**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES**

**Título**

**Plan de Seguridad del Agua-Resiliente al Clima, caso de estudio: Consejo Popular Sevillano**

***Title***

***Water Safety Plan- Climate Resilient, study Case: Consejo Popular Sevillano***

**Yoany Sánchez Cruz1, Noel S. Pérez Duarte2, Odalis Benamor Batista3, Alexis Acosta Cruz4, Ileana Fleitas5, Leslie Llanes Santamaría6.**

1- Yoany Sánchez Cruz. Empresa Aguas de La Habana, La Habana, Cuba, [ysanchez@ahabana.co.cu](mailto:ysanchez@ahabana.co.cu)

2- Noel S. Pérez Duarte. Ministerio de Salud Pública, La Habana, Cuba, [noelspd@infomed.sld.cu](mailto:noelspd@infomed.sld.cu)

3- Odalis Benamor Batista. OSDE-Gestión Integral de las Aguas Terrestres, La Habana, Cuba [odalis.benamor@giat.cu](mailto:odalis.benamor@giat.cu)

4- Alexis Acosta Cruz. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, La Habana, Cuba, [alexis.acosta@hidro.gob.cu](mailto:alexis.acosta@hidro.gob.cu)

5- Ileana Fleitas. Oficina OPS/OMS-Cuba, La Habana, Cuba, [fleitasi@paho.org](mailto:fleitasi@paho.org)

6- Leslie Llanes Santamaría. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, La Habana, Cuba, [leslie.llanes@hidro.gob.cu](mailto:leslie.llanes@hidro.gob.cu)

**Resumen:**

* **Problemática:** La ausencia en Cuba de una metodología que asegure la seguridad del agua abastecida con un enfoque sistémico y resiliente ante los efectos extremos del clima, conspira contra la sostenibilidad de los sistemas de abasto.
* **Objetivo Principal**: Desarrollar el Plan de Seguridad del Agua-Resiliente al Clima del Consejo Popular Sevillano, La Habana

**Objetivos Específicos**:

Establecer las bases conceptuales en Cuba para un PSA-RC teniendo en cuenta sus sinergias con el sistema de reducción de desastres de la DC.

Aplicar la Metodología PSA-RC de la Organización Mundial de la Salud en el Consejo Popular Sevillano, La Habana.

* **Metodología:** Teniendo en cuenta los planes de gestión de riesgos de la Defensa Civil en Cuba y las condiciones de operación y explotación de los acueductos cubanos, se adapta la Metodología Plan de Seguridad del Agua-Resiliente al Clima (WHO, 2017).
* **Resultados y discusión:** Para el Caso de Estudio, los riesgos de mayor probabilidad y gravedad están dados por la contaminación en la cuenca, efectos de la sequía, servicio discontinuo y estado regular de la infraestructura de distribución. Las principales consecuencias, se reflejan en la disminución de la oferta, la degradación de la calidad del agua, así como las consecuencias de eventos transitorios en conductoras y redes de distribución.
* **Conclusiones:**
* Quedan definidos los riesgos de mayor probabilidad y gravedad para el Caso de Estudio desde una óptica sistémica y resiliente a los eventos extremos del clima.
* Se establecen patrones de trabajo para el desarrollo de nuevos y más detallados PSA-RC en Cuba.

***Abstract:***

* ***Problem:*** *The absence in Cuba of a methodology that ensures the safe of the water supplied with a systemic and resilient approach to the extreme effects of the climate, conspires against the sustainability of supply systems.*
* ***Main Objective:*** *Develop the Safety Plan for Water-Resilient to Climate (WSP-RC) of the Consejo Popular Sevillano, Havana.*

***Specific objectives:*** *Establish the conceptual bases in Cuba for a WSP-CR taking into account its synergies with the DC disaster reduction system.*

*Apply the WSP-RC Methodology of the World Health Organization in the Consejo Popular Sevillano, Havana.*

* ***Methodology:*** *Taking into account the risk management plans of the Civil Defense in Cuba and the conditions of operation and exploitation of Cuban aqueducts, the Water Safety-Climate-Resilient Plan Methodology is adapted (WHO, 2017).*
* ***Results and discussion:*** *For the Case Study, the risks of greater probability and severity are given by contamination in the basin, effects of drought, discontinuous service and regular state of the distribution infrastructure. The main consequences are reflected in the decrease in supply, the degradation of water quality, as well as the consequences of transitory events in conductors and distribution networks.*
* ***Conclusions****:*

*- The risks of greater probability and severity for the Case Study are defined from a systemic and resilient perspective to extreme weather events.*

*- Work patterns are established for the development of new and more detailed PSA-RC in Cuba.*

**Palabras Clave:** plan de seguridad del agua, evaluación de riesgos, abastecimiento, clima

***Keywords:*** *water safety plan, risk assessment, supply, climate*

**1. Introducción**

El marco legal para la gestión de riesgos en Cuba ha sido tarea priorizada del gobierno. El Decreto-Ley No. 170 del Sistema de Medidas de Defensa Civil y la Resolución No. 4/2017, han reforzado el esfuerzo y apoyo en tal sentido (DC & PNUD, 2017). La Defensa Civil (DC), es la organización gubernamental encargada de la gestión de riesgos en el territorio Nacional. Tiene una estructura bien definida a partir del vínculo de la Presidencia de la República, con las diferentes estructuras ministeriales, económicas y sociales.

De igual manera, la Tarea Vida, como Programa de Enfrentamiento al Cambio Climático en la República de Cuba, orienta priorizar las medidas y acciones para elevar la percepción del riesgo. A partir de estas directivas, el Grupo de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Medio Ambiente (AMA) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), ha trabajado en los principales riesgos a los cuales el país pudiera estar expuesto estableciendo metodologías para su identificación (AMA & PNUD, 2014).

La Ley 124 de las Aguas Terrestres establece en su contenido el principio de gestión de reducción del riesgo de desastres y eventos sísmicos e hidrometeorológicos extremos, haciendo referencia a riesgos asociados a la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres (MINJUS, 2017).

