

# Prototipo automatizado de captación y tratamiento de agua lluvia para consumo y actividades de limpieza por medio de filtración, cloración y radiación ultravioleta en la ciudad de San Juan de Pasto

Camilo Andrés Villota Herrera<sup>1</sup>

Haiber Sebastián Delgado Gómez<sup>2</sup>

Didier Norbey Cuaran Guaranguay<sup>3</sup>

Fabio Camilo Gómez Meneses<sup>4</sup>

Edna Margarita Moncayo Torres<sup>5</sup>

## Resumen

La problemática actual en cuanto a deficiencia de agua y el constante desperdicio, han llevado a las personas a buscar nuevas alternativas para ahorrar el recurso y conseguir fuentes adicionales, para lo cual se propuso la utilización del agua de lluvia, un recurso que está al alcance de todos y se presenta en grandes cantidades. Al realizar la captación de este recurso, es importante ejecutar el debido tratamiento para que pueda ser utilizado; por ende, se debe tener en cuenta los parámetros fisicoquímicos y la norma actual para consumo de agua y así, determinar las formas de tratamiento y desinfección adecuadas. Se propone un prototipo que cuenta con una metodología de funcionamiento simultánea, donde el agua que sirva para actividades de limpieza, pueda ser utilizada, después de un filtrado inicial y sencillo, para consumo y, que continúe de forma paralela con el proceso de desinfección; además, se realiza un control constante de las variables que intervienen en este proceso y de los diferentes componentes y actuadores que están presentes en el prototipo. Por último, es importante recalcar la importancia que tienen todos los proyectos que contribuyen al medio ambiente en la actualidad, que generan un impacto positivo y fomentan el uso de los recursos naturales renovables.

*Palabras clave:* Agua; lluvia; captación; tratamiento; automatizado.

<sup>1</sup>Correo electrónico: camilvillota@umariana.edu.co

<sup>2</sup>Correo electrónico: haidelgado@umariana.edu.co

<sup>3</sup>Correo electrónico: didcuaran@umariana.edu.co

<sup>4</sup>Correo electrónico: fgomez@umariana.edu.co

<sup>5</sup>Correo electrónico: edmmargarita@umariana.edu.co

## **Automated prototype for the collection and treatment of rain water for consumption and cleaning activities through filtration, chlorination and ultraviolet radiation in the city of San Juan de Pasto**

### **Abstract**

The current problem in terms of water deficiency and constant waste has led people to seek new alternatives to save the resource and get additional sources; the use of rainwater was proposed, a resource that is within the reach of all and it is presented in large quantities. When collecting this resource, it is important to execute the proper treatment so that it can be used, therefore the physicochemical parameters and the current norm for water consumption must be taken into account and thus determine the appropriate forms of treatment and disinfection. It should be noted that the prototype has a simultaneous operating methodology where the water used for cleaning activities can be used after a simple initial filtration like water for consumption, in parallel with the process of disinfection; in addition, constant control of the variables that intervene in this process and of the different components and actuators that are present in the prototype is made. Finally, it is important to emphasize the importance of all projects that contribute to the environment today, generating a positive impact and promoting the use of renewable natural resources.

*Keywords:* Water; rain; capture; treatment; automated.

## **Protótipo automatizado para a coleta e tratamento de águas chuvas para atividades de consumo e limpeza por filtração, cloração e radiação ultravioleta na cidade de San Juan de Pasto**

### **Resumo**

O problema atual em termos de deficiência hídrica e desperdício constante tem levado as pessoas a buscarem novas alternativas para economizar o recurso e obter fontes adicionais; foi proposto o aproveitamento da água da chuva, recurso que está ao alcance de todos e se apresenta em grandes quantidades. Na captação desse recurso é importante realizar o tratamento devido para que ele possa ser utilizado; portanto, devem-se levar em consideração os parâmetros físico-químicos e a norma atual de consumo de água e assim determinar as formas adequadas de tratamento e desinfecção. Deve-se destacar que o protótipo possui uma metodologia de operação simultânea, onde a água utilizada para as atividades de limpeza pode ser aproveitada após uma simples filtração inicial, como água para consumo seguida paralelamente ao processo de desinfecção, além de um controle constante das variáveis que intervêm neste processo e dos diferentes componentes e atuadores que estão presentes no protótipo. Por fim, é importante ressaltar a importância de todos os projetos que contribuem com o meio ambiente hoje, gerando um impacto positivo e promovendo o uso de recursos naturais renováveis.

*Palavras chave:* Água; chuva; captação; tratamento; automatizado.

