

DISEÑO DE SISTEMA DE SERVICIOS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE CON MÁQUINAS EXPENDEDORAS
PARA EL MUNICIPIO DE SAN ANDRÉS DE TUMACO, NARIÑO

Lina Sofía Narváez Rodríguez 1^{a,c}, Daniela Ordoñez Castaño 2^{a,c}, Ana María Rubio López 3^{a,c},

Juan Camilo Paz Roa^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor y director de Proyecto, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

Resumen en español

Vivimos en una época en la que los recursos son cada vez más escasos, como los suelos fértiles, los combustibles fósiles y el agua dulce. La demanda de estos supera su disponibilidad, generando consecuencias negativas para el ambiente, la economía y la sociedad. La escasez de agua dulce es especialmente preocupante, ya que es vital para la vida y las actividades cotidianas. A pesar de su aparente abundancia, el acceso al agua de calidad está amenazado en muchas regiones del mundo. Este fenómeno plantea desafíos significativos, especialmente donde la falta de agua es constante o intermitente. El crecimiento demográfico, la urbanización, los cambios climáticos y el uso insostenible del agua han contribuido al agotamiento de este recurso. La demanda de agua dulce sigue aumentando mientras que la oferta disminuye debido a la degradación de fuentes hídricas, la contaminación y la sobreexplotación de acuíferos [3]. Además, la variabilidad climática y los eventos extremos afectan su disponibilidad y distribución. En muchas regiones del país, el hecho de no tener acceso al agua potable impacta de la salud pública y el desarrollo económico y social de manera negativa, como es el caso de San Andrés de Tumaco, pues el acceso a agua potable para el consumo humano es un reto del día a día.

Visto que los habitantes de esta zona del país deben purificar el agua por sus propios medios, pasar días sin acceso a este servicio debido a cortes o desabastecimientos y construyendo por sus propios medios sistemas de acueducto, se propone diseñar un Sistema Productivo de Máquinas Exendedoras de Agua Potable. Este sistema brinda diversos beneficios para la comunidad; en primer lugar, mejorar la calidad de vida con soluciones eficientes y competitivas; en segundo lugar, fortalecer el desarrollo económico del municipio aprovechando los recursos disponibles y garantizando la sostenibilidad del consumo de agua potable y en tercer lugar, mejorar las condiciones higiénicas, protegiendo la salud al prevenir enfermedades y reduciendo el impacto ambiental por el uso de plásticos. Esto se pretende lograr mediante la identificación de los requerimientos de la población Tumaqueña y demás interesados en el proyecto, el diseño de la tecnología de las máquinas, recursos, y capacidades, la validación del desempeño financiero del proyecto y, por último, la confiabilidad operativa de las máquinas, para que así estas sean la alternativa ideal al momento de adquirir agua para consumo diario.

Palabras clave: Agua potable, dispensadores de agua potable, tendencias de consumo, innovación, potabilización, purificación de agua, tendencias de consumo.

English summary

We live in an era in which resources are becoming increasingly scarce, such as fertile soils, fossil fuels and fresh water. The demand for these resources exceeds their availability, generating negative consequences for the environment, the economy and society. The scarcity of fresh water is of particular concern, as it is vital for life and daily activities. Despite its apparent abundance, access to quality water is threatened in many regions of the world. This phenomenon poses significant challenges, especially where water scarcity is constant or intermittent. Population growth, urbanization, climate change and unsustainable water use have all contributed to the depletion of this resource. The demand for freshwater continues to increase while the supply decreases due to degradation of water sources, pollution, and overexploitation of aquifers [3]. In addition, climate variability and extreme events affect its availability and distribution. In many regions of the country, the lack of access to drinking water has a negative impact on public health and economic and social development, as in the case of San Andrés de Tumaco, where access to drinking water for human consumption is a daily challenge.

Given that the inhabitants of this area of the country must purify water by their own means, spend days without access to this service due to water cuts or shortages, and build aqueduct systems by their own means, it is proposed to design a Productive System of Drinking Water Vending Machines. This system provides several benefits for the community; first, improving the quality of life with efficient and competitive solutions; second, strengthening the economic development of the municipality by taking advantage of available resources and ensuring the sustainability of drinking water consumption; and third, improving hygienic conditions, protecting health by preventing diseases and reducing the environmental impact due to the use of plastics. This is intended to be achieved by identifying the requirements of the population and other stakeholders in the project, the design of machine technology, resources, and capabilities, the validation of the financial performance of the project and, finally, the operational reliability of the machines, so that these are the ideal alternative when acquiring water for daily consumption.

Key words: Drinking water, drinking water dispensers, consumption trends, innovation, potabilization, water purification, consumption trends.

Tabla de contenido

I.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y NECESIDAD	8
A.	Contexto y justificación.....	8
B.	Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?).....	9
C.	Plan de recolección de datos.....	10
D.	Exploración del mercado.....	11
E.	Análisis de oportunidad.....	15
F.	Objetivos	19
G.	Revisión de literatura.....	19
II.	DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR.....	22
A.	Requerimientos del cliente	22
B.	Análisis funcional.....	24
C.	Fijación de requerimientos de diseño	26
D.	Exploración de ideas y selección de alternativa	27
E.	Especificación del diseño	29
F.	Plan de trabajo.....	30
III.	DEFINICIÓN DEL DISEÑO PRELIMINAR IDENTIFICANDO LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO SEGÚN SUS COMPONENTES Y SUBSISTEMAS	32
A.	Selección de tecnología	32
IV.	DESARROLLO DEL DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE LA LOCALIZACIÓN DE MÁQUINAS EXPENDEDORAS DE AGUA POTABLE CON EL FIN DE ATENDER EL MÁXIMO NÚMERO DE PERSONAS A UN COSTO RAZONABLE	38
V.	VALIDACIÓN FINANCIERA Y OPERATIVA DEL SISTEMA	49
VI.	CONCLUSIONES	53
VII.	REFERENCIAS.....	54

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.	Matriz Poder vs Interés	10
Ilustración 2.	Índice de pobreza multidimensional (Censo DANE 2018) [5].....	12
Ilustración 3.	Participación porcentual de la población según grupo étnico. (Censo Nacional de Población y Vivienda 2018) [6]	13
Ilustración 4.	Proceso de potabilización del agua [4].....	14
Ilustración 5.	Rangos de consumo básico por clima.	15
Ilustración 6.	Consumo diario de agua por persona en Tumaco.....	16
Ilustración 7.	Máquina expendedora de 9 etapas con ósmosis inversa agua. Fuente: EBay.....	17
Ilustración 8.	Californians are turning to vending machines for safer water. Are they being swindled? Fuente: The Guardian, John Francis Peters.	17
Ilustración 9.	Precios del mercado	18
Ilustración 10.	Costos	18
Ilustración 11.	Precios de venta y presentaciones.	19
Ilustración 12.	Comparación de tecnologías	22
Ilustración 13.	Árbol de objetivos	23
Ilustración 14.	Establecimiento de funciones.	25
Ilustración 15.	Casa de la calidad.....	27
Ilustración 16.	Alternativa escogida.....	29
Ilustración 17.	Diagrama Gantt	31
Ilustración 18.	Subsistemas y componentes	32
Ilustración 19.	Proceso de purificación de agua según The Water House.....	33
Ilustración 20.	Máquinas disponibles según Agua pura San Jerónimo [29].....	34
Ilustración 21.	Dispensadores manejados por el Proveedor Agua Inmaculada [30]	35
Ilustración 22.	Vending móvil de agua purificada	36
Ilustración 23.	Ficha técnica vending móvil purificada	37
Ilustración 24.	Plan de mantenimiento.....	37

Ilustración 25. Cartografía Tumaco [32].....	39
Ilustración 26. Sectores y cantidad de habitantes.....	40
Ilustración 27. Número de personas por hogar en Tumaco Nariño.....	40
Ilustración 28. Matriz de distancias entre cada sector.....	41
Ilustración 29. Matriz de parámetro Aij y celda de distancia de cobertura.....	42
Ilustración 30. Variables de decisión.....	43
Ilustración 31. Parámetros.....	43
Ilustración 32. Variación de distancias de cobertura.....	44
Ilustración 33. Encuesta. Distancia por recorrer.....	45
Ilustración 34. Encuesta. Tiempo dispuesto a recorrer.....	45
Ilustración 35. Asignación de máquinas.....	46
Ilustración 36. Lugar de ubicación de las máquinas.....	46
Ilustración 37. Ubicación gráfica de las máquinas.....	47
Ilustración 38. Matriz de distancias entre cada máquina.....	48
Ilustración 39. Ruta de máquinas.....	49
Ilustración 40. Cálculo beneficio operacional.....	52

Índice de tablas

Tabla I. Indicadores de desempeño a medir.....	11
Tabla 2. Proveedores para inicio del proyecto.....	13
Tabla 3. Resultados de indicadores de desempeño.....	15
Tabla 4. Ficha técnica (preliminar).....	16
Tabla 5. VoC grupos de interés.....	24
Tabla 6. Simbología matriz de correlación.....	26
Tabla 7. Escala matriz de relaciones.....	26
Tabla 8. Matriz morfológica de la máquina expendedora de agua potable.....	28
Tabla 9. Plan de trabajo.....	31
Tabla 10. Duración y secuencia de actividades.....	31
Tabla 11. Duración, inicio y fin de cada actividad.....	31
Tabla 12. Evaluación de criterios.....	35
Tabla 13. Tarifa de servicio de acueducto.....	49
Tabla 14. Costo total mensual servicio de agua.....	50
Tabla 15. Componentes del consumo de energía.....	50
Tabla 16. Costo total mensual servicio de energía.....	50
Tabla 17. Componentes del salario a colaboradores.....	50
Tabla 18. Rubro de costos.....	51
Tabla 19. Costo de activos fijos.....	52
Tabla 20. Escenarios de beneficio operacional.....	52

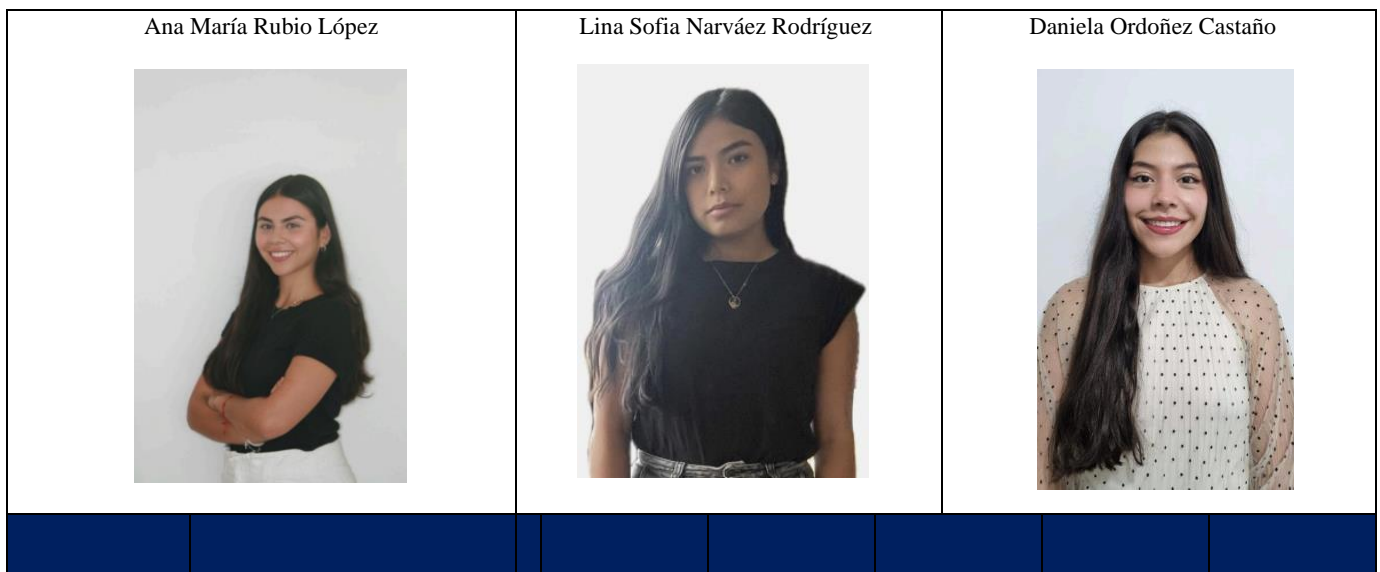
Índice de fórmulas

Fórmula 1. Función objetivo.....	41
Fórmula 2. Restricciones.....	42
Fórmula 3. Función objetivo Problema del agente viajero.....	48
Fórmula 4. Restricción 1.....	48
Fórmula 5. Restricción 2.....	49
Fórmula 6. Restricción 3.....	49
Fórmula 7. Valor neto de la inversión.....	51
Fórmula 8. Costo de activos fijos.....	51

PROJECT CHARTER

DISEÑO DE SISTEMA DE SERVICIOS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE CON MÁQUINAS EXPENDEDORAS PARA EL MUNICIPIO DE SAN ANDRÉS DE TUMACO, NARIÑO

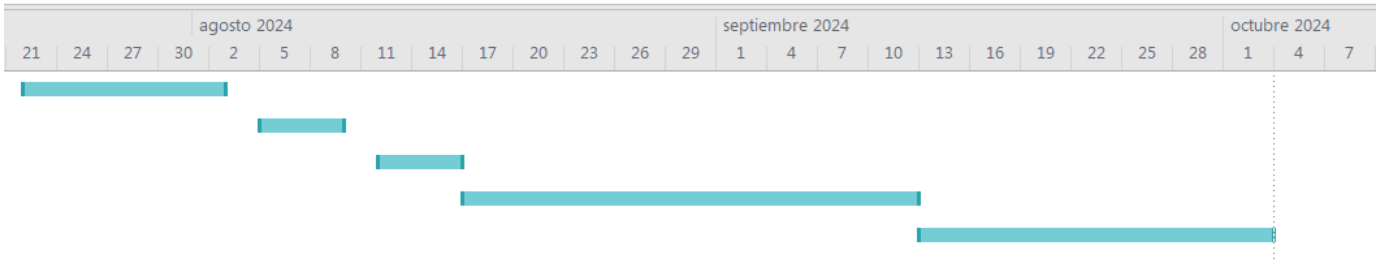
Breve resumen del proyecto (Business case)						
<p>El municipio de San Andrés de Tumaco cuenta con un sistema de acceso a agua potable deficiente, apenas el 40% de su población tiene acceso a este servicio e incluso de manera inconstante y sin potabilizar, siendo este un tema que necesita pronta intervención. Por esto, se pretende diseñar un sistema de servicios de suministro de agua potable para que los habitantes puedan adquirir al menos tres litros de agua al día, teniendo tres opciones de llenado, 1, 5 y 20 litros. Así, teniendo en cuenta su situación socioeconómica, los precios deben ser inferiores a los métodos de adquisición de agua convencionales, para así ser la opción más viable y accesible, mejorando la salud pública, reduciendo los riesgos de contraer enfermedades por agua contaminada y favoreciendo al medio ambiente al promover el uso de recipientes de varios usos.</p>						
Problema (Problem statement)			Impacto en los actores (Business Need—Stakeholders)			
<p>Actualmente el sistema de distribución de agua potable en el municipio de Tumaco, Nariño, abastece solo el 40 % de la población total.</p>			<p>Obtener fácil acceso al agua potable en cualquier ubicación de carácter urbano dentro del municipio, con alto nivel de servicio y eficiencia. El grupo de interés directo es el gobierno local ya que con un buen sistema de distribución de agua lograra una mejor calidad de vida para todo habitante y turista que se encuentre en Tumaco.</p>			
Objetivo general (Goal statement)						
<p>Diseñar un sistema de servicios de suministro de agua potable mediante máquinas expendedoras, con el propósito de garantizar acceso constante de agua potable, mejorar la salud pública y promover el desarrollo económico local en Tumaco, Nariño.</p>						
Objetivos específicos (Project Scope)						
<ul style="list-style-type: none"> - Definir el diseño preliminar del sistema de distribución de agua potable de máquinas expendedoras identificando los requerimientos de diseño según sus componentes y subsistemas. - Desarrollar el diseño detallado del sistema de distribución de agua potable de máquinas expendedoras mediante la definición de sus tecnologías, recursos, capacidades y localización, para atender el máximo número de personas a un costo razonable. - Validar el desempeño operacional del sistema de compra de agua mediante máquinas expendedoras. 						
Equipo de trabajo (Team members)						



Plan de trabajo propuesto

Objetivo específico	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)
1	Diseño de sistemas e ingeniería	Operaciones I, II	A. Profundización de tecnologías a usar y uso de modelos analíticos	Informe de gestión de demanda y de capacidad de funcionamiento de las máquinas
2	Ingeniería de calidad y fiabilidad	Control estadístico de procesos	B. Diseño de la distribución del sistema de los dispensadores en Tumaco	Boceto del mapa de ubicación de los dispensadores y sus áreas de abastecimiento
			C. Mapeo de procesos para identificar áreas de mejora	Diagramas de flujo
3	Investigación de operaciones y análisis	Desarrollo de modelos analíticos o de simulación	D. Uso de herramientas ofimáticas y de simulación para analizar el funcionamiento y desempeño de las máquinas	Informe de resultados de ensayos, cálculos y simulaciones realizadas
	Ingeniería económica y financiera	Análisis financiero	E. Proyección del flujo de caja	Flujo de caja del proyecto, valor presente neto, tasa interna de retorno y periodo de recuperación de inversión

Nombre de la tarea	Duración	Inicio	Fin
A	2 sem.	lun 22/07/24	vie 2/08/24
B	1 sem	lun 5/08/24	vie 9/08/24
C	1 sem	lun 12/08/24	vie 16/08/24
D	4 sem.	sáb 17/08/24	jue 12/09/24
E	3 sem.	vie 13/09/24	jue 3/10/24



I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y NECESIDAD

A. *Contexto y justificación*

Vivimos en una época en donde los recursos son cada vez más escasos, los suelos fértiles, los combustibles fósiles y el agua dulce representan el claro ejemplo de que la demanda de estos supera su disponibilidad, generando así consecuencias negativas para el ambiente, la economía y la sociedad en general. En vista de lo anterior, se ha podido reconocer la importancia del agua dulce, ya que es un recurso vital que sustenta la vida en nuestro planeta y desempeña un papel crucial en muchos aspectos de nuestras actividades cotidianas que, pese a su aparente abundancia, el acceso a agua de calidad está amenazado, convirtiéndose en un recurso cada vez más escaso en diversas regiones del mundo. Este fenómeno, conocido como escasez de agua dulce, plantea desafíos aún más significativos en aquellos lugares donde su insuficiencia se convierte en una constante amenaza para la humanidad y para los ecosistemas acuáticos que necesitan de ella. El crecimiento demográfico, la urbanización acelerada, los cambios en los patrones climáticos y las prácticas insostenibles en el uso del agua han contribuido al agotamiento de este recurso esencial. A medida que la demanda de agua dulce continúa aumentando, la oferta se ve afectada por la degradación de fuentes hídricas, la contaminación y la sobreexplotación de acuíferos [3]. Este escenario se ve intensificado por la variabilidad climática y eventos extremos que afectan la disponibilidad y la distribución del agua en diversas regiones.

En estas zonas desafiantes, el acceso al agua potable no solo se convierte en una cuestión de salud, sino que también impacta directamente en el desarrollo económico y social de las comunidades. Es por ello por lo que se vuelve relevante comprender la importancia de este recurso; en estos entornos hostiles es fundamental el acceso a este recurso para construir un futuro sostenible. Abordar la problemática desde diferentes frentes, como la implementación de estrategias de acceso, la concientización sobre su uso responsable y la búsqueda de soluciones tecnológicas innovadoras, son pasos esenciales para garantizar la supervivencia de las comunidades y promover su progreso, por lo que invertir en la disponibilidad de este recurso vital es necesario en el futuro de las comunidades más vulnerables.

Haciendo referencia a el tipo de comunidades descritas anteriormente, se ha decidido hacer un enfoque de proyecto en el municipio de San Andrés de Tumaco situado en el departamento de Nariño y el cuál alberga a una población de 253,637 habitantes. Solo el 31.7 % tiene acceso al servicio de acueducto y el 5.5 % al alcantarillado, son alarmantes datos [1]. Así mismo, al estar ubicado en la zona del trópico, la humedad y la temperatura promedio de 28° Centígrados no son de gran ayuda para los habitantes que claman poder tener un poco de agua potable en su día a día. Debido a esto la comunidad ha optado por alternativas que cubran esta necesidad. Por esto, en el barrio El Morrito han llegado a soluciones como construir un acueducto para beneficiar a más de 100 familias y sobrellevar esta situación. Con este entorno, nace el proyecto Resiliencia y salud para la infancia, donde la Cruz Roja colombiana logró nexos con la Cruz Roja de Noruega, el apoyo de la Junta de Acción Comunal y del Comité de Salud Comunitaria, para así mejorar la vida de los residentes de esta zona [2]. Colaborando con ESP Aguas de Tumaco, responsable de la gestión y operación de la red de acueductos de la ciudad, se realizó un estudio para recopilar información y analizar las áreas sin tuberías de agua potable y determinar acciones que aseguren el suministro de agua en las zonas vulnerables para evitar esta inestabilidad. Teniendo como objetivo el correcto abastecimiento de agua para evitar un saneamiento básico y la salud, concretando la ampliación y optimización de la red de suministro de agua apta para el consumo humano.