Los estudios nacionales sobre gestión de riesgos en sistemas de abasto, se han realizado, fundamentalmente, sobre la base del análisis de la vulnerabilidad del sistema ante determinada amenaza (Morales & González, 2001) y la identificación de fuentes contaminantes, su evaluación y su posible impacto a la salud (Cuéllar et. al, 2018). De igual manera, se han efectuado estudios sobre vulnerabilidades en las cuencas de captación para apoyar programas de gestión integral de cuencas de abasto (Suárez O. et. al, 2018). También existen resultados sobre el tema de la gestión de riesgos asociados a sistemas de conducción de agua en Cuba (Díaz H., 2020).

Desde el punto de vista de la calidad del agua y procedimientos de muestreo, Cuba ha normado todos los parámetros para tener un agua segura cumpliendo con lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (NC 93-03, 1985; NC 1021, 2014; NC 827, 2017). Por otro lado, a partir del incremento de los períodos de sequía, surgen nuevas problemáticas basadas en su gestión desde una óptica operacional y a través del impacto en la reducción de la demanda como riesgo que afecta la calidad de los servicios de abasto (Méndez O., 2011; Méndez O. et. al, 2018).

La bibliografía consultada muestra ausencia en Cuba de una metodología que haga una valoración práctica en el tema de la gestión de riesgos en sistemas de abasto. De igual manera se evidencia la necesidad de enfoques sistémicos que identifique riesgos y establezca planes de gestión para mitigarlos.

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 (WHO & IWA, 2009). A esta visión, se suman conceptos de adaptación al Cambio Climático con enfoque resiliente contribuyendo a formar, de manera eficiente, sistémica y proactiva, los Planes de Seguridad del Agua Resilientes al Clima (PSA-RC) (WHO, 2017).

La investigación inicia en Cuba el desarrollo metodológico de los PSA-RC a partir de los siguientes objetivos:

**Objetivo Principal**: Desarrollar el Plan de Seguridad del Agua-Resiliente al Clima del Consejo Popular Sevillano, La Habana

**Objetivos Específicos**:

Establecer las bases conceptuales en Cuba para un PSA-RC teniendo en cuenta sus sinergias con el sistema de reducción de desastres de la DC.

Aplicar la Metodología PSA-RC de la Organización Mundial de la Salud en el Consejo Popular Sevillano, La Habana.

**2. Metodología**

La metodología PSA-RC refiere que los peligros se definen como agentes físicos, biológicos, químicos o radiológicos que pueden dañar la salud pública y los eventos peligrosos como eventos que introducen peligros en el sistema de abastecimiento de agua (WHO & IWA, 2009). Por su parte, la DC emplea el término peligro para describir el probable evento extremo, de origen natural, tecnológico y/o sanitario, particularmente nocivo, que puede producirse en un momento y lugar determinado (Pardo R. et al., 2016). La relación conceptual entre peligro y evento peligroso o extremo, tanto en la metodología PSA-RC como en las definiciones de la DC, convergen en la identificación de la fuente del peligro y los daños asociados a él.

La DC define los peligros en función de su naturaleza y origen en: Naturales, Tecnológicos y Sanitarios (CDN, 2005). En Sánchez et al., 2021, se hace referencia a los eventos peligrosos que pueden estar asociados en la etapa de conducción en sistemas de abasto, atendiendo a la clasificación antes comentada. A partir de estos resultados, se hace un estudio más integral para identificar los eventos desde la cuenca hasta el usuario.

En WHO & IWA, 2009, se define el riesgo como la probabilidad de que se produzca un evento peligroso de conjunto con la gravedad de sus consecuencias. En este caso, la consideración más importante es el posible efecto en la salud pública, así como la continuidad y suficiencia del abastecimiento de agua. La DC define al riesgo como una relación entre la frecuencia (probabilidad) de manifestación de un peligro particular de desastre y las consecuencias (pérdidas) que pueden esperarse (DC & PNUD, 2017). Teniendo en cuenta lo comentado, el riesgo PSA-RC para las estrategias proactivas cubanas, queda definido como la probabilidad de ocurrencia de un evento peligroso y sus consecuencias para la calidad y continuidad del abasto.

En Pardo R. et al., 2016, quedan establecidos los niveles de estimación de riesgo de forma cualitativa:

-Bajo

-Medio

-Alto

-Intolerable

La metodología PSA-RC establece los mismos niveles que la DC con excepción del riesgo Intolerable que lo define como Muy Alto. En tal sentido, se propone el uso de la evaluación cualitativa de la DC para el Caso de Estudio. La decisión tiene en cuenta las estrategias comunicacionales de riesgos para la población afectada de tal manera que se sienta identificada con la terminología.

La DC ha establecido métodos jerárquicos a partir de la asignación de rangos para definir niveles de riesgo en función del peligro y la vulnerabilidad. Por su parte, la metodología PSA-RC plantea el uso de la valoración semi-cuantitativa establecida por Deere et al., 2001 basado en la matriz de riesgos quedando definidos los siguientes rangos:

Bajo <6

Medio 6-9

Alto 10-15

Intolerable >15

Desde el punto de vista técnico, se establece la valoración semi-cuantitativa basada en la matriz de riesgos. Para ello se tiene en cuenta la evaluación de los riesgos a partir de su implicación en la calidad del agua servida y la continuidad del suministro (Figura 1).

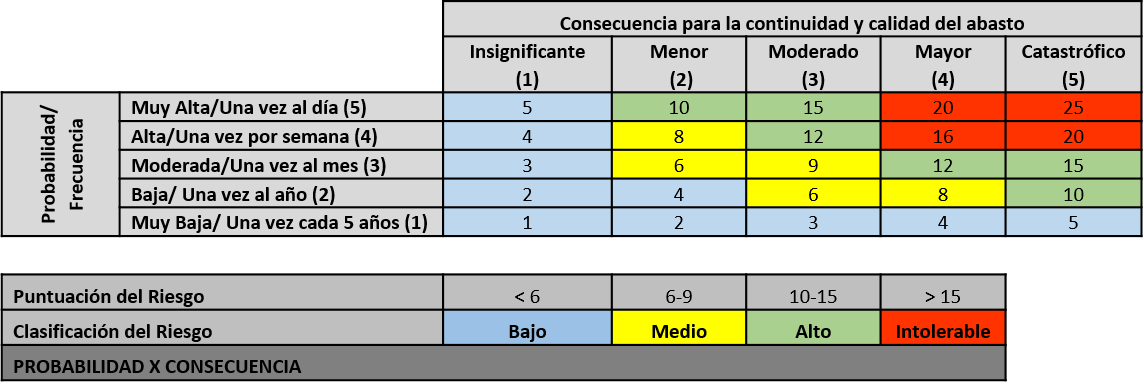


Figura 1.Matriz de para la clasificación de riesgos. Fuente: adaptado de Sánchez Y. et, al, 2021.

