vidal, A., Torres Lozada, P., y Cruz Vélez, C. (2009). Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia. *Revista Ingeniería e Investigación* 29(3), 79-85.
- Rinehold, A., Corrales, L., Medlin E., y Gelting, R. (2011). Water Safety Plan demonstration projects in Latin America and the Caribbean: lessons from the field. *Water Science & Technology: Water Supply*, 11(3):297-308.
- Vieira, J.M.P. (2011). A strategic approach for Water Safety Plans implementation in Portugal. *Journal of Water and Health*, 09.1, 107-115.
- Viljoen, (2010). The World Health Organization's water safety plan is much more than just an integrated drinking water quality management plan. *Water Science & Technology*, 61, 173-179.

## ABSTRACT

We describe the Water Safety Plan (WSP) developed for a drinking-water supply system of the city of Salta, Argentina. The system selected was "Finca Las Costas", located on the hills and valleys West of the city. The system was divided in three processes (catchment, transport, and treatment) and several sub-processes and components. We applied the risk assessment methodology proposed by the World Health Organization (WHO). This methodology was modified with the addition of three innovative steps: (a) a quantitative and qualitative modification of the calculation of probability, severity and risk; (b) the definition of a risk threshold value; and (c) a quantitative calculation of the magnitude of control measures. Current risk for the entire system was 49.1% (medium). Water treatment was found to be the riskiest process (59.1%, high). More than 80% of the hazardous situations studied require some type of control measure. Modifications introduced to the method allowed a more accurate and easier risk assessment process.

**Keywords:** Drinking water, Finca Las Costas, risk assessment, Salta, water safety plans, WSP.