El proyecto para la comunidad El morrito evidenció diferentes beneficios, pero no todos los integrantes de la comunidad tumaqueña acceden a este derecho fundamental, por eso se deben buscar alternativas para mejorar la calidad de vida de más habitantes de este municipio. Partiendo de lo anterior, se propone el diseño de un sistema de servicio de suministro de agua potable con máquinas expendedoras, para lograr diferentes beneficios en la comunidad donde se localizará el producto. En primer lugar, se generan beneficios en el ámbito social, aumentando la calidad de vida de los habitantes que residen en este lugar. Además, se esperan ventajas sobre la educación incrementando la asistencia escolar, ya que se ha comprobado que los niños pueden pasar más tiempo en la escuela en vez de dedicarlo a buscar agua. En tercer lugar, se observa la posibilidad de obtener garantías con respecto a la salud, ya que al contar con una cadena de abastecimiento de agua potable se pueden prevenir distintos tipos de enfermedades como diarrea, colera, amebiasis entre otras. Otra perspectiva es que el acceso a agua dulce reduce costos en la atención médica y mejora la higiene de los residentes de la zona; ejemplos de beneficios representan solo un porcentaje de los grandes resultados positivos obtenidos por el diseño de proyectos de prestación de servicios a la comunidad.

La insuficiencia de acceso a agua potable constituye una realidad que impacta de manera recurrente a la población colombiana, dicho esto se busca implementar una alternativa al municipio de San Andrés Tumaco el cual lo necesita tras años de escasez de este recurso, dicha alternativa plantea disminuir la disparidad social presente en nuestro país. El proyecto debe darse por la problemática significativa del acceso de agua potable, lo que repercute negativamente en la salud de la población obstaculizando el desarrollo económico. La falta de suministro confiable de agua potable preocupa a los habitantes de la región por lo que es necesario abordar esta problemática para garantizar un acceso equitativo y seguro al agua potable [3].

B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)

El acceso al agua segura es un derecho humano vital que impacta directamente en la calidad de vida de todas las comunidades, por lo que varios grupos de interés tienen un compromiso global para desarrollar sistemas de purificación y distribución de agua potable que satisfacen una de las principales necesidades básicas de la humanidad y generan innumerables beneficios económicos, sociales y ambientales. Sin embargo, el éxito en el presente proyecto sólo es posible si se comprenden las perspectivas, intereses y requisitos de todas las partes que lo rodean. Es así, como desde la perspectiva de las comunidades locales, es necesario un mejor acceso al agua potable donde se caracterice por contar con sistemas asequibles, simples y durables. Favoreciendo de esta manera la salud pública al reducir enfermedades o efectos de agua contaminada, y fomenta el desarrollo de la comunidad y empodera a los residentes al mejorar su calidad de vida.

De esta manera, para comprender mejor el panorama de los actores involucrados en el proyecto se presenta la matriz Interés vs Poder. Inicialmente el grupo de interés con alto poder y bajo interés son los gobiernos locales y los medios de comunicación. El primero, juega un papel crucial al establecer normativas y regulaciones que aseguran la seguridad y calidad del agua potable colaborando en programas de desarrollo comunitario, garantizando la implementación efectiva y sostenible de proyectos que se alinean con los intereses de las comunidades, promoviendo así la equidad en el acceso al agua. Por otro lado, los medios de comunicación, con tanto alcance de público, suelen ser una mano amiga para informar y transmitir la información necesaria, pero para desempeñar este papel necesitan acceso a información relevante y transparencia en la comunicación para informar a la sociedad. En cuanto a las organizaciones no gubernamentales (ONG) o los gobiernos locales aportan su experiencia fomentando la sostenibilidad ambiental y generando un impacto social positivo. Su intervención es esencial para garantizar la inclusión y participación de las comunidades locales, así como para asegurar la viabilidad a largo plazo de las iniciativas. Desde la esfera empresarial, las empresas privadas visualizan oportunidades de inversión y mercado en este proyecto, pero demandan sistemas económicamente viables y con un retorno de inversión adecuado, teniendo así un alto interés y poder. Como la Empresa de Aguas de Tumaco S.A E.S. P, que también entra en la anterior categorización de grupos de interés, al buscar disminuir las enfermedades transmitidas por el agua, demandando sistemas que aseguren la seguridad y eficacia del agua purificada, así como datos sobre su impacto en la salud pública. En cuanto a los usuarios finales, es decir, los consumidores, buscan un acceso conveniente y asequible a agua potable, exigiendo sistemas de fácil uso, seguros, confiables y a precios accesibles.

Continuando con la matriz, en los grupos de interés con bajo poder y bajo interés se encuentran las instituciones educativas y de investigación, las cuales desempeñan un papel esencial al contribuir al conocimiento y desarrollo tecnológico, proporcionando acceso a información para investigaciones y colaborando en proyectos de innovación destinados a mejorar la eficiencia y efectividad de los sistemas de purificación y distribución de agua potable. Por último, con alto interés y bajo poder se encuentra la comunidad local, los mayores beneficiarios de este proyecto ya que se verá directamente afectada por el acceso mejorado al agua potable.

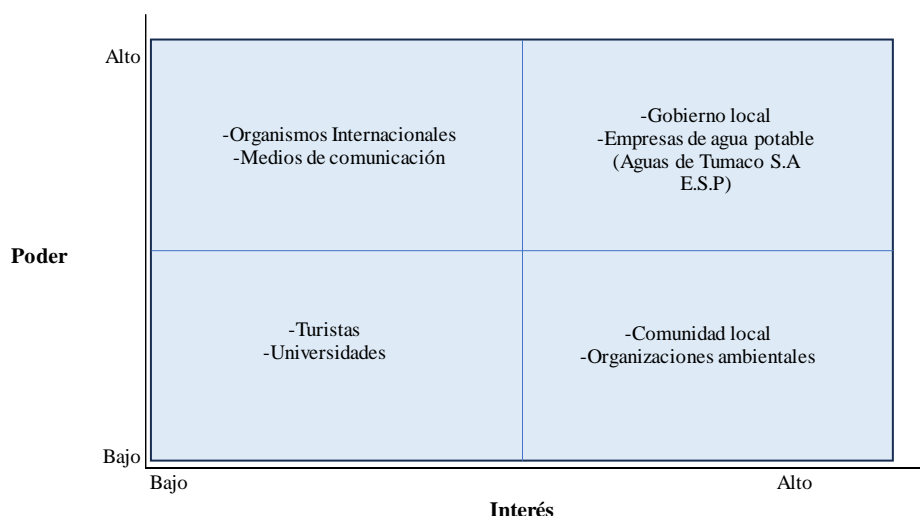


Ilustración 1. Matriz Poder vs Interés

C. Plan de recolección de datos

Una vez definida la oportunidad a abordar en el proyecto, se desarrolló el plan de recolección de datos. Este plan describe cómo se recopilará la información, los indicadores de las variables y el rol que tendrán las mismas dentro del proyecto. Después se realizará la toma de información donde se muestran la demanda de agua de la comunidad Tumaqueña y el comportamiento actual de la población del municipio para acceder a este recurso. El propósito de este procedimiento es definir variables significativas que faciliten el proceso de identificar y analizar la situación actual de los mecanismos de la población del departamento de Nariño para suplir la carencia ante esta necesidad; así, las variables de interés seleccionadas son las siguientes: Nivel de Servicio, Porcentaje de personas con acceso a agua potable, Porcentaje de ahorro e Impacto ambiental. Cada una de estas variables, se obtuvieron mediante encuestas y datos experimentales como unas fuentes de datos primarias; así como de diferentes revistas, periódicos y datos de varias fuentes gubernamentales.

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador
Nivel de Servicio (NS)	Determinar el nivel de servicio necesario para suplir la demanda de agua en el municipio de Tumaco	Se determina a través de la medición de la cantidad de mililitros entregados desde la máquina dispensadora a los consumidores con respecto a la cantidad de mililitros solicitados.	$\%NS = \frac{\text{Cantidad de litros satisfechos}}{\text{Cantidad de litros demandados}}$
Porcentaje de personas con acceso a agua potable	Identificar la cantidad de personas que se favorecen con la localización de las máquinas dispensadoras	Se establece mediante una restricción de distancia que porcentaje de la población obtiene acceso al agua potable luego de instalar las máquinas en áreas	$\% \text{ de personas con acceso a agua potable} = \frac{\text{Personas con acceso a agua potable (distancia} < 0.3 \text{ km)}}{\text{Población sin acceso a agua potable}}$

		concretas permitiendo un desplazamiento moderado	
Porcentaje de ahorro	Evaluar el impacto financiero que tendría la comunidad al adquirir el agua potable directamente desde el dispensador en comparación con la compra habitual de botellones de agua	Se refiere al cálculo del porcentaje de reducción en los gastos relacionados con el consumo de agua. Este análisis da una medida clara de la viabilidad y el beneficio económicos de implementar esta alternativa en cuanto a ahorro de costos.	$\% \text{ de ahorro} = \frac{\text{Precio por litro (garrafón)} - \text{Precio por litro (dispensador)}}{\text{Precio por litro (garrafón)}}$
Impacto Ambiental	Evaluar la disminución del impacto ambiental reduciendo el uso de materiales plásticos usados para el consumo de agua. (bolsas de agua)	Se refiere al cálculo del porcentaje de reducción de residuos plásticos generados mediante consumo de agua del sistema de suministro actual.	$\% \text{ de reducción de residuos plásticos} = \frac{\text{Residuos plásticos generados al implementar el sistema de maquinas expendedoras}}{\text{Residuos plásticos actuales generados por el consumo de agua potable}} - 1$

Tabla I. Indicadores de desempeño a medir

D. Exploración del mercado

En esta sección, se hace un análisis de las tendencias de la población Tumaqueña, tomando como referencia los datos obtenidos en la encuesta realizada por la Universidad de Antioquia a 244 personas, en su investigación titulada *Diagnóstico de saneamiento básico, agua para el consumo humano y su incidencia en la morbilidad sentida de la población del barrio El Esfuerzo 1 en el municipio Tumaco -Nariño* [4], También tomaremos datos de fuentes relevantes como lo es Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) la entidad encargada de producir y comunicar información estadística oficial para Colombia. A continuación, se presentará un Análisis de entorno y de sector que servirán para definir nuestros indicadores de desempeño.

1. Análisis de entorno

a. Entorno Político

Este municipio del pacífico se encuentra inmerso en un complejo escenario político. La dinámica local está fuertemente influenciada por la presencia de diversos actores con intereses en disputa, entre los que se destacan grupos armados ilegales, el narcotráfico, la pobreza y la débil institucionalidad. La débil presencia estatal, caracterizada por una fragmentación institucional, dificulta la implementación de políticas públicas y la garantía de derechos. Sin embargo, a pesar de las dificultades, las

comunidades y líderes sociales trabajan por la construcción de paz, la defensa del territorio y la promoción de los derechos humanos.

b. Entorno Económico

La pobreza y la desigualdad son dos de los principales desafíos que enfrenta Tumaco. El municipio ostenta uno de los índices de pobreza más altos de Colombia, con una población que carece de acceso a necesidades básicas. La economía local depende en gran medida del narcotráfico, lo que la hace vulnerable a cambios en el mercado ilegal. La falta de oportunidades de empleo e ingresos limita el desarrollo económico del municipio. Se requiere una mayor inversión en desarrollo rural, infraestructura y proyectos productivos que fomenten la diversificación económica y la generación de empleos decentes. Según el DANE se presenta el índice de pobreza multidimensional:

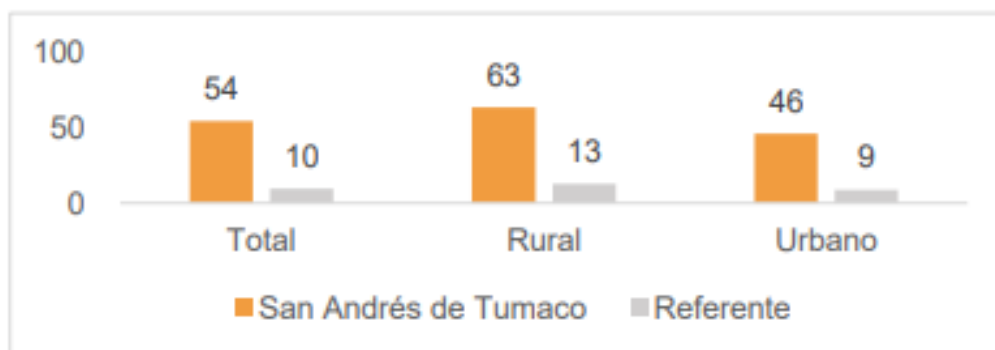


Ilustración 2. Índice de pobreza multidimensional (Censo DANE 2018) [5]

c. Entorno Tecnológico

Desde la perspectiva del proyecto, el entorno tecnológico se presenta como un desafío y una oportunidad simultáneamente. El diseño del sistema de suministro eficiente de agua potable mediante máquinas expendedoras se enfrenta a la realidad de una población con bajos niveles de alfabetización digital. Sin embargo, esta misma población representa el objetivo principal del proyecto, y las máquinas expendedoras pueden ser una solución innovadora para suplir la necesidad de acceso constante a agua potable en Tumaco, Nariño.

El diseño preliminar del sistema debe considerar estos desafíos tecnológicos y adaptarse para garantizar la usabilidad y accesibilidad para todos los usuarios, independientemente de su nivel de alfabetización digital. Esto implica identificar los requisitos de diseño en función de los componentes y subsistemas de las máquinas expendedoras, asegurando que sean intuitivas y fáciles de usar para la población objetivo. En el desarrollo del diseño detallado del sistema, se deben seleccionar cuidadosamente las tecnologías, recursos y capacidades que permitan suplir de manera constante la demanda de agua por litros por cada habitante en el municipio de Tumaco. Esto podría implicar la implementación de tecnologías de purificación avanzadas, sistemas de monitoreo remoto para el mantenimiento predictivo de las máquinas, y una interfaz de usuario simple e intuitiva.

La validación del impacto en los indicadores de desempeño económicos y técnicos también debe abordarse desde la perspectiva del proyecto. Se deben realizar análisis comparativos entre la compra de agua en máquinas expendedoras y los canales convencionales de distribución, considerando aspectos como el costo operativo, la eficiencia en la distribución, la calidad del agua suministrada y la satisfacción del usuario. Esto ayudará a respaldar la viabilidad y la efectividad del proyecto desde una perspectiva tecnológica, asegurando que cumpla con sus objetivos de mejorar la salud pública y promover el desarrollo económico local en Tumaco.

d. Entorno Sociocultural

Tumaco se caracteriza por la presencia de comunidades afrodescendientes e indígenas, que representan una parte importante de la población y poseen una rica cultura e historia. La violencia armada ha generado desplazamiento forzado y fragmentado el tejido social, creando un desafío para la construcción de una sociedad pacífica y cohesionada. Según el DANE para el año 2018 territorio fue primordialmente poblado por población étnica, de la siguiente forma:

Autoreconocimiento étnico	Casos	%
Indígena	12 025	8,71%
Gitano(a) o ROM	10	0,01%
Raizal del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	37	0,03%
Palenquero(a) de San Basilio	20	0,01%
Negro(a), Mulato(a), Afrodescendiente, Afrocolombiano(a)	112 508	81,47%
Ningún grupo étnico	6 903	5,00%
No informa	6 588	4,77%
Total	138 091	100,00%

Ilustración 3. Participación porcentual de la población según grupo étnico. (Censo Nacional de Población y Vivienda 2018) [6]

e. *Entorno Demográfico*

Tumaco tiene una población joven con una alta tasa de natalidad. La migración hacia otras ciudades colombianas ha sido impulsada por la violencia y la pobreza, mientras que se observa un aumento en la esperanza de vida, lo que implica desafíos para la atención a la población adulta mayor. De acuerdo con el ASIS suminis, el Municipio de San Andrés de Tumaco para el año 2022 tiene una población total de 257.326 habitantes de los cuales el 49,08% (126.291) son de sexo masculino y el 50,92% (131.035) del sexo femenino.

2. **Análisis de sector**

a. *Proveedores:*

La elección de los proveedores adecuados es fundamental para el éxito del proyecto. En este análisis, se identificarán los diferentes tipos de proveedores necesarios para iniciar con el proyecto cabe resaltar que dependiendo de la configuración del sistema podría haber en el futuro otros proveedores.

Proveedores de Máquinas expendedoras de agua potable:	Proveedores de Agua y Energía:	Proveedores de Insumos:
Fabricantes, empresas que fabrican y venden máquinas expendedoras nuevas. En Colombia existen variedades de empresas que crean este dispositivo por lo que dependiendo a la especificación de diseño final se escogerá el fabricante más viable.	Empresa Prestadora de Servicios Públicos, Aguas de Tumaco SA ESP, es el proveedor principal, responsable de la distribución de agua potable a través de la red pública, es nuestra principal fuente de agua para proseguir con la purificación.	Proveedores de Filtros y Accesorios, empresas que venden filtros para los dispensadores, a su vez empresas que venden vasos, tapas y otros accesorios en caso de ser utilizados.
Distribuidores, empresas que venden máquinas expendedoras de diferentes fabricantes.	Empresa prestadora de servicios eléctricos, Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P. (CEDENAR).	Empresas que ofrecen servicios de mantenimiento y reparación.

Tabla 2. Proveedores para inicio del proyecto

b. *Competidores:*

Para lograr el objetivo de diseñar un sistema eficiente de producción y distribución de agua potable mediante máquinas expendedoras que garantice el acceso constante a este vital líquido en Tumaco, Nariño, es fundamental analizar el entorno competitivo actual. Este análisis permitirá comprender las características del mercado, identificar los principales actores y definir estrategias para el posicionamiento exitoso del sistema de máquinas expendedoras. El mercado de agua potable en Tumaco presenta una variedad de competidores que se pueden clasificar en tres categorías principales:

1. Empresa Prestadora de Servicios Públicos:

Agua de Tumaco SA ESP, es el proveedor principal, responsable de la distribución de agua potable a través de la red pública. Sus ventajas incluyen una infraestructura establecida y experiencia en el sector. Sin embargo, también presenta desventajas como posibles problemas de calidad del agua y falta de flexibilidad en la distribución.

Grandes empresas nacionales y multinacionales:

- Postobón (Agua Cristal): Cuenta con una reconocida imagen de marca, variedad de presentaciones y estrategias de marketing.
- Coca-Cola (Agua Brisa): Ofrece una marca reconocida y estrategias de marketing a gran escala.

2. Empresas locales:

Ofrecen agua embotellada en presentaciones de mayor volumen, como botellones de 6 litros y bolsas. Sus ventajas radican en precios más accesibles, enfoque en el mercado local y mayor flexibilidad en la distribución. Sin embargo, presentan desventajas como menor cobertura, menor inversión en marketing y calidad del agua no siempre garantizada.

- Agua Cristal La Cascada: Se destaca por su experiencia en el mercado local.
- Agua Fresh del Grupo Alinal: Ofrece una alternativa competitiva en el mercado regional.
- Agua Mineral: Compite con las empresas locales, prestando servicios de domicilio de agua embotellada y a crédito a personas con mayor capacidad económicas.

3. Consumidores:

Según los datos de la encuesta de la Universidad de Antioquia a 244 personas del barrio El Esfuerzo en el municipio de Tumaco, se evidencia que apenas el 1 % de las viviendas adquiere agua mediante botellones y el 99% mediante el acueducto municipal, lo que lleva a pensar en la discontinuidad y poca frecuencia en el servicio. Otro dato relevante es que el 19% de la población manifiesta continuidad del servicio cada 15 días y el 81 % cada 8 días, lo que obliga a los habitantes a buscar formas de adquirir su líquido y almacenarlo, hasta que es necesario comprarlo.