## 1. Introducción

Colombia es un país que posee acceso a numerosos recursos naturales, según Cajal (2018), debido a su diversidad topográfica; además, hay una extensa disponibilidad de fuentes hídricas; está rodeada por dos océanos; internamente existen múltiples ríos, lagos y cascadas. Este país es considerado uno de los países más lluviosos del planeta. Según Carvajal (2017), los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2017) afirman que en el territorio colombiano anualmente se ha registrado en promedio, un total de 3.240 milímetros de lluvia.

A pesar de que existe tanta riqueza hídrica, existen algunos lugares que no cuentan con el acceso a este recurso, como por ejemplo la Guajira y el Chocó, como lo expone Medina (2014). Esto sucede por falta de infraestructura y planeamiento, a más de otros factores que afectan el ciclo natural del agua, como la deforestación masiva y la contaminación de las fuentes hídricas disponibles. En los últimos años, el cuidado del agua se ha vuelto un asunto de interés común, ya que es un recurso que se está terminando y, aun así, no existe conciencia sobre su cuidado; actualmente hay demasiados factores por los cuales se está desperdiciando el agua, que es el recurso vital para los humanos y todos los seres que habitan el planeta.

Teniendo en cuenta las palabras de Valenzuela (2017), las fábricas e industrias del país consumen cantidades exorbitantes de este recurso; las personas no escatiman a la hora de realizar actividades de limpieza; cada día es mayor la contaminación de las fuentes que provisionan agua, a la vez que, la cantidad de agua disponible para el uso y el consumo es cada vez menor. La Universidad de la Sabana (2017) observó que los acueductos desperdician un alto porcentaje del agua que administran, que representa alrededor del 40 %. Aun teniendo en cuenta diversos factores como la disponibilidad de otras fuentes de agua, como lo es el agua de lluvia y la deficiencia que existe en cuanto a las reservas de agua potable, no se está llevando a cabo sistemas que permitan aprovechar correctamente estas alternativas; un claro ejemplo es la situación que se está presentando en Zaragoza, Amazonas, en donde de acuerdo con la FAO, (2017):

En comunidades del departamento de Amazonas en Colombia, 88 % de las familias captan el agua lluvia en condiciones muy precarias y la consumen sin realizar procesos de potabilización, generando un riesgo, principalmente para las niñas y niños, de contraer enfermedades gastrointestinales. (p. 3)

Partiendo de lo anterior, se debe hacer hincapié en que el agua es un recurso de alta prioridad para las necesidades básicas; por ello, en todos los lugares con carencia de agua potable en los que las personas están sometidas por las condiciones en que viven y por la necesidad de tener acceso al recurso hídrico, se ha optado por buscar nuevas alternativas como lo es la captación de agua de lluvia; sin embargo, no se realiza un adecuado tratamiento para su uso y, las metodologías son improvisadas de forma manual; las cantidades que se aprovecha no son las más amplias y, al contrario, son limitadas.

En Colombia, un bajo porcentaje de agua de lluvia es aprovechado, ya que la mayor parte se filtra por el alcantarillado o se queda aposado en las superficies y, del porcentaje restante, una parte vuelve a la atmósfera para realizar el ciclo natural del agua, razón por la cual el resto, que es un porcentaje mínimo, es almacenado para las diferentes actividades en las que puede ser implementado, las cuales no representan una cantidad de ahorro considerable frente a las cantidades desmesuradas que son desperdiciadas día a día.

Ahora bien, según Brand (2019), Nariño es un departamento que tiene comunidades cada vez más vulnerables ante las condiciones ambientales adversas, por falta de condiciones adecuadas de agua potable y saneamiento básico, entre otros, por lo cual, las familias que no poseen acceso al recurso, se ven obligadas a consumir agua de pozos o aljibes, poniendo en riesgo su salud, ya que se ha dado varios casos de enfermedades relacionadas con la baja calidad del agua. Según los datos climáticos mundiales, en este lugar el clima es considerado

como tropical; los veranos tienen una buena cantidad de lluvia, mientras que los inviernos tienen muy poco y por ello, el promedio anual de la precipitación es de 1232 mm. (Climate-Data, s.f.).

En la ciudad de San Juan de Pasto, la empresa responsable de distribuir agua a más de 350.000 habitantes de la ciudad, es Empopasto; esta empresa produce un promedio mensual de 1.5 millones de metros cúbicos de agua potable para satisfacer la demanda que existe; si se tiene en cuenta que en este lugar hay altos índices de precipitación durante la temporada invernal, la captación y tratamiento de esta agua representaría una gran ventaja ante la demanda actual; por este motivo, si se desarrollan sistemas de captación de agua lluvia y en el futuro estos pueden ser implementados en mayor escala en diferentes sectores de la ciudad, se compensaría la alta demanda que tiene actualmente la empresa distribuidora y se ahorraría dicha agua, además de que se aprovecharía una fuente adicional como es el agua de lluvia (Alcaldía de Pasto, 2017).