La puntuación del riesgo estará en función de la multiplicación matricial entre la Probabilidad/Frecuencia y la Consecuencia para la continuidad y calidad del abasto. De esta manera, quedarán establecidos los cuatro niveles de evaluación anteriormente comentados y podrá establecerse un PSA-RC teniendo en cuenta la criticidad del riesgo.

El PSA-RC deberá tener un enfoque integral, sistémico y proactivo, a partir de estrategias flexibles que permitan la adaptación de procedimientos y métodos existentes. Para el desarrollo metodológico se realizó un estudio observacional descriptivo. La Tabla 1 resumen la cronología de los 11 módulos didácticos agrupados en 5 componentes (WHO & IWA, 2009) a partir de los cuales, se desarrolló la investigación:

Tabla 1. Pasos metodológicos para desarrollar un PSA-RC. Fuente: WHO & IWA, 2009.

|  |  |
| --- | --- |
| **Componente** | **Módulo** |
| I PREPARACIÓN | MÓDULO 1. Medidas Preliminares: Formación del equipo del PSA-RC |
| II EVALUACIÓN DEL SISTEMA | MÓDULO 2. Descripción del sistema de abastecimiento de agua |
| MÓDULO 3.: Determinación de los peligros eventos peligrosos y evaluación de los riesgos |
| MÓDULO 4. Determinación y validación de medidas de control, nueva evaluación y clasificación de los riesgos |
| MÓDULO 5. Elaboración, ejecución y mantenimiento de un plan de mejora o modernización |
| III MONITOREO OPERATIVO | MÓDULO 6. Definición del monitoreo operativo |
| MÓDULO 7. Verificación de la eficacia del PSA-RC |
| IV GESTIÓN Y COMUNICACIÓN | MÓDULO 8. Elaboración de procedimientos de gestión |
| MÓDULO 9. Elaboración de programas complementarios |
| V RETROALIMENTACIÓN Y MEJORA | MÓDULO 10. Planificación y realización de exámenes periódicos del PSA-RC |
| MÓDULO 11. Revisión del PSA-RC tras un incidente |

**3. Resultados y discusión**

Las 5 etapas fueron aplicadas al suministro de agua potable del Consejo Popular Sevillano perteneciente al Municipio 10 de octubre, La Habana, con una población asociada de 2 856 habitantes (Figura 2).



Figura 2. Área del Consejo Popular Sevillano.

**Componente I- Preparación.**

**Módulo 1. Formación del equipo.**

Para la implementación fue necesario constituir un equipo a lo interno del prestador del servicio. El grupo fue elegido a partir de las experiencias y conocimientos de los especialistas en las materias a fines con las etapas del servicio desde una óptica integral. Los expertos, con la capacidad de valorar los eventos que pueden afectar la disponibilidad y seguridad del agua, tuvieron en cuenta situaciones de variabilidad y cambio climático desde la cuenca de captación.

Para el Caso de Estudio fue creado un Equipo Núcleo formado por especialistas y directivos del área técnica, planeación y operaciones. Este equipo fue el responsable del desarrollo, ejecución y mantenimiento del PSA-RC, como parte fundamental de sus funciones cotidianas. Todo criterio fue sometida a debate a partir de análisis multi-criterios y jerárquicos.

Fue constituido un Equipo Ampliado con integrantes de varias instituciones de corte ambiental, vigilancia de la calidad sanitaria del agua y gestión integral de los recursos hídricos. Este grupo agregó valor al desarrollar y revisión del PSA-RC al mismo tiempo que introdujo aspectos importantes en materia de gestión de cuencas, calidad del agua y riesgos asociados con el cambio climático.

**Componente II- Evaluación del Sistema**

**Módulo 2. Descripción del sistema de abastecimiento de agua.**

El grupo de trabajo recopiló la información existente sobre el sistema de distribución al Conejo Popular Sevillano desde la cuenca al consumidor. A partir de un recorrido técnico, fueron comprobados en el terreno aspectos claves sugeridos por los proveedores del servicio. El sistema quedó definido a partir del esquema que muestra la Figura 3.