Es importante examinar el proceso por el que los residentes purifican el agua que consumen, ya que existe desconfianza en el consumo directo del agua de la fuente. Por lo tanto, a continuación, se muestra un gráfico que resume esta información:

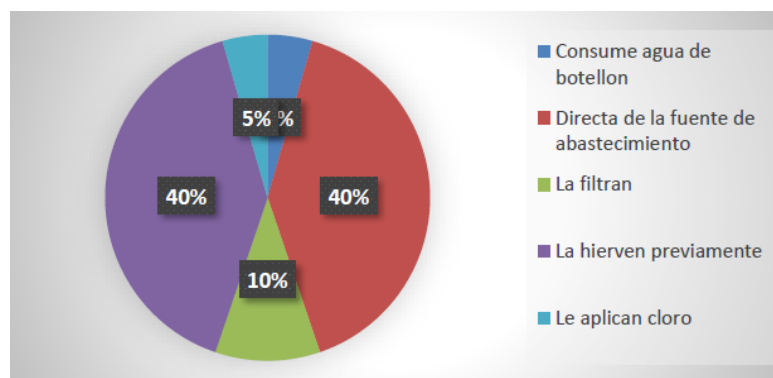


Ilustración 4. Proceso de potabilización del agua [4]

Se aprecia como el 40 % de las viviendas encuestadas hierven previamente el agua para su consumo, otro 40 % la toman directamente de la fuente de abastecimiento, un 10 % aplican métodos de filtración, un 5 % consumen agua de botellón y un 5 % le aplican cloro. Así, tras el diagnóstico entregado por la investigación mencionada se aprecian las condiciones actuales por las que pasa el municipio de Tumaco. Donde se pueden observar bastantes deficiencias como la carencia de alcantarillado básico, la falta de acceso a agua potable de manera continua y sin interrupciones, lo que conlleva a un nivel de riesgo medio para el consumo humano, en relación con su potabilidad. Por esto, el esfuerzo de las familias por obtener agua potable no es

suficiente para asegurar la potabilidad del agua apta para el consumo humano según los estándares nacionales, como el IRCA. A continuación, se presentará un análisis de entorno y de sector más detallado en esta región.

Tras realizar un análisis exhaustivo de la explorar el mercado, junto con la recolección de datos pertinentes, se ha generado una visión clara de los indicadores de desempeño clave para el proyecto. La Tabla 3 presenta una comparación entre el estado actual de estas variables y las metas establecidas. Estos indicadores son fundamentales para evaluar el éxito del proyecto en términos de eficiencia operativa, calidad del servicio y satisfacción del usuario. Su seguimiento continuo permitirá ajustar estrategias y acciones para asegurar que el diseño y la implementación del sistema de distribución de agua potable mediante máquinas expendedoras cumpla con los objetivos planteados y genere un impacto positivo en la comunidad de Tumaco, Nariño.

Variable	Actualidad	Meta
Nivel de Servicio (NdS)	Actualmente no se conoce la demanda total determinada de litros de agua	Nivel de servicio => al 98%
Porcentaje de personas con acceso a agua potable	Las personas con acceso a agua potable son el 40%	Se espera alcanzar un 90%
Porcentaje de ahorro	Precio garrafón agua: 20L = \$16.000	Proporcionar un porcentaje de ahorro >= 20%
Impacto Ambiental	Actualmente se conoce para el año 2019, el Municipio de Tumaco en su zona urbana generó un total de 101.394 Tn/día de residuos, los cuales son llevados a disposición final al relleno sanitario de Buchelly.	N/A, A determinar

Tabla 3. Resultados de indicadores de desempeño

Teniendo en cuenta estos resultados, se espera poder mejorar significativamente los indicadores mencionados anteriormente esto mediante la implementación de las máquinas expendedoras pues se evidencia una oportunidad tanto de ahorro monetario para los habitantes de Tumaco, así como una disminución de plásticos de un solo uso, obteniendo ventajas para la salud del ecosistema del municipio de Nariño y de las personas que residen allí.

E. Análisis de oportunidad

En el sector de las aguas embotelladas para consumo humano, se encuentra una gran variedad de marcas, presentaciones, tamaños e incluso sabores. Opciones que día a día han crecido y variado de manera exponencial desde el 2010, hasta la actualidad, pues para ese año y a nivel mundial se consumieron 794,1 millones de litros y para el siguiente, aumentó hasta 946,6 millones de litros, donde se puede confirmar que el volumen del mercado creciera 19.6% con una tendencia positiva del 3.6% por año [7].

De esta manera, en el rango de consumo básico para la población colombiana se concluye que este está alrededor de veinte metros cúbicos⁷ (20 m³) mensuales por habitante. [8]. Según la tabla que se encuentra a continuación, se puede clasificar mejor el consumo de agua en la zona de Tumaco, a 2 metros sobre el nivel del mar, con un consumo básico de 16 m³ / suscriptor o habitante / mes.

CIUDADES	CONSUMO BÁSICO
Ciudades y municipios con altitud promedio por encima de 2.000 metros sobre el nivel del mar	11 m ³ /suscriptor/mes
Ciudades y municipios con altitud promedio entre 1.000 y 2.000 metros sobre el nivel del mar	13 m ³ /suscriptor/mes
Ciudades y municipios con altitud promedio por debajo de 1.000 metros sobre el nivel del mar	16 m ³ /suscriptor/mes

Ilustración 5. Rangos de consumo básico por clima.

Ahora en cuestión de cantidades de agua que un ser humano debe ingerir para equilibrar la pérdida de líquido a través de la respiración, sudoración, deposiciones y orina, se recomienda consumir las siguientes cantidades según [9]. Así, se realiza la relación de consumo de agua para hombres y mujeres, obteniendo así el consumo diario en litros, de 3.19.

	Consumo recomendado (L/día)	Población en Tumaco	%	Consumo (consumo L*persona/día)
Hombre	3.7	67497	49%	1.81
Mujer	2.7	70594	51%	1.38
Total		138091		3.19

Ilustración 6. Consumo diario de agua por persona en Tumaco.

Al conocer los requerimientos básicos de consumo y uso humano de agua potable y la situación actual de Tumaco, se pretende ampliar la información del sistema de servicios a diseñar.

Respecto a las máquinas expendedoras, estas tienen una historia que se remonta a tiempos antiguos. Desde la dispensación de agua bendita en un templo en Alejandría en 215 a.C. hasta los modernos dispensadores de bebidas preenvasadas, evolucionados en funcionalidad y propósito a lo largo de los siglos. En la actualidad, estas máquinas requieren de una red de soporte activa que incluye fabricantes de máquinas, fabricantes de productos, operadores, personal de servicio y propietarios de ubicaciones para garantizar su correcto funcionamiento y mantenimiento. Siendo estas clasificadas en dos categorías [10].

1. Bebidas preenvasadas: Donde el fabricante tiene la posibilidad de controlar el sabor del producto y temperatura del producto.
2. Servidas en vaso: El operador de la máquina es responsable tanto de preparar una bebida de buen sabor como de mantener la seguridad necesaria para atraer al consumidor.

Es por esto, que, en relación con lo mencionado, se introducen las máquinas expendedoras de agua potable, calificadas en la segunda categoría. Las cuales se encargan de almacenar, enfriar y dispensar agua en el lugar en el que sean ubicadas, donde los usuarios cumplen en papel de traer sus propios envases, vasos o porrones para que así sean llenados, esto a cambio de un pago por medio de billetes, monedas o inclusive, tarjetas debito/crédito. En relación con su funcionamiento, estas máquinas se conectan a la red hidráulica existente (acueducto municipal), pasando por una filtración en serie con el eliminar partículas disueltas y posibles contaminantes presentes en el suministro dado a que muchas veces las plantas de tratamiento municipales no cumplen con los estándares de potabilidad. También es necesaria la conexión a energía eléctrica y un drenaje para el desecho de aguas grises. De esta manera y partiendo de estas funciones básicas las cuales hacen parte de las máquinas expendedoras de agua, se presenta una breve ficha técnica para la idea de diseño actual.

FICHA TÉCNICA MÁQUINA DISPENSADORA DE AGUA POTABLE EN TUMACO NARIÑO	
Capacidad de purificación	100 L/Hora
Capacidad de almacenamiento	120 L
Requerimientos físicos	Acceso a red hidráulica, energía eléctrica, drenaje

Tabla 4. Ficha técnica (preliminar)

Al tener una capacidad de purificación de 100 litros por hora, se tienen al mes 72.000 litros de agua al mes purificados, asumiendo que cada vez que se extrae la máquina purifica el agua, daría abasto para suplir los requisitos diarios de consumo de 752 personas. Teniendo así, una capacidad de purificación de 864.000 litros de agua purificados al año, por máquina, donde cabe resaltar que es necesario la implementación de más de estas, para poder así cumplir con un nivel de servicio alto o aceptable teniendo en cuenta que la demanda se basa en la población total del municipio. A continuación, se aprecian imágenes referentes del producto.



Ilustración 7. Máquina expendedora de 9 etapas con ósmosis inversa agua. Fuente: EBay.



Ilustración 8. Californians are turning to vending machines for safer water. Are they being swindled? Fuente: The Guardian, John Francis Peters.

Teniendo una idea más clara del concepto de diseño, se establecen las tres P para el proyecto en cuestión.

Plaza

Para la localización de las máquinas, es indispensable el acceso a la red hidráulica. Asimismo, deben ser lugares donde haya alta densidad de población y facilidad de transporte o parqueo para los usuarios, lugares como supermercados de cadena, cerca de parques públicos, universidades y colegios, y áreas de recreación y diversión. Teniendo en cuenta la ubicación de los dispositivos, se ha establecido una distancia moderada de adquisición del recurso; es decir, se han considerado los 38 km² de zona urbana que tiene Tumaco, para establecer que las personas que carecen de agua potable ocupan aproximadamente 22,8 kilómetros cuadrados del territorio total habitado, es por ello que se ha estimado un radio de 300 metros de desplazamiento en los que las personas tendrían que caminar para obtener este recurso.

Producto

Máquina expendedora de agua potable diseñada para acceder a este líquido de manera constante para el consumo humano, con capacidad de almacenamiento de 120 litros y de purificación de 100 litros/hora. Inicialmente la máquina está diseñada para llenar recipientes de tres tamaños, 1 litro, 5 litros y 20 litros, con precios distintos para cada tamaño deseado y con diferentes medios de pago mediante billetes, monedas o inclusive, tarjetas debito/crédito.

Precio

Para la fijación del precio de venta se realiza una breve investigación de los precios del mercado, donde se analizan diferentes marcas y tamaños de venta.

Producto	Litros	Precio	Precio/litro
Agua Cristal Postobon (Porrón)	20	\$ 14,590	\$ 729.50
Agua Cristal Botella	0.6	\$ 1,800	\$ 3,000.00
Agua Cristal Familiar	3.15	\$ 4,200	\$ 1,333.33
Agua Brisa Sin Gas	0.6	\$ 1,300	\$ 2,166.67
Agua Manantial Sin Gas	1.5	\$ 4,500	\$ 3,000.00
Agua Cristal	0.3	\$ 598	\$ 1,993.06
Agua Brisa Sin Gas	6	\$ 8,510	\$ 1,418.33
Agua Cristal Garrafa	5	\$ 8,610	\$ 1,722.00
			\$ 1,920.36

Ilustración 9. Precios del mercado

Donde es posible apreciar que el precio promedio por litro de las ocho presentaciones analizadas es de \$1,920.36.

Luego, se realiza un presupuesto mensual que representa los costos de la instalación de una máquina, para tener una idea más precisa del posible precio final y compararlo con el precio productos similares haciendo un estudio de mercado superficial. A continuación, se presenta la discriminación de los costos asumidos y/o investigados.

(Valores Aproximados)

Precio máquina	\$ 7,972,390	
Consumo de energía	53.7 kWh/mes	
Costo de energía	\$ 37,138.92	Mensual
Mantenimiento	\$ 1,983,826	
Capacidad de purificación	72000 Litros/mes	
Costo de agua	\$ 140,000	Mensual
Total	\$10,133,355.12	
Total + Imprevistos (Imprevistos 5%)	\$15,200,032.68	Mensual
(Total + Imprevistos)/ Capacidad de purificación)	\$ 211	Costo por litro a producir
Precio de venta	\$ 500	Litro
Utilidad	58%	

Ilustración 10. Costos

Siendo así, al tener un precio de venta de \$500/litro y una utilidad del 58%, se presentan los tres tipos de llenados disponibles con los que cuenta la máquina:

Tamaño [litros]	Precio de venta
1	\$ 500
5	\$ 2,500
20	\$ 10,000

Ilustración 11. Precios de venta y presentaciones.

Finalmente, con esta fijación de precios se puede concluir que la adquisición de agua para el consumo diario humano es conveniente mediante máquinas expendedoras de agua, pues el litro de agua en el mercado es de \$1.920.36, mientras que, mediante máquinas, el litro es de \$500. Un valor significativamente inferior el cuál muestra la viabilidad económica para la localidad Tumaqueña.

F. Objetivos

Diseñar un sistema de suministro y distribución eficiente de agua potable mediante máquinas expendedoras, con el propósito de garantizar acceso constante de agua potable, mejorar la salud pública y promover el desarrollo económico local en Tumaco, Nariño.

- Definir el diseño preliminar del sistema de distribución de agua potable de máquinas expendedoras mediante la identificación de los requerimientos de diseño en función de sus componentes y subsistemas.
- Desarrollar el diseño detallado del sistema de distribución de agua potable de máquinas expendedoras mediante la definición de sus tecnologías, recursos, capacidades y localización, para atender el máximo número de personas a un costo razonable.
- Validar el desempeño operacional del sistema de compra de agua mediante máquinas expendedoras.

G. Revisión de literatura

En esta sección como resultado de la revisión de literatura, haciendo uso de las siguientes palabras clave Dispensador, agua potable, suministro, consumo, máquinas expendedoras, purificación; se realizó una búsqueda de trabajos de investigación que proporcionaron una visión integral de los desafíos y oportunidades en el campo del suministro de agua potable, con el objetivo de promover prácticas que contribuyan al bienestar de las comunidades y al cuidado del medio ambiente.

En primer lugar, se revisaron trabajos de investigación relacionados con la importancia del consumo y abastecimiento de agua potable, destacando los estándares de calidad y la promoción de prácticas que contribuyan al bienestar de las comunidades y al cuidado del medio ambiente. En segundo lugar, se revisaron trabajos de investigación relacionados con la caracterización de tecnologías innovadoras y ecológicas para garantizar a la población el acceso equitativo y sostenible de agua, y estos trabajos permitieron caracterizar y analizar diferentes tecnologías, que pueden aplicarse en el proyecto, que tiene el propósito en primer lugar desde el ámbito social aumentar la calidad de vida, al dar soluciones eficientes y competitivas que den respuesta a las necesidades de la población; en segundo lugar, fortalecer el desarrollo económico del municipio aprovechando los recursos disponibles y garantizando la sostenibilidad del consumo de agua potable.

En la primera parte de la revisión, orientada a la importancia del consumo y abastecimiento de agua potable, se encontró que la mayoría de la población tiene preferencia por el agua purificada destacando el cuidado del medio ambiente; lo que se sustenta con los siguientes trabajos:

Abigail Orús (2024) realizó un proyecto que se encarga de resaltar el área industrial de bebidas sin concentración alcohólica, donde resalta que para el año 2023, el agua embotellada es la de mayor consumo por la población. representando un 34.6%, en comparación con otras bebidas como los zumos de frutas, refrescos carbonatados y bebidas con alcohol, entre otros. Asimismo, encontró que para 2021, la ingesta mundial sobrepasó los 450.000 millones de litros, lo que la posicionó como la principal bebida

envasada. A pesar de esta respuesta, no es ni mucho menos el segmento más rentable de este subsector alimentario, dominado por los refrescos. De hecho, los ingresos combinados de agua y jugo se duplicaron en 2021. Esta tendencia se repite cada año, sobre todo gracias a un país como Estados Unidos [11].

Además, Deossa y Rodríguez (2019), encontraron la investigación acerca del consumo de diferentes tipos de bebidas para la ciudad de Medellín, Colombia, que el agua es el producto de mayor preferencia, también concluyen que el 80% de los participantes en el estudio manifiestan consumir agua de manera frecuente, siendo esta la principal opción para llegar a una buena hidratación. Además, afirman conocer las recomendaciones de consumo diario de este líquido y los beneficios que ofrece para mantener una buena salud [12].

Las preferencias de los consumidores se orientan hacia una buena y consciente elección al escoger sus bebidas, aunque se tiene competencia con las bebidas saborizadas, alcohólicas, energizantes e incluso jugos naturales, el café y demás, pero cada día son más las personas que prefieren el agua por sus múltiples beneficios, inclinándose hacia esta elección fundamental, apuntándole a una sociedad más saludable.

A continuación, se presenta el análisis de los trabajos de investigación que nos permiten hacer una caracterización de las diferentes tecnologías innovadoras que podemos considerar en nuestro proyecto de diseño.

En primer lugar, Jairo Humberto Escruceria Quiñones (2021), realizó una evaluación con respecto a la viabilidad de instalación de un equipo para el municipio de Tumaco ubicado en Nariño, Colombia. En este trabajo hizo un análisis para evaluar la eficiencia en la implementación del equipo Watergen para el suministro de agua potable como es una solución sostenible, el estudio resalta que ante la escasez de agua potable que sufren muchas zonas en diversos por sequías o por falta de acueductos, la Watergen es una máquina capaz de convertir el aire en agua, se ajusta a las necesidades reales de la población, garantizando un impacto positivo para la salud pública y el desarrollo económico de la población [13].

Por otro lado, Reyes y Noguera en el 2021, llevaron a cabo una evaluación de la viabilidad de un plan de negocios que se encargaría de dispensar agua potable a través de máquinas automáticas en la capital colombiana. El proyecto tuvo como objetivo mitigar la problemática ambiental generada por el uso de botellas plásticas para envasar agua, ya que el uso de estos materiales genera un impacto negativo sobre los diferentes ecosistemas debido a su elevado tiempo de degradación debido a su composición química, los resultados arrojaron que el 96% de las personas encuestadas consumen por lo menos una botella de agua por semana, el 89% utilizaría la máquina dispensadora; el análisis financiero indica que el proyecto es atractivo para el consumidor y genera un valor agregado para la empresa [14].

Otro trabajo analizado fue el de Bonilla Granados; Tarazona y Caicedo (2022), ue tenía como objetivo de estudio realizar un análisis estadístico del consumo de agua potable residencial en Toledo. Se emplan los registros tomados por la empresa de distribución de agua potable y los reportes realizados durante cada mes en el año 2021. El estudio logró determinar el consumo promedio mensual, obteniendo resultados que evidencian que el consumo mensual promedio en los estratos 1, 2 y 3 fue similar durante el año de análisis con un gasto de 13 metros cúbicos (m³) y en el estrato 4 el consumo fue de 9 m³, estos resultados Finalmente se realizó un análisis comparativo de los consumos calculados y los valores recomendados con la normativa vigente en Colombia y se determinó que los valores cálculos para Toledo se encuentran por debajo del gasto máximo establecido por la normativa [15].

Al realizar la revisión literaria, se tuvo en cuenta una investigación realizada por Monserrat Gómez Valdez; Jacinta Palerm Viqueira en el 2015, el estudio destaca la importancia de garantizar el acceso de la población al agua de calidad. En un contexto donde el crecimiento urbano rápido y desordenado ha generado un déficit en el abastecimiento de agua por la red de agua potable, los habitantes de este lugar junto a entes gubernamentales encontraron como solución los camiones cisterna, convirtiéndose así en una alternativa fundamental para satisfacer las necesidades de los consumidores, especialmente en áreas entre lo rural y lo urbano. La investigación resalta que el abasto de agua por pipas no se limita únicamente a aquellos pobladores sin conexión a una red de agua potable, sino que también se utiliza en casos de fallas en la red de suministro, problemas de calidad del agua, y para atender la demanda de servicios en hoteles, restaurantes y gasolineras. En este sentido, la investigación resalta la importancia de implementar políticas públicas efectivas y fomentar la participación comunitaria en la gestión del agua potable. Se destaca la

relevancia de promover un uso sostenible de los recursos hídricos, así como de garantizar un acceso equitativo y seguro al agua potable para todos los habitantes del Valle de Texcoco y áreas circundantes [16].

Así mismo se optó por estudios realizados en diferentes entornos como en análisis frente a la demanda de agua en una universidad ubicada en el departamento de Risaralda, Colombia, en donde se evidencia una contribución significativa al campo de la gestión del agua en entornos educativos. Con un enfoque que incluyó la identificación de los componentes del sistema de suministro de agua en el edificio, una clasificación detallada de los usuarios del agua y una medición precisa de los consumos individuales. Los resultados de este análisis revelan que la normativa colombiana (NTC 1500 de 2004) establece criterios de referencia para el consumo de agua en centros educativos que no se ajustan a la realidad actual como es el caso de la curva de la demanda mostrada en la gráfica Hunter de la Norma Técnica Colombiana, regulando valores superiores a los consumos presentes en estas instituciones. Esta situación daría así una señal incorrecta para los programas de uso eficiente del agua, este estudio, se convierte en una herramienta de gestión que permitirá evaluar la tendencia del uso del agua en la institución y verificar el desempeño de los programas implementados para optimizar el uso de este recurso, lo cual puede llevar a brindar beneficios económicos y ambientales. Estos resultados fueron concluidos por medio de la propuesta de un modelo matemático para calcular el consumo de agua en centros educativos para optimizar el uso de los recursos hídricos en el ámbito educativo. En este contexto, el estudio no solo aumenta la comprensión de los hábitos de consumo de agua en instituciones educativas, sino que también establece las bases para el diseño e implementación de estrategias y programas orientados a la sostenibilidad ambiental. La implementación de las recomendaciones derivadas de este estudio podría ser fundamental para impulsar prácticas de gestión del agua más eficientes y sostenibles tanto en instituciones educativas como a nivel social [17].