Para finalizar, se puede decir que la recolección de agua de lluvia es una estrategia ya conocida por las personas; en algunos hogares se recoge agua para labores de limpieza y regado; existen empresas que fabrican y distribuyen sistemas de recolección de agua lluvia. Actualmente se desarrollan proyectos con afinidad a la problemática presentada, tanto a nivel nacional como internacional; sin embargo, no hay una debida metodología en los sistemas; lo mismo sucede con el control que se debe mantener para obtener un correcto tratamiento del agua. Por factores como los ya mencionados, aún no existe una explotación total del agua de lluvia y por eso no se ha podido aprovechar a cabalidad esta alternativa que se tiene tan a la mano y que, de ser manejada correctamente, representaría una forma de utilizar el agua de lluvia; una oportunidad de acceso para los lugares que cuentan con poca disponibilidad hídrica; una estrategia para disminuir el desabastecimiento de agua en el país; una disminución del uso del agua brindada por las compañías y una alternativa que contribuye al cuidado del medio ambiente y los recursos naturales.

## 2. Desarrollo

**Problemática:** evidenciando la situación actual del recurso hídrico y la estrategia planteada para la recolección de agua lluvia, se puede decir que el agua pluvial, después de tener el debido tratamiento, puede ser una buena alternativa para aprovechar ese recurso; por ello, es válido cuestionarse; ¿Cómo desarrollar un sistema de captación de agua lluvia que sea automatizado y que permita tratar el agua, promoviendo el ahorro del recurso hídrico?

**Justificación:** hoy en día, uno de los recursos con mayor demanda es el agua; sin embargo, su disponibilidad es cada vez menor, debido al mal manejo, a los cambios ambientales generados por la contaminación y a la sobreexplotación que existe en los acuíferos del país, además de que las fuentes hídricas tardan demasiado tiempo en regenerarse. Por esta razón, en los últimos años el desarrollo de alternativas que permitan conservar el recurso y, a la vez, generar nuevas fuentes de abastecimiento, han tomado mayor importancia (Carvajal, 2017).

Considerando todos los hallazgos contenidos en la problemática, la recolección y utilización del agua de lluvia representaría una alternativa eficiente frente al consumo excesivo que existe del recurso hídrico en la ciudad de San Juan de Pasto, ya que se contaría con un recurso adicional que, al mismo tiempo, disminuiría el uso que se registra actualmente. Por tal motivo, se propone realizar un prototipo automatizado de captación de agua lluvia, el cual, de manera secuencial, ejecute el proceso de recolección y filtrado de agua inicialmente, para que se pueda utilizar en diferentes actividades como aseo, lavado de prendas o vehículos, riego de plantas, uso en el baño, etcétera. Además, de forma paralela, que el agua pase por un proceso de desinfección y tratamiento para que pueda ser consumida.

El prototipo tendría tres etapas de proceso: inicialmente, la etapa de captación de agua lluvia, en donde se realizaría un filtrado inicial de sólidos e impurezas que puedan contaminar el agua durante el ingreso al sistema; se medirá la cantidad de agua que ingresa por medio de un caudalímetro y se almacenará en el primer tanque, en el cual se instalará un sensor de

nivel que condicione el llenado del tanque; es decir, que cuando éste esté completamente lleno, se cierre la entrada por medio de una electroválvula, y el agua adicional tenga que salir por un escape.

Posteriormente, el agua será conducida por medio de una motobomba a la siguiente etapa, en donde se realiza el proceso de filtrado por medio de filtros granulares, entre ellos, carbón activado, partículas reguladoras, mineralizadoras, arena de cuarzo, celulosa, entre otros. En este punto se tendrá dos salidas: una permitirá usar el agua ya filtrada en actividades que no requieran de un tratamiento mayor y, la otra, conducirá el agua al proceso de tratamiento conformado por cloración, radiación ultravioleta y un filtrado final que contiene carbón activado y resina catiónica, para que el agua ya tratada pueda pasar a la tercera etapa, en donde se medirá algunos parámetros por medio de sensores para conocer la calidad del agua y determinar si es apta para el consumo; finalmente, llegaría a la salida. Cabe destacar que en la última etapa también se realiza un control de nivel y todas las variables medidas serán visualizadas en una pantalla, para que el usuario tenga conocimiento del estado del agua que ha recibido y que ha sido tratada.

Ahora bien, si se tiene en cuenta la gran cantidad de agua lluvia en Colombia y, específicamente en el departamento de Nariño, ésta representa un recurso de fácil acceso debido a los altos niveles de precipitación, por lo que habría una buena cantidad de agua tratada para diferentes actividades; el ahorro de agua en general sería notorio y significativo frente a la problemática actual de gasto y desperdicio, además de que se estaría contribuyendo al cuidado del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales no renovables como lo es el agua.

