

Prototipo para la gestión de agua de lluvia para la descarga de sanitarios

Leandro Marín Crespi¹, Cristian Schiffino¹, Iris Inés Sattolo¹, Marisa Daniela Panizzi¹

¹ Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Morón. Cabildo 134 (B1708JPD). Partido de Morón, Argentina.

Leandro.Crespi@outlook.com, cristian.schiffino@gmail.com, iris.sattolo@gmail.com, marisapanizzi@outlook.com

Resumen. La población mundial enfrenta un importante problema en relación con el agua, no solamente por tener escasez en la distribución de esta, ya sea potable o no, sino por la falta de concientización que existe en la Sociedad para cooperar en lograr un medio ambiente sostenible. Las TICs constituyen un factor central para el desarrollo económico, social y productivo y su aplicación impacta en todas las actividades que se realizan en una Sociedad. Desde esta perspectiva, se presenta como las TICs contribuyen a la sostenibilidad del uso del agua potable, mediante un sistema de gestión que permita la captación del agua de lluvia destinada para la descarga de sanitarios. Esta solución es aplicable a cualquier tipo de establecimiento donde los sanitarios tienen una alta demanda de uso. En este trabajo se describe la experiencia en la definición, el diseño y el desarrollo del prototipo.

Palabras clave: Prototipo de gestión, agua de lluvia, descarga de sanitarios, sostenibilidad del uso del agua potable.

1 Introducción

La Organización de las Naciones Unidas, en [1], plantea que la escasez de recursos hídricos, junto con la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado, repercuten en la seguridad alimentaria, los medios de subsistencia y la oportunidad de educación para las familias pobres en todo el mundo.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como ODS, presentados en [1] están diseñados para mejorar la calidad de vida a nivel mundial; se crearon en la Conferencia de las Naciones Unidas. Los ODS son un conjunto de 17 objetivos que permiten superar desafíos globales como la pobreza, la desigualdad, el cambio climático entre otros, además buscan armonizar tres componentes centrales para el futuro: crecimiento económico, inclusión social y protección Ambiental.

La captación de agua de lluvia es la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie de manera natural o hecha por el hombre. Las superficies que captan el agua en las ciudades pueden ser techos de casas y edificios, techumbres de almacenes y de tiendas, explanadas, etc. El agua almacenada puede ser usada para cualquier fin, siempre y cuando se realicen los tratamientos

adecuados para cada uso. Para usos básicos como limpieza de ropa, de pisos, sanitarios y riego puede usarse un filtro; para aseo personal y para agua que se pretenda beber, se deberá tener un sistema de filtros adecuados para estos fines [2].

En [3] se menciona que la captación de agua de lluvia fue muy utilizada por las sociedades antiguas en todo el planeta y en muchas ocasiones, se utilizó como único procedimiento para el abastecimiento de agua en algunas regiones. Dentro de los potenciales usos del agua de lluvia, se pueden enumerar: Incendio, Ducha, Consumo humano, Descarga de sanitarios, Riego como actividad secundaria, Aseo de superficies, Lavado de Autos y Lavado de Ropa [4].

Con base en esta problemática de la escasez del recurso hídrico para las generaciones actuales y futuras, además de adherir a los lineamientos de los ODS, en esta investigación se propuso la captación de agua de lluvia en aplicaciones en las que no es necesario el uso de agua potable. La aplicación de las TICs como medio para contribuir con el cuidado de medio ambiente, nos permitió definir nuestro objetivo. Este consiste en la construcción de un prototipo de un sistema de gestión de agua de lluvia para la descarga de sanitarios de un establecimiento.

Este artículo se estructura de la siguiente manera; se presentan los trabajos relacionados (sección 2), se describe el proceso de definición, diseño y desarrollo del prototipo de gestión de agua de lluvia para la descarga de sanitarios (sección 3), se describen las pruebas realizadas (sección 4) y, por último, se presentan las conclusiones y trabajos futuros (sección 5).