En este mismo sentido Mesía y Pamela en el 2022, realizaron un trabajo de investigación de gran interés para el presente proyecto de diseño, titulado Plan de negocios para la creación y constitución de una planta de agua purificada. El objetivo fue crear una planta de agua purificada en la ciudad de Reque para satisfacer a las necesidades de los consumidores. El estudio realizó un estudio de mercado, donde evaluó la demanda y oferta con base a gustos y preferencias de los clientes potenciales. Así, el proyecto llega a la conclusión de la necesidad de la venta de agua purificada con máquinas expendedoras de agua para reducir el consumo de botellas plásticas y concienciar a la población sobre el cuidado del medio ambiente. Cabe resaltar que se hizo uso de análisis como el FODA Cruzado, las cinco fuerzas de Porter, lienzo lean canvas, business model canvas y el análisis de macroentorno, herramientas que en un tiempo después, podrían usarse para el desarrollo del proyecto enfocado en Tumaco [18].

Como referencia, es posible evidenciar que la recopilación de datos sobre el consumo de agua potable muestra preocupación por garantizar el acceso a este recurso vital para la población donde se realizaron estos estudios, reconociendo así el derecho que tiene la población de consumir agua de calidad. Además, al momento de analizar los datos por estratos socioeconómicos, se pueden identificar patrones de consumo y comparar el acceso al agua potable entre distintos grupos de la sociedad, lo que evidencia la importancia de asegurar un acceso equitativo al recurso. Los estudios también resaltan el consumo promedio mensual de agua potable en diferentes estratos, lo cual está directamente vinculado con la salud y el bienestar de los habitantes, lo que deja en evidencia que estos aspectos contribuyen a conocer la demanda de agua, identificar áreas para mejorar la eficiencia hídrica y promover un uso sostenible de los recursos, lo cual refleja la preocupación por el desarrollo sostenible y la eficiencia en el uso del agua. Este enfoque hacia el consumo de agua potable no solo se centra en aspectos estadísticos, sino que también resalta la importancia del valor social en el suministro de este recurso vital. La participación comunitaria en la gestión del agua es fundamental para diseñar estrategias que se adapten a las necesidades reales de la población, promoviendo así un acceso equitativo al recurso.

Concluyendo, en esta revisión de literatura se han explorado tecnologías destacadas en máquinas expendedoras de agua, además de la importancia de la aplicación de estas para el correcto suministro de agua potable y el efecto que tienen en las poblaciones donde se han realizado estos proyectos. La primera, Full-size Vending Units, destaca por su eficiente sistema de filtración de agua y su amplia disponibilidad en diversas ubicaciones comerciales. Su proceso de purificación consta de dos etapas: filtración de carbón para eliminar impurezas y esterilización ultravioleta para desinfectar el agua, asegurando así una calidad óptima. Por otro lado, Bulk water vending, representada por el modelo WM- 100 de AQUA STAR INTERNATIONAL, sobresale por su capacidad de producción y su avanzado tratamiento de agua. Este tratamiento abarca desde la eliminación de sedimentos y contaminantes hasta la desinfección ultravioleta, garantizando un suministro de agua seguro y limpio. Finalmente, BLU2GO es una innovadora opción con una experiencia personalizada de compra, con varias opciones y mejor accesibilidad para usuarios

con discapacidad, BLU2GO promueve el uso de botellas reutilizables, ofreciendo la oportunidad de llenar y limpiar varios tipos de botellas. Su sistema de purificación combina lámparas UVC, un doble sistema de microfiltración y una filtración de alta eficiencia energética, asegurando que el agua dispensada sea de la más alta calidad y seguridad para el consumo humano, mientras fomenta prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Es importante destacar que todas estas tecnologías comparten la versatilidad en métodos de pago, aceptando tanto tarjetas débito/crédito como efectivo, lo que las hace accesibles para una amplia gama de usuarios. En este contexto, nuestra propuesta se alinea con estas tendencias, pero nos desafía a la oferta de una máquina expendedora de agua que integre lo mejor de las tecnologías existentes, mientras establece nuevos estándares de calidad, sostenibilidad y una experiencia satisfactoria del usuario en el mercado. Finalmente, se presenta un cuadro comparativo que facilita el entendimiento y comparación entre las tecnologías consideradas.






Nombre	Localización	Medio de pago	Ubicaciones/Aplicaciones/Novedades	Capacidad de almacenamiento [litros]	Capacidad de llenado [litros]
Full-size Vending Units	Minnesota, US		Tiendas de conveniencia y naturistas, almacenes de agua, farmacias, supermercados	45	1, 2, 3, 5
Bulk water vending	Arizona, US		Lugares abiertos como parqueaderos y lavaderos de carros		1, 2, 3, 4, 5
WM-100	Arizona, US		Apagado automático cuando el tanque de almacenamiento de agua está vacío	45	1, 2, 3, 4, 5
BLU2GO	US		Pantalla con menú de fácil acceso, para garantizar su uso para personas con discapacidad	40	0.75, 0.5, 5
Window Vend water vending machine	California, US		Almacenes de agua y otras operaciones minoristas de agua en América del Norte		1, 2, 3, 4, 5
WLH2 Firewall Bar Clase Series	Bogotá, Colombia		Opciones de agua (fría) y con gas	21	<= 160 (diarios)

Ilustración 12. Comparación de tecnologías

II. DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR

A. *Requerimientos del cliente*

Al tener los grupos de interés identificados gracias a la matriz Poder vs Interés es posible tener claro su intervención y rol que desempeñan en el desarrollo del proyecto, es por esto, que la identificación de los requerimientos que estos solicitan es de gran importancia al encaminar las expectativas del proyecto y la verificación de las metas y alcance propuesto inicialmente. Siendo así, se pretende expresar seguimiento y apoyo a la correcta toma de decisiones mediante el árbol de objetivos. Donde se presenta un objetivo de primer nivel y, seguidamente, cuatro de segundo nivel, que representan un objetivo frente al funcionamiento del proyecto y las actividades a realizar.

Primer nivel			
Diseñar un sistema de producción y distribución eficiente de agua potable de máquinas expendedoras en Tumaco, Nariño.			
Objetivo segundo nivel	Objetivo segundo nivel	Objetivo segundo nivel	Objetivo segundo nivel
Diseñar un sistema que pueda brindar al menos 3 litros de agua al día por habitante.	Garantizar una buena y alta calidad de agua para los usuarios.	Ofrecer precios competitivos y asequibles que impulsen la compra de agua mediante las máquinas expendedoras.	Garantizar la integridad de la estructura frente a posibles robos o vandalizaciones
1	Determinar la demanda de la población objetivo	1	Implementar actividades regulares de mantenimiento que garanticen el buen funcionamiento de las máquinas
2	Aplicar principios de diseño para la captación y almacenamiento del agua de manera eficiente	2	Procurar una comunicación constante entre la empresa de Aguas de Tumaco y los operarios, asegurando una coordinación eficiente y una transmisión fluida de información para el óptimo funcionamiento de las máquinas
		3	Implementar un proceso evaluativo con respecto al impacto ambiental y social que permita identificar los efectos en el entorno y en la comunidad
		4	Aplicar planes de gestión y operación del sistema, que incluyan procedimientos para garantizar el cumplimiento continuo de las normativas y estándares
		1	Concientizar sobre la importancia de usar envases reutilizables o retornables para así disminuir el uso de plásticos
		2	Analizar el panorama económico de la población para así realizar los respectivos establecimientos y ajustes de los precios de venta
		1	Ubicar las máquinas en zonas comerciales y de alto tránsito
		2	Contratar aseguradoras que cubran económicamente los daños generados por posibles actos de vandalismo
		3	Intalar cámaras de seguridad o bien sea crear alianzas con empresas de seguridad

Ilustración 13. Árbol de objetivos

Posteriormente, mediante la tabla VoC (Voice of customer) se busca conocer las expectativas y experiencias que tienen los clientes, en este caso grupos de interés, en relación con el producto propuesto. Esto mediante el análisis de las restricciones, especificaciones de diseño y normativas exigidas para cada uno de los involucrados en los grupos de interés.

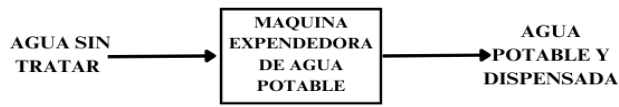
Grupo de interés	VoC (Requisitos)	Restricciones de diseño	Especificaciones de diseño	Leyes, normativas y estándares	
				Legislación y requisitos aplicables	Importancia o efecto
Organismos Internacionales	Cumplimiento de estándares de calidad de agua potable a nivel internacional y el aseguramiento en el acceso equitativo a agua potable como un derecho fundamental	Establecimiento de estándares de calidad para este tipo de máquinas	Filtrado de agua seguro y avanzado, pruebas de seguridad para el consumo humano	Reglamento Sanitario Internacional RSI-2005 (OMS)	En esta política se busca evitar y prevenir la propagación internacional de enfermedades, proteger contra esa propagación, controlarla y darle una respuesta de salud pública [20]
Medios de comunicación	Difusión del proyecto enfatizando en la importancia para la salud pública y el impacto positivo que el proyecto trae a la comunidad	Presentación de la información y comunicación para la difusión del proyecto	Diseño moderno, de fácil uso e intuitivo, información transparente y fiable de las máquinas	Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali, Acuerdo 0373 de 2014, en su artículo 91	Teniendo como punto de partida la universidad Javeriana Cali, en donde se elaboró el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA) en el cual se plasman las directrices para el diagnóstico y la formulación de los planes de uso eficiente y ahorro del agua. Las universidades tienen también un efecto importante ayudando a la adaptación de sistemas de gestión ambiental de su entorno aportando un compromiso con el ambiente, buscando armonizar y disminuir los impactos negativos, relacionados con la demanda de bienes y servicios del recurso hídrico [21]
Turistas	Buscan mejorar su experiencia al visitar Tumaco al tener acceso a agua para su consumo	Información en inglés para turistas extranjeros	Uso, precios y demás detalles en Inglés		
Universidades	Proyectos enfocados en el impacto del acceso a agua potable en el bienestar y salud de la comunidad local				
Gobierno local	Mejorar la calidad de vida de los Tumaqueños, priorizando la implementación del proyecto como muestra de su responsabilidad y compromiso	Garantizar y facilitar la participación de todos los habitantes	Diseños incluyentes y ergonómicos para personas con discapacidades	LEY 142 DE 1994	Esta ley tiene como fin garantizar la calidad del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios; además de prestar una atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico [22]
Empresa de agua potable (Aguas de Tumaco S.A. ESP)	Aumentar el alcance que tiene contribuyendo al acceso a agua potable	Acuerdo de acceso directo a la red hidráulica para el funcionamiento de las máquinas	Cortes o desabastecimiento de agua, por lo que es necesario tener reservas o bien sea, tanques de almacenamiento	LEY 373 DE 1997	El programa de uso eficiente y ahorro de agua, será monitoreado cada cinco años, deberá estar basado en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, debe contener campañas educativas a la comunidad, la utilización de aguas superficiales, lluvias y subterráneas y otros aspectos que definen las Corporaciones Autónomas Regionales [23]
Comunidad local	Ubicación de las máquinas en lugares seguros y convenientes, también precios asequibles o incluso un servicio gratuito	Ubicación y precios sensible a las necesidades y situación económica	Precios razonables, búsqueda de convenios con el gobierno para la promoción de acceso a esta agua de manera gratuita		
Organizaciones ambientales	Proyecto sostenible y amigable con el medio ambiente, uso de materiales o envases retornables y reutilizables. Vigilancia de la no causación de impactos negativos o en el uso de agua para diferentes fines	Desuso de materiales plásticos o contaminantes. Consante vigilancia para procurar una práctica de las máquinas	Agregar en las máquinas información la importancia del uso de materiales reutilizables	LEY 373 DE 1997	Esta ley destaca que todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar o obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua [23]

[19] [20] [21] [22]

Tabla 5. VoC grupos de interés.

B. Análisis funcional

Desde una perspectiva sistémica, el diseño y funcionamiento de las máquinas expendedoras de agua potable se caracteriza por la interconexión y colaboración de diversos subsistemas que trabajan en armonía para alcanzar un objetivo común: proporcionar agua potable de manera segura y conveniente. De esta manera, se presenta gráficamente un análisis y diagrama de la caja negra para hacer énfasis en los subsistemas involucrados en el proyecto y establecer sus funciones.



SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

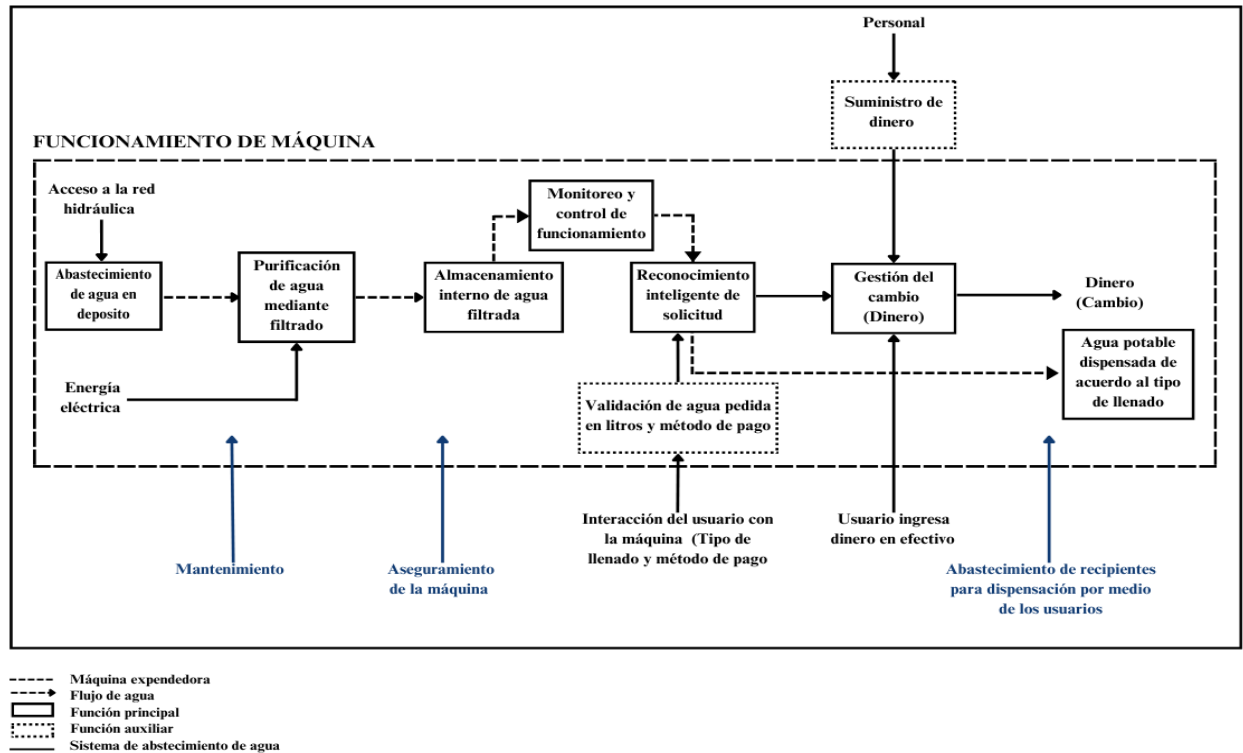


Ilustración 14. Establecimiento de funciones.

El proyecto, ampliando la información de la ilustración anterior, tiene el subsistema de gestión de dinero, que actúa como interfaz principal entre la máquina y el usuario, facilitando el intercambio de valor mediante la aceptación y validación de pagos. Al interactuar con el usuario, este subsistema genera datos fundamentales que alimentan otros procesos dentro del sistema, como el registro de transacciones y la generación de informes financieros para análisis posteriores. Esta colaboración entre el subsistema de gestión de dinero y los demás permite una gestión eficiente de los recursos financieros y una mejor comprensión de los patrones de consumo.

El subsistema de mantenimiento se encarga de monitorear y preservar el correcto funcionamiento de la máquina en el tiempo. Utilizando sensores integrados, recopila datos sobre el estado operativo de los componentes, detectando posibles fallos o irregularidades. Estos datos son procesados por algoritmos de diagnóstico, los cuales generan alertas para el personal técnico, permitiendo la ejecución de mantenimiento preventivo o correctivo de manera proactiva. Esta colaboración entre el subsistema de mantenimiento y los demás asegura la disponibilidad continua del servicio y minimiza el tiempo de inactividad, optimizando así la experiencia del usuario.

El subsistema de almacenamiento y dispensación de agua, otro componente esencial del sistema se encarga de garantizar la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. Utilizando tanques diseñados para preservar la pureza del agua, así como sistemas de filtración y purificación, este subsistema asegura que el agua dispensada cumpla con los estándares de potabilidad y sea segura para el consumo humano. La colaboración entre este subsistema y los demás asegura que el agua dispensada sea de alta calidad y esté disponible en todo momento.

Finalmente, el subsistema de seguridad protege tanto los activos físicos de la máquina como la seguridad de los usuarios. A través de medidas de seguridad física y tecnológica, como cerraduras resistentes, cámaras de vigilancia y sistemas de alarma, este

subsistema previene robos, vandalismo y otros actos delictivos, asegurando así la integridad estructural de la máquina y la tranquilidad de los usuarios durante su uso. La colaboración entre este subsistema y los demás garantiza un entorno seguro para la operación de la máquina y la satisfacción del usuario. Además de los subsistemas mencionados, hay aspectos adicionales que influyen en el funcionamiento de una máquina expendedora de agua potable y que son importantes para garantizar su eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.

La calidad del agua es un aspecto crucial que debe considerarse en cualquier sistema de dispensación de agua potable. Es fundamental garantizar que el agua dispensada cumpla con los estándares de potabilidad y sea segura para el consumo humano. Para lograr este objetivo, se deben implementar sistemas de filtración y purificación eficientes, donde se evidencien las especificaciones con respecto a la calidad del agua potable en un sistema de dispensación, resaltando la importancia de la misma en los aspectos referentes la salud pública, ya que una calidad deficiente en un sistema de distribución puede generar un riesgo negativo para la salud humana. En Colombia la Política Pública Nacional de monitoreo y control de la calidad del agua potable para consumo humano, establece que es fundamental garantizar que este recurso hídrico cumpla con los principios de calidad fisicoquímico y microbiológico. Para lograr este objetivo, de deben implementar sistemas que cumplan con estas características desde el Decreto 1575 de 2007, el cual establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, y la Resolución 2115 de 2007, por medio del cual se señalan las características químicas, biológicas, y la frecuencia del sistema de control y vigilancia para consumo humano, además de la aptitud de este líquido vital. Por otro lado, la sostenibilidad juega un papel fundamental en el proceso de dispensación del agua. Utilizar tecnologías eco amigables y reducir la producción de residuos, contribuye a la protección de la biodiversidad vegetal y animal. Por lo que gestionar de manera responsable los recursos hídricos implica no sólo cumplir con la normatividad establecida por los entes gubernamentales, sino también minimizar el impacto ambiental asociado con su consumo, promoviendo el uso de envases reutilizables o biodegradables con el objetivo de disminuir la generación de residuos plásticos [23] [24] [25].

C. Fijación de requerimientos de diseño

Para la fijación de los requerimientos de diseño se hace una representación gráfica mediante la casa de la calidad o quality function deployment, donde se analizan las necesidades de los grupos de interés con el fin de identificar los requerimientos de diseño de las máquinas expendedoras. En las dos tablas que se muestran a en la parte inferior, se encuentra la matriz de correlación, donde se relacionan los requisitos de diseño que se pueden mejorar u obstaculizar entre estos mismos. También la matriz de relaciones, los cuales facilitan la identificación de parámetros de diseño de acuerdo con los requerimientos del cliente, siendo estos definidos en una escala de 9, cuando el requerimiento del cliente se relaciona fuertemente con el diseño de las maquinas, 3 cuando esta relación es media y 1 cuando es débil.