### 3. Objetivos

#### Objetivo general:

- ✓ Desarrollar un prototipo automatizado de captación y tratamiento de agua lluvia para consumo y actividades de limpieza por medio de filtración, cloración y radiación ultravioleta en la ciudad de San Juan de Pasto.

#### Objetivos específicos:

- ✓ Investigar en diferentes fuentes, información referente a precipitación, tratamiento de agua pluvial y sistemas de captación para tener referencias claras sobre el contexto de trabajo.
- ✓ Diseñar un sistema automatizado capaz de captar y tratar el agua de lluvia para su consumo y uso en actividades de limpieza y aseo.
- ✓ Construir el prototipo de captación y tratamiento de agua lluvia.
- ✓ Validar el funcionamiento del prototipo construido en las condiciones establecidas.

### 4. Marco teórico – conceptual

**Agua pluvial:** el agua pluvial o también llamada agua llovediza es aquella que se obtiene en el proceso de precipitación, bien sea en estado líquido en forma de gotas, o en estado sólido como granizo (España, 2019). Esta agua puede ser considerada limpia, dependiendo de la superficie por la que haya discurrido, así como de la posición geográfica en donde se ha recogido, dado que también es afectada por la contaminación y la polución.

**Usos del agua pluvial:** se puede decir que el agua pluvial, en su estado natural y sin un tratamiento especial, no es recomendable para el consumo humano; sin embargo, tiene varios modos de empleo en el hogar; algunos de ellos son: lavado de prendas de vestir, utensilios de cocina, vehículos, limpieza del hogar, suministro de agua del inodoro, regado de plantas, entre otros.

Ahora bien, con un debido tratamiento, en donde se libre el agua de impurezas, contaminantes y microorganismos, se puede utilizar para beber y cocinar, como se ha hecho hace ya mucho tiempo. Para todos los usos, el agua pluvial necesita de una infraestructura bastante sencilla para su captación, almacenamiento y distribución, por lo cual es un muy buen recurso.

**Lluvia ácida:** se denomina así a la precipitación en forma de lluvia, nieve, granizo, etcétera, con altas concentraciones de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ácido nítrico ( $HNO_3$ ) y ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ), como consecuencia de la contaminación.

**Agua potable:** es aquella que se considera como adecuada para el consumo y puede ser empleada para todas las actividades domésticas, incluyendo la higiene y el aseo. El agua debe estar libre de microorganismos perjudiciales para la salud y evitar de esa forma, enfermedades (Ríos-Tobón, Agudelo-Cadavid y Gutiérrez-Builes, 2017).

**Ciclo hidrológico del agua:** se puede considerar como un proceso de varias etapas que atraviesa el agua al subir de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra; estas etapas pueden ser descritas de la siguiente forma: i) Evaporación: emisión de vapor de agua a temperatura inferior a su punto de ebullición; ii) Transpiración: el agua que está en la vegetación se evapora hacia la atmosfera; iii) Evo - transpiración: el agua se transfiere a la atmósfera desde la tierra en forma de vapor; iv) Condensación: transición que cumple el agua, pasando de estado gaseoso a líquido; v) Precipitación: las partículas líquidas o sólidas de agua que caen desde las nubes hasta el suelo.

**Características fisicoquímicas del agua:** con el fin de determinar el estado del agua, es posible realizar pruebas a nivel químico y microbiológico. En Colombia, la Resolución 2115 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007) establece las características básicas y ha estipulado los valores para cada parámetro, como se presenta en las Tablas 1, 2 y 3 en seguida:

**Tabla 1**

*Características físicas del agua potable*

Características físicas	Valores aceptables máximos	Expresados como
Color aparente	15	Unidades de Platino Cobalto (UPC)
Olor y sabor	Aceptable	Aceptable / No aceptable
Turbiedad	2	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)

**Tabla 2**

*Características microbiológicas del agua potable*

Técnicas utilizadas	Coliformes totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

**Tabla 3**

*Características químicas del agua potable*

Características químicas	Valores aceptables máximos	Unidades de medida
PH	6.5-9.0	-
Cloruros	250	mg/L
Cloro residual	0.3-2.0	mg/L
Alcalinidad total	200	mg/L (CaCos)
Hierro total	0.3	mg/L
Nitritos	0.1	mg/L
Nitratos	10	mg/L
Mercurio	0.001	mmHg
Dureza total	300	mg/L
Manganeso	0.1	mg/L
Carbono Orgánico Total	5.0	mg/L
Aluminio	0.2	mg/L
Sulfatos	250	mg/L