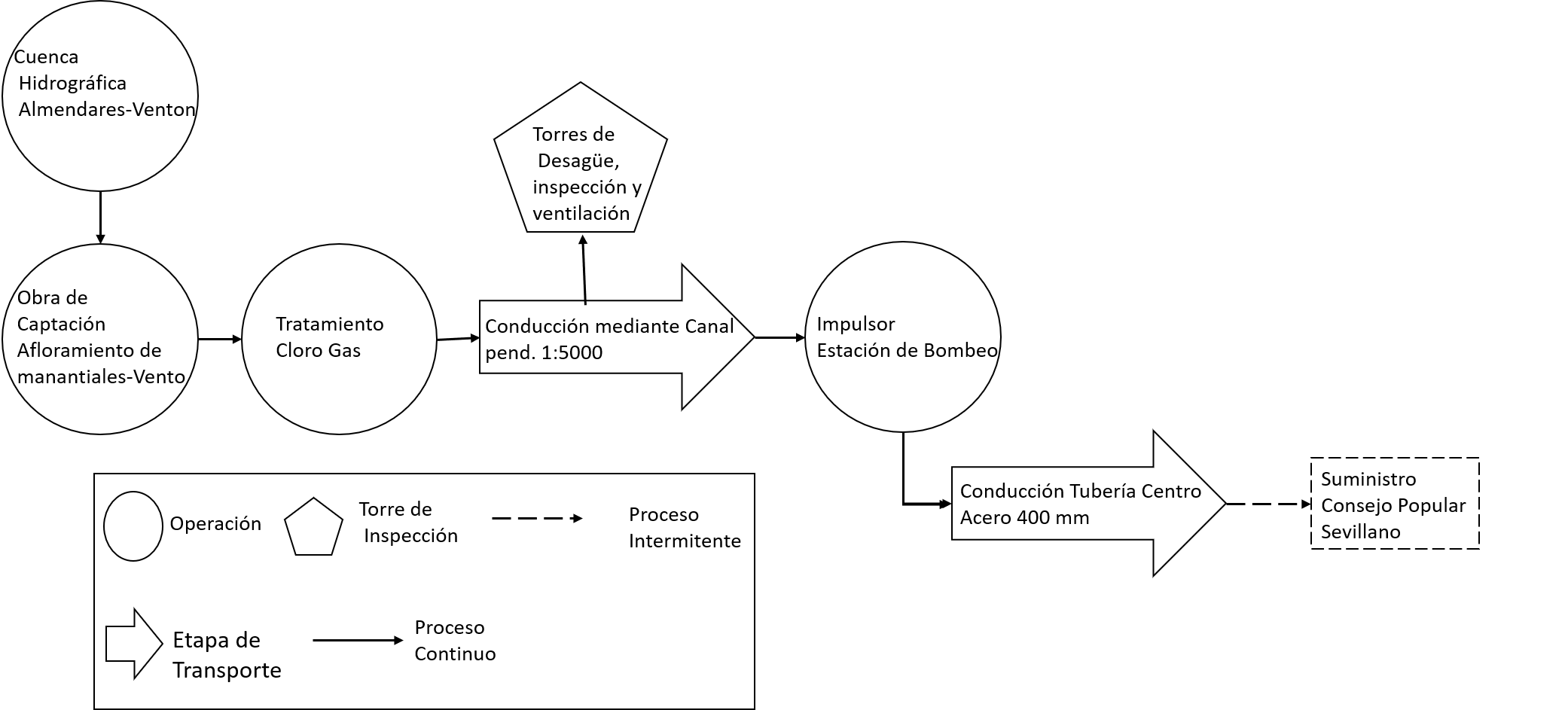


Figura 3. Esquema del sistema de suministro Consejo Popular Sevillano con enfoque PSA-RC. Fuente: elaboración propia.

El esquema permitió organizar la búsqueda de información en cada uno de los componentes, así como describir su situación actual. La Tabla 3 muestra la descripción por cada componente.

Tabla 3. Descripción, por componentes, del Sistema de Abasto Consejo Popular Sevillano. Fuente: elaboración propia.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Componente del sistema** | **Información mínima existente o recabada en campo.** | **Descripción de la situación actual** |
| Cuenca Hidrográfica | Área: 402 km2  Población asociada: 570 000 hab.  Extracción promedio anual: más de 29 millones de m3.  Red Hidrográfica: numerosos arroyos de carácter intermitente. Río principal Almendares (49.8 km)  Situación Ambiental: Contaminación del río.  \*9 Estaciones de monitoreo de agua superficiales  \*80 Estaciones de agua subterráneas | La cuenca atraviesa por un estrés hídrico manifestado en la reducción de la oferta producto al déficit de precipitación.  El índice de calidad de agua de la subterránea es Aceptable, a diferencia de la Superficial que está altamente contaminada. |
| Fuente de agua | Acuífero Subterránea Vento | Demanda de 1 479 750 hab. (Rivera, 2009). |
| Obra de Captación | -Taza Vento (Grande): Capta 400 manantiales.  -Taza Chica: Agrupa 26 manantiales encamisados y separados del río Almendares por estructura de Hormigón Armado. | Buen estado técnico-constructivo. Cumple la Norma Cubana de Zona de Protección Sanitaria. |
| Tratamiento Cloro Gas (para entrega en Ruta) | Planta de tratamiento de cloro Gas para garantizar niveles establecidos de potabilización en entregas en Ruta. Equipada con Equipos dosificadores de Cloro Gas, medios de protección y almacenamiento de reserva según Normas Cubanas establecidas. | Se realiza para la entrega en ruta a partir de un impulsor que se conecta una vez sobrepasa Torre 19 y que es objeto de estudio. Utiliza Cloro Gas garantizando los niveles normados de cloro residual y muestreando en puntos claves definidos (NC 827, 2017). |
| Sistema de Conducción | Canal de Vento: canal de bóveda (con geometría ovoidal). Tiene de altura máxima 2.44m y un ancho máximo de 1.98 m, con una pendiente de 1:5000. Su longitud total es de 9080 m. Cuenta con 3 Torres Cuadradas o Casas de Compuerta para el desagüe y limpieza y 24  torres cilíndricas como registros ventiladores | Obra maestra de la ingeniería civil cubana que aumentó niveles de eficiencia de conducción a partir de una rehabilitación capital en el 2002. |
| Impulsor-Estación de Bombeo | Punto de entrega en ruta localizado después de la Torre Cilíndrica 19, Estación de Bombeo con 2 equipos sumergibles y uno de reserva. | Buen estado Técnico. Se hacen muestreos periódicos de la calidad del agua para comprobar los niveles de cloro en la red según lo establecido en la NC 827. |
| Conducción Tubería Centro Acero 400 mm hacia Consejo Popular Sevillano y otros Sistemas. | Material: Centro Acero  Diámetro: 400 mm  Longitud: 4.7 km  Estado técnico: Regular. | Conducto con un estado técnico Regular que presenta fugas en determinados tramos. |
| Suministro Consejo Popular Sevillano | Longitud de la red: 31 km  Materiales:  \*Fundición Dúctil  \*Polietileno de Alta Densidad  Tipo de red: Mayada  Frecuencia del Servicio: Discontinuo (24 horas, días alternos).  Estado de la Red: Regular. Problemas de fugas.  Calidad del agua: Buena según NC 827, 2017.  Habitantes: 2 856 hab.  Cobertura hidrométrica: Baja  Sistema del Consumidor: Prevalecen los sistemas Cisternas-Tanques. | \*Demandas no satisfechas por disponibilidad del recurso agua (sequía) y bajas presiones.  \*Fugas en el sistema.  \*Buena calidad del agua avalada por el muestreo del Ministerio de Salud Pública (Minsap) (60 muestras bacteriológicas del 2020 a la fecha) y el prestador del servicio, además de las mediciones de cloro residual según Instrucción Conjunta Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH)-Minsap de 0.5 ppm en el punto al final de la red. |

**Módulo 3. Determinación de los peligros, eventos peligrosos y evaluación de los riesgos.**

Fueron determinados los eventos y peligros asociados que pudieran producirse a partir de la falla de algún punto del sistema. La inspección visual, estudio de eventos históricos, el debate especializado del grupo, así como los resultados comentados en Sánchez et. al, 2021, revelaron cada uno de los peligros evaluados a partir de la matriz de riesgos (Tabla 4).