Matriz de correlación	
++	Fuertemente positivo
+	Posito
-	Negativo
--	Fuertemente negativo
	No están relacionados

Tabla 6. Simbología matriz de correlación

Matriz de relaciones	
9	Fuerte
3	Media
1	Débil

Tabla 7. Escala matriz de relaciones

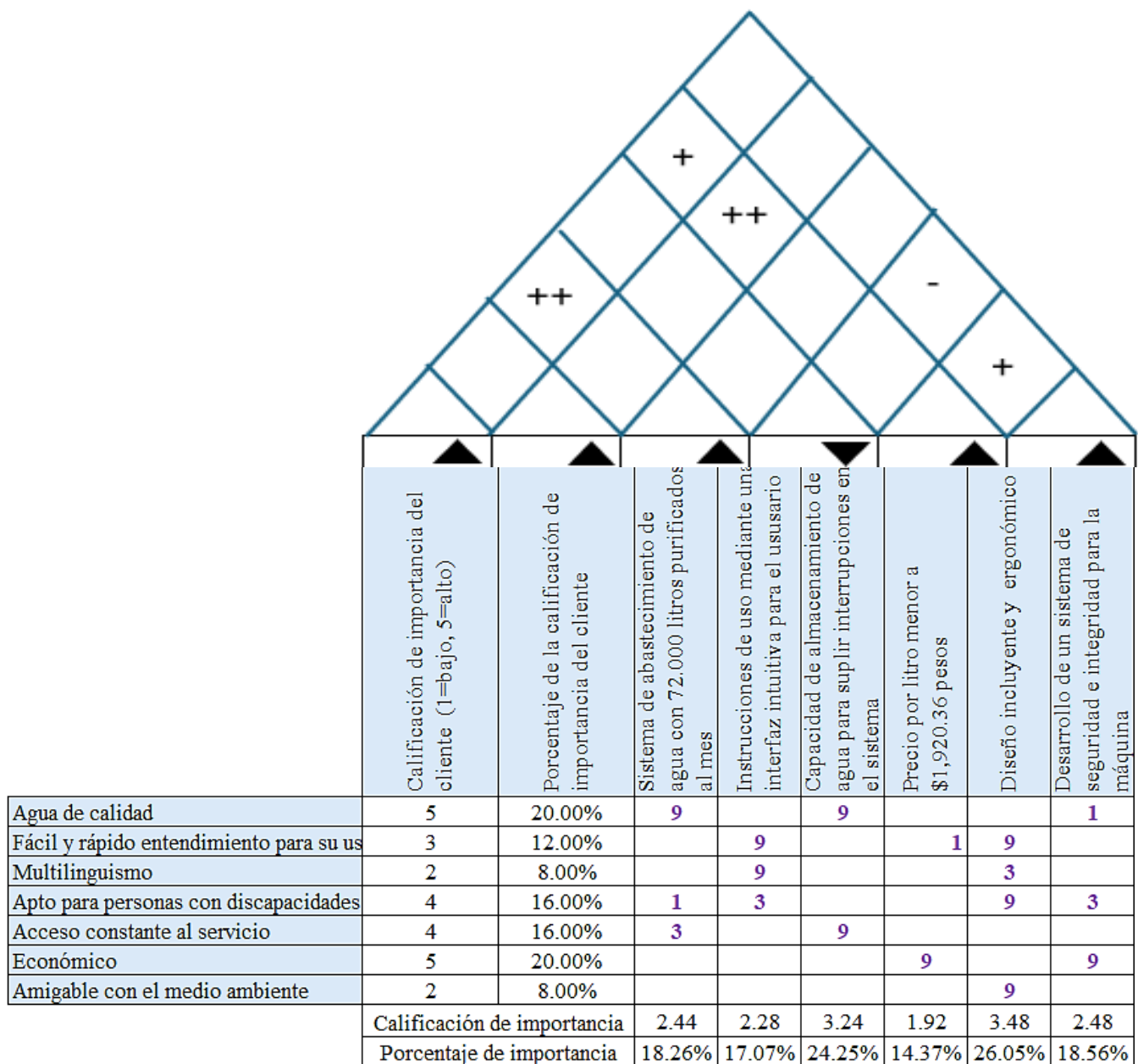


Ilustración 15. Casa de la calidad

Mediante la casa de la calidad se deduce cómo la dispensación de un agua de calidad y un buen precio (económico) tiene un mayor porcentaje de calificación de importancia para los grupos de interés. También se ve como la correlación entre el sistema de purificación y filtraje y el almacenamiento de agua es fuertemente positivo, al igual que las instrucciones de uso y el diseño incluyente y ergonómico. Siendo estos requerimientos de diseño de gran importancia, donde se debe poner una lupa y gran cuidado para así cumplir con las expectativas y deseos de los mencionados grupos de interés.

D. Exploración de ideas y selección de alternativa

Para la exploración de ideas se realizó una matriz morfológica, la cual tiene como finalidad generar una gama completa de soluciones alternativas de diseño para las máquinas dispensadoras de agua potable en Tumaco y ampliar de esta forma la búsqueda de nuevas soluciones potenciales [26]. Para lograr el propósito dicho anteriormente, se siguieron una serie de pasos. En primer lugar, se realizó un listado en el que se incluyeron las funciones necesarias para las máquinas expendedoras de agua. Después se

mencionaron los posibles medios por los que se realizarían cada función del primer paso. En tercer lugar, se elabora el diagrama con las soluciones alternativas o secundarias, representando el espacio total de recursos factibles ante la propuesta de diseño.

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	ALTERNATIVA 5
Suministro de agua					
Red pública de abastecimiento	X	X		X	X
Deposito de agua propio		X	X	X	X
Purificación de agua					
Filtro de arena		X		X	X
Ósmosis inversa			X		
Ozonización			X	X	
Cloración	X	X			X
Dispensación de agua					
Boton pulsador			X		
Grifo manual					
Dispensador automático				X	
Pantalla táctil		X		X	X
Botones preestablecidos	X		X		
Método de pago					
Tarjetas				X	
Efectivo			X		
Efectivo y tarjetas	X	X			X
Monitoreo y control					
Sensor de nivel de agua		X		X	X
Registro de la operación					
Indicador de vida útil del filtro					
Ciclo de limpieza	X			X	
Sensor de fugas		X	X		X
Seguridad					
Cámaras de vigilancia					X
Alarma que alerta en caso de manipulación indebida	X				X
Uso de materiales resistentes, que soporten las condiciones de la interperie		X	X	X	

Tabla 8. Matriz morfológica de la máquina expendedora de agua potable

Luego de tener la matriz morfológica ya establecida se realizó una evaluación de criterios en donde se establecieron los siguientes: eficiencia operativa, adaptabilidad, viabilidad económica, viabilidad técnica y aplicabilidad en diseño. Se tomaron estos criterios para obtener una evaluación integral de cada una de las alternativas, cada uno de ellos tiene un valor ponderado de 20%, ya que se consideró que son igual de importantes entre ellos, la calificación se hizo con una escala del uno al cinco, donde uno es la nota más baja y cinco la más alta, las notas se obtuvieron según la opinión de los miembros del grupo, la opinión de expertos y las necesidades de la población objetivo, el análisis entregó como respuesta que la alternativa con mayor promedio fue la número cinco con un resultado de 3.6, por ende se tomó como la ideal, esto se debe a que la alternativa cinco tuvo una calificación de cuatro en los siguientes criterios eficiencia operativa, adaptabilidad, viabilidad técnica y aplicabilidad en diseño, siendo esta de cuatro, además de solo presentar una nota baja en el aspecto de la viabilidad económica.

	Eficiencia operativa	Adaptabilidad	Viabilidad económica	Viabilidad técnica	Aplicabilidad en diseño	Promedio
ALTERNATIVA 1	3	3	5	4	2	3.4
ALTERNATIVA 2	4	2	3	2	3	2.8
ALTERNATIVA 3	3	2	4	2	3	2.8
ALTERNATIVA 4	3	3	4	3	3	3.2
ALTERNATIVA 5	4	4	2	4	4	3.6

Tabla 9 Evaluación de criterios.

E. Especificación del diseño

La optimización del acceso al agua potable en el municipio de San Andrés de Tumaco, Nariño, es un aspecto fundamental para el desarrollo y bienestar de la comunidad. Por ello, se requiere garantizar un sistema eficiente de máquinas expendedoras que satisfaga las necesidades de los habitantes. En este sentido, es esencial asegurar que la disponibilidad, calidad y facilidad de adquisición del agua cumplan con los estándares requeridos. A continuación, se detallan los componentes clave del diseño del sistema de máquinas expendedoras, con el fin de ofrecer un acceso constante y confiable al recurso vital en todo el municipio como se indica en la sección anterior la selección de alternativas de diseño se realizó mediante la construcción de una matriz morfológica, lo cual lleva a un diseño preliminar siendo el punto de partida. De esta manera, la alternativa cinco la escogida e indicada a continuación.

Suministro de agua
Red pública de abastecimiento
Depósito de agua propio
Purificación de agua
Filtro de arena
Cloración
Dispensación de agua
Pantalla táctil
Método de pago
Efectivo y tarjetas
Monitoreo y control
Sensor de nivel de agua
Sensor de fugas
Seguridad
Cámaras de vigilancia
Alarma que alerta en caso de manipulación indebida

Ilustración 16. Alternativa escogida

En primer lugar, para abastecer el suministro de agua, se tuvo presente la conexión a la red pública en el cual, el dispositivo estaría conectado mediante una tubería a la red hidráulica de Aguas de Tumaco. Además, se tuvo en cuenta una segunda alternativa que permita construir un sistema híbrido, el cual es un depósito de agua propio que se encarga de proporcionar una fuente de respaldo en caso de interrupciones en el suministro de agua principal, este será definido a lo largo del desarrollo del proyecto.

Al asegurar un acceso constante de agua que pueda suplir las necesidades de los consumidores, es necesario la búsqueda de alternativas que permitan que la fuente hídrica sea apta para consumo, es por ello que se eligió como primera opción de purificación del agua, el filtro de arena, que es completamente físico para una eliminación rápida y eficiente de partículas suspendidas relativamente grandes, aunque si bien este método tiene como ventaja su alta velocidad de también presenta desventajas como su imposibilidad para la eliminación de bacterias, por lo que posteriormente, el agua deberá pasar por un proceso

de cloración, donde se matan virus y bacterias como *Escherichia coli* y *Listeria*. Siendo este el método de desinfección usado más comúnmente en las plantas de tratamiento de agua potable en todo el mundo, al ser el cloro un desinfectante efectivo y barato, al acabar con patógenos y oxidación de hierro y magnesio presente en el agua [27].

La tercera función parcial, le permite al usuario tener contacto directo con la máquina, haciéndole saber las cantidades que este requiere para su consumo, por medio de una pantalla táctil que proporcione una experiencia fluida y de muy fácil manejo para todo tipo de persona, permitiendo que personas con discapacidad motora no requieran de movimientos finos o precisos para tener acceso al servicio, teniendo así una interacción natural e intuitiva.

Respecto al método de pago se ofrece flexibilidad al contar con dos alternativas, efectivo y tarjetas débito o crédito, garantizando así rapidez y conveniencia en todo este proceso. Esta elección proporciona a los clientes una amplia gama de opciones de pago, adaptándose a sus preferencias individuales.

Para esta función parcial encargada del monitoreo y control, se ha decidido establecer un sensor de nivel de agua, el cual permite medir la cantidad exacta de agua a dispensar en cada una de las transacciones realizadas, esto permite que se la máquina pueda registrar con exactitud la cantidad de agua restante en el tanque en tal caso que se esté haciendo uso del mismo debido a la intermitencia con el acueducto; a su vez esto genera una gran ventaja al conceder un monitoreo en el inventario de forma remota y recibir alertas cuando el nivel del agua sea bajo, garantizando un acceso constante del agua potable. Además, se tiene un sensor de fugas para detectarlas en la máquina ayudando a prevenir daños por agua en la infraestructura propuesta y a reducir los costos de reparación y mantenimiento,

Por consiguiente, para esta sección también se consideró el mantenimiento de la máquina el cual se hará mediante una contratación de personal, con el objetivo de asegurar un óptimo estado de la máquina, prolongando su vida útil y previniendo problemas futuros al detectar y corregir fallos.

Finalmente, para el aseguramiento e integridad de la máquina se requiere de un sistema de alarmas que notifiquen en caso de manipulación indebida, cámaras de vigilancia e indispensablemente el uso de materiales resistentes que sean aptos a cambios climáticos que puedan afectar su funcionalidad. También, como sistema de prevención ante robos o actos de vandalismo que puedan ocurrir en los alrededores de las maquinas o hacia estas mismas.

F. Plan de trabajo

En este apartado se presenta el plan de trabajo, el cual se concibe como una ruta estratégica para el desarrollo de la propuesta de diseño planteada, donde se indican las actividades a realizar de acuerdo con cada objetivo específico.

Objetivo específico	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)
1	Diseño de sistemas e ingeniería	Operaciones I, II	A. Profundización de tecnologías a usar y uso de modelos analíticos	Informe de gestión de demanda y de capacidad de funcionamiento de las máquinas
2	Ingeniería de calidad y fiabilidad	Control estadístico de procesos	B. Diseño de la distribución del sistema de los dispensadores en Tumaco	Boceto del mapa de ubicación de los dispensadores y sus áreas de abastecimiento
			C. Mapeo de procesos para identificar áreas de mejora	Diagramas de flujo
3	Investigación de operaciones y análisis	Desarrollo de modelos analíticos o de simulación	D. Uso de herramientas ofimáticas y de simulación para analizar el funcionamiento y desempeño de las máquinas	Informe de resultados de ensayos, cálculos y simulaciones realizadas
	Ingeniería económica y financiera	Análisis financiero	E. Proyección del flujo de caja	Flujo de caja del proyecto, valor presente neto, tasa interna de retorno y periodo de recuperación de inversión

Tabla 9. Plan de trabajo

Al contar con las actividades que se deben realizar posteriormente, se implementó Microsoft Project para así tener un plan, control y seguimiento del desarrollo del proyecto. De esta manera se definió un tiempo medido en semanas para la duración de las cinco actividades propuestas con su respectiva secuencia. Siendo la primera semana de trabajo con fecha de Julio 22 del presente año.

Actividad	Duración en semanas	Secuencia
A	2	1
B	1	3
C	1	4
D	4	5
E	3	9
FIN		11

Tabla 10. Duración y secuencia de actividades

Nombre de la tarea	Duración	Inicio	Fin
A	2 sem.	lun 22/07/24	vie 2/08/24
B	1 sem	lun 5/08/24	vie 9/08/24
C	1 sem	lun 12/08/24	vie 16/08/24
D	4 sem.	sáb 17/08/24	jue 12/09/24
E	3 sem.	vie 13/09/24	jue 3/10/24

Tabla 11. Duración, inicio y fin de cada actividad

Siendo así, mediante la herramienta Project, se generó el siguiente Diagrama de Gantt,

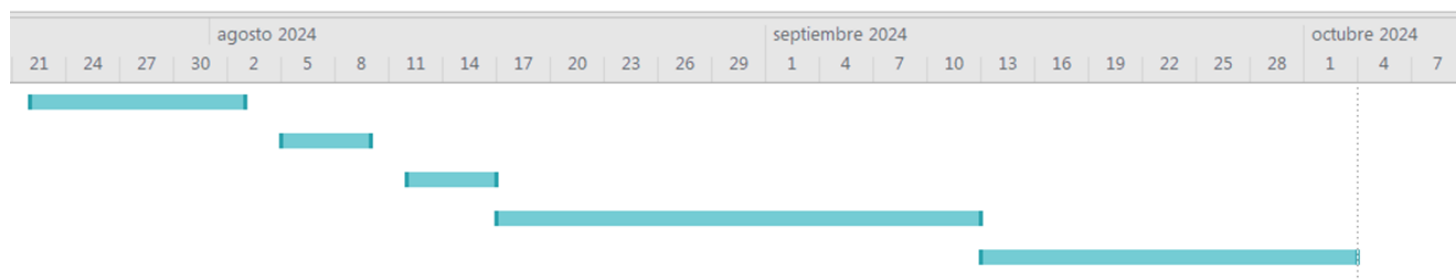


Ilustración 17. Diagrama Gantt

Se tiene una fecha final para octubre 3, sin embargo, no se tuvo en cuenta ningún tipo de retraso que se pueda presentar por lo que el diagrama se irá actualizando de acuerdo con el progreso del trabajo del grupo, teniendo total compromiso para finalizar de manera exitosa el proyecto.

III. DEFINICIÓN DEL DISEÑO PRELIMINAR IDENTIFICANDO LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO SEGÚN SUS COMPONENTES Y SUBSISTEMAS

Tras haber culminado la fase uno del proyecto de diseño, donde se llevó a cabo un análisis del contexto de Tumaco a través del análisis de situación y alcance de los actores clave y una inmersión en el mercado, se logró identificar las necesidades específicas de la población para así establecer los requerimientos fundamentales del diseño de las máquinas dispensadoras de agua. Este proceso incluyó una revisión de la literatura existente y la elaboración de un diseño conceptual que delineó las características funcionales y operativas de las máquinas. En este capítulo se presenta el diseño detallado del sistema, iniciando con la mención de los subsistemas y compontes, con el fin de detallar los aspectos necesarios para el rendimiento óptimo de las máquinas.

SUBSISTEMAS	COMPONENTES
Sistema de filtrado	Conexión a red hidráulica y eléctrica
	Filtro de sedimentación,
	Membrana de ultrafiltración
	Lámpara UV 25 Watts
	Filtro mineralizador
Interfaz e interacción con el usuario	Monitor de 19"
	Botones de llenado y lavado
	Monedero y billetero
	Aplicación para pagos
	Cabina de llenado
Dispensación	Desde 0.5 litros hasta 20 litros
	Almacenamiento de 220 litros
	Cabina de llenado
	Limpieza de botellón prellenado
Mantenimiento y asegurabilidad de correcto funcionamiento	Plan de mantenimiento con frecuencia diaria, mensual, trimestral y anual
	Recolección de dinero
	Actualización remota del sistema operativo

Ilustración 18. Subsistemas y componentes

A. Selección de tecnología

Con base en los hallazgos obtenidos, se definieron tres criterios esenciales para la selección de las máquinas dispensadoras: 1) Satisfacer plenamente las necesidades y expectativas de los usuarios, 2) Garantizar la provisión de agua de alta calidad y pureza, y 3) Ofrecer precios accesibles para toda la población. Estos criterios servirán como guía para la siguiente fase del proyecto, en la cual se realizará una búsqueda en el mercado a fin de identificar la elección más adecuada. Asimismo, y siguiendo la línea planteada en los objetivos, en esta sección se presenta el diseño referente al sistema de distribución de las máquinas mediante la definición de tecnologías, recursos, capacidades y localización de estas para así atender el máximo número de personas a un costo razonable. Finalmente, se valida el desempeño financiero que tienen las máquinas y la confiabilidad operativa al migrar a la compra de agua mediante las máquinas en comparación con los canales convencionales, esto mediante modelos financieros, analíticos o de simulación de operaciones.

La elección del proveedor de las máquinas dispensadoras de agua potable se hace mediante la idoneidad y proximidad que estas puedan tener para cumplir con los tres criterios previamente mencionados. Siendo así se procede a analizar diferentes

máquinas y posteriormente se contactan a diferentes distribuidores con el fin de comparar su promesa de valor referente al producto. Después de revisar las propuestas obtenidas, se eligieron tres proveedores potenciales entre los que se encuentran: The Water House, Agua Pura San Jerónimo y Agua inmaculada; siendo las primera y tercera alternativa compañías que tienen presencia tanto en el territorio colombiano como en México, mientras que la segunda por el momento solo tiene alcance en el territorio nacional.

En cuanto a el primer proveedor The Water House se pudo observar que tienen una tecnología de producción que empieza la purificación con un filtro de sedimento de 50 micras, posteriormente se utiliza un filtro de carbón activado y luego pasa a un tanque de salmuera, para el cuarto proceso de purificación se utiliza una membrana de treinta y cinco micras, seguidamente es almacenado en un tanque herméticamente sellado donde se realiza el proceso de ósmosis inversa, por último, se realiza un proceso con lámpara ultravioleta y vuelve a pasar por un filtro de 30 y 5 micras antes de que el agua sea finalmente dispensada.