**Sistemas de tratamiento de agua:** el tratamiento que se debe aplicar al agua para su potabilización está dado en consecuencia al estudio de laboratorio realizado previamente. De los resultados obtenidos se debe tener en cuenta factores como los contaminantes biológicos, características físicas y contribuyentes químicos; si estos exceden los límites establecidos, se debe aplicar diferentes tipos de tratamiento como, por ejemplo: en la contaminación biológica, se puede presentar bacterias, helmintos, protozoarios y virus; en presencia de estos, el tratamiento a seguir debe ser desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta. Algunos de los sistemas de tratamiento son los siguientes:

- **Ozonificación:** es un método donde se dispone a usar el ozono para la potabilización del agua, donde la oxidación y la desinfección son los objetivos.
- **Biofiltración:** a pesar de ser este método muy antiguo, se puede considerar como eficiente; su objetivo es la separación de partículas y microorganismos objetables en el agua, utilizando un método que involucra materiales fibrosos.
- **Ionización:** el proceso de ionización de moléculas de agua por impacto de electrones veloces se realiza aplicando un modelo de perturbación simple de primer orden, utilizando una aproximación de electrones independientes, para lo cual se utiliza técnicas basadas en orbitales de Wannier.
- **Coagulación:** este proceso ha sido definido como una desestabilización química de las partículas coloidales que son producidas cuando se neutraliza las fuerzas que las mantienen separadas, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía.
- **Filtración:** Sánchez (2021) explica que este proceso puede simular cuando el agua es filtrada de forma natural mediante materiales granulares como la arena, la grava o piedras pequeñas. Este proceso aprovecha la acción mecánica de estos materiales para eliminar las impurezas y, junto con el carbón activado y microorganismos benignos, elimina patógenos perjudiciales para la salud, para que el agua sea apta para el consumo.

- **Descalcificación:** este proceso está desarrollado para el uso del agua en el hogar; su función principal es eliminar las sales de calcio y magnesio del agua (Sanigrif, s.f.).
- **Osmosis:** esta forma de tratamiento ha sido desarrollada para el consumo del agua, ya que elimina sales, iones o moléculas no deseadas (Sanigrif, s.f.).
- **Desalinización:** existen diferentes métodos para llevar a cabo este proceso; uno de ellos es el método de Humidificación-Des humidificación (HDH), según Valenzuela (2017), se requiere replicar las condiciones de humidificación que son originadas en los océanos y las condiciones de condensación originadas en las montañas. El sistema inicia cuando el agua de alimentación entra al deshumidificador, donde es calentada en diferentes procesos; luego el agua caliente ingresada al humidificador, se pone en contacto con el aire; aquí, el flujo de aire aumenta su humedad y temperatura, evaporando parte del agua; luego, ese flujo de aire saturado en humedad es transportado al deshumidificador, donde es enfriado; por ello, parte del agua contenida en el aire se condensa, obteniéndose así, el destilado.
- **Destilación:** la destilación de tipo *flash* consta de varias cámaras para evaporar rápidamente el agua; la evaporación se produce por una expansión brusca del líquido, el cual se encuentra a una temperatura cercana al punto de ebullición. Cada cámara va disminuyendo su presión y temperatura y el vapor se condensa por la acción de los tubos de alimentación del agua.
- **Carbón activado:** es un elemento importante en el proceso de tratamiento de agua; cuando el agua ha sido clarificada, se debe continuar con la adsorción con carbón activado, para disminuir la materia orgánica, color, olor y sabor presentes, ya que estas impurezas quedan retenidas en la superficie del carbón que está en forma granular; también se puede utilizar para controlar el crecimiento biológico o eliminar amoníaco (Romero, 2008, citado por Linarez y González, 2019).
- **Cloro:** proceso de desinfección y oxidación para eliminar del agua, algunas sustancias como hierro, manganeso, sulfuros, amoníaco y algunos microorganismos; consiste en añadir cloro hasta conseguir cloro residual libre en el agua; el cloro se puede adicionar en forma líquida, con una solución de hipoclorito de sodio o tabletas de hipoclorito de calcio (Romero, 2008, citado por Linarez y González, 2019).
- **Desinfección:** ésta es la parte final del tratamiento de agua, para que sea potable; hay tres tipos: tratamientos físicos, químicos y radiación (Romero, 2008, citado por Linarez y González, 2019):
  - **Tratamientos físicos:** aplicación de calor; es un proceso costoso y deja mal sabor, puesto que son eliminados el oxígeno y las sales disueltas en agua.
  - **Tratamientos químicos:** para este proceso, los agentes químicos desinfectantes más utilizados son: el cloro, el dióxido de cloro y el ozono.
  - **Radiación:** el procedimiento más frecuentemente utilizado es el de la luz ultra violeta.
- **Luz ultra violeta:** para este procedimiento se debe tener en cuenta que existen varias categorías de longitudes de onda que son divididas en UV-A, UV-B y UV-C; de esta manera se posicionan de mayor a menor longitud; el proceso de desinfección se genera a partir de la energía asociada a la longitud de onda y frecuencia de la luz UV, que produce daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos de los microorganismos contenidos en el agua.