Tabla 4. Peligros y Eventos Peligroso por cada etapa del Sistema. Evaluación. Fuente: elaboración propia.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Etapa del proceso** | **Evento peligroso (fuente de peligro)** | **Tipo de peligro DC-Cuba** | **Tipo de peligro**  **(efecto)** | **Evaluación**  **(sin considerar medidas de control)** |
| Cuenca Hidrográfica Almendares-Vento | Intensas sequía | Naturales | Disminución oferta | Intolerable |
| Tormentas locales severas | Infiltración al manto freático de agentes contaminantes | Bajo |
| Ciclones Tropicales | Medio |
| Intensas lluvias | Bajo |
| Urbanización | Tecnológicos | Contaminación de la cuenca | Medio |
| Degradación de la calidad del agua | Sanitarios | Disminución oferta | Intolerable |
| Afectación del gasto sanitario del río Almendares | Bajo |
| Pandemias | Aumento de la oferta por necesidades epidemiológicas y, por tanto, sobre explotación de la cuenca. | Bajo |
| Obra de captación. Taza Vento (Grande) - Taza Chica | Ciclones Tropicales | Naturales | Colapso de obras de drenaje por obstrucciones | Bajo |
| Intensas lluvias | Bajo |
| Tormentas eléctricas | Fallo en la comunicación con sistema SCADA | Medio |
| Intensas sequía-Taza Vento (Grande) | Disminución de la oferta | Intolerable |
| Crecimiento de algas | Medio |
| Intensas sequía-Taza Chica | Disminución de oferta | Intolerable |
| Crecimiento de algas | Medio |
| Aumento de la temperatura Taza Grande | Crecimiento de algas | Medio |
| Aumento de la temperatura Taza Grande | Crecimiento de algas | Bajo |
| Fugas en el sistema | Tecnológicos | Inutilización de uno o los dos conductos del sifón invertido | Bajo |
| Fallo contención Río Alemendares-Taza Chica | Colapso de la contención del río Almendares | Bajo |
| Fallos Estructurales Túnel del Sifón | Inutilización del Sifón | Bajo |
| Telemetría | Pérdida del control de los niveles | Alto |
| Errores en la operación | Disminución de la oferta | Bajo |
| Falta de Mantenimiento e Inversión | Disminución de la oferta | Bajo |
| Vandalismo | Sanitarios | Degradación de la calidad del agua | Bajo |
| Degradación de la calidad del agua | Disminución de la oferta | Alto |
| Derrame de sustancias Químicas | Degradación de la calidad del agua | Bajo |
| Tratamiento Cloro Gas | Ciclones Tropicales/Tormentas locales severas | Naturales | Fallo de la energía Eléctrica | Alto |
| Tormentas eléctricas | Intolerable |
| Fallo de instrumentación | Tecnológicos | Degradación de la calidad del agua | Bajo |
| Corte de energía | Degradación de la calidad del agua | Bajo |
| Errores en la operación | Degradación de la calidad del agua | Bajo |
| Interrupción del tratamiento | Sanitarios | Degradación de la calidad del agua | Bajo |
| Sistema de Conducción-Canal Vento | Ciclones Tropicales | Naturales | Cruce del Canal de Vento por el río Orengo mediante sifón invertido. | Bajo |
| Intensas lluvias | Bajo |
| Tormentas locales severas | Bajo |
| Intensas sequías | Disminución de la oferta de conducción | Alto |
| Fugas en el sistema | Tecnológicos | Degradación de la calidad del agua | Medio |
| Disminución de la oferta | Medio |
| Derrumbes de edificaciones | Disminución de la capacidad de inspección | Bajo |
| Urbanización | Disminución de la capacidad de inspección y degradación de la calidad del agua. | Medio |
| Vandalismo | Sanitarios | Degradación de la calidad del agua | Alto |
| Degradación de la calidad del agua | Contaminación inducida por infiltraciones de contaminantes | Bajo |
| Derrame de sustancias quimicas | Degradación de la calidad del agua | Alto |
| Impulsor Estación de Bombeo | Ciclones tropicales | Naturales | Interrupción del sistema eléctrico | Alto |
| Intensas lluvias | Alto |
| Tormentas locales severas | Alto |
| Tormentas eléctricas | Alto |
| Tornados | Alto |
| Telemetría | Tecnológicos | Fallo de la comunicación con el sistema SCADA y pérdida del control de mediciones remotas | Medio |
| Fallo de instrumentación | Afectación de la oferta | Alto |
| Corte de energía | Ariete Hidráulico (eventos transitorios) | Medio |
| Fallo de equipos de bombeo | Afectación de la oferta | Alto |
| Errores en la operación | Afectación de la oferta | Medio |
| Vandalismo | Sanitarios | Afectación de la oferta | Bajo |
| Interrupción del Tratamiento | Afectación de la oferta | Alto |
| Conducción Tubería Centro Acero 400 mm hacia Consejo Popular Sevillano y otros Sistemas. | Intensas sequías | Naturales | Aumento de la intermitencia | Alto |
| Fugas en el sistema | Tecnológicos | Afectación de la oferta y calidad del agua | Alto |
| Fluctuación de la Presión | Eventos transitorios | Alto |
| Intermitencia del servicio | Afectación de la oferta y calidad del agua | Alto |
| Apertura y cierre de válvulas | Eventos transitorios | Alto |
| Conexiones no autorizadas | Afectación de la oferta y calidad del agua. Aumento de la demanda. | Medio |
| Errores en la operación | Eventos transitorios | Medio |
| Falta de Mantenimiento e Inversión | Afectación de la oferta y calidad del agua | Alto |
| Degradación de la calidad del agua | Sanitarios | Afectación de la oferta y calidad del agua | Bajo |
| Suministro Consejo Popular Sevillano | Fugas en el sistema | Tecnológicos | Afectación de la oferta y calidad del agua | Alto |
| Urbanización | Aumento de la demanda | Medio |
| Fluctuación de la Presión | Eventos transitorios | Medio |
| Intermitencia del servicio | Afectación de la oferta y calidad del agua | Alto |
| Apertura y cierre de válvulas | Eventos transitorios | Alto |
| Conexiones no autorizadas | Afectación de la oferta y calidad del agua. Aumento de la demanda. | Medio |
| Errores en la operación | Eventos transitorios | Bajo |
| Falta de Mantenimiento e Inversión | Afectación de la oferta y calidad del agua | Alto |
| Degradación de la calidad del agua | Sanitarios | Intermitencia del servicio | Alto |