2 Trabajos Relacionados

Se realizó un estudio de mapeo sistemático (SMS, en inglés Systematic Mapping Study) según el proceso propuesto en [5] que permitió dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación (PI): *¿Cuál es el estado del arte sobre el mejoramiento de la sostenibilidad del uso agua potable empleando agua de lluvia como sustituto?*

La Tabla 1 sintetiza las tareas realizadas en la actividad planificación del SMS.

Tabla 1. Tareas de la actividad Planificación del SMS.

Tareas	Descripción
Definir las Sub-Preguntas de investigación (PI1-PI6).	PI1: ¿Qué métodos existen que permitan recolectar y utilizar agua de lluvia?
	PI2: ¿Qué factores determinan la recolección de agua de lluvia y que finalidad tiene?
	PI3: ¿Qué aspectos se tienen en cuenta en la automatización del proceso de recolección y uso de agua de lluvia?
	PI4: ¿Qué tipo de contribución se ha realizado a nivel académico acerca de la gestión de recolección y utilización de agua de lluvia?
	PI5: ¿Cuáles son los principales usos del agua de lluvia recolectada?
	PI6: ¿Cuáles son los tipos de investigación de los artículos?
Determinar las cadenas de búsqueda	C1: Automatización AND Recolección AND agua lluvia.
	C2: Agua Lluvia AND (Recolección OR Captación) AND Sistema.
	C3: (Utilización OR uso OR consumo) AND Agua lluvia.
	C4: Rainwater AND Electronical AND (Harvest OR Collection).

	C5: Rainwater AND (Harvest OR Collection) AND System. C6: (Utilization OR Use) AND Rainwater.
Determinar los criterios de selección de los estudios.	<p>Criterios de inclusión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artículos del 2008 hasta diciembre del 2018. • Artículos en el idioma inglés y español. • Artículos que contengan cadenas candidatas en el título y/o en el resumen. • Artículos duplicados: si hay varios artículos de un mismo autor que contemple la misma investigación, se considerara el más completo. <p>Criterios de exclusión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artículos que no cumplan los criterios de inclusión. • Artículos sin revisión por pares. • Artículos que estén relacionados a la recolección de agua para ser utilizada en riego agropecuario y forestal. • Artículos que se encuentren en formato de resumen, presentaciones en power point y libros.
Definir las fuentes de datos.	IEEE Explore, Science, Direct, ACM Digital Library, Scielo, Dialnet, Google Academic, SEDICI ¹
Determinar los tipos de publicación.	Artículos de congresos, artículos de revistas y tesis.
Definir el período.	2008 hasta diciembre del 2018.

Los Estudios Primarios analizados se encuentran en [6] por restricciones de espacio.

Después de analizar 48 estudios primarios, se concluye que:

- Las propuestas de captación de agua de lluvia presentan soluciones para campus universitarios y viviendas familiares en su gran mayoría y en un segundo lugar para desarrollos rurales, plantas industriales y comercios.
- Respecto a los países que presentan soluciones de uso de agua de lluvia como alternativa al agua potable se encuentran Colombia, México, Argentina Perú, Ecuador, Guatemala, España, Italia, Taiwán, China y Papúa Nueva Guinea.
- La mayoría de las soluciones destinadas a campus universitarios se observan en Colombia y en un segundo lugar en México.
- Algunos estudios se focalizan en los aspectos económicos asociados al uso del agua (análisis de costo-beneficio) y en otros en los aspectos ingenieriles para la construcción de los sistemas de captación de agua de lluvia.
- Se destaca el aprovechamiento del agua procedente de la niebla para la construcción de las soluciones.
- De los estudios primarios analizados, el 75 % (36 estudios) corresponden al tipo de investigación "propuesta de solución".

Se analizó la literatura existente sobre sobre la captación de agua de lluvia como alternativa de sostenibilidad del uso del agua potable. Esto permitió evidenciar la necesidad de que las TICs pueden contribuir al aporte de soluciones. Desde esta perspectiva, se plantea la construcción de un prototipo de gestión que permita la captación del agua de lluvia destinada para la descarga de sanitarios de un establecimiento con alta demanda de uso de los sanitarios.