La identificación del mejor tratamiento a utilizar en los procesos de purificación de agua, según Romero (2008, citado por Linarez y González, 2019), puede darse de la siguiente forma:

**Tabla 4**

*Tratamientos para potabilizar el agua*

Tipo de contaminante	Operación unitaria
Sólidos gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia orgánica	Carbón activado
Amoniaco	Cloro
Gérmenes patógenos	Desinfección
Metales no deseados (Fe, Mn)	Oxidación
Sólidos disueltos (Cl, Na+, K+)	Osmosis

## 5. Marco contextual

Colombia es un país que cuenta con un nivel elevado de precipitación; existen diferentes climas debido a los factores topográficos. Al suroccidente de este país se ubica el departamento de Nariño, uno de los departamentos que más suma al índice de precipitación general del país, motivo por el cual se ha establecido como lugar de trabajo, su capital, la ciudad de San Juan de Pasto, cuyo clima es frío; en temporada invernal, existe un porcentaje alto de precipitación y, debido al bajo nivel de industrialización, la calidad del aire es buena, con relación a otras ciudades donde existe lluvia ácida por el exceso de contaminación y polución.

### Índices de precipitación:

- **Colombia:** teniendo en cuenta los valores estadísticos de la FAO (2017) se sabe que, en el territorio colombiano, anualmente se ha registrado en promedio, un total de 3.240 milímetros de lluvia.
- **Nariño:** el clima es tropical; en verano existe una buena cantidad de lluvia, pero en invierno el nivel es bajo; por ello, el promedio anual de la precipitación es de 1.232 mm según la plataforma virtual de datos climáticos Climate-Data (s.f.).
- **San Juan de Pasto:** con base en la información de la plataforma virtual de datos climáticos Climate-Data (s.f.), en esta ciudad las precipitaciones son más frecuentes en invierno que en verano. El promedio de temperatura al año es 13.8 °C y el promedio de precipitaciones de 1.273 mm.
- **Empresa distribuidora de la región:** el servicio de agua potable en la ciudad de Pasto es suministrado por EMPOPASTO S.A. E.S.P., empresa regional prestadora de servicios públicos domiciliarios, saneamiento básico y servicios complementarios, que presta el servicio a toda la ciudad. Según las cifras actuales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2018), en el departamento hay alrededor de 1,335,521 habitantes y en la ciudad de Pasto está concentrado cerca del 40 % de ese valor; por ello, esta empresa es muy importante para el correcto abastecimiento de agua de todas estas personas.

## 6. Marco legal

En el territorio colombiano existen diferentes leyes, normas, resoluciones y decretos que están relacionados con el agua a nivel de uso, concientización, parametrización de consumo, propiedad, etc. Por lo tanto, se presenta la síntesis de algunos documentos que pueden ser utilizados como referencia:

- **Ley 373 de 1997.** Establece el programa para el buen uso y el ahorro del agua, mediante el manejo, la protección y el control del recurso hídrico, para que exista una reducción de pérdidas, por medio de diferentes estrategias como: campañas educativas a la comunidad, utilización de aguas superficiales, lluvias, subterráneas y, reutilización de agua en actividades primarias y secundarias, cuando sea posible, con lo cual es posible garantizar un uso racionalizado y eficiente.
- **Decreto número 1575 de 2007.** Instituye el sistema para la protección y control de la calidad del agua, ya que su objetivo es monitorear, prevenir y controlar los riesgos a los que pueden estar expuestas las personas al consumirla; expone las características físicas, químicas y microbiológicas que pueden afectar la salud humana. Los ministerios de Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial determinan los criterios aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano. Igualmente, se menciona algunas responsabilidades que deben cumplir los usuarios, como lavar sus tanques de almacenamiento y redes de distribución, mantener en adecuadas condiciones de operación la acometida y las redes internas domiciliarias y en edificaciones que conglomeren varios individuos. Los responsables del mantenimiento deberán realizar la desinfección de los tanques de almacenamiento de agua para consumo humano cada seis meses. Para garantizar la calidad del agua en los procesos de control, se incluye la recolección de muestras, el análisis e interpretación, el suministro y difusión de la información y su utilización en la orientación tanto en salud pública como en actuaciones administrativas.
- **Decreto 1541 de 1978.** En el primer capítulo se establece que las aguas que existen en el país están divididas en dos categorías: aguas de dominio público y aguas de dominio privado.  
  