Los riesgos de mayor probabilidad y gravedad (Alto e Intolerante), están dados a partir de la contaminación en la cuenca, problemas derivados de la sequía, intermitencia en el servicio de abasto y estado regular de la infraestructura de distribución. Los efectos fundamentales, estarán dados por la disminución de la oferta, la degradación de la calidad del agua, los efectos derivados de la intermitencia en el suministro, así como las consecuencias de eventos transitorios en conductoras y redes de distribución.

Por otro lado, los riesgos de menor probabilidad y gravedad (Bajo y Medio), reflejan, en su mayoría, problemas de operación y mantenimiento en el sistema. Sus efectos provocarían, fundamentalmente, disminución en calidad del agua servida y aumento de la intermitencia en el suministro.

La incidencia de la variabilidad climática tiene su máxima expresión en la sequía como evento extremo más recurrente y peligroso (Méndez O, 2018). Por otro lado, las intensas lluvias provocarían escurrimientos que arrastren materias contaminantes hacia las zonas más bajas y favorables a la infiltración y, por tanto, aumentar los peligros de contaminación.

**Módulo 4. Determinación y validación de medidas de control, nueva evaluación y clasificación de los riesgos.**

En la mayoría de los casos, los riesgos identificados y evaluados, poseen medidas para su control basados en planes de inversión, mantenimiento, estrategias de gestión o planes gubernamentales. En tal sentido, se identificaron y documentaron las medidas de control existentes teniendo en cuenta su variabilidad a partir de los eventos extremos del clima y de las reglas de operación y mantenimiento del sistema.

Las medidas fueron identificadas en los riesgos clasificados como Medio, Alto e Intolerable para ser re-evaluados a partir de la verificación de su eficacia con el objetivo de valorar su impacto. Las estimaciones no solo fueron hechas basadas en observaciones pasadas, sino en las probabilidades y consecuencias de eventos futuros de los impactos del cambio climático. Finalmente, los riegos fueron recalculados en términos de probabilidad de la ocurrencia y consecuencia, disminuyendo considerablemente las categorías en comparación con el estado inicial.

Algunas medidas tienen en cuenta planes de ejecución a mediano y largo plazo en función de su alcance económico. Dentro de las principales, están:

* Regulación del régimen de explotación de la cuenca.
* Control de fuentes contaminantes.
* Plan de Mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura.
* Plan Técnico sobre Gestión de la Demanda.

**Módulo 5. Elaboración, ejecución y mantenimiento de un plan de mejora o modernización.**

A partir de la re-evaluación se determina que hay riesgos significativos para la seguridad del agua y se demuestra que las medidas de control no son del todo eficaces para disminuir todos los riesgos. En este sentido, se diseña un plan de mejora o modernización. El plan se focalizó en aquellos peligros cuyo riesgo se clasificó como Alto o Intolerable y tiene un impacto a mediano o largo alcance debido a los niveles de inversión que requiere. Fueron definidos, fundamentalmente, cuatro programas:

* Programa de Uso Racional y Productivo del Agua en la cuenca.
* Programa de Erradicación de Fuentes Contaminantes.
* Plan de rehabilitación integral de redes.
* Programa de Gestión de la Demanda.

El planeamiento estratégico de estos programas permite buscar fondos de inversión a partir de la prioridad que tiene cada uno de ellos en la disminución de los riesgos dentro del sistema.

**Componente III- Monitoreo operativo**

**Módulo 6. Definición del monitoreo operativo.**

El monitoreo sistemático, por lo general, no se basa en complicados análisis microbiológicos o químicos, sino en observaciones y pruebas sencillas. Para el Caso de Estudio, se realizó una programación operativa de verificación para garantizar la seguridad sanitaria del agua consumida a partir de las instalaciones de tratamiento y el sistema de distribución (Tabla 5).

Tabla 5. Seguimiento operativo de la calidad sanitaria del agua servida. Fuente: elaboración propia.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Proceso** | **Monitoreo operativo** | | | **Monitoreo de verificación** | | |
| **¿Que?** | **¿Cuando?** | **¿Quién?** | **¿Que?** | **¿Cuando?** | **¿Quién?** |
| Instalaciones de  tratamiento | Medición en línea: – Cloro | Cada día | Operarios del  tratamiento del  agua / Analista | E. coli | Cada semana | Analista |
| Registros de Dosificación | Cada mes |  |  |
| Sistema de  distribución | pH | Cada semana | E. Coli | Cada semana |
| Cloro | Cada semana | Turbidez | Cada semana |
| Inspección Sanitaria | Cada semana | Enterococos | Cada semana |

El análisis operativo y de verificación contribuirá a lograr una gestión proactiva ante posibles casos de contaminación. Para algunas medidas de control, es necesario definir Límites Críticos (LC) más allá de los cuales disminuye la confianza en la seguridad del agua. La Tabla 6 muestra los LC establecidos teniendo en cuenta los eventos relacionados con la sequía y la degradación de la calidad del agua en la cuenca de captación.