¹ SEDICI: Repositorio digital de la Universidad Nacional de La Plata, website: <http://sedici.unlp.edu.ar/>

3 Desarrollo

Dada la tendencia actual de la práctica de la industria del software del desarrollo de software híbrido [7], la cual se adoptó para el logro de la solución. Esto generó la combinación de métodos, prácticas y estándares, los cuales se detallan a continuación.

Para la especificación de los requisitos del prototipo se siguieron los lineamientos de un estándar tradicional, ISO/IEC/IEEE 29148 [8]. La documentación del proyecto se realizó con la herramienta CASE² Enterprise Architect (EA) [9]. Para las actividades de la construcción del prototipo se utilizó un modelo de ciclo de vida iterativo-incremental, respetando las disciplinas propuestas en el Proceso Unificado de Rational (RUP) [10]. El modelado del prototipo se logró mediante los diagramas de UML³ [11] que consideramos necesarios para la definición, diseño y desarrollo del prototipo [6]. Los diagramas logrados se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Diagramas de UML según disciplinas del RUP.

Disciplina de RUP	Denominación del Diagrama.
Ingeniería de Requerimientos	Diagrama de casos de uso.
Análisis y Diseño	Diagrama de casos de uso, Diagrama de comunicación, Diagrama de clases, Diagrama Entidad-Relación ⁴ , Diagrama de secuencia, Diagrama de estados.
Implementación	Diagrama de despliegue, Diagrama de componentes.

El prototipo para la gestión de agua de lluvia para la descarga de sanitarios cubre las siguientes funcionalidades: Recolección del agua de lluvia en tanques, Utilización del agua de lluvia almacenada para ser utilizada en descarga sanitaria, Automatización del uso del agua potable proveniente de la red de distribución, en caso de que no haya suficiente agua de lluvia recolectada, Agregar desinfectante concentrado al agua a utilizar en la descarga sanitaria, Generación de estadísticas del consumo de agua (lluvia y potable), Generación de alertas sobre el estado general del sistema en tiempo real, Automatización de carga de tanques mediante el uso de sensores, relé y bombas.

3.1 Especificación de requisitos

Los requisitos funcionales especificados en el documento de Especificación de Requisitos de Software (ERS) se presentan en el diagrama del modelo de casos de uso de la Figura 1. Por razones de falta de espacio, los requisitos no funcionales se describen en [6].

Las estadísticas que el prototipo brinda al usuario (administrador) son: 1) Totalizador de litros de agua de red utilizada, 2) Totalizador de litros de agua de lluvia cargada, 3) Totalizador de litros suministrado para descarga sanitaria,

² Ingeniería de Software Asistida por Computadora (en inglés, Computer Aided Software Engineering).

³ UML; Lenguaje de Modelado Unificado.

⁴ El Diagrama Entidad-Relación si bien no es un diagrama de UML, ha sido necesaria su construcción para el diseño de la base de datos.

4) Totalizador de caudal de litros por minuto de agua de red, 5) Totalizador de caudal de litros por minuto de agua de lluvia, 6) Porcentaje de ahorro de agua potable, 7) Estado de sistema: Falta de desinfectante/Proceso defectuoso/Procedimiento en curso/En espera. Las consultas de históricos por tipo de agua consumida se pueden obtener mediante rangos de fechas. Las alertas sonoras consideradas en el prototipo notifican: Bajo nivel de desinfectante ultra concentrado y Falla crítica de funcionamiento que impide la carga de agua y/o carga de desinfectante al Tanque descarga sanitaria.

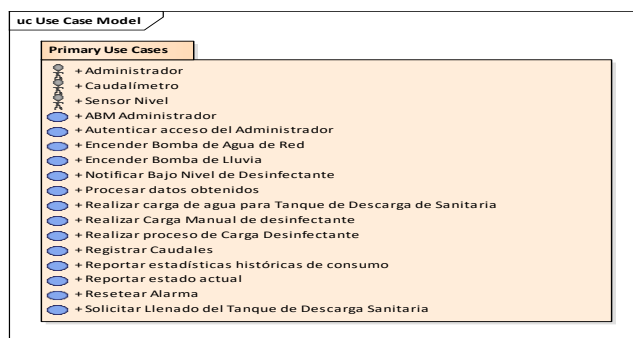


Fig. 1. Requisitos funcionales del prototipo.