Son aguas de uso público: los ríos y todas las aguas que corran por cauces naturales o artificiales que hayan sido derivadas de un cauce natural, los lagos, lagunas, ciénagas, pantanos, las aguas que están en la atmósfera y las aguas de lluvia.  
  
Son aguas de propiedad privada: aquéllas que brotan naturalmente y que desaparecen por infiltración o evaporación dentro de una propiedad, tierras o bienes inmuebles que pertenecen a una persona.
- **Resolución 2115 de 2007.** Por medio de la cual se indica características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua que se consume. Las características físicas, químicas y microbiológicas que debe tener el agua para consumo humano no pueden sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características que se muestra.
- **Resolución 0811 de 2011.** Se define los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas que suministran agua deben definir en su área de influencia, lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.

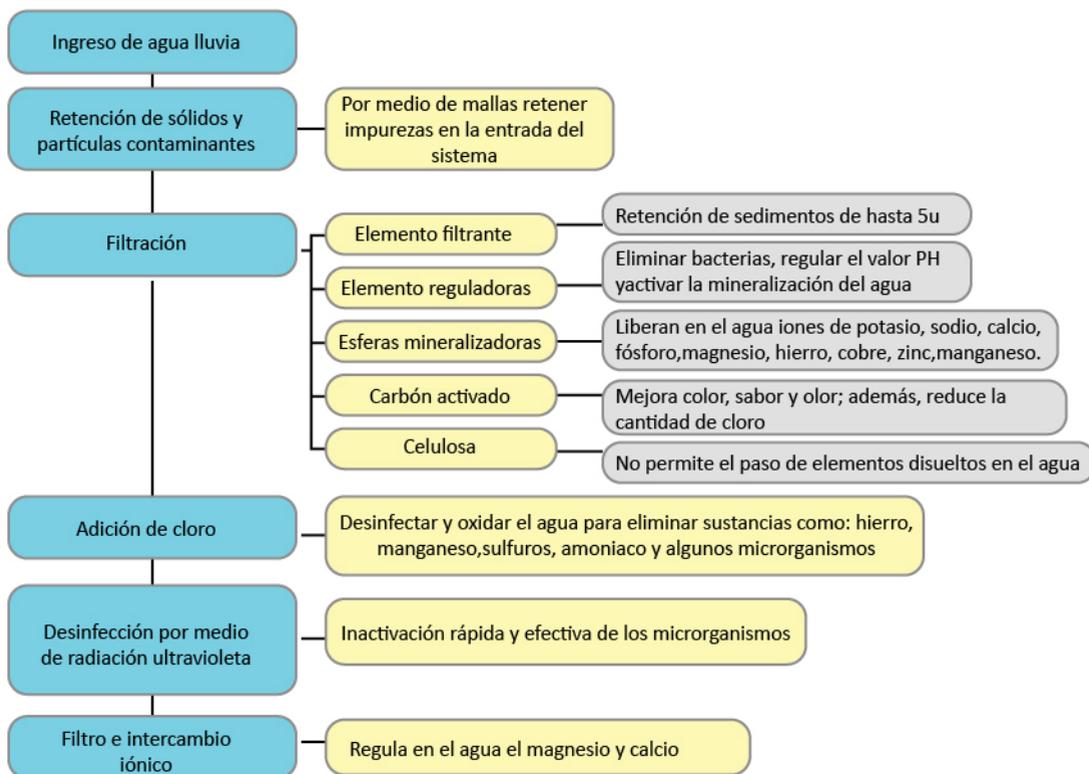
## 7. Metodología

El prototipo está conformado por tres etapas de proceso: inicialmente, la etapa de captación en donde se realizará un filtrado inicial, se controla el nivel y la entrada de agua, la cual será conducida por medio de una motobomba a la siguiente etapa, donde se realiza el proceso

de filtrado, en el cual hay dos salidas: una permite usar el agua ya filtrada en actividades que no requieran de un tratamiento mayor y, la otra, conduce el agua al proceso de tratamiento conformado por cloración, radiación ultravioleta y un filtrado final de carbón activado y resina catiónica (Figura 1); finalmente, el agua ya tratada, pasaría a la tercera etapa, en donde se medirá algunos parámetros por medio de sensores para conocer su calidad y, poder utilizarla.

**Figura 1**

*Diagrama Tratamiento de agua*



## 8. Conclusiones

Es importante reconocer la necesidad de incorporar la tecnología para satisfacer las necesidades de las personas con alta demanda de agua, conociendo que este recurso hídrico es muy limitado en algunas partes. Desde la mecatrónica, se puede realizar un proceso de captación, tratamiento y mejoramiento de este recurso, lo cual sería muy relevante y causaría mucho impacto.