Tabla 6. Límites Críticos. Fuente: elaboración propia.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Evento de peligro** | **Peligro** | **Riesgo** | **Medida de Control** | **Limite Critico (LC)** |
| Sequía | Disminución de la Oferta | Alto | Regulación del régimen de explotación. | Valores históricos de disponibilidad de Recursos Aprovechables de la Cuenca |
| Degradación de la calidad del agua en la Cuenca | Disminución de la Oferta | Alto | Control de Fuentes Contaminantes | Índice de Calidad de las Aguas Superficiales (ICAsup) y de las Aguas Subterráneas |

Los LC son la base para el desarrollo de alarmas operativas y de gestión que influyen directamente en la seguridad, en cantidad y calidad, del agua servida. Si se producen desviaciones, será preciso adoptar medidas urgentes o aplicar un plan de contingencia para el suministro de agua con fuente alternativa.

Como parte del desarrollo del PSA-RC del Caso de Estudio, fueron identificadas los controles necesarios, teniendo en cuenta la variabilidad climática local marcada por la sequía y las intensas lluvias. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Monitoreo operativo sobre los efectos de la variabilidad climática. Fuente: elaboración propia.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Control de origen** | **¿Que?** | **¿Donde?** | **¿Cuando?** | **¿Como?** |
| Niveles en el Canal de Vento. | Monitoreo Base de Datos Históricos Extracciones. | Canal de Vento | Anual | Verificar existencia de datos históricos y establecer comparaciones |
| Establecer control de contaminantes para disminuir carga contaminante producto de escorrentías. | Plan de Gestión de Fuentes Contaminantes | En la cuenca | Anual | Verificación en terreno |
| Desarrollar un plan de gestión de la sequía a largo plazo. | Con base en datos meteorológicos e hidrológicos locales, elaborar el plan de gestión de sequía basado en la Programas de Gestión de la Demanda. | Zona abastecida | Anual | Verificar la existencia del plan y recursos |

El monitoreo deberá constituir fuente para la alimentación de modelos de operación y gestión ante eventos extremos.

**Módulo 7. Verificación de la eficacia del PSA-RC.**

La aplicación de un procedimiento formal de verificación y auditoría del PSA-RC, garantiza su correcto funcionamiento. En esta etapa se evalúa el buen funcionamiento del sistema y se determina el grado de cumplimiento de cada actividad programada, así como el desempeño de sus responsables.

La verificación debe demostrar que el diseño y la operación del sistema son tales que es capaz de suministrar sistemáticamente agua suficiente y de la calidad especificada para alcanzar las metas de protección de la salud. En caso contrario, deberá revisarse y aplicarse el plan de mejora o modernización.

En el Caso de Estudio, la verificación general del sistema quedó fijada por el Equipo PSA-RC a un período no mayor de 6 meses. Con respecto a aspectos claves de calidad del agua servida, la verificación se realiza teniendo en cuenta el Monitoreo de Verificación enunciado en la Tabla 5.

**Componente IV- GESTIÓN Y COMUNICACIÓN**

**Módulo 8. Elaboración de procedimientos de gestión.**

Un PSA-RC debe incorporar, como componente integral, procedimientos de gestión claros que documenten las medidas que deben tomarse cuando el sistema funciona en condiciones normales (procedimientos operativos normalizados, o PON), y cuando se ha producido un “incidente” (medidas correctoras), incorporando aspectos relevantes de los desastres y emergencias exacerbados por la variabilidad y cambio climático.

Los Procedimientos de gestión, son medidas que deben tomarse durante condiciones de funcionamiento normales, y explican detalladamente las etapas que deben seguirse en caso de producirse “incidentes” específicos que pudieran ocasionar una pérdida de control del sistema. Para el caso que nos ocupa, los procedimientos fueron redactados por empleados experimentados dejando definidos los periodos necesarios de actualización.

Los planes de respuesta a inundaciones y sequías, son comúnmente abordados por los equipos de PSA-RC y pueden recibir atención prioritaria cuando se considera la variabilidad y el cambio climático. Para estas etapas, los procedimientos están vinculados a los Planes de Reducción de Desastres de la Defensa Civil. Teniendo en cuenta que el Caso de Estudio que nos ocupa está expuesto al fenómeno de la sequía como evento extremo más recurrente peligroso, se realizan estudios para crear un plan estratégico de actuación que permita minimizar sus efectos teniendo en cuenta la influencia de la cuenca de captación (Méndez O., 2018).

**Módulo 9. Elaboración de programas complementarios.**

Los programas complementarios suelen estar relacionados con la formación, la investigación y desarrollo. Pueden comprender también actividades que apoyan indirectamente la seguridad del agua; por ejemplo, las que conducen a la optimización de procesos. Para el Caso de Estudio de trabaja en una la gestión de la sequía operacional con enfoque en la Cuenca Vento (Méndez O., 2018), así como en una metodología para la gestión de riesgos en la conducción de agua potable a partir del análisis del Canal de Albear (Sánchez et. al, 2021).

Los resultados de los programas deberán ser conectados con el PSA-RC a partir de procesos sinérgicos y transversales. De esta manera las salidas tendrán un enfoque de riesgos contribuyendo a aumentar la sostenibilidad en la gestión.

**Componente V- Retroalimentación y mejora.**

**Módulo 10. Planificación y realización de exámenes periódicos del PSA-RC.**

Para que el PSA-RC se mantenga actualizado, debe revisarse como mínimo cada dos años. Esta necesidad responde a la posibilidad de quedar obsoleto debido a:

-Cambios en la cuenca de captación.

-Daños significativos en la infraestructura ocasionados por eventos climáticos extremos.

-Incorporación al sistema de una nueva fuente de abastecimiento.

-Modificación de los procesos de potabilización.

-Cambios en la distribución del agua.

-Incorporación de nuevos componentes en el sistema de abastecimiento.

-Implementación de programas que pueden modificar la evaluación de riesgos.

-Renovación de personal en el grupo de expertos.

-Eliminación de riesgos asociados a malas prácticas operativas.

-Cambios en la información de contacto de las entidades involucradas.

A tales efectos se consideró que debía establecerse un procedimiento formal de examen y revisión del PSA-RC para garantizar su actualización y eficacia cada dos años.