Para lograr una precisa conceptualización del prototipo de descarga de agua sanitaria, ha sido necesario construir un modelo conceptual de alto nivel. En el caso de un establecimiento real se requiere que la descarga de sanitarios se realice por medio de tanques de almacenamiento aéreos. El agua de lluvia es recolectada a través del techo, se encauza a tanques subterráneos, y se establecen los procesos básicos para cumplir el propósito del prototipo del sistema. En la Figura 2, se presenta el modelo conceptual de alto nivel.

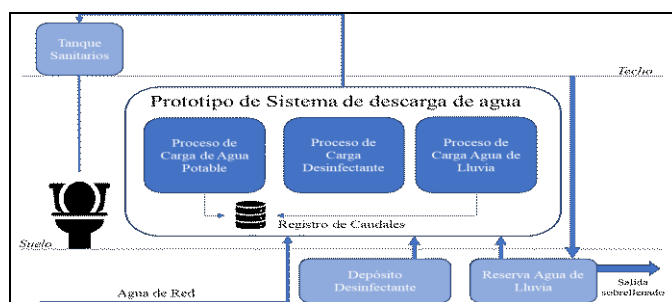


Fig. 2. Modelo conceptual del prototipo de alto nivel.

Para complementar y lograr un mayor nivel de detalle de la solución se construyó un diagrama de interacción de componentes que además de incluir los componentes del diagrama de alto nivel (Figura 2), también incluye el modelado de las interconexiones e interfaces externas y la especificación de componentes electrónicos. En la Figura 3 se presenta el diagrama de interacción de componentes detallando

interfaces, entradas, salidas, procesos y almacenamiento de datos. Las interfaces entre componentes cumplen un rol central en este diagrama. Se visualiza como se concentran los componentes del prototipo, y se incluyen las interfaces de usuario, el software desarrollado y el almacenamiento en base de datos, que se utiliza para generar las estadísticas de uso de agua y estado de este. Es importante aclarar que para una mejor comprensión del prototipo ha sido necesario considerar algunos componentes que se tendrán en cuenta al momento de implementarlo en un establecimiento real (techo y tanques subterráneos).

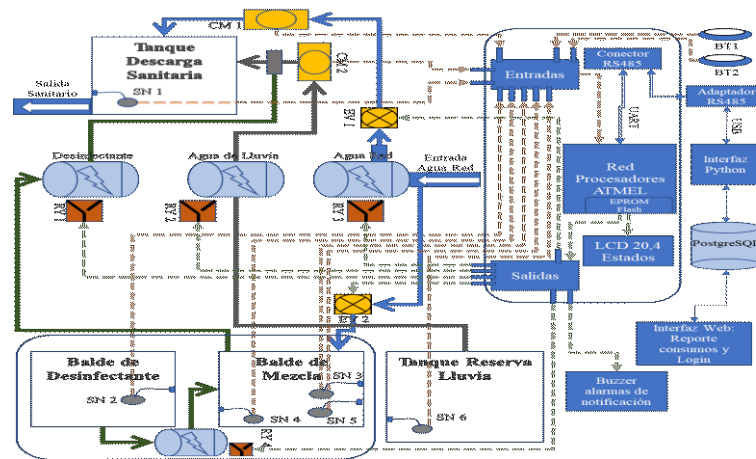


Fig. 3. Modelo detallado de interacción componentes.

3.2 Análisis y Diseño

En la Figura 4, se presenta el Diagrama de Casos de Uso del prototipo de descarga de sanitarios. Se presentan como actores del prototipo: el administrador, el caudalímetro, el sensor de nivel y el sensor de nivel. En la Tabla 3, se presentan los roles que cumplen los actores.