En cuanto a sus beneficios está la confianza ofrecida al cliente, pues se afirma la disponibilidad del servicio todo el tiempo, además de contar con laboratorios externos que certifican las propiedades microbiológicas y fisicoquímicas del agua, así mismo tienen el registro Invima RSAK 191614. A continuación, en la ilustración 19 se presenta un diagrama de flujo con el fin de hacer más claro el proceso de purificación del agua de la compañía The Water House. [28]

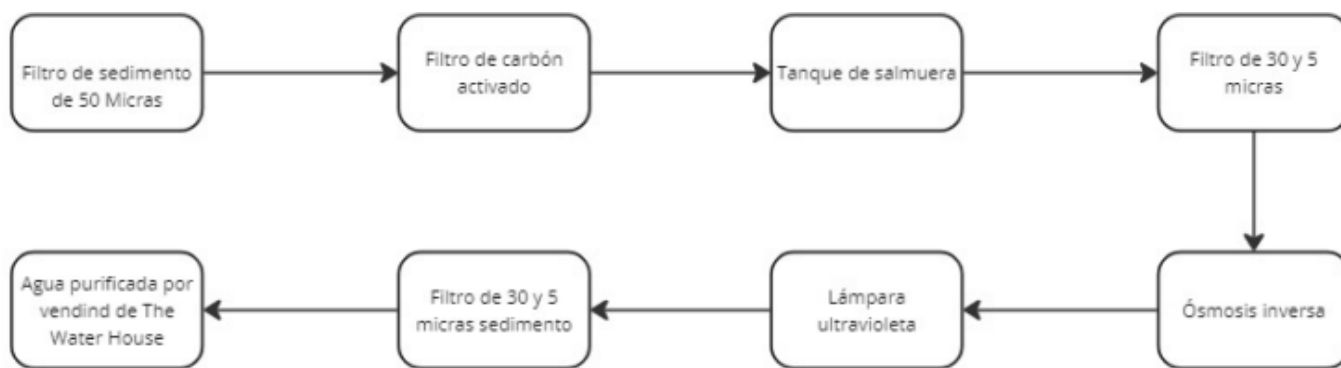


Ilustración 19. Proceso de purificación de agua según The Water House

En segundo lugar, se tiene al proveedor Agua Pura San Jerónimo, la cual es una empresa pionera en Colombia pues tiene diferentes tipos de máquinas entre las que se incluyen: vending tipo ventana sin sistema de filtrado, ventana con planta de ultrafiltración 20000 L/D, ventana con planta de ósmosis inversa 20000 L/D, máquinas vending con todo integrado básica, máquina premium con ultrafiltración, máquinas premium con ósmosis inversa. Sin embargo, la empresa también presenta beneficios como la personalización de la máquina de acuerdo con el tipo de negocio, esto quiere decir que es personalizada según las necesidades del cliente; no obstante, su servicio de soporte promete apoyo técnico de la plataforma de monitoreo, así como del correcto funcionamiento de la máquina, cuentan con la opción de conexión vía remota a todas las máquinas en Colombia y hacer un diagnóstico de los modos de fallo, su respectiva corrección y sistemas de telemetría. [29]

Teniendo en cuenta las diferentes tecnologías ofrecidas, este proveedor, promete un porcentaje de pureza del 99% con características físicas, biológicas y químicas equilibradas, esto como resultado de sus 9 fases de purificación que están avaladas y certificadas con el registro sanitario Invima RSA-0015746. En la ilustración 20 se evidencian los diferentes tipos de máquinas que se manejan por este distribuidor.



Ilustración 20. Máquinas disponibles según Agua pura San Jerónimo [29]

Como último proveedor se encuentra Agua Inmaculada la cual se posiciona como la empresa número uno de fabricación y distribución para plantas purificadoras de agua, con más de 1800 franquicias establecidas para diferentes clientes alrededor de toda la zona latinoamericana. Agua Inmaculada cuenta con tres modelos de negocio, entre los que se encuentran la planta purificadora, este modelo es el que presenta una mayor capacidad de producción, permitiendo una purificación hasta de 1200 garrafones diarios, el siguiente modelo es un molino inteligente que requiere un local comercial para su instalación y provee dos opciones de agua entre las que se encuentran el agua purificada y el agua alcalina, como opción final está la máquina Smart vending que no requiere un local comercial. [30]

La máquina vending MV200G/OSM ofrecida por Agua Inmaculada es un equipo que utiliza tecnologías de filtración de contaminantes suspendidos, desinfección bacteriológica, retención de metales pesados, purificación química, esterilización ultravioleta, activador para mejoramiento de sabor y mecanismos ósmosis inversa; esta empresa cuenta con la certificación internacional ISO 9001-2015. Sin embargo, requiere varios requisitos de instalación como el drenaje tipo cespól plástico a no más de 2mts de distancia del equipo y una llave de agua con llave a no más de 2mts de distancia del equipo.



Ilustración 21 Dispensadores manejados por el Proveedor Agua Inmaculada [30]

Después de revisar las opciones de producto ofertadas por los tres proveedores, se realizó una evaluación de criterios en donde se establecieron los siguientes: Facilidad de instalación, seguridad y certificaciones, viabilidad económica, tamaño y portabilidad y soporte técnico. Se tomaron estos criterios para obtener una evaluación integral de cada una de las alternativas referentes a los equipos; cada uno de ellos tiene un valor ponderado de 20%, ya que se consideró que son igual de importantes entre ellos, la calificación se hizo con una escala del uno al cinco, donde uno es la nota más baja y cinco la más alta, el análisis entregó como respuesta que la alternativa con mayor promedio fue la número tres, Agua pura San Jerónimo con un resultado de 4, por ende se tomó como la ideal.

	Facilidad de instalación	Seguridad y certificaciones	Viabilidad económica	Tamaño y portabilidad	Soporte técnico	Promedio
The Water House	1	3	2	2	3	2,2
Agua Inmaculada	3	5	3	5	3	3,8
Agua Pura San Jerónimo	4	3	4	5	4	4

Tabla 12. Evaluación de criterios.

Teniendo en cuenta toda la investigación anterior y la selección de alternativas se escoge la máquina vending móvil de agua purificada fabricada por AGUA PURA SAN JERÓNIMO en la ciudad de Barranquilla, Colombia. Pues esta empresa se enfoca en el diseño y ubicación de máquinas automáticas que ayuden a disminuir el consumo de envases plásticos de un solo uso, asegurando agua totalmente purificada, cambiando los patrones de consumo al comprarla sin envases plásticos y a un precio significativamente inferior al agua embotellada [31]. Siendo así, se presentan la imagen referencia y las características de las máquinas que serán de apoyo para la continuación del proyecto.

VENDING MOVIL AGUA PURIFICADA



Ilustración 22. Vending móvil de agua purificada

FICHA TÉCNICA VENDING MÓVIL AGUA PURIFICADA	
Capacidad de dispensación	Desde 0.5 L hasta 20 L, el usuario escoge la cantidad en intervalos de 0.5 L
Limpieza de botellón	Previo al llenado
Métodos de pago	Monedero, billetero y app propia para realizar pagos
Capacidad de almacenamiento	220 L
Material exterior	Acero inoxidable
Tamaño	2 m alto, 97 cm de frente y 95 cm de fondo
Consumo de energía	Entre 1.5 a 2 KW por día
Descripción del filtrado	<ol style="list-style-type: none"> 1. La fuente de agua es la red hidráulica pública 2. Filtro de sedimentación: Arena sílice y Zeolita para sedimentar calcio, hierro y demás componentes pesados 3. Membrana de ultrafiltración: Poro pequeño para eliminar sólidos en suspensión y turbidez 4. Lámpara UV: 25 w 5. Filtro mineralizador: Filtro con minerales en suspensión
Garantía	Un año, por funcionamiento y reemplazo de partes
Soporte técnico	Capacidad de mantenimiento y actualizaciones remotas a las máquinas, una vez iniciada la operación se crea enlace con un Ingeniero, un especialista en sistemas de filtrados y un técnico de estructuras
Condiciones técnicas para instalación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Punto de agua con mínimo 30 PSI de presión 2. Punto de desagua para el agua del lavado del botellón 3. Taco exclusivo de 110 V para la máquina
Precio	\$19,000,000
Mantenimiento de filtros	Cambio general cada tres meses

Ilustración 23. Ficha técnica vending móvil purificada

Siendo esta la elección de tecnología es necesario conocer el tipo de mantenimiento que estas máquinas requieren para así obtener resultados exitosos en el proceso de llenado y post llenado de los usuarios, garantizando así el buen funcionamiento de las máquinas para que estas puedan trabajar de la mejor manera y de igual manera brindar un agua y experiencia de alta calidad. Siendo así, a continuación, se presenta un plan de mantenimiento detallado.

Frecuencia	Actividad	Descripción
Diario (opcional)	Limpieza externa	Limpieza exterior de la máquina con pañuelos húmedos
	Revisión de funcionamiento	Verificar que la máquina dispense agua correctamente
Mensual	Limpieza interna	Limpieza interna con agua o un limpiador específico para acero inoxidable
Trimestral	Cambio de filtros	Reemplazo de filtros (se debe apagar la máquina, desconectar, cerrar el paso de agua, cambiar filtros y verificar)
Anual	Inspección	Evaluar y reemplazar si es necesario los componentes atrofiados por desgaste

Nota: Es recomendable llevar una documentación y registro de todas las actividades de mantenimiento, incluyendo fechas, procedimientos y observaciones del estado de las máquinas

Ilustración 24. Plan de mantenimiento

Con la construcción de la ficha técnica para el vending móvil de agua purificada, se realizó una selección entre distintos tipos de máquinas existentes con el fin de definir el tipo de filtrado por el cual se realizará el tratamiento del agua para el dispositivo expendedor a instalar. Teniendo en cuenta esto, se propone utilizar en primer lugar un filtro de sedimentación que estaría compuesto por Arena sílice y zeolita, método bastante común para la filtración de aguas municipales, zonas residenciales, industriales e incluso para el tratamiento de aguas residuales. Este mecanismo combinado de limpieza posee distintas propiedades físicas y químicas; en el caso de la arena de sílice se destacan características como lo son su dureza, resistencia química, alto punto de fusión, que le permiten cumplir con el propósito de la retención de sólidos suspendidos. También el uso de este mineral brinda ventajas con respecto a la filtración profunda, en el caso de la sílice, material de alta porosidad, permite un flujo homogéneo eliminando así partículas del tamaño de 80 a 100 micras.

En cuanto a la zeolita, se resalta su dureza, que representa la resistencia del material a la abrasión y su insolubilidad en el agua, proporcionando un medio filtrante con una durabilidad de aproximadamente 5 años; además presenta otras ventajas que pueden ser beneficiosas como su precio asequible, también deshidrata el lodo, carece de aditivos químicos y colorantes, no es tóxico siendo así respetuoso con el medio ambiente y cumple con las especificaciones de darle profundidad a la cama de filtrado reteniendo partículas entre 5 y 10 micras.

Posteriormente se pasa a la siguiente etapa de la purificación en donde se hace uso de una membrana de ultrafiltración que emplea la presión hidrostática para forzar el agua a través de una membrana semipermeable. Las membranas utilizadas en este proceso pueden ser de tipo espiral, de fibra hueca o tubular, y eliminar diferentes contaminantes; además, pueden remover partículas pequeñas, como organismos resistentes al cloro, bacterias y compuestos orgánicos. Este tipo de filtración es utilizada en diferentes campos, en los que se incluyen el sector alimenticio como la industria láctea, la recuperación del almidón y en la clarificación de jugos de frutas, vinos y cerveza, también en la purificación y concentración de macromoléculas y proteínas y en el tratamiento de agua potable y residual.

En tercer lugar, se tiene la lámpara UV: 25W, la cual se encarga de destruir el material genético de virus, esporas, algas y bacterias presentes en el agua, este proceso de desinfección se logra por medio de la irradiación de un tipo específico de luz, donde los microorganismos absorben la radiación ultravioleta que emite la lámpara, lo que da como resultado la destrucción e inactivación de diferentes tipos de gérmenes; garantizando así la calidad del recurso hídrico sin la utilización de algún producto químico. Es importante recalcar que este tipo de desinfección no altera las propiedades del agua y es una alternativa que no produce ozono. Sin embargo, se debe tener en consideración al momento de realizar su instalación y mantenimiento que luz ultravioleta es dañina para la piel y los ojos. Por lo tanto, se deben tomar las precauciones necesarias para evitar la exposición directa a la luz UV emitida por la lámpara.

Por último, la máquina tiene un filtro mineralizador con minerales en suspensión, un dispositivo utilizado en sistemas de tratamiento de agua para mejorar su calidad además puede aportar minerales esenciales como calcio, magnesio y potasio, beneficiosos para la salud humana. Si bien estos filtros son utilizados tanto en hogares como en industrias de alimentos y bebidas, su impacto ambiental no debe ser ignorado. La extracción de minerales para estos filtros puede provocar la degradación de hábitats naturales y la contaminación de agua y suelos. Por lo tanto, es esencial considerar prácticas sostenibles y un manejo adecuado del ciclo de vida de los filtros para mitigar sus posibles consecuencias ambientales.

IV. DESARROLLO DEL DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE LA LOCALIZACIÓN DE MÁQUINAS EXPENDEADORAS DE AGUA POTABLE CON EL FIN DE ATENDER EL MÁXIMO NÚMERO DE PERSONAS A UN COSTO RAZONABLE

Al tener seleccionada la tecnología y el proveedor de las máquinas se procede a indagar sobre la ubicación y la cantidad de estas a disponer en el municipio de Tumaco. Es por esto por lo que se investiga acerca de la concentración poblacional, distribución espacial y puntos clave para estas ubicaciones. Mediante la cartografía urbana presentada en el Plan de Ordenamiento Territorial 2008-2019, se encontraron dos mapas de gran utilidad para esta cuestión. Inicialmente, nos encontramos frente a la cartografía de Tumaco dividida en treinta y cuatro sectores y la cantidad de viviendas que hay en cada una de estos, datos relevantes para comenzar a dividir al municipio en pequeñas fracciones. Seguidamente, se presenta la distinción entre las zonas rurales y urbanas presentes en San Andrés de Tumaco, siendo las zonas urbanas el punto de interés de las máquinas debido a que

es donde reside la población y se presenta mayor flujo de personas. Para así, lograr sobreponer estos dos mapas y relacionar la zona urbana, con cada una de los sectores y la cantidad de viviendas existentes. A continuación, se presenta la imagen que hace referencia a lo mencionado.

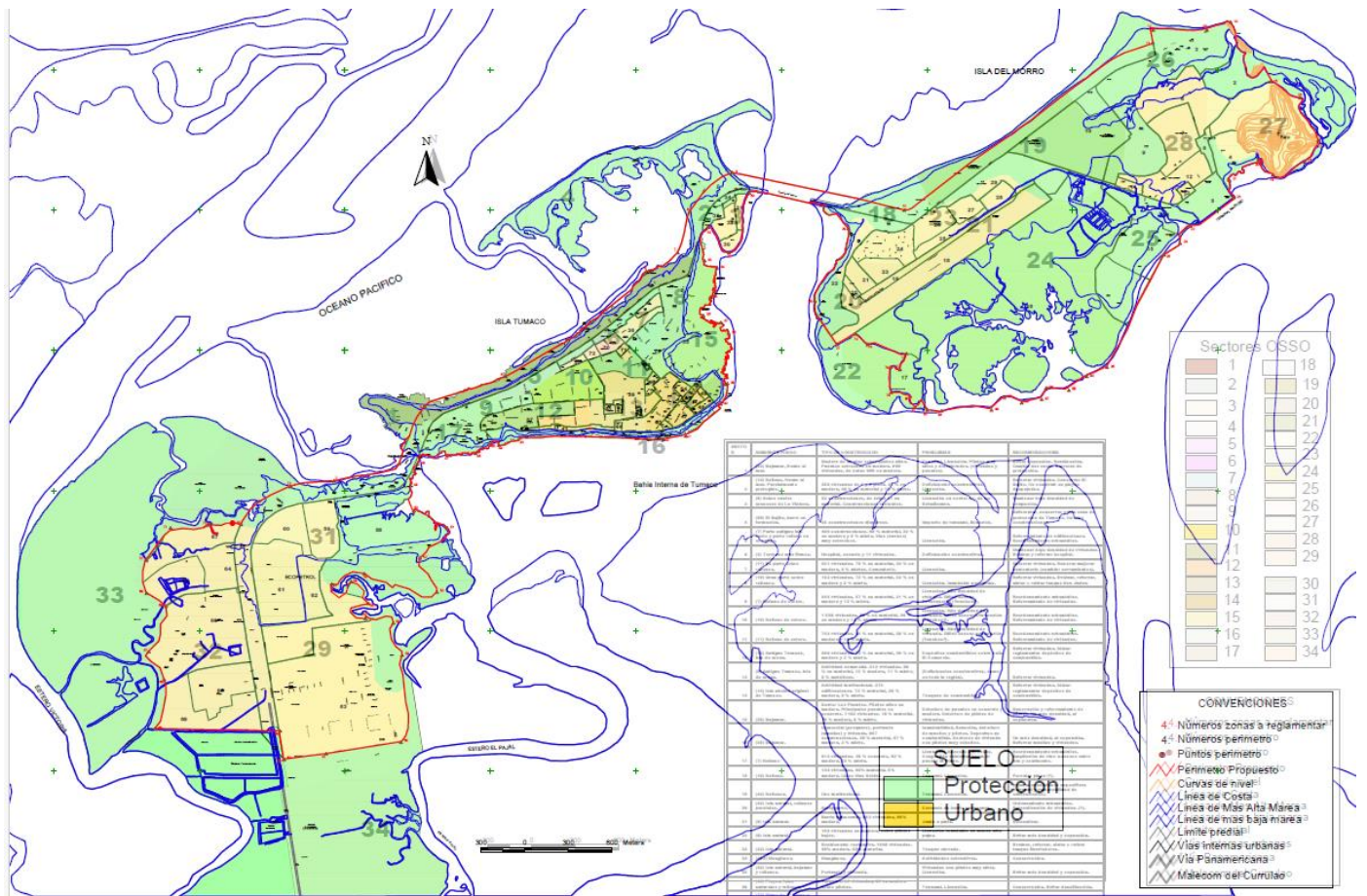


Ilustración 25. Cartografía Tumaco [32].

De esta manera, se evidencia la zona urbana delimitada por el color amarillo, reduciendo el número de sectores a catorce y posibilitando la obtención de la siguiente tabla, donde se muestra la distribución de los 28.599 habitantes por cada sector urbano.

Zona	SECTOR (URBANO)	HABITANTES POR SECTOR
1	32	9600
2	29	5529
3	31	1623
4	6	39
5	7	1563
6	12	1740
7	13	939
8	14	1122
9	3	156
10	20	3
11	23	3264
12	21	1959
13	28	1059
14	27	3

Ilustración 26. Sectores y cantidad de habitantes

Para la obtención de los habitantes por sector, cabe mencionar que se calculó mediante el censo realizado por el Dane en el 2018 donde se indica lo siguiente:

Número de personas por hogar



22,8%

UNA PERSONA



21,0%

DOS PERSONAS



21,0%

TRES PERSONAS



17,0%

CUATRO PERSONAS



10,0%

CINCO PERSONAS



8,2%

SEIS PERSONAS (+)

Ilustración 27. Número de personas por hogar en Tumaco Nariño

Finalmente, después de realizar los cálculos correspondientes, se obtuvo un promedio de 2.95, lo que equivale aproximadamente a tres personas por hogar en el municipio de Tumaco. Este dato, al ser multiplicado por la cantidad total de viviendas, permite estimar una población aproximada de 28,599 habitantes en el casco urbano.

Seguidamente, fue necesario localizar puntos estratégicos en cada uno de los catorce sectores donde las máquinas podrían estar ubicadas, mediante la herramienta Google Maps se obtiene la dirección de cada uno de los sectores para así obtener una matriz de distancias, donde se representa la distancia en carro y en kilómetros que hay entre cada uno de los sectores.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	1.8	2	4.1	3.9	3.8	3.1	3.4	5	7.4	7.5	7.7	9	9
2	1.8	0	3.4	5.4	5.2	4.4	4.4	4.8	6.4	8.8	8.8	9	10.3	10.4
3	2	3.4	0	3.5	3.2	2.4	2.5	2.8	4.4	6.8	6.8	7	8.3	8.4
4	4.1	5.4	3.5	0	0.75	1.5	1.8	1.7	0.95	3.3	3.7	3.6	8.4	4.9
5	3.9	5.1	3.1	0.75	0	1	1	0.75	1.5	4	4.1	4.3	5.6	5.7
6	3.4	3.7	2.8	1.6	1.1	0	0.036	0.4	2.5	5	5	5.2	6.5	6.5
7	3.4	4.7	2.8	1.6	1.1	0.4	0	0.35	2.6	4.8	4.9	5.1	6.4	6.5
8	3.6	5	3	1.4	0.75	0.46	0.5	0	2.3	4.8	4.8	5	6.3	6.3
9	5.2	6.4	4.4	9.5	1.5	2.4	2.4	2.2	0	2.4	2.6	2.8	4.1	4.1
10	7.8	9.2	7.2	3.7	4.3	5.1	5.1	4.9	2.9	0	2.6	2.8	4.1	4.2
11	7.4	8.8	6.8	3.7	3.9	4.7	4.8	4.6	2.5	2.9	0	0.7	1.5	1.6
12	7.7	9	7	3.5	4.1	5	5	4.8	2.7	3.1	0.7	0	2.2	4.8
13	8.9	10.3	8.3	8.3	5.4	6.3	6.3	6.1	4	4.4	1.5	2.2	0	1.3
14	8.9	10.3	8.3	4.9	5.5	4.9	6.6	6.2	4.1	4.4	1.6	5	1.2	0

Ilustración 28. Matriz de distancias entre cada sector

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por la matriz de distancias, se evaluaron diferentes alternativas de localización con el fin obtener un panorama amplio de posibilidades con respecto a las diferentes ubicaciones que tendrían las máquinas dispensadoras de agua potable; para esta decisión de diseño de la red de suministro, se tuvieron en cuenta modelos como el de la p-mediana, anti-cobertura, el modelo clásico de utilidad y el modelo de maximal covering, [33] eligiendo así, el último modelo ya mencionado.