Las variables de control que tiene el recurso hídrico para consumo pueden ser verificadas al monitorear y controlar mediante sistemas integrados tecnológicos, lo cual hace que la mecatrónica sea indispensable para estas actividades.

Es necesario trabajar de manera interdisciplinaria con personal del área ambiental para fortalecer este proceso de captación y adecuación de agua lluvia, para escalarlo a todos espacios hídricos.

Los tres procesos que hacen parte del sistema mecatrónico están relacionados y cada uno presenta sus sensores, donde se identifica la aplicación de la instrumentación industrial.

## Referencias

- Alcaldía de Pasto. (2017). Empopasto produce agua de calidad para el consumo humano, todo el día, todos los días. <https://www.pasto.gov.co/index.php/alcaldia-al-dia/9813-empopasto-produce-agua-de-calidad-para-el-consumo-humano-todo-el-dia-todos-los-dias>
- Brand, C. (2019). Agua, educación, empleo y vías, mayores prioridades de PDET Tumaco. <https://www.rcnradio.com/recomendado-del-editor/agua-educacion-empleo-y-vias-mayores-prioridades-de-pdet-tumaco>
- Cajal, A. (2018). *¿Cuáles son los recursos naturales de Colombia?* <https://www.lifeder.com/recursos-naturales-colombia/>
- Carvajal, E. (2017). La razón por la que Colombia es el país más lluvioso del mundo. *El colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/medio-ambiente/pais-del-mundo-donde-mas-llueve-XD7511550>
- Climate-Data. (s.f.). Nariño clima. <https://es.climate-data.org/america-delsur/colombia/narino-61/>
- Congreso de la República de Colombia. (1997). Ley 373 del 6 de junio “por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua”. [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley\\_0373\\_1997.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf)
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). (2018). Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda, 2018. <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190726-CNPV-presentacion-Narino-Pasto.pdf>
- España, A. (2019). Usos y beneficios de las aguas pluviales. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/usos-y-beneficios-de-las-aguas-pluviales>
- Linarez, C. y González, A.C. (2019). *Optimización de un sistema de filtración con nanomateriales para la mejora de los índices de calidad del agua* (Trabajo de Grado). Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23944/1/TG.%20OPTIMIZACI%C3%93N%20FILTRO%20CON%20NANOMATERIALES.pdf>
- Medina, S. (2014). *¿Qué sucede en La Guajira que no llega el agua? Las 2 orillas*. <https://www.las2orillas.co/que-sucede-en-la-guajira/>
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución No. 2115 del 22 de junio “por medio de la cual se señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”. [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2017). Se inaugura los sistemas de captación de agua de lluvia impulsados por Mesoamérica sin hambre en Colombia. <http://www.fao.org/in-action/mesoamerica-sin-hambre/noticias-eventos/detail-events/ru/c/1027445/>
- Presidencia de la República de Colombia. (1978). Decreto 1541 del 26 de julio “por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto – Ley 2811 de 1974: “de las aguas no marítimas” y, parcialmente, la Ley 23 de 1973”. [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_1541\\_de\\_1978.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1541_de_1978.pdf)

- Presidencia de la República de Colombia. (2007). Decreto 1575 del 9 de mayo “por el cual se establece el Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano”. <https://scj.gov.co/es/transparencia/marco-legal/normatividad/decreto-1575-2007>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadauid, R.M., Gutiérrez-Builes, L.A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/10714>
- Sánchez, J. (2021). Cómo hacer un filtro de agua casero para beber. <https://www.ecologiaverde.com/como-hacer-un-filtro-de-agua-casero-para-beber-1123.html>
- Sanigrif. (s.f.). Tratamiento. <https://www.sanigrif.es/productos-de-fontaneria/tratamiento/>
- Secretaría Distrital de Planeación. (2011). Resolución 0811 del 20 de junio “por la cual se decide una solicitud de revocatoria directa”. <http://www.sdp.gov.co/transparencia/normatividad/actos-administrativos/resolucion-0811-de-2011>
- Universidad de la Sabana. (2017). Los 10 errores que se cometen con el agua en Colombia. <https://www.unisabana.edu.co/nosotros/noticias-institucionales/detalle-noticias-institucionales/noticia/los-10-errores-que-se-cometen-con-el-agua-en-colombia-1/>
- Valenzuela, S. (2017). El 43 % del agua en Colombia se desperdicia: U Sabana. *El colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/colombia/agua-en-colombia-se-desperdicia-en-un-43--u-sabana-MM6196806>