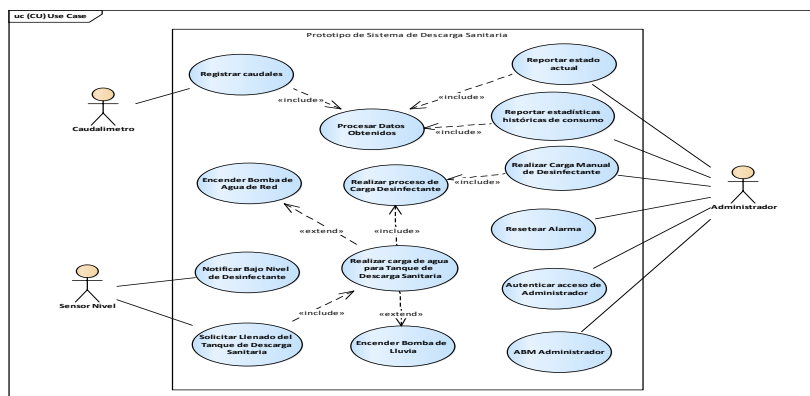


Fig. 4. Diagrama de Casos de Uso.

Tabla 3. Actores del prototipo.

Actor	Definición
Sensor Nivel	Informar a los actuadores la interrupción de un evento que podría disparar una determinada acción, como por ejemplo encender o apagar una bomba.
Caudalímetro	informar a las interfaces la cantidad de agua que pasa por una tubería.
Administrador	Solicitar estadísticas de consumos del prototipo y realizar la carga del desinfectante.

Se construyó el modelo de análisis, con el propósito de lograr una especificación detallada de los requisitos hacia una primera aproximación al diseño del prototipo. A modo de ejemplo, se presenta el Diagrama de Comunicación del Caso de Uso - Carga Manual de Desinfectante [6].

Se construyeron los Diagramas de Secuencia para los Casos de Uso presentados en la Figura 4. En [6] se presenta a modo de ejemplo el Diagrama de Secuencia del Caso de Uso: Realizar Carga Manual del Desinfectante y su explicación.

3.3 Implementación

Los Diagramas construidos en esta etapa del Proyecto contribuyeron en la decisión respecto a la organización de los componentes del prototipo. Estos son el Diagrama de Componentes y el Diagrama de Despliegue, ambos se encuentran en [6].

El desarrollo del prototipo se realizó mediante el lenguaje de programación C++, que forma parte del lenguaje soportado por las placas Arduino [12]. La interfaz web se desarrolló en PHP 7 [13]. Las interfaces que comunican las placas Arduino con la base de datos están desarrolladas en Python [14].

A continuación, se presentan las interfaces de usuario del sistema (Figura 6), a la izquierda el visor con el estado del sistema, en el centro el caudal de agua de red y de lluvia y a la derecha el consumo de agua de red y de agua de lluvia.

**Fig. 6.** Interfaz del sistema.

En la Figura 7 se presenta una vista cenital y frontal del prototipo para la gestión de agua de lluvia para la descarga de sanitarios.

El prototipo cuenta con 2 tanques de almacenamiento de agua (agua de lluvia y agua mezclada con desinfectante para descarga sanitaria) y 2 baldes de almacenamiento de desinfectante (Balde de desinfectante ultra concentrado y Balde de mezcla con agua).

Los baldes y los tanques poseen sensores de nivel que miden el fluido almacenado y disparan acciones de acuerdo con los niveles de estos, por ejemplo, accionar el llenado de alguno de los tanques o baldes mediante electroválvulas y el aviso de alertas sonoras por vacío del balde de desinfectante ultra concentrado.

El bajo nivel de desinfectante ultra concentrado es una de las operaciones manuales en el funcionamiento del prototipo que requiere intervención del Administrador. En este caso, al detectar el prototipo un bajo nivel de desinfectante ultra concentrado del Balde de desinfectante informa al Administrador mediante un buzzer sonoro. El prototipo, puede continuar el funcionamiento sin cargar de desinfectante ultra concentrado.