Este modelo llamado Maximal covering, localización discreta que tiene como objetivo maximizar la demanda total, en este caso por medio de la instalación de cierto número de máquinas dispensadoras dada una distancia de cobertura previamente definida. Siendo así, teniendo en cuenta las variables y conjuntos del modelo, se logró llegar a similitudes que permitieron elegir esta forma de trabajo como la seleccionada. A continuación, se muestra la estructura básica del modelo, con el fin de tener un punto de partida para dar inicio al modelo a trabajar.

1. En primer lugar, se establecen los conjuntos del modelo maximal covering
 - Demanda en el nodo i : h_i
 - Número de instalaciones/máquinas a ubicar: p
2. Se establece el parámetro A_{ij}
Matriz de 1 y 0
3. Posteriormente se indican las variables de decisión
 - X_j : Representa una variable binaria, donde se establece el cumplimiento de la instalación en el nodo j .
 - Z_i : Representa una variable binaria donde se muestra la cobertura del nodo i .
4. Se establece la función objetivo

$$\sum_{i \in I} h_i z_i$$

Fórmula 1. Función objetivo

5. Por último, se establecen las restricciones

$$\sum_{j \in J} a_{ij} X_j - Z_i \geq 0; \forall i \in I$$

$$\sum_{j \in J} X_j = p$$

$$X_j \in \{0, 1\}; \forall j \in J$$

$$Z_i \in \{0, 1\}; \forall i \in I$$

Fórmula 2. Restricciones

Ya establecido el modelo básico, es necesario establecer la distancia de cobertura. Esta es de gran importancia en el modelo para determinar el área dentro del cual se considera que una maquina puede cubrir correctamente la demanda, en este caso con la población que hay en cada sector. Es por esto, que se introduce un primer supuesto a trabajar, y es el de que cada máquina dispensará un litro diario para cada habitante de cada sector. Siendo así, la función objetivo indica el número de personas las cuales se podrían ver impactadas y beneficiadas por el número de máquinas y el sector donde estas se ubiquen.

A continuación, se presenta el modelo en Excel en el cual inicia todo el proceso de análisis de este modelo.

Dist. Cobertura 0.3

	PARÁMETRO Aij													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Ilustración 29. Matriz de parámetro Aij y celda de distancia de cobertura

Como se puede ver, la distancia de cobertura es un valor que se puede cambiar para así observar diferentes escenarios donde este sea mayor. Así, se realizó el análisis para ver cómo cambia el Z con distancias de cobertura de 0.3, 0.5, y 1 KM, cambiando iterativamente el valor de p (número de máquinas) de 1 a 14, por el número de sectores con los que se cuenta. Seguidamente, se presentan las variables decisión.

Variables decisión		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Xj		1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0

Zi
1
1
1
0
1
1
1
1
1
1
0
1
1
1
0

Ilustración 30. Variables de decisión

A continuación, se tienen los parámetros obtenidos después de la ejecución del modelo establecido (maximal covering).

		Parámetros													
hi		9600	5529	1623	39	1563	1740	939	1122	156	3	3264	1959	1059	3
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

p	10 <<<< número de máquinas a ubicar
----------	-------------------------------------

Ilustración 31. Parámetros

Seguidamente, por medio de formulación en Excel, se establecen las restricciones y finalmente el modelo se corre a través del Solver, obteniendo el Z para cada una de las distancias de cobertura mencionadas y los números de máquina (p) establecidos, resultados que se indican a continuación.

Distancia de cobertura = 1 km		Distancia de cobertura = 0.5 km		Distancia de cobertura = 0.3 km	
# Máquinas	Z	# Máquinas	Z	# Máquinas	Z
1	9,600	1	9,600	1	9,600
2	15,129	2	15,129	2	15,129
3	20,493	3	18,930	3	18,393
4	25,716	4	22,194	4	21,072
5	27,339	5	24,153	5	23,031
6	28,398	6	25,776	6	24,654
7	28,593	7	27,339	7	26,217
8	28,596	8	28,398	8	27,339
9	28,599	9	28,554	9	28,398
10	28,599	10	28,593	10	28,554
11	28,599	11	28,596	11	28,593
12	28,599	12	28,599	12	28,596
13	28,599	13	28,599	13	28,599
14	28,599	14	28,599	14	28,599

Ilustración 32. Variación de distancias de cobertura

Como se observa, el número ideal de máquinas a instalar es diez. Sin embargo, es necesario definir el radio de cobertura de una manera más próxima a la realidad.

Para garantizar que los resultados de este estudio sean representativos de la población de Tumaco, se realizó una encuesta a una muestra de 111 habitantes, con el objetivo de conocer su disposición y disponibilidad para adquirir agua de las máquinas expendedoras. La muestra fue calculada considerando un nivel de confianza del 90% y un margen de error del 10%. Seguidamente se presentan las opciones dadas a los encuestados con sus respectivas respuestas y análisis gráfico.

Por lo tanto, el tamaño de muestra recomendado para este estudio, con un nivel de confianza del 90% y un margen de error del 10%, es de aproximadamente 67 personas. Sin embargo, dado que la muestra realizada fue de 111 personas, el margen de error resultante es menor al estimado, aproximadamente del 9,3%. Esto significa que los resultados de la encuesta pueden variar en un 9.3% hacia arriba o hacia abajo con respecto a la población total.

1. ¿Cuánta distancia estarías dispuesto a recorrer para comprar agua en una máquina expendedora?

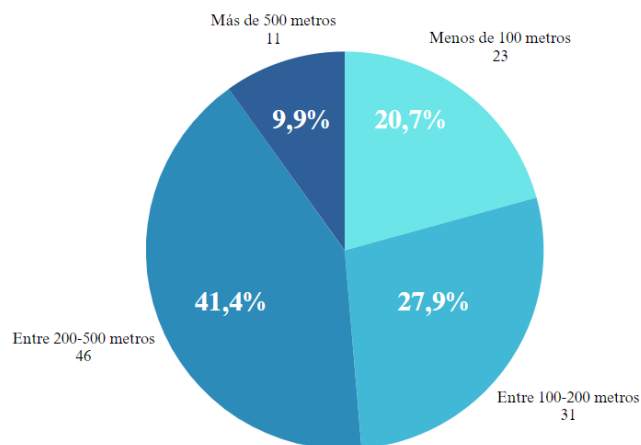


Ilustración 33. Encuesta. Distancia por recorrer

De acuerdo con los resultados, 46 personas de 111 indicaron que están dispuestos a caminar entre 200 y 500 metros (0.2-0.5 km) por lo que finalmente, se define la distancia de cobertura del modelo como 0.3 Km.

Adicionalmente, se preguntó lo siguiente,

2. ¿Qué tiempo estarías dispuesto a invertir en desplazarte hasta la máquina para comprar agua?

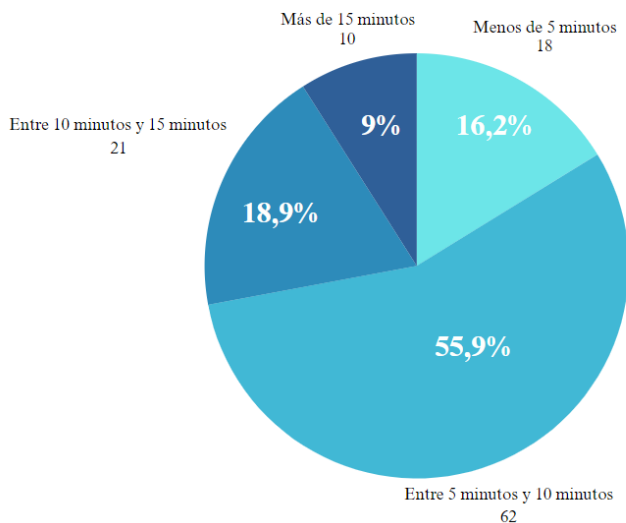


Ilustración 34. Encuesta. Tiempo dispuesto a recorrer

Al analizar los resultados de esta segunda pregunta, se observa que el 55.9% de los encuestados estaría dispuesto a invertir entre 5 y 10 minutos en desplazamiento hacia una máquina, sin importar su medio de transporte. Se toma el hecho de que las personas se desplacen caminando hacia las máquinas, además existen estudios como el de la Asociación Estadounidense del Corazón (American Heart Association) ha afirmado que una persona puede realizar una caminata a un ritmo de aproximadamente 80 metros/minuto [34]. Por lo que al caminar 300 metros estaría invirtiendo aproximadamente 4 minutos.

Finalmente, se definió el radio de cobertura y el número de máquinas necesarias para posibilitar la cobertura con al menos un litro diario de agua para cada habitante de cada uno de los sectores, obteniendo así, mediante el modelo de Maximal Covering la ubicación de las máquinas por sector.

Sector Urbano	Máquina
32	1
29	1
31	1
6	0
7	1
12	0
13	1
14	1
3	1
20	0
23	1
21	1
28	1
27	0

Ilustración 35. Asignación de máquinas

Para mayor claridad, es necesario conocer un poco más de estos sectores donde tentativamente se ubicarán las máquinas. Es por esto, que a continuación se presentan estos lugares teniendo en cuenta, que mediante ellos se partió para la realización de la matriz de distancias.

Sector Urbano	Ubicación tentativa
32	Droguería Sammyg
29	Restaurante mi dulce refugio
31	Aso Fortaleza del Manglar
7	Instituto técnico comfamiliar
13	Institucion Educativa General Francisco De Paula Santander
14	Casa de la Memoria
3	Agencia Nacional de Tierras
23	Colegio Naval de Tumaco
21	Batallón Fluvial de Infantería Marina
28	Hotel Casa Verde

Ilustración 36. Lugar de ubicación de las máquinas

De este modo, se presenta en el mapa de Tumaco la ubicación de las máquinas con su respectivo sector.

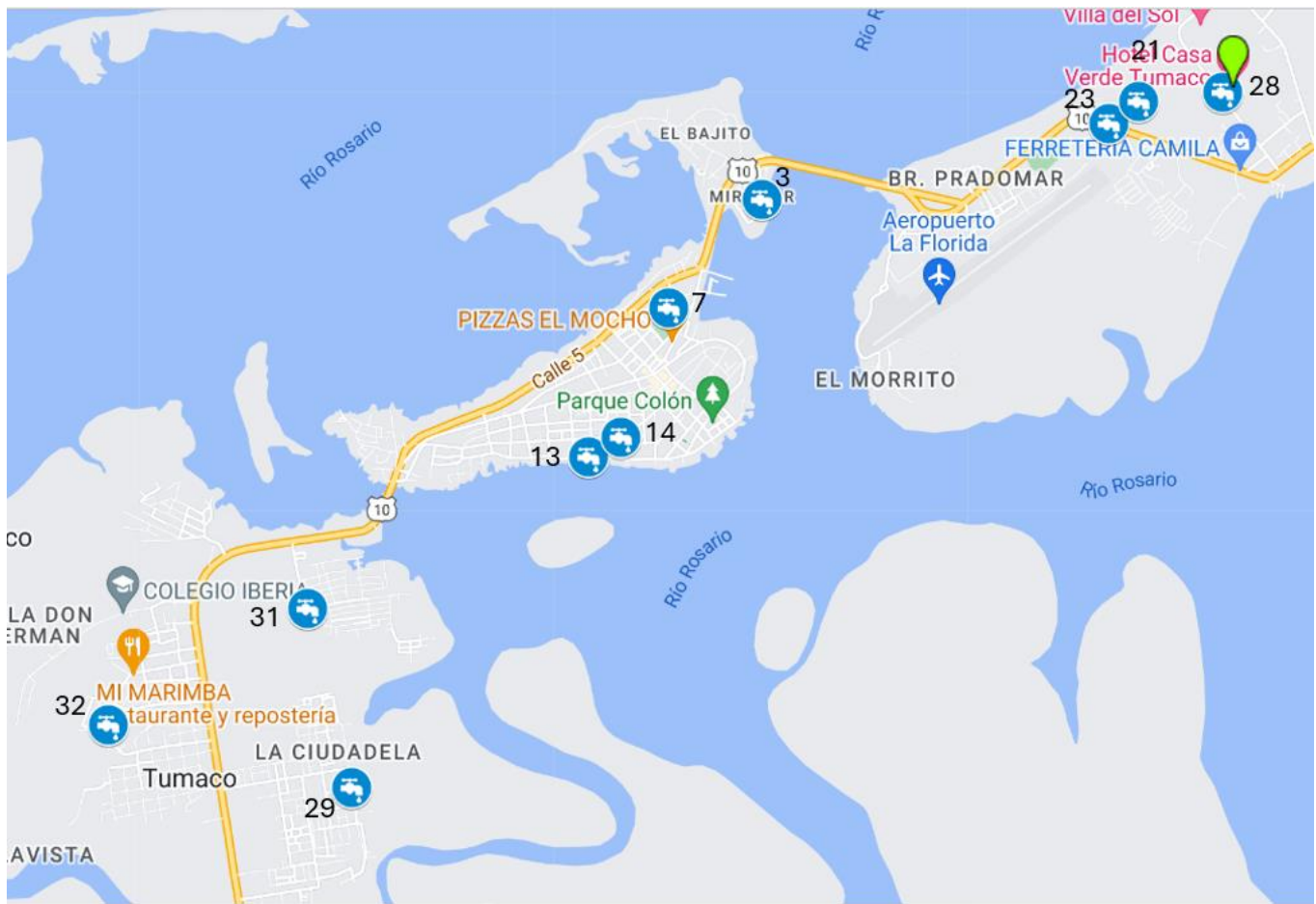


Ilustración 37. Ubicación gráfica de las máquinas

Una vez definidas las ubicaciones óptimas para la instalación de las diez máquinas expendedoras de agua potable en Tumaco, mediante el modelo de máxima cobertura, surge la necesidad de planificar las rutas que el colaborador debe seguir para llevar a cabo la recolección de dinero y tareas diarias de mantenimiento de dichas máquinas. Como estas se encuentran distribuidas en diferentes puntos del municipio, es fundamental optimizar la ruta de desplazamiento, de manera que el colaborador visite cada máquina una sola vez, completando sus actividades en el menor tiempo posible. Este análisis es crucial para optimizar la operación del sistema, ya que permite asignar de manera eficiente los recursos humanos y asegurar que las máquinas funcionen de forma continua y eficaz.

Para lograr esto, se utiliza el Travelling Salesman Problem (TSP) [35]. El propósito de este modelo es encontrar la ruta más corta que conecte todas las máquinas expendedoras, minimizando el tiempo total de desplazamiento y asegurando que el colaborador pueda regresar al punto de inicio tras completar su recorrido. La optimización del tiempo de desplazamiento es crucial para mejorar la eficiencia operativa del sistema, ya que permite reducir tanto los costos asociados al transporte como el tiempo dedicado a estas tareas.

Seguidamente, fue necesario desarrollar la matriz de distancias entre las ubicaciones de las máquinas expendedoras de agua potable. Nuevamente, se utilizó la herramienta Google Maps, que permitió obtener una dirección específica de cada sector. Así, se pudo calcular la distancia en automóvil y en kilómetros entre cada uno de los sectores.

		32	29	31	7	13	14	3	23	21	28
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
32	1		1,3	2,2	4	3,2	3,6	5,2	7,6	7,8	9,1
29	2	1,3		3,5	5,3	4,5	4,9	6,5	8,9	9,1	10,4
31	3	2,2	3,5		3,2	2,4	2,8	4,4	6,8	7	8,4
7	4	3,9	5,2	3,1		1	0,85	1,5	4,1	4,3	5,6
13	5	3,6	4,9	2,8	1		0,4	2,5	5	5,2	6,5
14	6	3,7	5,1	3	0,85	0,45		2,3	4,8	5	6,3
3	7	5,2	6,5	4,4	1,5	2,4	2,2		2,6	2,8	4,1
23	8	7,5	8,9	6,8	3,9	4,7	4,6	2,5		0,7	1,5
21	9	7,7	9,1	7	4,1	5	4,8	2,7	0,7		2,2
28	10	9	10,4	8,3	5,4	6,3	6,1	4	1,5	2,2	

Ilustración 38. Matriz de distancias entre cada máquina.

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por la matriz de distancias, se utilizó la herramienta AMPL (A Mathematical Programming Language) para desarrollar el modelo de optimización TSP. Dicha herramienta permite formular y resolver problemas de programación matemática de manera eficiente, facilitando la identificación de la ruta óptima que el colaborador debe seguir para realizar las tareas de recolección y mantenimiento de las máquinas expendedoras de agua potable. A continuación, se presenta la estructura básica del modelo, que servirá como punto de partida para el análisis y la implementación de la solución.

1. Inicialmente, se establecen los conjuntos del modelo TSP.

- $N = \{1...10\}$, Conjunto de nodos, ubicaciones de las máquinas expendedoras de agua.
- $A = \{i \text{ in } N, j \text{ in } n\}, i <> j$, Conjunto de arcos que se pueden dar entre los nodos en donde i es diferente de j .

2. Se establece el parámetro $d\{A\}$, el cual contiene la matriz de distancias.

3. Posteriormente se indican las variables de decisión.

- Se define la variable $x\{A\}$ binaria, Esta variable toma el valor de 1 si se elige la ruta que conecta el nodo i con el nodo j y 0 si no se selecciona esa ruta.
- Se define la variable $u\{N\} \geq 0$; Sirve para establecer un orden o nivel entre los nodos que permita diferenciar los puntos de visita.

4. Se establece la función objetivo.

$$\text{Minimizar } z: \sum\{(i,j) \text{ in } A\} x[i, j] \cdot d[i, j]$$

Fórmula 3. Función objetivo Problema del agente viajero

Cumple el objetivo de encontrar la combinación de rutas que minimice la distancia total, garantizando que el recorrido pase por todos los nodos una sola vez.

5. Por último, se establecen las restricciones.

$$R\text{Origen } \{i \text{ in } N\}: \sum \{i \text{ in } N: i <> j\} \cdot x[i, j] = 1,$$

Fórmula 4. Restricción 1

La primera restricción garantiza que debe salir exactamente una ruta hacia otro nodo j . Es decir, cada nodo debe tener exactamente una salida.

$$R\text{Destino } \{j \text{ in } N\}: \sum \{i \text{ in } N: i <> j\} \cdot x[i, j] = 1,$$

Fórmula 5. Restricción 2

La segunda restricción garantiza que debe llegar exactamente una ruta desde otro nodo i . Es decir, cada nodo debe tener exactamente una entrada.

$$R_{\text{Subtours}} \{(i, j) \text{ in } A: i \neq 1 \text{ and } j \neq 1\}: u[i] - u[j] + \text{card}(N) \cdot x[i, j] \leq \text{card}(N) - 1;$$

Fórmula 6. Restricción 3

Por último, la restricción tres elimina los subtours (ciclos más pequeños que podrían formarse dentro del ciclo completo), garantizando así que el recorrido conecta todos los nodos de manera eficiente y sin repeticiones.

Finalmente, mediante la herramienta AMPL, se ha obtenido una solución óptima para el Travelling Salesman Problem (TSP), con un valor objetivo de 23,95 kilómetros. Este resultado indica que la distancia total mínima para recorrer todas las máquinas expendedoras de agua potable es de 23.95 kilómetros, optimizando así el trayecto entre las ubicaciones determinadas previamente.

El proceso de optimización, realizado a través del solver CPLEX, requirió 6,335 iteraciones del método símplex y 1,183 nodos de ramificación, lo que resalta la complejidad del problema y el esfuerzo computacional necesario para encontrar la ruta más corta. A continuación, se presenta la ruta arrojada por AMPL,

32	29	31	13	14	7	3	21	23	28	32	Distancia
1	2	3	5	6	4	7	9	8	10	1	23.95

Ilustración 39. Ruta de máquinas.