**Módulo 11. Revisión del PSA-RC tras un incidente.**

Se define como “incidente”, un incumplimiento en materia de calidad del agua que ocasiona una amenaza inmediata o a corto plazo para la salud pública. Después de una emergencia, es importante revisar los planes de preparación y respuesta para incidentes, desastres y eventos extremos (WHO, 2017). Las inundaciones y las sequías son los eventos peligrosos naturales vinculados más estrechamente al cambio climático que pueden afectar los sistemas de suministro de agua. A tales efectos, además de los exámenes programados, tras producirse cualquier incidente relativo al agua de consumo, se deberá revisar y realizar las modificaciones necesarias.

**4. Conclusiones**

1. Se establecen patrones de trabajo para el desarrollo de nuevos y más detallados PSA-RC en Cuba, a partir del vínculo con estrategias de reducción de desastres de la Defensa Civil.
2. Los riesgos de mayor probabilidad y gravedad para el Consejo Popular Sevillano están dados a partir de la contaminación en la cuenca, efectos de la sequía, servicio discontinuo y estado regular de la infraestructura de distribución.
3. Las principales consecuencias de los riesgos en el Caso de Estudio, se reflejarán en la disminución de la oferta, la degradación de la calidad del agua, así como las consecuencias de eventos transitorios en conductoras y redes de distribución.
4. El seguimiento y desarrollo a cada etapa del PSA-RC descrita, incrementará la seguridad y sostenibilidad del abasto en el Consejo Popular Sevillano.

**5. Referencias bibliográficas**

**AMA & PNUD** (2014). ¨Metodologías para la determinación de riesgos de desastres a nivel territorial. Parte 1. *Grupo de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Medio Ambiente (AMA)¨. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD-Cuba)*. ISBN: 978-959-300-033-8.

**CDN** (2005). Directiva No. 1 del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional para la planificación, organización y preparación del país para las situaciones de desastres. *Consejo de Defensa Nacional*, La Habana, Cuba.

**Cuéllar L. et. al**. (2018). ¨Evaluación de la calidad sanitaria del agua de consumo en comunidades urbanas. Ciudad de Sancti Spíritus¨. *Convención Internacional de Salud*, Cuba Salud 2018.

**DC & PNUD** (2017). ¨Glosario de términos del Sistema de la Defensa Civil de Cuba¨. *Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil*. Casa Editorial Verde Olivo, ISBN 978-959-224-392-7

Decreto-Ley no. 170 del Sistema de medidas de la Defensa Civil.

**Deere D, et. al** (2001). ¨Management Strategies¨. En: Fewtrell L, Bartram J, eds. *Water quality: guidelines, standards and health assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. Londres, Organización Mundial de la Salud, IWA Publishing, 2001:257-288.

**Díaz H.** (2020) ¨Bases Conceptuales para la identificación y evaluación de riesgos asociados a la conducción de agua en sistemas de abasto¨. *Tesis en opción al título Ingeniería Hidráulica*, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana. La Habana, Cuba (inédito).

**Pardo R.** **et. al**. (2016). ¨Guía Metodológica para la organización del proceso de reducción de desastres. Procedimientos para evaluar el nivel de reducción de la vulnerabilidad y el riesgo en los organismos, entidades y territorios; así como la objetividad en la implementación de los planes de reducción de desastres¨. *DC & PNUD*. ISBN 978-959-224-396-5, Cuba.

**Méndez O.** (2018). ¨Gestión de sequías en abastecimientos urbanos. Caso de Estudio Canal de Vento¨. *8va Conferencia Científica Internacional Universidad de Ciego de Ávila*. Ciego de Ávila, Cuba.

**Méndez O. et. al.** (2018). ¨Enfrentamiento a la sequía operacional en la empresa Aguas de La Habana¨. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. XXXIX, No. 2, May-Ago 2018, p. 112-123.

**Méndez O.** (2011). ¨Vulnerabilidad del Acueducto de Albear, Patrimonio Nacional, frente a la sequía y su impacto en el casco Histórico de La Habana¨. *X Congreso de Ingeniería Hidráulica*. Editorial Obras ISBN 978-959-247-082-8

**MINJUS.** (2017). ¨Ley no. 124 de las Aguas Terrestres¨. *Gaceta Oficial No. 51 Extraordinaria de 16 de noviembre*. Ministerio de Justicia. Cuba. ISSN 1682-7511 <http://www.gacetaoficial.cu>

**Morales Y. & González O**. (2001). ¨Análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua¨. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. XXII, No. 4.

**NC 1021** (2014). ¨Higiene comunal― Fuentes de abastecimiento de agua― calidad y protección sanitaria¨. *Oficina Nacional de Normalización*. ICS: 13.060.20.1ra Edición. La Habana, Cuba.

**NC 827** (2017). ¨Agua potable― Requisitos sanitarios¨. *Norma Cubana. Oficina Nacional de Normalización*. ICS: 13.060.20. 3ra Edición La Habana, Cuba.

**NC 93-03** (1985). ¨Higiene Comunal, sistema de abastecimiento público de agua. Requisitos Sanitarios. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba.

**Rivera, V.** (2009). ¨Interrelación Canal Albear, Presa Ejército Rebelde y parámetros de control de la Cuenca Almendares-Vento¨. *Tesis en opción al Grado Científico de Máster en Manejo Integral del Agua*. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.

**Sánchez, Y.** **et al** (2021) ¨Identification of risks in the water supply infrastructure, strategy to increase resilience¨. *Caribbean Science Symposium on Water*. Water Partnership – Caribbean (GWP-Caribbean) [www.caribbeansswater](http://www.caribbeansswater)

**Suárez O. et. al** (2018). ¨Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en la cuenca Almendares-Vento aplicando la metodología RISK¨. *Taller cubano-francés para la cooperación técnica en el campo de la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres.* Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de La Habana, del 11 al 15 de febrero del 2018.

**WHO & IWA** (2009). ¨Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo¨. Geneva: World Health Organization. ISBN 978 92 4 356263 6.

**WHO** (2017). ¨Climate-resilient water safety plans: managing health risks associated with climate variability and change¨. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. (3) <https://apps.who.int/iris/handle/10665/258722>