Cuando el sensor de nivel detecta un bajo nivel de agua en el Tanque descarga sanitaria, se acciona la ejecución de llenado de este. El Tanque descarga sanitaria tiene como prioridad llenar con agua del Tanque reserva lluvia, y en caso de no haber existencia de agua de lluvia en el tanque correspondiente, se continúa el llenado del Tanque descarga sanitaria con agua de red de forma automatizada.

El prototipo posee dos caudalímetros, uno que realiza la medición de ingreso de agua de Red al Tanque descarga sanitaria y otro que realiza la medición de ingreso de agua de lluvia al Tanque descarga sanitaria. Esta información es almacenada en base de datos para ser consultada por el Administrador y poder visualizar estadísticas.

El prototipo posee una interfaz de usuario con detalle de bajo nivel con los datos obtenidos de los caudalímetros para poder reportar el consumo histórico de los mismos. Esta interfaz de usuario tiene fines estadísticos y detección de errores o inconvenientes por lo que debe ser accesible por el Administrador. De esta forma, el Administrador puede visualizar en tiempo real toda la información necesaria que le permite realizar alguna intervención ante inconvenientes o problemas.

Se permite el ingreso del Administrador mediante nombre de usuario y password. El prototipo desplegará la interfaz web Reportar estadísticas históricas de consumo. También permite realizar el ABM de Administradores si el rol de este lo permite.

4 Pruebas

Se planificaron y desarrollaron un conjunto de pruebas unitarias y funcionales. Para cada uno de estos tipos de prueba se diseñaron las plantillas para su registro que se encuentran en [6]. Se realizaron en total 32 pruebas unitarias. Las pruebas funcionales realizadas se corresponden con los 9 requisitos funcionales en la ERS.

En [6] se describe a modo de ejemplo las trazas de las pruebas de integración PI01 del RF8: Autenticar acceso de Administrador y PI02 del RF9: ABM Administrador.

Los tipos de pruebas definidos han sido acertados para verificar el correcto funcionamiento del prototipo.

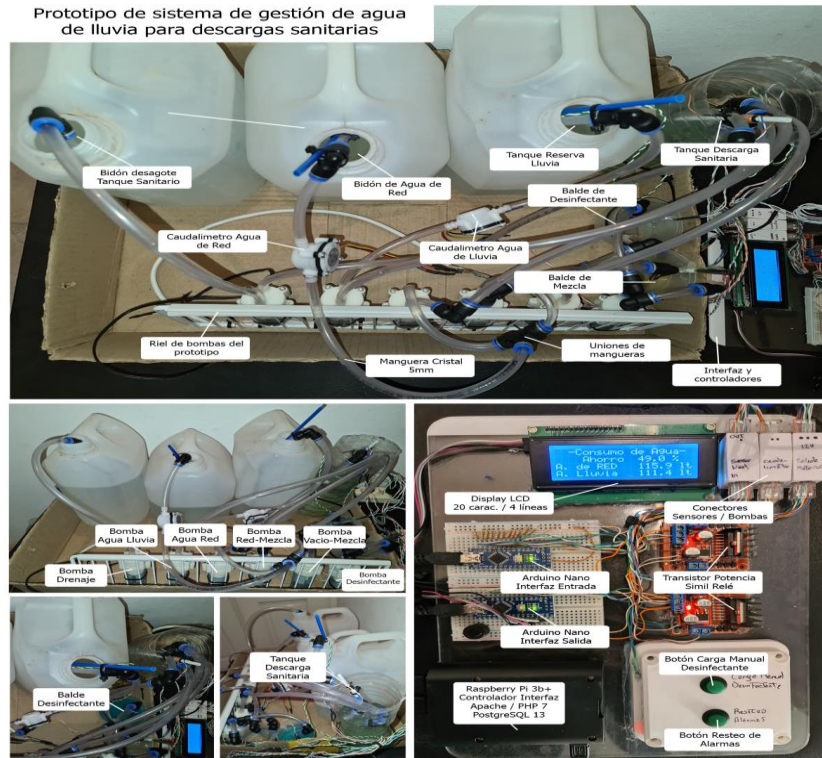


Fig. 7. Prototipo para la gestión de agua de lluvia para la descarga de sanitarios (Vista Cental y Frontal).