V. VALIDACIÓN FINANCIERA Y OPERATIVA DEL SISTEMA

Para la implementación del proyecto de máquinas expendedoras de agua potable, se han identificado y estimado diversos costos asociados con la adaptación operativa y la instalación de los equipos necesarios para la ejecución del proyecto. A continuación, se detalla el desglose de estos costos, que abarcan desde la adquisición del equipo hasta los gastos recurrentes con respecto a la operación.

Se debe tener en cuenta que el insumo principal para las máquinas expendedoras es el servicio de agua proporcionado por el acueducto local, y el pago por este servicio debe realizarse mensualmente. La empresa encargada, "Aguas de Tumaco S.A. ESP", actualizó sus tarifas en 2022 de acuerdo con la Ley 142 de 1994 y la Resolución 151 de 2011, debido a la irregularidad en el suministro de agua. Todas las tarifas son fijas debido a estas particularidades. Estas tarifas comprenden el costo de administración (CMA), el costo de operación (CMO) y el costo de inversión (CMI), así como el costo medio de tasas ambientales (CMT), que actualmente es 0, según los recibos del servicio [36]. El costo fijo está regido por la zona comercial con un consumo aproximado de 20 m³, e incluye un cargo básico, un cargo complementario y el sumatorio. Para las máquinas expendedoras de agua de uso comercial, se aplica la tarifa correspondiente a la categoría comercial, dentro de las subdivisiones de industrial, comercial y oficial. Además, las zonas no residenciales deben aportar un 50% adicional sobre las tarifas. En la siguiente tabla se pueden observar los costos específicos en pesos colombianos de cada uno de los parámetros nombrados anteriormente [36].

TARIFA	CMA	CMO	CMI	CMT	CONSUMO M3	FIJO	BASICO	COMPLEMENTARIO	SUNTUARIO	CONT (50%)
COMERCIAL	\$ 8,269	\$1,056.00	\$651	0	20	\$12,403.5	\$ 2,560.5	\$ 2,560.5	\$ 2,560.5	\$ 15,040.5

Tabla 13. Tarifa de servicio de acueducto

Al tener definida la tarifa de servicio de acueducto, se define el costo mensual del servicio de agua para una máquina, el cual es la suma de todo lo que define la zona comercial para el consumo de agua, obteniendo así un valor de \$45,101.50, de igual manera, es importante resaltar que este monto puede aumentar con cualquier ajuste tarifario que se realice.

COSTO TOTAL MENSUAL
\$ 45,101.50

Tabla 14. Costo total mensual servicio de agua.

Además del servicio de agua, las máquinas expendedoras de agua potable requieren un suministro de energía eléctrica. Las tarifas para este servicio son establecidas por Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P. – CEDENAR, y el tarifario completo está disponible en la página web de la entidad. Sin embargo, no solo es de vital importancia identificar otros costos para llevar a cabo la operación, es por ello por lo que, para el suministro eléctrico, las máquinas expendedoras están clasificadas no como uso residencial sino comercial. El recibo de energía se divide en dos componentes principales: el primero es el cargo por servicio, que incluye el consumo de energía eléctrica, facturado con base a la medida de energía de 969.81 kWh, y una contribución adicional del 20% para zonas no residenciales; no obstante, el segundo componente es el impuesto por alumbrado público, que es facturado por el municipio [37].

ENERGÍA \$/kWh	ALUMBRADO PÚBLICO	CONT
\$ 969.81	\$ 45,902.00	20%

Tabla 15. Componentes del consumo de energía.

Según las especificaciones proporcionadas por el proveedor, la máquina expendedora de agua potable tiene un consumo máximo de 2 kW, y se asume que funcionará las 24 horas del día para ofrecer un servicio constante. Esto se traduce en un costo mensual de \$58,188.60 y sumando la contribución del 20% sobre el consumo de energía, que equivale a \$11,637.72 (20% de \$58,188.60), y el impuesto por alumbrado público, que es de \$45,902.00 para zonas no residenciales, el costo total mensual de energía eléctrica para la máquina expendedora es de **\$115,728.32**.

COSTO TOTAL MENSUAL
\$ 115,728.32

Tabla 16. Costo total mensual servicio de energía.

En la operación de máquinas expendedoras de agua potable en Tumaco, se asume que se emplearán dos trabajadores con salario mínimo mensual. Donde cada uno de los empleados tiene tareas diarias específicas por cumplir; uno de estos estará encargado del mantenimiento y la limpieza de las máquinas, mientras que el otro se dedicará a las tareas administrativas.

El empleado responsable del mantenimiento llevará a cabo una limpieza general de las máquinas utilizando desinfectantes para asegurar que el agua dispensada se mantenga en condiciones óptimas. Por su parte, el empleado administrativo se encargará de recolectar el dinero de las máquinas y registrarlo adecuadamente en el sistema correspondiente. Ambos empleados estarán a cargo de un total de diez máquinas expendedoras, asegurando así el correcto funcionamiento y la gestión eficiente de las mismas.

A continuación, se detalla el salario y los aportes que se deben pagar de acuerdo con el Decreto 2292 de 2023 del Código Sustantivo del Trabajo, para el año 2024 [38], en donde se incluyen prestaciones, servicio de salud, el pensional, entre otros; dando como resultado el valor de un millón trescientos cincuenta y ocho mil pesos colombianos mensuales para cada trabajador.

SALARIO BASICO + PRIMA REGIONAL	DT	TRABAJADO MES	SUBSIDIO TRANSPORTE	TOTAL DEVENGADO	SALUD	PENSION	TOTAL A PAGAR MENOS DEDUCCIONES	TOTAL NOMINA
					4%	4%		
\$ 1,300,000	30.0	\$ 1,300,000	\$ 162,000	\$ 1,462,000	\$ 52,000	\$ 52,000	\$ 1,358,000	\$ 1,358,000

Tabla 17. Componentes del salario a colaboradores.

Después de definir el pago de la nómina se multiplica por un factor del 1.5 el cual incluye un valor aproximado del total de la nómina, teniendo en cuenta, el aporte a la seguridad social y riesgos laborales, prestaciones sociales obligatorias y los parafiscales. Todo esto para

Por otro lado, el alquiler para el municipio de Tumaco se establece con un costo máximo de \$50,000 COP por metro cuadrado. Dado que cada máquina expendedora de agua requiere un área de 5 metros cuadrados para su instalación, el costo mensual de

alquiler para cada máquina es de \$250,000 COP. Este monto cubre el espacio necesario para la correcta ubicación y funcionamiento de la máquina, y constituye un componente fundamental en la evaluación de los gastos operativos mensuales.

De este modo, se procede a obtener los costos anuales que se presentan a continuación;

Costos variables anuales	
Mano de obra (2)	\$ 48,888,000.00
Arriendo	\$ 3,000,000.00
Agua	\$ 541,218.00
Transporte	\$ 1,944,000.00
Costos fijos anuales	
Energía	\$ 1,388,739.84
Máquina	\$ 19,000,000.00
Mantenimiento	\$ 600,000.00
Total	\$ 75,361,958

Tabla 18. Rubro de costos

Teniendo así unos costos anuales de \$75,361.958 para una máquina. Así mismo, para el cálculo del costo de los activos fijos, se hace uso de dos fórmulas.

$$P_{\$} = v - s(1 + r_w)^{-n}$$

Fórmula 7. Valor neto de la inversión

$$K_f = \frac{P_{\$}r_w(1 + r_w)^n}{(1 + r_w)^n - 1}$$

Fórmula 8. Costo de activos fijos

Para así obtener los siguientes datos de gran importancia:

Costo de activos fijos		
	Mano de obra de instalacion	\$ 200,000.00
rw	Costo de capital	7.16%
s	Valor de salvamento	\$ 1,500,000.00
v	Inversión	\$ 19,000,000.00
$P_{\$}$	Valor neto de inversion	\$ 17,938,481.09
n	Vida útil	5
Kf	Costos de activos fijos	\$ 4,393,788

Tabla 19. Costo de activos fijos

Es importante mencionar que el costo de capital para el agua es de 7.16%, valor brindando por Damoran Online [39]. Siendo así, a continuación, se muestra la operación realizada para el cálculo del beneficio operacional.

+ Ganancia anual
- Mano de obra
- Costo de activos fijos
- Costo de espacio requerido
BENEFICIO OPERACIONAL

Ilustración 40. Cálculo beneficio operacional

Finalmente, para el cálculo del beneficio operacional se tienen en consideración tres escenarios: en el primero, el precio por litro es de \$500; en el segundo escenario, el precio por litro se reduce a \$350; y en el tercer escenario, el precio es de \$200 por litro. Y, asimismo, asumiendo que la mitad de la población urbana de Tumaco (14299 personas) adquiere al menos un litro de agua en una máquina mensualmente, se obtienen los siguientes resultados.

\$500 LITRO	
Ganancia anual	\$ 857,940,000.00
Beneficio operacional	\$ 801,658,212

\$350 LITRO	
Ganancia anual	\$ 600,558,000.00
Beneficio operacional	\$ 544,276,212

\$200 LITRO	
Ganancia anual	\$ 343,176,000.00
Beneficio operacional	\$ 286,894,212

Tabla 20. Escenarios de beneficio operacional

Al observar la Tabla 20, se concluye como al tener un precio de venta de \$500, \$350 y \$200 se obtendrían los respectivos beneficios operacionales: \$801,658,212, \$544,276,212 y \$286,894,212. Se podría considerar entonces, que la implementación del proyecto de máquinas expendedoras de agua potable en el municipio de Tumaco, Nariño representa una solución innovadora que combina beneficios económicos, sociales y ambientales. Este enfoque integral permite no solo satisfacer las necesidades básicas de una población vulnerable con acceso limitado a agua potable, sino también fomentar prácticas sostenibles y generar impactos positivos en la calidad de vida de las comunidades. Desde el punto de vista financiero, el proyecto presenta un modelo económicamente viable y rentable, como se evidencia en los tres escenarios de precios por litro analizados. Si bien el precio de \$500 por litro maximiza las ganancias anuales, la opción más responsable socialmente es fijar el precio en \$200 por litro, garantizando que el agua potable sea accesible para una mayor parte de la población.

VI. CONCLUSIONES

El proyecto de diseño de un sistema de servicio de suministro de agua potable por medio de máquinas expendedoras para el municipio de San Andrés de Tumaco se presenta como una iniciativa innovadora que busca solucionar el problema crítico del acceso limitado y discontinuo de este recurso en la región, generando un impacto positivo en los ámbitos social, económico y ambiental. A lo largo del desarrollo del proyecto, se definieron indicadores clave de desempeño (KPIs) que permitieron medir el logro de los objetivos planteados. Estos indicadores han sido sustentados por un modelo logístico que optimiza la instalación de las máquinas expendedoras y permite evaluar la viabilidad del sistema. Se proyecta alcanzar un nivel de servicio del 98%, asegurando un suministro eficiente y constante de agua potable mediante las máquinas expendedoras. Este indicador se respalda en el modelo logístico desarrollado, que establece ubicaciones estratégicas para maximizar la cobertura de la población. La distancia máxima que los usuarios deben recorrer para acceder a una máquina es de 300 metros, garantizando accesibilidad; este enfoque permite que el sistema responda a la demanda real de los habitantes, minimizando tiempos de desplazamiento y maximizando la disponibilidad del recurso.

Actualmente, solo el 40% de la población de Tumaco tiene acceso regular a agua potable. El modelo permite identificar los puntos de mayor densidad poblacional y vulnerabilidad, permitiendo instalar las máquinas en zonas estratégicas que incrementarán el acceso a agua potable hasta un 90%. Esta cobertura mejorada no solo reduce la brecha social existente, sino que también impacta directamente en la salud pública, al disminuir el riesgo de enfermedades transmitidas por agua contaminada. La implementación del sistema permitirá un ahorro estimado del 20% en comparación con los métodos tradicionales de compra de agua. Este ahorro se logra gracias a la eficiencia en costos operativos y logísticos, lo que permite ofrecer un precio de \$200 pesos colombianos por litro, significativamente inferior al promedio de \$1.920 pesos colombianos [pesos](#) por litro del mercado actual. Además, el análisis financiero mostró que el modelo es sostenible y rentable, con un periodo de recuperación de la inversión razonable y una utilidad neta atractiva, incluso en escenarios menos favorables.

La implementación de las máquinas dispensadoras de agua potable genera además empleo formal para al menos dos personas, quienes, como se dijo anteriormente, se encargarán del mantenimiento y gestión administrativa. Esto contribuye al desarrollo económico local y proporciona una fuente estable de ingresos para las familias de la región. Adicionalmente, al ser un modelo de negocio autosostenible, este proyecto puede ampliarse a otras comunidades con necesidades similares, escalando tanto los beneficios sociales como los financieros. Desde una perspectiva social, este proyecto es transformador para la comunidad de Tumaco, donde el acceso al agua potable ha sido históricamente un desafío debido a la irregularidad en el suministro y la falta de infraestructura adecuada. El proyecto también aporta un beneficio ambiental sustancial. En primer lugar, al fomentar el uso de máquinas expendedoras que operan con tecnologías eficientes, se promueve un consumo responsable de los recursos naturales, reduciendo el desperdicio de agua. En segundo lugar, el acceso a agua potable en puntos estratégicos disminuye la dependencia del agua embotellada, lo que ayuda a reducir la generación de residuos plásticos, un problema crítico en el municipio de Tumaco y sus alrededores. Esto contribuye directamente a la mitigación de la contaminación ambiental y promueve un modelo más sostenible para el manejo de recursos hídricos y de residuos. Por último, el uso de tecnologías como estas ayuda a sensibilizar a la comunidad sobre la importancia de preservar el medio ambiente y valorar el acceso al agua como un derecho fundamental y un recurso limitado.

Se puede evidenciar así, que el diseño del sistema de máquinas expendedoras de agua potable constituye una solución integral y sostenible para mejorar la calidad de vida de los habitantes de San Andrés de Tumaco. La correcta aplicación de tecnologías avanzadas, el uso de un modelo logístico eficiente y el monitoreo continuo de los indicadores clave de desempeño permitirán asegurar el cumplimiento de los objetivos propuestos. Además, la capacidad del sistema de adaptarse a escenarios cambiantes garantiza que su impacto positivo se mantendrá a largo plazo, contribuyendo al desarrollo económico y social de la región, al mismo tiempo que se protege el medio ambiente. Este proyecto, representa una oportunidad para transformar el acceso al agua potable en Tumaco y sentar un precedente para su replicación en otras regiones con necesidades similares.

VII. REFERENCIAS

- [1] J. C. Rodríguez, "Acceso al agua potable, un derecho que consiguió a pulso una comunidad en Tumaco," 26 Marzo 2022.
- [2] C. R. Colombiana, "Proyecto de Resiliencia y Salud para la Infancia de la Cruz Roja Colombiana beneficia a cientos de personas con la llegada de recursos hídricos a Tumaco," [Online]. Available: <https://www.cruzrojacolombiana.org/proyecto-de-resiliencia-y-salud-para-la-infancia-de-la-cruz-roja-colombiana-beneficia-a-cientos-de-personas-con-la-llegada-de-recursos-hidricos-a-tumaco/>. [Accessed 14 Febrero 2024].
- [3] S. L. H. Delgado, *Evaluación de las condiciones ambientales en las corrientes hídricas que atraviesan el casco urbano del municipio de Lebrija–Santander.*, Lebrija–Santander., 2021.
- [4] H. J. Angulo Cortés, "Repositorio Institucional Universidad de Antioquia," 2021. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/10495/31878>. [Accessed 27 Febrero 2024].
- [5] DANE, "PERFIL SOCIOECONÓMICO MUNICIPAL," 2020.
- [6] A. M. D. T. S. D. SALUD, "ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE SALUD CON EL MODELO DE LOS DETERMINANTES SOCIALES ASIS," 2022.
- [7] C. R. Salcedo, "Cristal, Brisa y Manantial, las marcas que dominan el mercado del agua en botella," *La República*, 16 Junio 2016.
- [8] M. d. C. Santana, J. F. Bonilla Tovar and S. C. A. Castillo, "RANGO DE CONSUMO BÁSICO," 2015.
- [9] M. M. d. f. Sandhya Pruthi, "Agua: ¿cuánto tienes que beber todos los días?," *Mayo Clinic*, 2022.
- [10] Y. Higuchi, "History of the Development of Beverage Vending Machine Technology in Japan."
- [11] A. Orús, "La industria de bebidas sin alcohol a nivel mundial - Datos estadísticos," 2024.
- [12] Gloria Deossa, F. Restrepo and H. Rodríguez, "Caracterización del consumo de bebidas en habitantes de la ciudad de Medellín, Colombia," Medellín, 2019.
- [13] J. H. Escruceria, "Evaluación de la viabilidad de implementación de Watergen para el suministro de agua potable en el barrio el Bajito ubicado en el municipio de Tumaco," Bogotá, 2021.
- [14] J. P. N. C. Juan Felipe Reyes Céspedes, "Plan de negocio para la creación de una empresa dedicada a dispensar agua potable por medio de máquinas automáticas en la ciudad de Bogotá.," Bogotá, 2021.
- [15] C. A. Bonilla-Granados, L. V. Tarazona and A. D. Caicedo, *Análisis estadístico del consumo de agua potable residencial en Toledo, Colombia*, 2022.
- [16] M. G. Valdez and J. P. Viqueira, *Abastecimiento de agua potable por pipas en el valle de Texcoco, Mexico*, 2015.
- [17] D. M. silva, J. G. Erazo and T. M. Pinzon, *Estimacion de la demanda de agua en centros educativos: caso de estudio facultad de ciencias ambientales de la universidad tecnologica de Pereira, Colombia.*, 2017.
- [18] M. Chiquinta and P. Marlyta, "Plan de negocios para la creación y constitución de una planta de agua purificada, Reque," CHICLAYO – PERÚ , 2022.
- [19] O. M. d. I. Salud, Reglamento Sanitario Internacional, 2005.
- [20] E. -. G. Normativo, "Función Pública," 2014. [Online]. Available: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=56882.
- [21] C. D. S. D. CALI, "MODELO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL," [Online]. Available: <https://saul.cali.gov.co/pimu/pot/otros/Acuerdo%200373%20de%202014.pdf>.
- [22] E. -. G. Normativo, "Función Pública," [Online]. Available: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=2752.
- [23] M. d. S. y. d. I. P. Social, "Social. Decreto 1575," Imprenta Nacional de Colombia, 9 Mayo 2007. [Online]. Available: <http://www.ins.gov.co/sivicap/Normatividad/Decreto%201575%20de%202007.pdf>. [Accessed 2 Agosto 2024].

- [24] V. y. D. T. y. M. d. S. y. d. l. P. S. Ministerio de Ambiente, "Resolución 2115," Imprenta Nacional de Colombia, 22 Junio 2007. [Online]. Available: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>. [Accessed 2 Agosto 2024].
- [25] O. M. d. l. Salud, "Salubridad y Calidad del Agua.," 2017. [Online]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/es/. [Accessed 2 Agosto 2024].
- [26] N. Cross, Métodos de diseño, estrategias para el diseño de productos, México: LIMUSA, 2002.
- [27] J. M. & D. T. J. A. Córdoba Obando, *Análisis comparativo de la eficiencia de la filtración con material vítreo frente al uso de antracita-arena para remoción de hierro y manganeso, en las aguas subterráneas del acueducto de Funza*, Bogotá, Colombia, 2016.
- [28] T. w. house. [Online]. Available: <https://www.thewaterhouse.com.co/>.
- [29] "Agua Pura San Jerónimo," [Online]. Available: <https://aguapurasanjeronimo.com/>.
- [30] "Agua Inmaculada," [Online]. Available: <https://www.aguainmaculada.com/>.
- [31] Desconocido, "Agua Pura San Jerónimo," [Online]. Available: <https://aguapurasanjeronimo.com/>. [Accessed 17 agosto 2024].
- [32] Alcaldía Municipal de Tumaco, «Plan de Ordenamiento Territorial, Cartografía Urbana.» 2019.
- [33] C. R. Richard Church, The Maximal Covering Location Problem, The Johns Hopkins University .
- [34] L. Williamson, "American Heart Association News," 6 Abril 2022. [Online]. Available: <https://www.heart.org/en/news/2022/04/06/caminar-para-tener-una-mejor-salud-recuerda-el-acronimo-fit>.
- [35] M. Grötschel and G. L. Nemhauser, George Dantzig's contributions to integer programming, 2008.
- [36] A. D. T. S. E.S.P, «TARIFAS DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ASEO II SEMESTRE DE 2022,» TUMACO, 2022.
- [37] Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P, «Costo de opción tarifaria de mercado - COT,» San Andrés de Tumaco, 2024.
- [38] M. d. T. d. l. R. d. Colombia, «Función Pública,» [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=227530>.
- [39] A. Damodaran, "Damodaran Online," 5 Enero 2024. [Online].