5 Conclusiones y Trabajos Futuros

En este trabajo se describe la experiencia en la definición, diseño y desarrollo de un prototipo de gestión de agua de lluvia para la descarga de sanitarios. Esta solución es aplicable a cualquier tipo de establecimiento donde los sanitarios tienen una alta demanda de uso.

Las decisiones tomadas al inicio del proyecto respecto a la combinación de métodos, prácticas y metodologías han sido acertadas dado que permitió el desarrollo de la solución. El uso de un estándar de especificación de requisitos tradicional como la ISO/IEC/IEEE 29148 contribuyó de una manera sustancial. Esto permitió reflexionar y revisar todos los elementos necesarios para la construcción de la solución.

Desde el inicio de este Proyecto, nos motivó situar nuestra disciplina a disposición de la Sociedad, en especial con la cooperación en el cuidado del medio ambiente y en particular con la sostenibilidad del uso del agua potable.

Se destacan como trabajos futuros: a) Incorporar en el prototipo la gestión del uso de sanitarios; b) Implementar el prototipo en un entorno real, es decir en un establecimiento considerando las adecuaciones necesarias respecto a la obra civil y c) Extender la funcionalidad mediante la incorporación de un módulo de Inteligencia de negocio que permita aplicar minería de datos sobre consumos de agua.

Referencias

1. Organización de las Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015). Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/> Último acceso: 25 de junio 2020.
2. Adler, I., Carmona, G. & Bojalil, J. A. (2008). Manual de Captación de Aguas de Lluvia – Uso y mantenimiento para su sistema residencial. Centros Urbanos. Instituto Internacional de Recursos Renovables AC. (2008). Disponible en: <http://www.irrimexico.org/biblioteca>. Último acceso: 7 de junio 2020.
3. Carvajal Gomez D. A. Prototipo sistema automatizado de recolección de agua lluvia doméstico. Tesis de Grado de Tecnólogo en Automatización Industrial. Corporación Universitaria Minuto De Dios - Tecnología en Automatización Industrial. Bogotá (2016).
4. Crespi L., Schiffino C., Sattolo I, Panizzi. Impacto de las TICs en la sustentabilidad del uso del agua potable en la República Argentina. En las Actas del XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. 7 y 8 de Mayo, Calafate, Santa Cruz, Argentina (2020). ISBN en trámite.
5. Kitchenham, B. Budgen D. and Brereton, P. (2015). Evidence-Based Software Engineering and Systematic Reviews. Chapman and Hall/CRC. 1 st. Editon. New York, USA.
6. Crespi L., Schiffino C., Sattolo I, Panizzi. Anexo – Prototipo para la Gestión de agua de lluvia para descarga de sanitarios. Disponible en: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12935267.v1>
7. Kuhmann M., Tell P., Klünder J., Hebig R., Licorish S., MacDonell S. (Eds.): Complementing Materials for HELENA Study (Stage 2), online DOI: 10.13140/RG.2.2.1.1031.65288, published: 2018-11-28.
8. ISO/IEC/IEEE Std 29148:2011, IEEE Systems and software engineering -- Life cycle processes --Requirements engineering, IEEE Computer Society (2011). ISBN 978-0-7381-6591-2.
9. Sparx Systems. Enterprise Architect 13.5. (2017). Obtenido de <https://sparxsystems.com/>
10. Jacobson, I., Booch, G., & James, R. El Proceso Unificado de desarrollo de software. Addison Wesley (2000).
11. Rumbaugh, J., Jacobson, I., Grady, B. El Lenguaje Unificado de Modelado. Manual de Referencia. Segunda Edición. Pearson (2006).
12. Arduino - Language Reference. Disponible en: <https://www.arduino.cc/reference/en>. Último acceso: 13 de mayo 2020.
13. Minera, F. PHP + MySQL desde cero. Ciudad de Buenos Aires: Dálaga (2014).
14. Python Software Foundation. Disponible en <https://www.python.org/psf>. Último acceso: 9 de mayo 2020.